colors

الفصل الأول

ظاهرة الحياة

ThePhenomenon of Llife

يعرف علم الأحياء بأنه ذلك العلم الذي يدرس الحياة . ولكن ما هي الحياة؟ أنه لسؤال صعب وأن الجواب لمحير حقاً . فنحن نعرف ونحس أحياناً بأننا نفهم كثيراً من الأشياء التي لا نستطيع تعريفها . سئل صموئيل جونسون "الأديب الإنجليزي المعروف" عن تعريفه للشعر فقال: لماذا تسألني يا سيدي أنه أسهل أن تقول الشيء من أن تعرفه فكلنا يعرف ما هو الضوء ولكن ليس من اليسير أن نعطي تعريفاً له . والأمر سيان بالنسبة للحياة ، فإنه من السهل علينا أن نفرق بين الأشياء الحية والجامدة . فالكل سيقول بلا تردد أن العصور حي بينما الحجر جامد . ولكن حتى في هذا الأمر هناك مجال للغموض حيث أن كثيراً من البشر البدائيين قد اعتبروا أن الأرض هي كل حي . ويزداد الأمر غموضاً عندما نتفحص العالم الطبيعي عن قريب حيث أن الحد الفاصل بين ما هو حي وما هو جامد غير واضح تماماً . ونتيجة لذلك لا يوجد تعريف واحد للحياة يتميز بشموله وموافقة جميع الباحثين عليه . وعلينا أن نقبل فكرة إمكانية اعتبار الحياة كظاهرة لا نخضع نفسها لتعريف عام مجرد .

ولكن إذا لم يمكن تعريف الحياة تعريفاً شاملاً فإنه يمكننا دراستها من جوانب عديدة أملاً بفهم بعض مظاهرها المميزة . وهناك ثلاثة مناهج لاستكشاف المميزات العامة للحياة . الأول وهو ما يدعى بالمنهج الوظيفي (Functional Approach) وهذا يعتمد على أساس بسيط هو أن الحياة هي بحد ذاتها مجمل الوظائف التي تقوم بها . فإذا تمكنا أن نصف كيف تسلك الأشياء الحية فإنه يمكننا معرفة ما يه الحياة . والثاني يعتمد على الأساس الوراثي للحياة (Genetic Approach) فإذا عرفنا كيف بدأت الحياة فإننا سنعرف ما هية الحياة . أما الثالث والأخير فهو المنهج التركيبي (Structural Approach) وهو يعتمد على فهم الحياة عن طريق دراسة التركيب الطبيعي والكيميائي الذي يمكن الكائنات الحية من القيام بالعمليات الحيوية المنوطة بها والجدير بالذكر أن هذه المناهج الثلاثة يكمل بعضها بعضاً ولكل واحد منها حدود تقف عندها ولكن يلعب كل منها دوراً هاماً وضرورياً أثناء قيام العالم البيولوجي بدراساته الاستشكافية لفهم ظاهرة الحياة .

العمليات الحيوية The Processes of life

أنه ليس من الصعب أن نورد قائمة بالنشاطات المميزة للأشياء الحية وقد كانت مثل هذه القوائم كثيراً ما تستخدم قبل عشرات السنين كأساس لتعريف الحياة من ناحية وظيفية بحته . فقد كانت الكائنات الحية هي التي تتضح به ظواهر التغذية والأخراج والتمثيل الغذائي والتنفس والحركة والنمو إلى غير ذلك . ولكن هل كل هذه الوظائف ضرورية للحياة أم أن بعضها أساسي أكثر من غيره؟. أنه من الصعب اعتبار أي قائمة شاملة لجميع ظواهر الحياة ومن ثم أساساً متكاملاً لتحديد مكونات النظام الحي . فهناك أشياء عديدة تعتبر حية كالفيروسات مثلاً مع أنها لا تفي بجميع هذه المميزات كما أن هناك أشياء أخرى لا تعتبر حية عادة كالنار مثلاً مع أنها تفي بكثير منها.

وفي الآونة الأخيرة بذل بيولوجيو الفضاء الخارجي في دائرة الفضاء والطيران القومية بالولايات المتحدة الأمريكية كثيراً من التفكير لفهم طبيعة الحياة ليتعرف على أنماط الحياة التي يمكن أن تكون في الفضاء الخارجي بأشكال مختلفة عما هي عليها

على سطح الأرض . وجرب هؤلاء العلماء أن يفصلوا التعريف الوظيفي للحياة ليشمل أبسط وأعم المميزات وأكثرها تجريداً . وقد وصلوا في استنتاجهم إلى أن الكائنات الحية تتميز عن الأشياء غير الحية بمميزتين ا ثنتين: قدرتها على التكاثر (Reproduction) ووجود الوسائل لأحداث تغييرات وراثية مستمرة في صغارها (Genetic Variations among offspring) وسيتضح فيما بعد سبب تعليق كثير من الأهمية على الميزة الثانية للحياة . أما الميزة الأولى فإنها تؤدي إلى عدة ملحقات فحتى يمكن لأي شكل من أشكال الحياة أن يكثر من نفسه لا بد وأن يكون قادراً على المعيشة إلى الحد الذي يمكنه من التكاثر . والقدرة على البقاء أو المعيشة إلى الحد الذي يمكنه من التكاثر . والقدرة على البقاء أو المعيشة يتطلب من الكائنات الأرضية على الأقل وجود نوعين من التفاعل بين الكائن الحي وبيئته وهما : التمثيل الغذائي (Metabolism) والتكيف (Adaptation) على هذا فإن قدرات الكائنات الحية الأساسية أربعة وهي:- التمثيل الغذائي والتكيف والتكاثر والتغاير الوراثي في صغارها.

التمثيل الغذائي (الأيض) Metabolism

يبدو أن لجميع الكائنات الحية قدرة على امتصاص المواد الموجودة في بيئاتها وتحويلها واستخدامها : ففي الحيوانات العليا يدخل الأكسجين إلى الرئتين ويستخدم لأكسدة مركبات ذات طاقة عالية كالسكريات حيث يمكن الحصول عليها (مع مواد الطعام التي يمكن تحويلها إلى سكريات) من خلال القناة الهضمية . وتعيد هذه الحيوانات إلى بيئاتها المواد التي لا تستطيع استخدامها كالنيتروجين للهواء والسيليلوز الموجود في الأطعمة النباتية بالإضافة إلى نواتج عمليات التمثيل الغذائي التي تقوم بها كثاني أكسيد الكربون من الرئتين وحامض البوليك من الكليتين وهكذا . وتستخدم الأشياء الحية المواد الموجودة في البيئة بطريقتين: احداهما كمصدر للطاقة (كما هو في المثال الذي سلف ذكره) وثانيهما كمواد خام لبناء المركبات اللازمة للنمو ولتعويض الأنسجة التالفة ولتنظيم العمليات الحيوية للتكاثر .

التكيف Adeptation

والتكيف هو ثاني مميزات الكائنات الحية . ونعني بالتكيف القدرة على الاستجابة للمؤثرات البيئية بطريقة مفيدة ملائمة . وتستطيع كل الكائنات الحية

والأشياء الجامدة أن تظهر بعض التغييرات نتيجة للتغيرات الحاصلة في بيئاتها فالماء يتجمد نتيجة لانخفاض درجة الحرارة إلى الحد الملائم لذلك والكربون يصبح ماساً تحت ضغط كبير مناسب ويكبر حجم بلورة ما إذا تبخر السائل الذي حولها تدريجياً . ولكن التغييرات الحاصلة في الكائنات الحية تكون من نوع مختلف . فهي ليست تغييرات بسيطة آلية سلبية ولكنها غالباً ما تتضمن نشاطات على جانب كبير من التعقيد فمثلاً ، قد تطير أنواع من الطيور آلاف الأميال استجابة لتغيير بسيط جداً في طول النهار . نتيجة لمثل هذا التغيير البسيط قد يأكل الدجاج كميات أقل من الطعام وبهذا يضع اعداداً أقل من البيض ، وتكون الخراف فروا سميكاً وتبدأ أنواع معينة من الثدييات جمع الطعام وخزنه . أن الأفعال الممثلة في حيوان هارب من آخر قادم لافتراسه أو طائر يقوم ببناء عشه أو إنسان يبني بيتاً أو يركب بحافلة (باص) تتطلب من الكائن أن يستقبل سيلاً مستمراً من المعلومات من البيئة التي يعيش فيها وأن يتفاعل معها بطرق معقدة جداً . ولجميع هذه الاستجابات للمؤثرات الخارجية هدف واحد إلا وهو زيادة فرص الكائن الحي للبقاء . ونستطيع القول على مستوى أبسط وأكثر تجريداً أن الكائنات الحية ، تكيف للتغييرات الخارجية بطريقة مؤداها حفظ الظروف الداخلية في أجسامها ضمن أقل قدر من التغييرات . ويدعى اتجاه أو ميل الكائنات الحية لجعل بيئتها الداخلية على قدر كبير من الثبات على الرغم من تغييرات البيئة الخارجية بحالة الاتزان البدني (Homestasis) ويمكن للكائنات الحية المحافظة على اتزان أبدانها بطرق الانضباط بالتغذية الاسترجاعية الدقيقة (Feedback Control Mechanism) وطرق الضبط هذه ليست بحد ذاتها أمراً مميزاً للأشياء الحية فقط ، فأجهزة الضبط الحراري (الثيرموستات) وضوابط الآلات كلها تستخدام فكرة الضبط بالاسترجاعات التي تشاهد أيضاً في حالة الأنظمة الطبيعية غير الحية كنواعير المياه الحارة . ولكن مع ذلك يبدو أن مميزة الاتزان البدني Homestasis قاصرة على عالم الكائنات الحية.

التكاثر Reproduction

أن عمليتي التمثيل الغذائي والتكيف مع البيئة ضروريات للعمل على بقاء الكائن الحي ولكن بقاء الكائن الحي بحد ذاته ليس كافياً وما دمنا نعلم أنه لا يوجد أي كان حي يبقى حياً إلى الأبد ، لهذا فإن على الكائنات الحية أن تتناسل أو تتكاثر . والحقيقة أن لجميع الكائنات الحية أجهزة تكاثر قادرة على الحفاظ على استمرارية أنواعها . وقد تكونت أنماط عديدة للتكاثر منها التكاثر بالانشطار كما هو الحال في الامبيبا ، ومنها التكاثر الجنسي كما هو

الحال في الإنسان ، وبالمقارنة هناك كائنات أخرى كالأخطبوط تضع حوالي ١٥٠,٠٠٠ بيضة ملقحة وترمي بها على خضم البيئة البحرية وتحت رحمة ظروفها .

ولكن مع ذلك فكل الكائنات الحية تشترك في شيئين: أولهما أن طرق تكاثرها فعالة فلولا كونها كذلك ما وجدت الكائنات الحية التي تستخدم طرق التكاثر هذه .

وثانيهما ، أن جميع هذه الكائنات تستخدم شيفرة وراثية خاصة بها وهي طريقة كيميائية لخلق كائنات مماثلة تقريباً لآبائها .

التنوع والتطور Variation and evolution

أن كلمة "تقريباً" في الجملة الأخيرة التي ذكرناها آنفاً مهمة جداً وذلك لأن عملية التكاثر التي تنتج كائنات مماثلة كلياً للأبوين لا تؤدي إلى التحقق من استمرارية النوع . ويمكن فهم السبب في ذلك إذا تذكرنا أن وجود الكائنات الحية يعتمد دائماً على الغذاء والطاقة اللازمين لاستمرار بقائها هذا بالإضافة على أن معيشة معظم الكائنات الحية تعتمد على مدى ملائمة الظروف البيئية التي تعيش فيها . فالبيئة تتغير دائماً وربما تفوق سرعة التغييرات البيئية الخارجية قدرة الكائن الحي على الحفاظ على ثبات بيئته الداخلية الأمر الذي قد يؤدي على موت الكائن الحي على الحفاظ على ثبات بيئته الداخلية الأمر الذي قد يؤدي إلى موت الكائن الحي . وهذه التقلبات البيئية ذات القدرة القاتلة تكون في العادة غير متوقعة . فمثلاً قد تؤدي ضربة جليدة متأخرة (أي في غير ميعادها) إلى موت آلاف النباتات الصغيرة قبل اعطائها فرصة للنمو وكذلك قد يؤدي انجراف التربة إلى موت آلاف النباتات قبل اعطائها فرصة لتكوين البذور اللازمة لاتمام دورة حياتها واستمرارية أنواعها .

ويمكن القول أنه لا يمكن اعتبار نوع من الكائنات بمنأى عن اثر التغييرات البيئية حتى ولو بدا وكأنه متكيف تكيفاً كاملاً مع بيئته . ويعود السبب في ذلك إلى أن البيئة لا بد وأن تتعرض إلى تغييرات تظهر على مدى بعيد . فقد مر زمن كان فيها جو الأرض محتوياً على كميات كبيرة من هذا الغاز . وقد أتت عصور الجليد ومضت ، وحصلت انقلابات في القشرة الأرضية أدت إلى انفصال القارات بعضها عن بعض ، كما أن الغابات الكثيفة قد تحولت إلى صحارى مقفرة وجفت البحار أو امتدت مياهها لتغطي أجزاء من اليابسة والحقيقة أن الشيء الثابت الوحيد على الأرض هو التغيير ذاته .

ينتج عن مثل هذا التغييرات البيئة عمليات التنوع والانتخاب . فلو كانت عمليات تكاثر الكائنات الحية جامدة لا مرونة فيها بحيث ينتج عنها دائماً صغار هي نسخ طبق الأصل

عن آبائها لكان هناك تجانس في كل نوع من أنواعها . ولكن الملاحظ أن في كل مجموعة كائنات حية تابعة لنوع معين اختلافات بسيطة وعديدة بين افرادها تحمل بعض الأفراد صفات مماثلة تماماً لتلك الموجودة في آبائها .

وتعود القدرة على إنتاج مثل هذه الاختلافات إلى طرق وراثية تمكن الكائن الحي من التكاثر . وتحصل هذه الاختلافات بطريقة عشوائية أي أن حدوث مثل هذه الاختلافات البسيطة وطبيعتها هما أمران يعودان إلى محض الصدفة(*) .

لو كانت جميع الكائنات التي تتبع نوعاً معيناً متماثلة تماماً لكانت فرص بقائها في الطبيعة متماثلة أيضاً . فالظروف المميتة لأحداها تكون مميتة لجميعها . ولكن وجود اختلافات بسيطة كثيرة بينها يزيد كثيراً من فرصة بقاء مجاميع منها فوجود مجموعة صغيرة تتيمزة من غيرها بقدرتها على مقاومة البرد يؤدي إلى استمرارية بقاء هذا النوع القادر على تحمل موجات الصقيع الباردة . هذا بالإضافة على أنه إذا أستمر المناخ في البرود شيئاً فشيئاً كما هو الحال عند حلول العصر الجليدي مثلاً ، فإن القدرة على مقاومة البرد ستكون لها أهميتها الانتخابية لمجاميع تتميز عن أسلافها . حيث تتمكن مثل هذه المجاميع مع المعيشة والتكاثر بينما تموت المجاميع الأخرى التي لم تكتسب هذه القدرة على تحمل البرد . ولما كانت الاختلافات الجينية التي تحصل هي صفات موروثة فإن جميع المجاميع التي تعيش تحت الظروف الجديدة وأنسالها ستمتلك هذه الصفة المميزة لها .

ويطلق على هذه العملية عملية الانتخاب الطبيعي (Natural Selection) والجدير بالذكر أن كثيراً من التغييرات الجينية الحاصلة ليست نافعة للكائن الحي ، حيث تؤدي إلى عدم التكيف وفي الحقيقة أن بعضها قاتل للكائنات التي تحصل فيها . ولكن قليلاً من هذه التغييرات قد تكون نافعة . ولما كانت الكائنات الحية المتميزة بقدرة أكبر على التكيف مع ظروف البيئة تكون عادة قادرة على البقاء حية حتى تصل إلى مرحلة التكاثر فإن مثل هذه الكائنات التي تحصل فيها طفرات نافعة تساهم مساهمة كبيرة في تكوين الأجيال القادمة . وبهذا فمثل هذه الكائنات تفوق تدريجياً ما ينافسها من الكائنات التي لم تحصل بها طفرات نافعة حتى يأتي الوقت الذي يتغير فيه النوع نفسه . لقد ذكرنا أن على الكائن الحي أن يكون قادراً على الاستجابة للبيئة المتغيرة التي تحيط به حتى يمكن له أن يبقى حياً . فإن على

---

* المقصود هنا أن أحداث هذه الاختلافات البسيطة المهمة في التنوع واستمرارية النوع لا دخل للكائن الحي في كنهها ومدى حدوثها في الطبيعة والخضوع لعامل الصدفة أمر نسبي فالواقع أن كل تغيير حاصل في هذا الكون يقع تحت قدرة الخالق المنظم (المترجم).

النوع والفرد معاً أن يكونا متميزين بقدرتهما على الاستجابة للتغيرات طويلة المـــدى التـــي تتحصل في البيئة . ويتم ذلك عن طريق التنوع والانتخاب.

أن تجمع مثل هذه التغيرات الحاصلة هو القوة الدافعـــة وراء عملـــية التطـــور

الشكل (١-١): آدم يستلم وميض الحياة من جيهوفا (صورة للوحة مرسومة على سقف كنيسة سيستين بيد ميخائيل أنجلو)

(Evolution) وكثيراً ما يشار إلى أن عملية التطور بحد ذاتها هي عملية محافظة أساساً . ويعني هذا أن عملية التطور تحصل لأنها تمكن الكائن الحي من التكيف لتغييرات غير مناسبة وليس نتيجة رغبة جامحة خفية في نوع الكائن الحي بقصد تغيير وتحويل ذاته أو الارتقاء بها . وبمعنى آخر أن التطور ليس بخطة أو نظام وليس له غاية أو هدف . أن التطور هو عملية طبيعية تخضع لقوانين طبيعية وتحدد الظروف الحالية لا الأهداف المستقبلة اتجاه هذه العملية .

أصل الحياة The Origin life

تضطرنا نظرية التطور لأن نرى الحياة على الأرض الآن كمحصلة لطرائق لا حصر لها مكنت الكائنات الحية من أن تعيش وتتغير تبعاً لبيئاتها المتغيرة . فالتغير إذن هو أساس الحياة . وليست الحياة إذن غير قابلة للتغير شأنها شأن الجاذبية الأرضية أو الكتلة وإنما هي عملية . ولكن كيف بدأت هذه العملية؟ وهل كانت لها بداية حقاً؟ أن النظرة التطورية للحياة تستوجب علينا أن نعود ونقتفي أثر الحياة بالعودة على الوراء بحثاً عن البداية . ولهذا فإن دراسة ماهية الحياة ، ؤدي بنا إلى البحث عن أصلها . هذا هو المنهج الرئيس الآخر لمعرفة مظاهر الحياة إلا وهو المنهج الوراثي أو الجيني .

فإذا عرفنا كيف بدأت الحياة فإننا سنفهم ما هي الحياة .

النظريات القديمة Early theories

ليست مهمة البحث عن أصل الحياة بالشيء الجديد وإنما شغلت ذهن الإنسان منذ فجر التاريخ . لقد فكر الناس على اختلاف ثقافاتهم وحضاراتهم في هذا السؤال المحير الغامض . وسنرى كيف أن النظرية السائدة الآن ليست بالجديدة وإنما هي بعث لفكرة قديمة جداً .

أن قصص الحلق التي جاءت الينا عن طريق المعتقدات المختلفة تتضمن عادة تدخلاً ألهياً في هذا الأمر ، فالأشياء الحية كالبشر والحيوانات والنباتات خلقت من مواد غير حية كالصخور والبحار والأرض ذاتها عن طريق الآلهة أو أله واحد .

وأن قصة الخلق كما هي في الديانتين المسيحية واليهودية (كما هي مذكورة في سفر التكوين) هي مثال جميل معروف لدى الكثيرين .

نظرية الخلق التلقائي Spontanous Generation

برز الفكر اليوناني من خلال طرق أخرى ، فقد كان اناكسيماندر (Anazimander) الفيلسوف اليوناني الذي عاش في عهد ما قبل سقراط (حوالي عام ٦٠٠ قبل الميلاد) ، أول من اقتراح نظاماً آليا بحتا للخلق . فقد ذكر أن الحيوانات تخرج من الرطوبة وأن البشر قد ولدوا أساساً من الأسماك . ومضت عدة مئات من السنين بعد ذلك حيث جاء أرسطوطاليس (Aristoltle) ليهذب فكرة أناكسيماندر ويجعل منها ما يسمى بنظرية الخلق التلقائي التي تقول بأن الحياة تظهر باستمرار من أشياء غير حية . واسناداً إلى المركز الذي كان يتمتع به أرسطو طاليس فقد اكتسبت هذه النظرية موافقة فلاسفة الرومان فلاسفة الافلاطونية المحدثة وبالتالي رجال الكنيسة الأوائل . ولا بد أن نظرية الخلق التلقائي هي إحدى النظريات العلمية التي بقيت مقبولة لمدة طويلة جداً حيث سادت هذه الفكرة لا يعارضها إل القليلون جداً لمدة تزيد على ٢٠٠٠ سنة ، أي أنها بقيت سائدة بعد قرن من الزمان أو يزيد على . هاية نظرية أخرى عاصرتها وهي النظرية البلطيموسية القائلة بأن الرض هي مركز الكون الثابت .

طرأ على نظرية الخلق التلقائي بعض التشكك اثناء عهد النهضة ولكن لم يكن لدى الذين تشككوا في صحتها دلائل علمية تساند تشككهم . ففي قصة انطونيو وكليوبترا مثلاً ، يورد شكسبير هذه السطور للبيدو الروماني (Roman Lepidus) الذي لم يكن متنبهاً تماماً لما قيل عندئذ "أن ثعبان مصر يتناسل الآن من الطين بواسطة الشمس وهكذا هو الحال بالنسبة للتمساح" فمن سياق الموقف يمكن أن نستنتج أن شكسبير كان يستخف بمعتقدات لبيدو

ولكن ربما أن كثيراً من الذين سمعوا شكسبير قد أخذوا المعنى السطحي للسطور التي كتبها حيث نجد أن هناك بعض الطبيعيين الذين بقوا حتى القرن السابع عشر ينشـــرون وصـــفات مختلفة لكيفية إنتاج الحيوانات المختلفة من مواد غير حية . فيقولون مثلاً أنه يمكـــن خلـــق الفئران عن طريق ترك قميص وسخ في وعاء به نخالة لمدة ثلاثة أسابيع .

لم يحاول أحد ان يقوم باختبار علمي للتأكد من صحة نظرية الخلق التلقائي حتى عـــام ١٦٦٨ . ففي تلك السنة قام الطبيب الأيطالي فرانسيس ريدي (Francisco Redi) بـــأول سلسلة من التجارب البسيطة التي تعتبر بداية لنهاية هذه الفكرة القديمة التي بقيت سائدة مـــا يزيد على الفي العام . ولقد وضع ريدي قطع لحم نيئة في عدة دوارق وغطى أفواه بعـــض الدوراق بقطع من القطن ترك بعضها مفتوحاً ، ووجد بعد ذلك أن اللحم المتعفن في الدوراق المفتوحة قد ا متلأ بيرقات الذباب كما كان متوقعاً . أما القطع الموجودة في الدوارق المغلقة فقد كانت خالية من هذه اليرقات .

ولقد شاهد ريدي الذباب يحط على قطع اللحم الموجودة في الدوارق المكشوفة وشاهد الذباب يحط على قطع القطن التي اغلقت بها الدوارق كذلك وقد لاحظ أيضاً أن اليرقـــات لا تاتي من قطع اللحم نفسها وإنما من البيوض التي يضعها الذباب على اللحـــم أول الأمـــر . وبهذا يتضح أن الحياة تأتي من حياة سابقة لها وليس من مواد غير حية . ولكن لـــم يـــرد ريدي ان يدلي باستنتاجاته هذه بسرعة وقد كان مصيباً في ذلك . فقد كانت الأدلة التجريبية المؤكد لصحة هذا التعميم الجوهري الفخم ناقصة .

وبالإضافة إلى ما سبق فإنه عندما كان ريدي يقوم بدراساته كانت المسألة برمتها قـــد اتخذت بعداً جديداً– فبعد قيام ريـــدي أولـــى تجاربـــه بســـت ســـنوات اكتشـــف ليفنهـــوك (Leeuwenhoek) عالماً جديداً هو عالم الكائنات الدقيقة المحتوي على بلايين من الكائنات الدقيقة جداً . وقد زاد هذا الاكتشاف موضوع الخلق التلقائي تعقيداً وأدى إلى تأخير البت فيه ما يقرب من ثلاثة قرون حيث بقي الأمر حتى العقد السادس من القرن التاسع عشر عنـــدما أكمل باستير ما كان بدأه ريدي . ففندت نظرية الخلق التلقائي في عالم الأحياء الدقيقة وفي غيرها .

نظرية أصل الحياة من الفضاء الخارجي Panspermia

ما أن انتهت نظرية الخلق التلقائي حتى بدأ بعض العلماء يتقبلون فكرة تدخل ألهي مباشر لبدء الحياة على الأرض وبدأ آخرون بالبحث عن تفسيرات أخرى لبدء الحياة . واقترح البعض نظرية بديلة تقول أن الحياة كانت دائمة الوجود وأن أصل الحياة هو سؤال لا يمكن الإجابة عنه كما هو الحال في أصل المادة . ولكن معظم العلماء أحسوا أن هذا الأمر يدل على عدم القدرة على مجابهة هذا السؤال . هذا بالإضافة على أنه في اواخر القرن التاسع بدأ الجيولوجيون والفلكيون يجمعون دلائل كثيرة تشير على أن الأرض لم تكن ملائمة للحياة في جميع العصور التي مرت عليها . فقد عادت بنا سجلات الحفريات إلى أزمان قديمة جداً لا تظهر فيها أي بقايا للأشياء الحية . وفي الحقيقة أن هناك دلائل قوية تشير على أن الأرض كانت في عهد ما كتلة منصهرة لا تسمح بوجود أي حياة فيها .

وإذا سلمنا بأن الأرض لم تكن دائماً مناسبة لوجود حياة عليها فربما أن الحياة قد وجدت على أجزاء أخرى في هذا الكون وأنها قد جاءت إلى الأرض منذ عهد قديم من مكان آخر في هذا الكون . وقد اثارت النظرية القائلة بأن أصل الحياة من الفضاء الخارجي Panspermia of cosmozoa هذه اهتماماً كبيراً في بداية هذا القرن . فقد ا قترح الكيمائي السويدي سفانت ارهينيوس (Svante Arrhenius) أنه من الممكن أن تكون قد انتقلت وحدات شبه جرثومية من كوكب آخر عن طريق الضغط الاشعاعي . ويفترض أن مثل هذه الجراثيم تتميز بتحملها الكافي للمعيشة في ظروف صعبة كالتفريغ الحيزي والاشعاعات القوية والتغييرات الحرارية الكبيرة والمفائجة أثناء رحلتها من كوكب إلى آخر . ومع أن باحثي هذه الأيام يتشككون في هذه الإمكانية : إلا أنه لا يمكن أن نستبعد هذه النظرية كلياً ، مع أنه لا يوجد إلا القليل من العلماء الذين يؤيدونها . وهناك تحوير لنظرية الحياة من الفضاء الخارجي بعد أن تأثرت كثيراً بقصص الخيال العلمية وبدخول عصر الفضاء يقول بأنه من الممكن أن هناك كائنات متقدمة موجودة في عالم آخر كانت قد زرعت بذرة الحياة بهذه الطريقة عن قصد أو عن غير قصد من هذه الكائنات المتقدمة . والجدير بالذكر أنه لا يوجد أي دليل على صحة هذه النظرية ولكن بالمثل لا يوجد أي دليل ينقضها ، انها مجرد تخمين لا أكثر ولا أقل .

النظرية الحديثة The modern theory

يثير العلماء الآن نظرية جديدة لأصل الحياة لا يزيد عمرها في صورتها الحالية عن نصف قرن مع أن جذورها تعود على ما يقار من ٢٥٠٠ سنة . أنها تمثل بعثاً لنظرية

الخلق التلقائي ولكن ليس من ناحية أنها عملية مستمرة قادرة على إنتاج كائنات حية يمكنها أن تعمر الأرض الآن ولكن كظاهرة كانت ممكنة تحت الظروف الخاصة التي كانت تميز كوكبنا منذ حوالي (٤) بلايين سنة (البليون= ١٠٠٠ مليون).

نظرية اوبارين وهولدين The Oparin-Haldane Theory

فكر عدد من العلماء الطبيعيين الذين عاشوا في القرن التاسع عشر من أمثال داروين وهكسلي وتندال بإمكانية كون الحياة نتاجاً نهائياً لسلسلة من التفاعلات الكيمائية التي حصلت على الأرض البدائية . ففي رسالة إلى أحد أصدقائه وصف داروين إمكانية "تكوين مركب بروتيني بطريقة كيميائية في إحدى البرك الصغيرة الدافئة التي كانت تتميز بوجود الأمونيا وأملاح الفوسفور والضوء والحرارة والشحنات الكهربائية .. الخ . وكيف أنه أمكن لهذا المركب البروتيني المتكون أن تطرأ عليه تغيرات أخرى أكثر تعقيداً" . ولكن داروين نفسه كان قد فكر أن مثل هذه التخمينات أو الفرضيات غير ناضجة بعد . هذا بالإضافة على أن مثل هذه الأفكار لم تكن مقبولة عندئذ وكانت ستلاقي معارضة شديدة من المجتمعين الديني والعلمي لأنها تتعارض مع قصة الخلق الإلهي الموجودة في الأنجيل من جهة ، ولأنها تبدو وكأنها بعث لفكرة الخلق التلقائي التي فندها باستير بقوة وتصميم من جهة أخرى . ونتيجة لذلك فقد قل الحديث عن كيفية بدء الحياة وخصوصاً في الأماكن العامة .

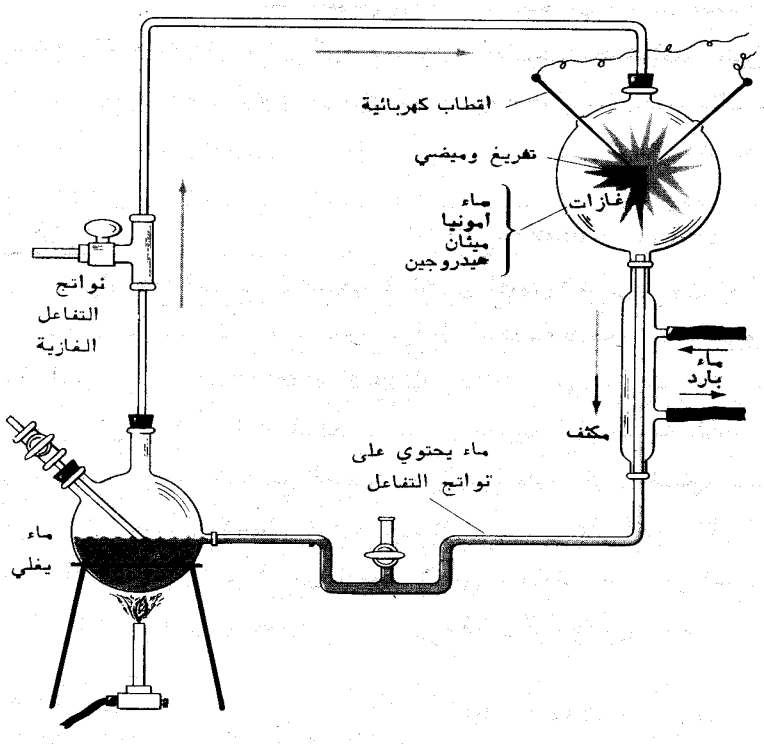
ولكن وفي عام ١٩٢٤ نشر العالم ا لبيوكيماوي الروسي الكسندر أوبارين (Alexander Oparin) نظرية عن أصل الحياة أدت إلى إثارة كثير من التفكير عند العلماء حول هذا السؤال . والحقيقة أن دراسة أوبارين الأصلية المتمثلة في رسالة مختصرة بين فيها أفكاره ، لم تترجم من الروسية قط ولم تثر انتباه العلماء في البداية . وكذلك لم تثر الأفكار التي توصل إليها العالم البيوكيماوي الإنجليزي هولدين (J.B.S Haldane) مستقلاً والتي نشرها بعد عدة سنوات اهتمام المجتمع العلمي آنذاك . ولكن في عام ١٩٣٦ كتب أوبارين رسالة مفصلة عن نظريته . وقد ترجم هذا الكتاب الثاني إلى الإنجليزية بعد عامين ومنذ ذلك التاريخ وحتى الآن نجد لأفكار أوبارين وهولدين اثراً كبيراً في التفكير البيولوجي .

لقد اقترح اوبارين أن الأشياء الحية قد نشأت عن طريق التطور الكيماوي ، فمن العناصر والمركبات البسيطة التي كانت موجودة في الجو القديم للأرض وبحارها تكونت

جزئيات أكبر ثم تبع ذلك تجميع لمركبات أكثر تعقيداً . وفي النهاية ظهرت وحدة كيميائية كانت قادرة على تكوين وحدات مثلها . وهكذا بدأت الحياة أن المفتاح الأساسي في نظرية أوبارين أن العملية برمتها قد حصلت تبعاً للقونين الفيزيائية إذ لا تفترض النظرية أن هناك عملاً خاصاً بالخلق أو قوة عامضة وراءه . ففي رأي أوبارين أنه "لا يوجد فرق أساسي بين الكائن الحي والمادة التي لا حياة فيها . وأن المجموعة المعقدة للظواهر والخصائص المميزة للحياة لا بد أنها قد ظهرت عن طريق عملية تطور المادة".

تجربة ميلر Millller's Experiment

كان العلماء في البداية يعارضون فكرة إمكانية تكوين الجزيئات العضوية كالسكريات والأحماض الامينية تلقائياً في محيطات الأرض البدائية . فقد كان تكوين مثل هذه الجزيئات صعباً جداً حتى تحت ظروف مخبرة مقننة . وأن كثيراً من المواد الضرورية للحياة لم تنتج في أنبوبة اختبار قط . ولم تساند نظرية أوبارين تجريباً إلا في عام ١٩٥٣ عندما قام ستانلي ميلر (Stanley Miller) بتجربته المشهورة المعروفة باسمه . وقد قام ميلر بتلك التجربة عندما كان طالب دراسات عليا تحت إشراف العالم الكيميائي المشهور هارولد يوري (Harold Urey). ولتكوين جو مشابه للجو البدائية للأرض مرر ميلر مزيجاً من الهيدروجين والأمونيا والميثان وبخار الماء على شرارة ناتجة عن التفريغ الكهربائي التي تمثل البرق.



الشكل (١ ــ ٢) : الجهاز الذي استخدمه ستانلي ميلر ليمثل بيئة الارض البدائية فالغازات المستخدمة هي التي يعتقد أنها كانت سائدة في الجو القديم لكوكبنا ــ وبعد أمرار هذه الغازات على تفريغ وميضي لمدة اسبوع وجد أن السائل المتكثف يحتوي على أكثر من (٢٠) مركبا عضويا من ضمنها عدد من الاحماض الامينية .

وبعد أسبوع حلل ميلر الماء المتجمع في مكثف الجهاز الذي استخدمه للتأكد من تكـون أي مركبات عضوية . وقد فات النتيجة التي حصل عليها ميلر توقعاته . فقد وجـد أن هنـاك حوالي (٢٤) مركباً مختلفاً من ضمنها البولينا وحامض اللبن وأربعة انواع مـن الأحمـاض الأمينية وعدد من المواد الأخرى المهمة في كيمياء الكائنات الحية . لقد كان وجود أحماض أمينية مهماً بكشل خاص لأنها هي اللبنات التي تتكون منها المواد البروتينيـة التـي هـي بدورها الجزيئات الأساسية التي تميز الحياة .

لقد خلقت تجربة ميلر جواً من الإثارة في المجتمع العلمي ومنذ عام ١٩٥٣ قام عـدد كبير من الباحثين بتجارب مشابهة فاستخدمت مجاميع أخرى من الغازات ومصـادر طاقـة مختلفة مثل الاشعاعات الفوق بنفسجية التي كانت سائدة أثناء العهود الأولى لكوكب الأرض . وقد نتج عن هذه الجارب كثير من المواد الكيمائية الأساسية للحياة من مثل الادنيوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) وهو المركب الذي تستخدمه جميع الكائنات الحية لتخزين الطاقة الناتجـة عن التمثيل الغذائي . ومن خلال النتائج المشجعة يبدو وكأن الوصف الذي اعطاه هولـدين لمميزات محيطات الأرض البدائية بأنها تتكون من جزيئات عضوية على شكل حساء ساخن مخفف كان وصفاً دقيقاً.

نشوء الحياة The development of life

ولكن كيف أولد هذا الحساء كائناً حياً؟ أنه من الممكن أننا لن نتمكن أبداً من الإجابـة عن هذا السؤال بشكل مؤكد . فإن المراحل المتقدمة للتطور الكيميائي وهو التطور ما قبـل البيولوجي (Prebiological evolution) هي افتراضية إلى حد كبير ، ولكن تبقى المرحلة الانتقالية الممثلة في تحويل الجزيئات العضوية الكبيرة والمعقدة إلى وحدات حية غامضة مع العلم بأن قليلاً من علماء اليوم يشكون في إمكانية حدوثها . ولو حصل اكتشاف الحياة فـي مكان آخر من هذا الكون فإن ذلك سيساعد بلا شك على فهم الحياة على كوكـب الأرض . ولكننا نستطيع القول أنقصة الحياة لا زالت باقية ضمن حدود الحدس والتخمين لا الحقـائق المثبتة .

الأرض البدائية The Primitive Earth

نستطيع من خلال معلوماتنا القليلة أن نحدد عمر الأرض بحوالي ٤,٦ بليون سـنة . وقد تكثفت كواكب مجموعتنا الشمسية من سحابة غبار وغاز كثيفة كانت قد انفصـلت عـن

الشمس عندما كانت حديثة التكوين . ويعتقد أن الانفصال قد تم عن طريق النمو العشوائي والانجذاب الأرضي للدقائق . وقد تولدت كميات هائلة من الحرارة أثناء وبعد تكوين الأرض مباشرة . ويعود ذلك إلى تصادم الدقائق بعضها مع بعض إذ حملت الأرض معها دقائق أكثر فأكثر وبعد انفصالها ، وعلى الضغط الناتج عن انجذاب الكتلة الأرضية ، وإلى التحلل الاشعاعي لبعض النظائر غير الثابتة . وكانت درجة الحرارة الناتجة كافية لإذابة كثير من المواد المكونة لها وبهذا فقد هبطت العناصر الثقيلة على مركز الكتلة الأرضية الذي يتكون أساساً من النيكل والحديد والذي يحتمل أنه لاز ال معظمه بشكل سائل . ويحيط بهذا المركز غلاف أقل كثافة وشبه منصهر يتكون من معادن السيليكات الثقيلة . كما تحيط بهذه الغلاف قشرة رقيقة تتركب من صخور سيليكية خفيفة . وهذه هي القشرة التي تكون الأرض التي نسير عليها بأقدامنا والتي تتكون من الصخور والتربة والجبال والوديان ، ولا بد أن الأزمان الأولى في تاريخ كوكبنا قد شهدت نشاطاً بركانياً شديداً في أنحاء مختلفة من الأرض .

أن كثيراً من غازات الجو الأساسي للأرض وأهمها الهيدروجين والهيليوم والغازات الضوئية التي كانت تكون معظم السحابة البدائية قد تسربت في الفضاء الفارغ عندما تكونت الأرض . ولكن بمرور الوقت استبدلت هذه الغازات بغازات أخرى طردت من أجزاء الأرض الداخلية الساخنة . ولا بد أن تركيب الجو البدائي قد كان مختلفاً كلياً عن تركيب الجو الحالي الذي نتنفسه . فجونا الحالي هو مؤكسد لأنه يحتوي على غازي الأكسجين والنيتروجين بشكل حر ويحتوي على أكسيد الهيدروجين (الماء) كما يحتوي على كميات قليلة من الكربون على شكل ثاني أكسيد الكربون . ولكن لا بد أن الجو البدائي للأرض كان جواً مختزلاً مكوناً من الهيدروجين وغاز الميثان (CH_4) والأمونيا (NH_3) وبخاء الماء وقلة من الأكسجين الحر وربما لم يكن هناك أي أكسجين أبداً . وهذه النقطة مهمة جداً من وجهة نظر نظرية التطور الكيمائية لاورابرين وهولدين . وذلك لأنه لو وجد الأكسجين الحر في الجو البدائي للأرض لأكسد المركبات العضوية المكونة لأساس الحياة ولأدي ذلك إلى تلفها وتحطممها ولما تكونت هذه المركبات أبداً.

والجدير بالذكر أنه حسب نظرية أوبارين وهولدين لا يحدث التخليق الكيميائي عشوائياً فلا بد من وجو مصدر خارجي للطاقة وقد كانت هناك مصادر كثيرة لمثل هذه الطاقة على الأرض البدائية . فبدون وجود الأكسجين عندئذ لم تكن الطبقة الحافظة للأوزون (O_3)

الموجودة الآن في جونا والتي تمتص معظم الاشعاع الفوق بنفسجي الآتي من الشمس حالياً ، موجودة في الجو البدائي للأرض . وبهذا فقد كان يغطي سطح الأرض كثير من الأشعاع الفوق البنفسجي الذي يحتوي على طاقة ضخمة . هذا بالإضافة إلى أنه لا بد وأن النظائر المشعة والبراكين الثائرة قد انتجت كميات هائلة من الحرارة في أماكن مختلفة من سطح الأرض . ولا بد أن هذه الحرارة الهائلة قد أدت إلى زيادة سرعة دورات التبخر والتكثيف لبخار الماء الناتج ، الأمر الذي أدى إلى نزول كميات كبيرة من الأمطار وإلى حدوث زوابع برق كهربائية قوية . وكما أثبتت تجربة ميلر ، يمكن تكوين مجموعة كبيرة من المركبات العضوية تحت مثل هذه الظروف الأمر الذي يجعل حدوث مثل ذلك في محيطات الأرض البدائية شيئاً قريباً للتأكيد .

التطور الكيمائية Chemical Evolution

بعد أن وجدت الجزيئات العضوية بكميات ونوعيات كافية أصبح الأمر متروكاً للظروف والزمن لتحديد مدى ما يمكن أن يتجمع من هذه الجزيئات لتكوين جزيئات أكبر منها كالسكريات والدهون والبروتينات والأحماض النووية وهي الجزيئات الضرورية للحياة . ويعتقد بعض العلماء أن مجرد الصدفة في التقاء هذه الجزيئات الصغيرة الموجودة في الحساء العضوي (Organic Soup) ربما أدى إلى تكوين الجزيئات الكبيرة . ولكن البعض الآخر قد سهلت هذه المهمة . فقد اقترح بعضهم أنه من الممكن أنه قد حصل تركيز "للحساء" بواسطة تبخر الماء من البرك وأن الضوء أو الحرارة قد أسرعت في عملية التبخر هذه وفي العمل كمصدر للطاقة اللازمة لعملية البلمرة (Polymerization) وهي عملية اتصال الجزيئات الصغيرى معاً لتكوين سلاسل طويلة من البروتينات أو الأحماض النووية . وربما كانت هناك طريقة أخرى لتجميع الجزيئات الصغيرة بشكل جزيئات أكبر أو لم تكن فإن العالم الأساسي هو عامل الزمن المقدر بمئات الملايين من السنين . وكثيراً ما يردد العلماء كلمات جورج وولد (George Wald) وهو عالم حياة فاز بجائزة نوبل حيث يقول "أن مثل هذا الزمن الطويل يجعل المستحيل ممكناً والممكن محتملاً والمحتمل مؤكداً".

ولكن لو افترضنا أن جميع الجزيئات اللازمة لأحداث الحياة قد تكونت فعلاً بهذه الطريقة فإننا لا زلنا بعيدين عن مرحلة تكوين الكائن الحي- فالكائن الحي ليس مجرد مجموعة من الجزيئات . فبدون أي تنظيم لهذه الجزيئات بشكل ما لا يمكن للحياة كما نعرفها أن تتكون ويختلف العلماء في آرائهم المتعلقة بالخطوة التالية في سلم التطور الكيميائي ،

حيث يعتقد بعضهم أن أول شيء دخل في الحد الفاصل بين الحياة واللاحياة ربما كان جزيئاً كبيراً (Macromolecule) (ومن المحتمل أنه كان حامضاً نووياً) وأنه كان لهذا الجزيء الكبير قدرة على تكوين نفسه . ومثل هذه الجزيئات التي قد لا تختلف عن الفيروسات المعروفة الآن تشبه الجينات العارية (naked genes) حيث أن الشيفرات لا تنقل أي شيء عدا تراكيبها الذاتية . وبمرور الوقت ، ربما طورت هذه الجزيئات قدرتها على بناء تراكيب معقدة حولها لزيادة الفرصة أمامها للبقاء .

ولكن بعض العلماء يفضلون أن يتصوروا تسلسلاً آخر للأحداث التي أدت إلى تكوين الكائنات الحية ، حيث يفترضون وجود وحدات كيميائية وسطية استبقت تكوين أي نظام وراثي حقيق . فقد اكتشف الباحثون أنه يمكن تحت ظروف خاصة أن تنظيم الجزيئات الكبيرة نفسها تلقائياً لتكوين تراكيب تظهر كثيراً من مميزات النظم الحية مع أنها (أي التراكيب) ليست حية بحد ذاتها . وتكون القطيرات التجميعية (Coacervate droplets) مثالاً على مثل هذه التراكيب كما تعتبر الكريات البروتينية الدقيقة الشبيهة بالبروتين Proteinoid microspheres مثالاً آخر على هذه التراكيب . ومع أن هاتين المجموعتين مختلفتان كميائياً إلا أن لهما مميزات أساسية مشتركة ، حيث أن لهما القدرة على النمو على حساب الوسط السائل المحيط بهما وأن لكل منهما طريقة في التزايد الظاهري . فيمكن تفتيت القطيرات التجميعية إلى وحدات صغيرة تحتفظ بتكاملها وتنمو هذه الوحدات بدروها إلى تجميعات أكبر ، أما الكريات البروتينودية فإنها تكون براعم تشبه تلك التي تتميز بها خلايا الخميرة .

وأهم من ذلك أن كلتيهما تكون حولها ما يشبه الغشاء الذي يسمح بامتصاص وتركيز المواد الكيميائية بطريقة انتقائية من الوسط المحيط . وقد وصفت مثل هذه التراكيب بأنها إغلفة للتفاعلات الكيميائية بمعنى أنه لو احتوت هذه التراكيب على الانزيمات الخاصة فإنها تعمل كمصانع كيميائية دقيقة قادرة على امتصاص مواد معينة من الوسط المحيط . وعلى القيام بمختلف التفاعلات الكيميائية في داخلها وعلى التخلص من نواتج التفاعلات إلى الوسط السائل . ومن الواضح أن القدرة على القيام بمثل هذه التفاعلات والمهمات هو خطوة أساسية نحو عملية التمثيل الحقيقية .

التطول البيولوجي Biological Evolution

بغض النظر عن التسلسل الحقيقي للمراحل التي ناقشناها آنفاً ، فإنه يبدو أن هناك نقطة واحدة غير قابلة للجدل ، إلا وهي أن الخطوة الأساسية نحو الحياة قد كانت اكتساب وحدة كيميائية أياً كانت (جزيئاً كبيراً أو قطيرة تجميعية أو كرية بروتينودية صغيرة) القدرة على التكاثر .

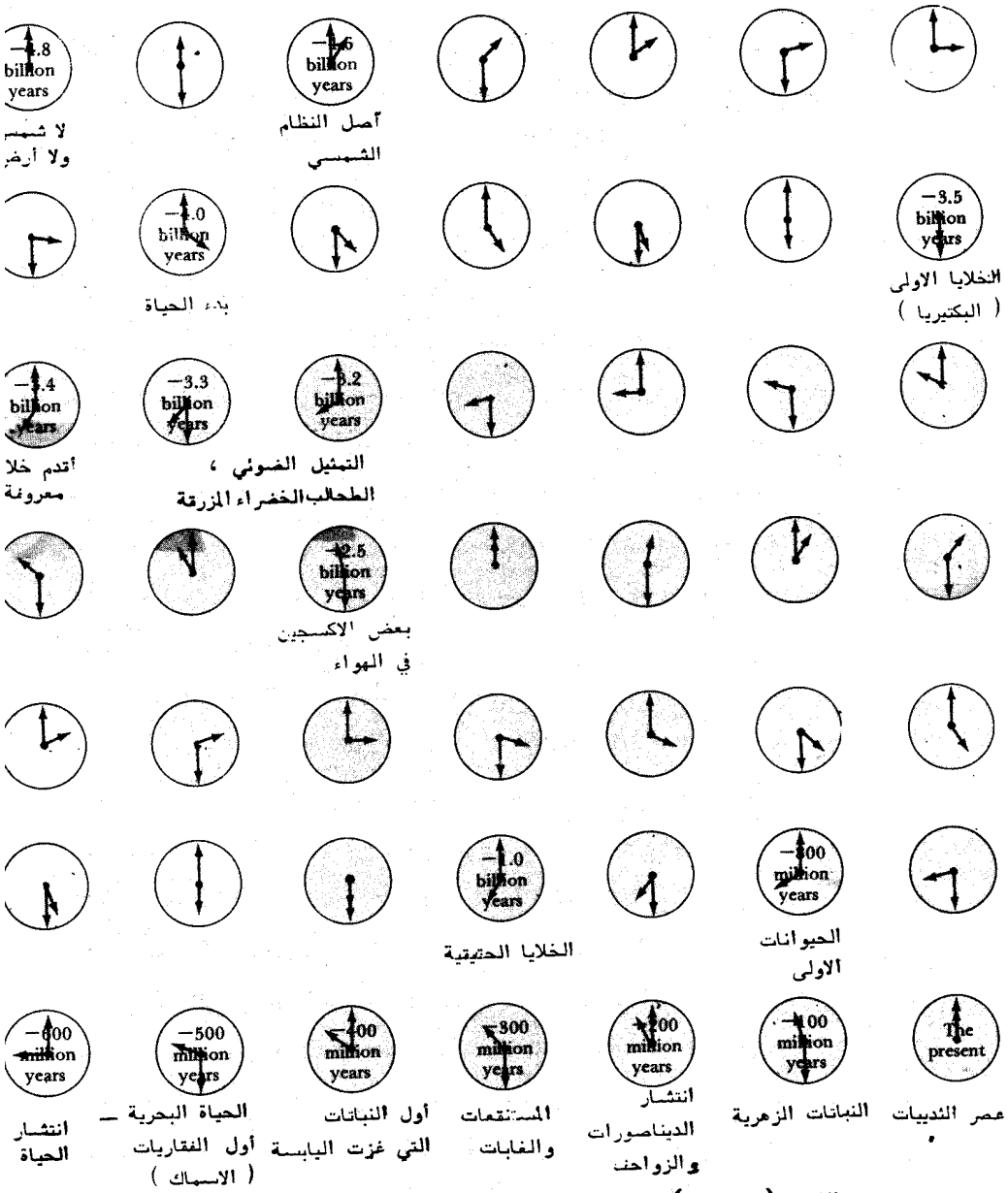
ومن المحتمل أن مثل هذه القدرة قد اكتسبت منذ ٣,٥-٤ بلايين سنة . فعند تكوين كائنات بدائية قادرة على التكاثر باعداد كافية بدأ التنازع من أجل البقاء واستمر إلى يومنا هذا ولا بد أن التنافس من أجل الغذاء قد كان عاملاً جوهرياً في هذا النزاع . أن افتراض أن محيطات الأرض البدائية قد كانت غنية بمختلفة المركبات العضوية أمر ضرورية لا لتفسير كيفية تكوين الكائنات الحية البسيطة فحسب ولكن لتفسير كيفية بقائها بعد ذلك أيضاً . وذلك أنه يعتقد أن الكائنات الحية الأولى قد كانت غير ذاتية التغذية أو عضوية التغذية (Heterotrophic) ويعني هذا أن هذه الكائنات الحية قد حصلت على الطاقة اللازمة لها من تفتيت المركبات العضوية الكبيرة التي لم تكن بوسعها أن تخلقها والتي كان لا بد أن تجدها جاهزة في البيئة التي تعيش فيها . ولا بد أن الحياة قد اعتمدت على وجود هذه المركبات باستمرار جاهزة للاستعمال .

ولكن وبازدياد أعداد الكائنات الحية لم يعد هناك تناسب بين سرعة تكوين المركبات العضوية في البيئة وبين مدى الحاجة الزائدة لها ولم يمض زمن طويل قبل أن تنضب بعض المواد الأساسية اللازمة للحياة . تحت مثل هذه الظروف ، يؤيد الانتخاب الطبيعي أي كائن حي يتميز بالقدرة على تكوين أي أنزيم يعمل كعامل مساعد لتكوين مركب هام ولنسمه (س) من مادة أكثر شيوعاً ولنسمها (ص) . وعندما بدأت كميات المادة (ص) تتضاءل أصبحت قدرة أي كائن حي على تكون المادة (ص) . وبسلسلة من مثل هذه الخطوات نستطيع تصور كائن حي قد تطور نهائياً بحيث يستطيع تخليق كل شيء ضرورية لعمليات التمثيل من أبسط المركبات الموجودة في بيئته كالامونيا وثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان والماء . ويوصف مثل هذا الكائن بأنه ذاتي التغذية (Autotroph).

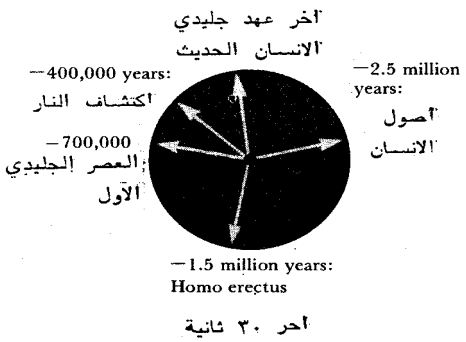
أن بعض الكائنات ذاتية التغذية قادرة على إنتاج الطاقة اللازمة لتخليق المواد العضوية من خلال تفاعلات كيميائية غير عضوية بسيطة . ولكن بمرور الوقت تطورت عملية التمثيل الضوئي الأكثر فاعلية في الإنتاج . وتمثل عملية التمثيل الضوئي طريقة في

استعمال اشعاع الشمس المرئي (وهو أكثر شيوعاً من الاشعاع الفوق البنفسجي إلا أنه تحت الظروف العادية أقل قدرة على أحداث تغييرات كيميائية) لتجهيز الطاقة اللازمة للنشاطات الحيوية . ومن المحتمل أن تكون عملية التمثيل الضوئي التي تستعملها نباتات اليوم والتي تساهم في اتمامها البلاسيتديات الخضراء تطوراً حديثاً حل محل العمليات الأكثر بساطة والأقل فعالية . ومع أن تفاصيل التفاعلات الحاصلة أثناء عملية التمثيل الضوئي التي تتم في عدة خطوات هي تفاصيل معقدة إلا أن خلاصة التفاعلات الإجمالية بسيطة حيث يتحد ثاني أكسيد الكربون مع الماء لتكوين الجلوكوز والأكسجين الحر . ويمكن تفتيت الجلوكوز الناتج من هذا التفاعل مرة ثانية فيما بعد وينتج عن ذلك طاقة يستخدمها الكائن الحي . كما يمكن طريقة أخرى أن تبنى من الجلوكوز جزيئات أكبر كجزيئات الانزيمات والأحماض النووية التي يحتاج الكائن الحي إليها لحفظ ذاته ولنموه ولتكاثره .

عندما بدأت الكائنات ذاتية التغذية ذات القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي تعمر سطح الأرض بازدياد بدأ حصول تغييرات جذرية للبيئة الأرضية أهمها اختفاء الجو الاختزالي والاشعاعات الفوق البنفسجية القوية وهذه هي التي لعبت دوراً أساسياً في تخليق المركبات العضوية الأولى كا أسلفنا . ولما كانت عملية التمثيل الضوئي مصحوبة بإنتاج غاز الأكسجين بشكل حر فقد تحول جو الأرض بمرور الوقت من مزيج الأمونيا والميثان وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء إلى تركيبه الجديد المكون من النيتروجين والأكسجين . وتكونت في الجو طبقة من الأوزون (O_3) وهي طبقة حافظة لسطح الأرض من أثر الاشعاعات فوق البنفسجية القاتلة . وبهذا أصبح بمقدور الكائنات الحية أن تبرز من أعماق المحيطات وأن تعيش في المياه الضحلة وعلى اليابسة . ويوجد الأكسجين في الجو أمكن ظهور عملية التنفس لأول مرة على سطح الأرض . وعملية التنفس هي العملية الكيميائية التي يحصل عن طريقها حرق المركبات العضوية كالجلوكوز لإنتاج الطاقة المخزونة فيها . أما قبل ظهور عملية التنفس فقد كان يمكن تفتيت مثل هذه المركبات جزئياً فقط بطريقة مشابهة لعملية التخمر . أن استرخاج هذا المصدر الجديد من الطاقة الكيميائية قد كان خطوة هامة في تكوين الأشكال الخلوية الحديثة للحياة . وبالطبع لم تحصل هذه التغييرات بسرعة حيث أن الكائنات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي قد ظهرت منذ ٣-٣,٥ مليون سنة ولكن انتشار أشكال الحياة الجديدة بعد ظهور الأكسجين الحر في الجو لم يبدأ إلا منذ



الشكل (١ — ٣) : تاريخ الارض. تظهر الـ ٤٫٨ مليون سنة الاخيرة ممثلة هنا بشكل يوم واحد مكون من ٢٤ ساعة . وبهذا التدريج الزمني تساوي كل نصف ساعة ١٠٠ مليون سنة . تكونت الشمس والنظام منذ حوالي ٤٫٨ مليون سنة . ولا بد أنه لم يكن للارض جو خلال أول مئات الملايين من السنين لانها كانت كتلة منصهرة عقيمة . لهذا لا يمكن لاي كائن حي أن يكون قد ظهر قبل اكثر من ٤ ملايين سنة . ويبلغ عمر أقدم الحفريات المعروفة والمشابهة لكائنات البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة حوالي ٣٫٦ بليون سنة ، ومن المحتمل أن أشكال الحياة هذه قد احتاجت الى مئات الملايين من السنين حتى تطورت من أصول أبسط منهـــا . وربما تكون الخلايا الاولى في قيامها بعملياتها الحيوية شبيهة ببكتيريا التعفن التي تعيش اليوم. ولكن بعد ذلك تمكنت هذه الخلايا من تطوير قابليتها على القيام بشيء من التمثيل الضوئي التي أدت الى تغيير طبيعة بيئة اليابسة وأصناف الاشياء الحية عليها .



تري الساعة الكبيرة على الجانب الاي السفلي اخر دقيقة من دقائق الساعة الراب والعشرين ، وهي كمثل فترة زمنية تقدر بحوا ٣ر٣ مليون سنة . ظهر الانسان خلال العم الجليدي الحديث منذ حوالي ٣٠ — ٥٠ أل سنة . وقد ابتكر الانسان الزراعة بعد العم الجليدي بوقت قصير اي حوالي عام ٨٠٠٠ ق. الميلاد (منذ ٢ر٠ ثانية تقريبا) . ويشغل جم التاريخ المسجل أقل من ١ر٠ ثانية على هذ الساعة .

بليون سنة تقريباً.

لقد استغرق تطور أولا الأنظمة الحية لتكون قادرة على القيام بعملية التمثيل الضـــوئي ما يزيد على نصف بليون سنة كما استغرقت عملية تغيير الظروف التي أدت إلى بدء الحياة بواسطة نشاطات التمثيل الضوئي ٢,٥ بليون سنة أخرى .

الخلية The Cell

من مآخذ المنهج الوظيفي لفهم الحياة أنه تجريدي إلى حد كبير لأنه يتركز علـــى مـــا تقوم به الأشياء إلى حد كبير – حيث لا نستطيع أن نعرف ماذا حصل بالتأكيد وإنما نضـــع احتمالات لما يمكن أن يكون قد حصل . والمنهج الثالث لفهم الحياة هو المـــنهج التركيبـــي الذي يسأل عن نماذج تركيب الأشياء الحية و تركيب نظمها بطريقة تســـاعد علـــى القيـــام بالوظائف الحيوية .

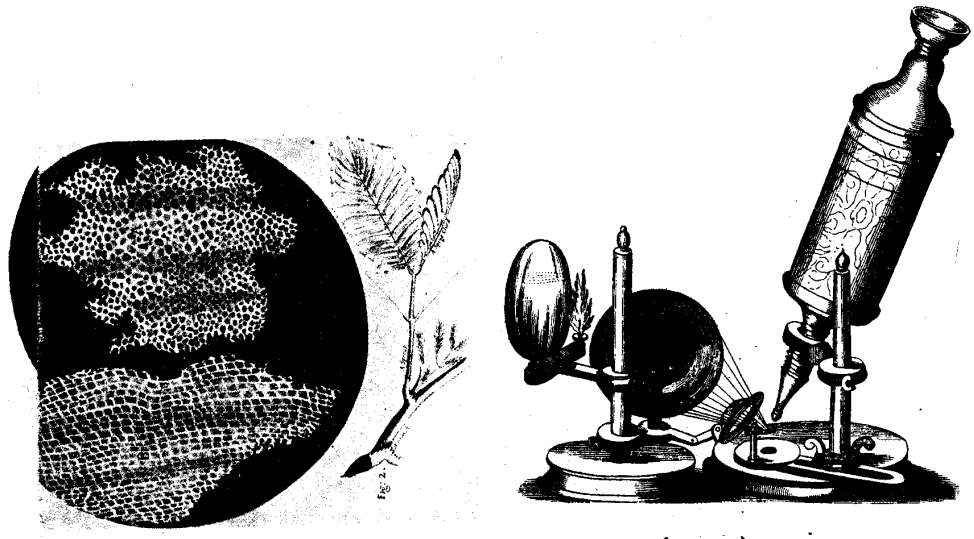
أن الجواب عن هذا السؤال سهل جداً . فلو اســـتثنينا الفيروســـيات وهـــي تتكـــون من مركبات شبه حية وتشغل الحيز بين ما هو عضوي وما هو غير عضوي يصعب دائماً

الشكل (١ — ٤) : يعتقد ان هـــذه الاشكال الحفرية هي بقايا الخلايـــا الاولى البدائية المشابهة للبكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة التي تعيش اليوم .
وتعود هذه الاشكال الى ما يقرب مـــن ٢ بليون سنة .

تصنيفها يمكن القول أن جميع الأشياء الحية تتكون من وحدات تركيبية ووظيفية تدعى الخلايا (Cells) والخلايا هي أصغر الوحدات التي تظهر فيها خواص الأشياء الحية وا لتي لها القدرة على القيام بجميع العمليات المميزة للحياة . فهي قادرة على استعمال المواد التي تأخذها من بيئتها وعلى الاستجابة للمؤثرات الخارجية وعلى النمو وأهم من ذلك أنها قادرة على أكثار نفسها . وفي الحقيقة أن أصغر الكائنات الحية (باستثناء الفيورسات) تتكون من خلايا منفردة .

اكتشاف الخلايا The Discovery of cells

لقد كان اكتشاف الخلايا نتيجة مباشرة لتطوير المجهر الذي تمل خلال القرن السابع عشر ففي عام ١٦٦٥ وصف العالم الإنجليزي روبرت هوك (Robert Hooke) (١٦٣٥-١٧٠٣) للجمعية الملكية وكانت حديثة التكوين عندئذ وحدات صغيرة منتظمة مستطيلة الشكل شاهدها في قطاع رقيق للفلين . وقد سمى هوك هذه التراكيب المفرغة خلايا لأنها تشبه الحجر الصغير التي كان يشغلها الرهبان عندئذ .



الشكل (١ ــ ٥) : مجهر روبرت هوك ورسوماته لخلايا الفلين وهو أول من شاهدها

الشكل (١-٥): مجهر روبرت هوك ورسوماته لخلايا الفلين وهو أول من شاهدها عام ١٦٦٥.

وقد أخذ العلماء أكثر من (١٥٠) سنة ليفهموا الأهمية الكاملة لاكتشاف هوك . ولكن في بداية القرن التاسع عشر عرف البيولوجيون أن الخلية هي الوحدة الأساسية التي تتركب منها جميع الأشياء الحية . وقد أعطيت هذه الفكرة صيغتها النهائية على يد عالمين المانيين

هما شيلدن (J.Schleiden) في عام ١٨٣٨ (للنباتات) وشفان (T.Schwann) في العام الذي تلاه (للحيوانات) . وفي عام ١٨٥٨ أضاف العالم الألماني فريخف (R.Virchow) نقطة أساسية لنظرية الخلية التي تقول أن جميع الخلايا تأتي من خلايا أخرت تسبقها في الوجود . وكان للتجارب التي قام بها باستير بعد هذا التاريخ بعدة سنوات أثر كبير في ترسيخ هذه النظرية .

تطور الخلايا The evoloution of cells

نستطيع من خلال ما ذكرناه عن أصل الحياة أن نتفهم شيئاً عن تطور الخلايا . وقد كانت الخطوة الأساسية في بروز الحياة الأولى هي تكوين غلاف سطحي يمكن تركيز المحاليل الكيميائية وضبط واتمام التفاعلات الكيميائية داخله . وهذا هو السبب الذي يجعل بعض الباحثين يعتقدون أنه من المحتمل أن القطيرات التجميعية أو الكريات الدقيقة قد لعبت دوراً أساسياً خلال المرحلة الانتقالية بين الوحدات غير الحية والوحدات الحية . أن أهم خاصية للخلية هي أنها نظام غشائي متطور جداً فهي عبارة عن وحدة محاطة بغشاء معقد التركيب يتميز بخاصية النفاذية الانتقائية . بدون مثل هذا الغشاء لا تستطيع الخلية الحفاظ على ضبط بيئتها الكيميائية الداخلية وبهذا لا تقدمر على القيام بعمليات التمثيل الضرورية لها.

أن ضرورة تبادل المواد من غذاء وأكسجين ومركبات إخراجية تالفة بين الخلايا والبيئة التي تعيش فيها يفرض حدوداً صارمة على جمها . فلو ضاعفت خلية من أبعادها الخطية فإن حجمها (وبالتالي حاجتها للغذاء والطاقة) يزداد (٨) أضعاف حجمها الأصلي بينما تزداد مساحة سطحها (وهو الغشاء الأساسي الذي تتم من خلاله جميع الارتباطات الحيوية مع البيئة الخارجية) أربعة أضعاف المساحة الأصلية فقط . وقد تطورت المجموعات الخلوية بشكل مستعمرات بسيطة في البداية تم بشكل كائنات معقدة التركيب تتميز بأجهزة دورية معقدة نتيجة لهذه الحدود المفروضة على حجم الخلايا . فمثل هذه التجمعات تؤمن للخلايا فوائد تتعلق بالثبات والفاعلية الناجمة عن ازدياد الحجم ومن ثم التخصص الوظيفي للخلايا دون أن تحصل أي زيادة على النسبة المحدودة بين السطح والحجم لكل خلية على حدة.

ملخص الفصل الأول

موضوع دراسة علم الأحياء (البيولوجيا) هو الحياة . ومع أن التعرف على الحياة أمر سهل إلا أن تعريفها صعب . وباستثناء الفيروسات التي هي وحدات حية تشغل حدود العالم العضوي يمكن تصنيف معظم الأشياء بسهولة إلى عالم الكائنات الحية وعالم الجمادات . ولكن ما هو الأساس الذي اعتمدنا عليه في هذا التصنيف؟ لقد استنتج علماء بيولوجيا الفضاء الخارجي أن هناك مميزتين اثنتين فقط يمكن اعتبارهما أساسيتين للحياة إلا وهم القدرة على التكاثر والقدرة على إنتاج تغييرات جينية مستمرة في الصغار الناتجة عن التكاثر . والمميزة الثانية مهمة جداً لأنها تمكن النوع من المعيشة تحت ظروف البيئة المتغيرة عن طريق إيجاد تغييرات في التركيب الوراثي للنوع نفسه . فالأفراد التي لها صفات تمكنها من البقاء تحت الظروف المتغيرة هي أقدر على المعيشة والتكاثر من غيرها من الأفراد التي لا تحمل مثل هذه الصفات والتي ستهلك نتيجة للظروف التغيرة التي لا تقدر على تحملها . وتقوم الأفراد الحاملة للصفات القيمة بنقل هذه الصفات إلى صغارها ، فيؤدي ذلك إلى أن جميع أفراد هذا النوع سيحملون مثل هذه الصفات التكيفية . وتدعى هذه العملية بالانتخاب الطبيعي وهي القوة الدافعة وراء تطور الأنواع .

ومن المناسب أن نضيف لهاتين المميزتين الرئيسيتين للكائنات الحية مميزتين أخريين تتصف بهما جميع أشكال الحياة التي نعرفها وهما عمليتا التمثيل الغذائي (الأيض) والتكيف . والتمثيل الغذائي هو مقدرة الكائن الحي على امتصاص واستعمال المواد الموجودة في البيئة حيث تستعمل كمصادر للطاقة وكلبنات لتكوين الجزيئات اللازمة للقيام بالعمليات الحيوية . أما التكيف فهو مقدرة الكائنات الحية على تأثرها بالمؤثرات البيئية والاستجابة لهذه المؤثرات بطرق شتى تساعدها على البقاء حية .

وهناك منهج آخر لفهم الحياة عن طريق دراسة أصولها . وهذه معضلة شغلت أذهان الناس منذ فجر التاريخ . وقد أوردت معظم الثقافات أساطير وقصصاً عن الخلق الإلهي للكائنات الحية الأولى . وبدأت أول محاولة لأعطاء تفسير علمي لأصل الحياة في بلاد اليونان القديمة حيث قدمت فكرة الخلق التلقائي حوالي عام ٦٠٠ قبل الميلاد . وقد سيطرت هذه النظرية على الفكر البيولوجي حتى القرن السابع عشر عندما قام العالم الإيطالي فرانسيسكو ريدي بتجارب أدخلت الشك في صحة هذه النظرية . ولكن اكتشاف الكائنات الدقيقة قد أعطى نظرية النشوء التلقائي بعثاً جديداً . وقد مرت ٣٠٠ سنة أخرى من الجدل قبل أن يعطي باستير في أوائل العقد السادس من القرن التاسع عشر (حوالي عام ١٨٦٠) الأدلة المقنعة على بطلان النظرية القائلة بأن الكائنات الدقيقة يمكن أن تتكون بطريقة الخلق التلقائي من مواد غير حية .

ومن الطبيعي أنه ليس من الممكن أن نستبعد الأفكار القائلة بأن أصل الحياة من عند الآله أو أن أماكن اخرى غير أرضية . إلا أن العلماء مهتمون بالنظرية التي بدأ بصياغتها الكسندر أوبارين (Alexander Oparin) وهولدين (J.B.S Haldane) في عشرينات القرن العشرين فقد اقترح هذان العالمان البيوكيميائيان أنه من الممكن أن تكون الحياة قد بدات بطريقة التطور الكيميائ التي يمكن فهمها كلياً من خلال القوانين الطبيعية للعلم وبدون الحاجة إلى تدخل أي قوة غامضة أوخارقة للطبيعة . أن أحد ا لافتراضات الأساسية لهذه النظرية هو أنه يمكن أن تكون المركبات العضوية الضرورية للكائنات الحية قد ، شكلت من الغازات التي كانت موجودة في الجو البدائي للأرض وهو غازات الهيدروجين والميثان والأمونيا وبخار الماء عن طريق استعمال مصادر الطاقة الطبيعية التي كانت تسود على الأرض البدائية مثل البرق والاشعاع فوق البنفجسي والحرارة . وقد سوندت هذه النظرية تجريبياً في عام ١٩٥٢ عندما طابق ستالني ميلر (Stanley Miller) الظروف التي كانت سائدة في الجو البدائي للأرض في المختبر ووجد أنه يمكن بهذه الطريقة تكوين مجموعة كبيرة متنوعة من المركبات العضوية .

مع أن تفاصيل عملية التطور الكيميائي لا زالت افتراضية جزئياً ، إلا أنه يبدو معقولاً أن جميع الجزيئات الكبيرة المميزة للأشياء الحية قد تكونت من خلال تجميع الكيميائي الطبيعي للمركبات الأبسط منها . وأدي ذلك على إنتاج جزيء أو مجموعة من الجزيئات القادرة على تكوين جزيئات أخرى مثلها . وهنا يمكن اعتبار ان المادة غير العضوية قد

اخترقت عتبة الحياة . ولقد تكونت الأرض منذ حوالي (٤,٦) بليون سنة وأن أولى الكائنات الموجودة في الحفرات عمرها حوالي (٣,٦) بليون سنة . وبهذه فإنه لا بد أن أصل الأشياء الحية الأولى يعود ما بين هذين التاريخين ، وربما يكون ذلك منذ حوالي (٤) بلايين سنةحسب التقديرات الحديثة .

من المحتمل أن الكائنات الحية قد كانت عضوية التغذية (heterotrophs) حيث اعتمدت عل ما في بيئاتها من مواد كيميائية كمصدر طاقة لها . وقد كانت الخطوة الأساسية في التطور نحو التغذية الذاتية (وهي المقدرة على تكوين جميع المواد الكيميائية الضرورية من مركبات كيميائية بسيطة) عندما ظهرت الكائنات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي التي يستخلص بها الأشعاع الشمسي لبناء مركبات كيميائية غنية بالطاقة . وأدت عملية التمثيل الضوئي إلى تغيير تركيب الجو المحيط بالأرض فأصبح كما هو عليه الآن مكوناً أساساً من غازي النيتروجين والأكسجين بشكل حر . وكان من النواتج الثانوية لهذه العملية تكوين طبقة الأوزون في الجزء العلوي من الجو . ولهذه الطبقة أهمية كبيرة في حفظ سطح الأرض من اثر الاشعاعات الفوق البنفسجية القاتلة الأمر الذي سهل بروز الحياة من أعماق المحيطات . وقد مكن الأكسجين الحر في الجو من ظهور عملية التنفس التي تستعملها الكائنات الحية الراقية الآن لاستخلاص الطاقة التي تحتاج إليها من الأغذية التي تحصل عليها .

ما زالت هناك طريقة أخرى لفهم الحياة عند الأخذ بعين الاعتبار التنظيم التركيبي للأشياء الحية . فباستثناء الفيروسات ، تتكون جميع الأشياء الحية من خلايا والخلايا هي أصغر الوحدات التي تبزر فيها جميع الخصائص والعمليات الحيوية ، وأن أبسط الكائنات الحية (باستثناء الفيروسات) مكونة من خلايا منفردة . والخلايا هي أنظمة غشائية بمعنى أنها محاطة بغشاء ذي نفاذية انتقائية . وهذا الأمر يمكن الخلية من تنظيم بيئتها الكيميائية الداخلية عن طريق امتصاص وتركيز واخراج المواد المختلفة كجزء من عمليات التمثيل التي تقوم بها . وللقيام بهذه الأمور بشكل فعال يجب أن تكون نسبة سطحها إلى حجمها عالية نسبياً ، ولهذا يجب أن لا يزيد حجم الخلية عن حد معين وأن تكون الكائنات الكبيرة مكونة من عدد كبير من الخلايا .

نظرة فاحصة

الكائنات الدقيقة والنشوء التلقائي

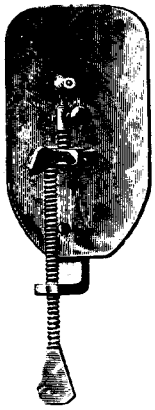
Microbes and Spontaneous Generation

كان العالم الهندي انطون فان ليفنهوك (Anton van Leeuwenhoek) هاوياً صقل العدسات . وفي عام ١٦٧٤ وبعد ٢٠ سنة من الانشغال بهوايته هذه قام ليفنهوك بتركيب مجاهر بسيطة استخدمها في دراسة عالم الأحياء وتوصل إلى اكتشاف مثير حقاً . فقد وجد بفحصه قطرة من مياه الترع أنها مملؤة بكائنات دقيقة جداً لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة . بهذا أضطحى ليفنهوك أول إنسان كان قد شاهد أياً من الكائنات الدقيقة الهائلة الأعداد والتي تشارك الإنسان وغيره من الكائنات المميزة بالعين المجردة هذا الكوكب .

لقد كان ليفنهوك يتمتع بصفة حب الاستطلاع إلى حد كبير ، فقد فحص كل شيء أثار اهتمامه . وتدل كتاباته التي تصف ما شاهد بدقة متناهية على أنه كان دقيق الملاحظة أيضاً وقد وصف اكتشافاته في مئات الرسائل التي كتبها على مدى ما يقرب من ٥٠ سنة إلى الجمعية الملكية الإنجليزية . وقد احتفظت هذه الخطابات بسحر كبير وأهمية تاريخية وعلمية في عام ١٦٨٣ وصف البحوث ا لتي قام بها على بكتيريا الفم كما يلي :

عندما كنت اتحدث مع رجل مسن وقعت عيناي على أسنانه التي كانت تغطيها طبقة كثيفة من الترسبات ، فسألته عن أخر مرة نظف بها أسنانه فأجاب أنه لم يغسل فمه طيلة حياته . ولهذا أخذت بعض الترسبات الموجودة على أسنانه ومزجتها مع بصاقة وقليل من الماء الخالي من أي حييونات صغيرة (Animalcules) ووجدت أعداداً هائلة لكائنات حية تسبح في المحلول وقد كانت هذه الأعداد أكثر من أي أعداد شاهدتها حتى هذا الحين . لقد زارتني عدة نساء في بيتي وقد كن مهتمات بمشاهدة الديدان الصغيرة الموجودة في الخل وقد كان انزعاج بعضهن لما رأين شديداً حتى أنهن حلفن ألا يستعملن الخل بعد ذلك مطلقاً .

ولكن ماذا لو ذكر الواحد لهن في المستقبل أنه يوجد في الترسبات الموجودة علـــى أســـنان الإنسان عدد من الحيوانات يفوق أعداد الناس في مملكة بكاملها ، وخصوصاً عند هـــؤلاء الذي لا ينظفون أسنانهم أبداً. وأستطيع القول عن نفسي أنـــه على الـــرغم من أنني أنظـــف



أنتوني فان ليفنهوك (١٦٢٣ ــ ١٧٢٣) مع احد المجاهر التي صنعها . تحمل العدسة الدقيقة في لوحة معدنية وتوضع العينة على نهاية الدبوس الممكن ضبط مكانه أمام العدسة .

من أنني أنظف أسناني باستمرار كما قلت سابقاً إلا أن جميع الناس الموجـــودين فـــي هولندا المتحدة لا تصل أعدادهم الكائنات الحية الموجودة في فمي هذا اليوم".

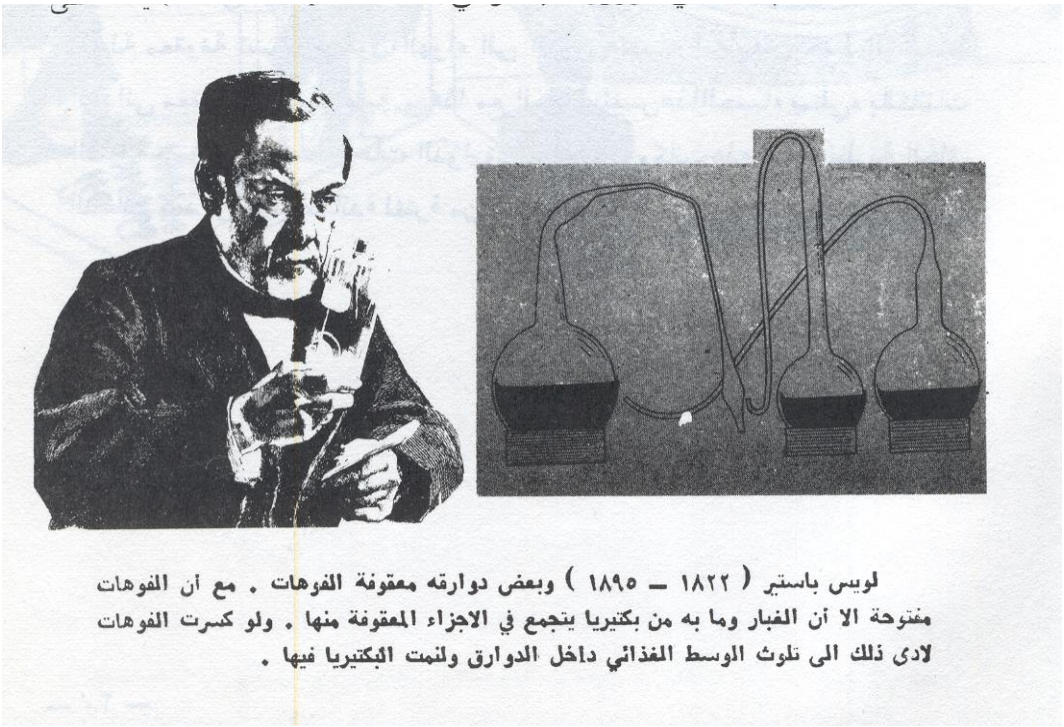
أننا نعلم هذه الأيام أن البروتوزوا (الكائنات الأولية) وخلايا الخميرة والبكتيريا التـــي شاهدها ليفنهوك والتي بدت له ولمعاصريه بسيطة هي في حقيقتها كائنات معقدة لا يمكن لها أن تخلق تلقائياً من القمصان الوسخة ولكن الأمر كان مختلفاً بالنســـبة لبـــاحثي الحييوينـــات الأوائل حيث كان نشوء هذه الكائنات الدقيقة من البيئة التي تعيش فيها مقبولاً عندئذ . وقـــد كان من الصعب التوصل إلى دليل أكيد لأبطال هذه النظرية لأن هذه الكائنات الدقيقة كانـــت موجودة في كل مكان . فقد كان الماء العادي الذي يظهر نقياً للعين المجردة مملوءاً بهـــذه الكائنات الدقيقة . ومما كان يزيد الأمر حيرة أنه حتى الحساء المغلـــي والمرشـــح يصـــبح مملوءاً بهذه الكائنات الدقيقة بشكل سريع جداً. فمن أين جاءت هذه الكائنات؟

لازارو سبالانزاني

(١٧٢٩ ــ ١٧٩٩)

أدى اكتشاف الكائنات الدقيقة إلى بعث نظرية النشوء التلقائي ٣٠٠ سنة أخرى تميزت باكتشافات مستمرة . وقد كان جون نيدهام John Needham أحد مساندي هــذه النظريــة المشهورين في القرن الثامن عشر إذ قام بسلسلة من التجارب لإثبات صحة الخلق التلقــائي للكائنات الدقيقة . فقد سخن نيد هام بعض الحساء في دورق ثم أغلق فوهته بقطعــة مــن الفلين . وبهذا فقد افترض أن الوسط الغذائي قد حفظ خالياً من الكائنات الدقيقــة . إلا أنــه ووجد بعد مدة بسيطة أنه قد أصبح مملوءاً بمثل هذه الكائنات .

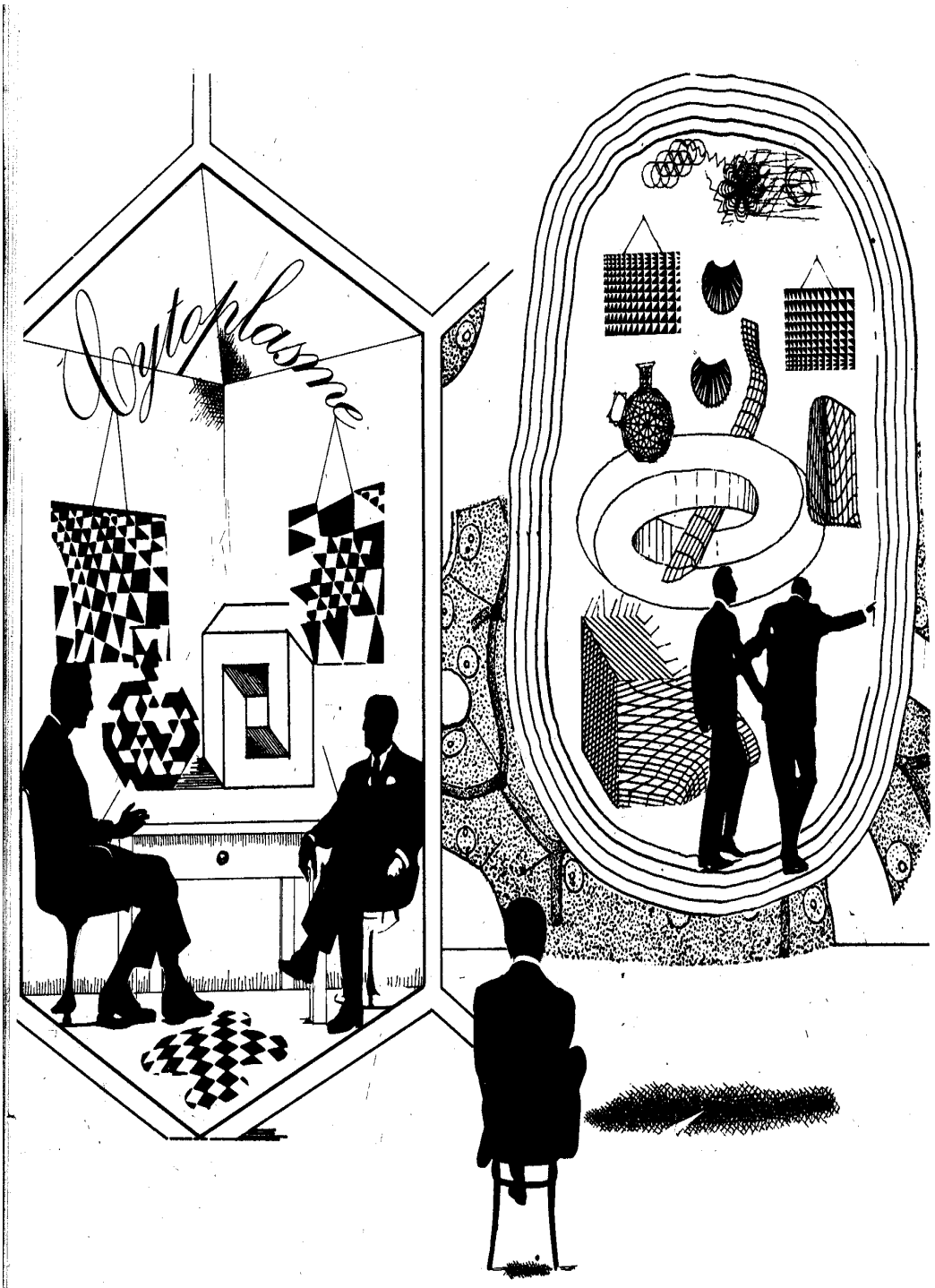
كان العالم الأيطالي لازورو سبالانزاني (Lazzaro Spallanzani) يقف على الطرف



لويس باستير (١٨٢٢ ــ ١٨٩٥) وبعض دوارقه معقوفة الفوهات . مع أن الفوهات مفتوحة الا أن الغبار وما به من بكتيريا يتجمع في الاجزاء المعقوفة منها . ولو كسرت الفوهات لادى ذلك الى تلوث الوسط الغذائي داخل الدوارق ولنمت البكتيريا فيها .

الآخر من الجدول حول نظرية النشوء التلقائي . فقد وجد أنه لو سخنا الحساء مدة أطول ولو أغلقنا فوهات الدوارق بسدادات محكمة لما تكونت أية كائنات حية داخلها . واستنتج أن الطرق التي استخدمها نيد هام لم تكن دقيقة دقة كافية . ولكن معارض سبالانزاني قد ردوا عليه بأن التعقيم لمدة طويلة لا بد انه قد أدى إلى أتلاف خصائص ضرورية معينة للهواء والحساء الموجودين في الدوراق ، وأن هذه الخصائص ضرورية لنشوء الكائنات الحية . فقد كتب نيد هام ، أنه من الواضح أن الطريقة التي عامل فيها سبالانزاني المواد ا لتي نقعها بشدة لم تؤد إلى اضعافها وربما اتلاف القوة المساعدة على نموها فحسب وإنما أدت إلى إفساد كمية الهواء البسيطة التي بقيت في الدوارق . ولهذا فإنه ليس من الغريب الا تظهر نقوعات سبالانزاني أية سمة من سمات الحياة فيها . واستطاع سبالانزاني أن يرد على بعض من هذه الاعتراض حين أثبت أن الحساء المغلي لمدة تصل على ٣ ساعات يحتفظ بقدرته على تغذية الكائنات الدقيقة الحية إذا سمح لهواء الغرفة أن يلوث ذلك الحساء . ولكن لم يستطع سبالانزاني ولا مؤيديه آنذاك أن يحددوا مدى الضرر الذي يلحق بهواء الدوارق المغلية .

وفي عام ١٨٦١ استطاع العالم الفرنسي لويس باستير (Louis Pasteur) أن ينهي الموضوع من خلال سلسلة من التجارب البسيطة والبارعة في آن واحد . فقد استطاع باستير أن يثبت أن غبار الهواء قد حمل الكائنات الدقيقة التي لوثبت الوسط الغذائي المتمثل في الحساء . أثبت باستير باستخدامه دوارق ذات فوهات طويلة معقوفة تسمح بدخول الهواء إلى الدورق نفسه أنه يمكن حفظ الوسط الغذائي معقماً إلى ما لا نهاية . هذا مع العلم أن نفس هذا الحساء يمتليء بالكائنات الدقيقة فيما لو كشفت فوهات الدوارق المعقوفة . وكانت هذه نهاية نظرية الخلق التلقائي بعد أن بقيت سائدة لفترة من الزمن تقارب ٢٥٠٠ سنة .


Cytoplasme

الفصل الثاني

الجزيئات البيولوجية

Biological Molecules

قبل أن نبدأ بمناقشة التنظيم الكيماوي في الأنظمة البيولوجية ، يجب أن نأخذ بعين الاعتبار السؤال القائل هل يمكن للتحليل الكيماوي أن يزودنا بمعلومات مفيدة عن المخلوقات الحية . أنه سؤال يواجهنا في هذه الأيام ولكن هذه هي الحالة دائماً . فمنذ حوالي قرن ونصف كان العلماء يعتقدون بأن المادة الحية تختلف عن المادة غير الحية بأمور غامضة وغير معروفة . وكان يعتقد أن جميع الكائنات الحية تمتلك قوة حيوية غير واضحة تتجاوز القوانين الفيزيائية . وتبع ذلك أن المواد التي تأخذ من الأنسجة الحية أو المواد العضوية تختلف اختلافاً أساسياً عن المواد غير العضوية (المعدنية).

ثم تمكن العالم فردريك فوهلر في عام ١٨٢٨ من تحويل سيانات الأمونيوم وهي مادة غير عضوية إلى مادة عضوية وهي اليوريا والتي هي عبارة عن المادة التي تنتج نتيجة لتحطيم البروتين . أن هذا التفاعل الكيماوي البسيط

$$NH_4\,CNO \xrightarrow{\text{حرارة}} H_2N\text{-}C_{11}\text{-}NH_2$$

يشير إلى أن المادة الحية ليست فريدة وإنما يمكن الحصول عليها من العناصر العادية وخاصة المعقدة والتي تعرضت إلى تحليل فيزيائي وكيميائي . وقد جاء الإثبات الأكيد لهذه

الأفكار في الفترة الأخيرة من خلال التجارب المخبرية التي نجحت في تحضير مركبات عضوية معقدة كالبروتينات والأحماض النووية .

ومنذ اكتشاف فوهلر ، فإن معرفتنا للتركيب الكيماوي للمركبات الحيوية قد ازدادات بشكل كبير . ولسوء الحظ فإن هذه المعلومات لا تعطينا دوماً صورة واضحة عن علاقة هذه المركبات بالوظائف الحيوية التي تقوم بها . فمثلاً فإننا نعرف الكثير عن تركيب الاكتين (Actin) والميوسين (Myosin) وهما من البروتينات الأساسية المكونة للنسيج العضلي والكننا لا نعرف بالضبط كيف يقومان معاً بعملية الاقنباض في العضلة .

وكذلك فإننا نعرف تركيب الكلوروفيل ، المادة الخضراء في النبات ، ولكننا لا نعرف بالضبط كيف يقوم هذا المركب بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيماوية خلال عملية التمثيل الضوئي . ومع أننا نعرف الكثير عن تركيب الهرمونات إلا أننا بدأنا حديثاً في معرفة كيف تعمل هذه الهرمونات كرسل كيماوية لتنظيم الوظائف الحيوية .

أن جزءاً من هذه المشكلة يعود على التعقيد غير العادي للأنسجة الحية . أن فهمنا للوظائف الحيوية يتطلب منا أن نعرف كيف يتم تنظيم هذه التراكيب . هذا وحتى يستطيع الكيماوي الحصول على مادة نقية للتحليل فإنه لا بد من تحطيم المادة الحيوية وتغيير ترتيبها الطبيعي . وتلقائياً فإننا نحتاج لدراسة الحياة على جميع مستوياتها – ليس فقط على المستوى الجزيئي ولكن على مستوى العضيات فالخلية فالكائن الحي فالبيئة فالمجتمعات .

ولتوضيح هذه النقطة ، لنأخذ رد فعلنا نحو ضغط مفاجئ ، شعورك عندما تشعر بأن سيارتك تنزلق فوق طريق ثلجية مثلاً ، أن قلبك ينبض بشدة ، أن ضغط الدم ومستوى السكر في الدم يرتفعان . أن تيقظك وقواك الجسمية تزداد . نحن نعرف أن هذه الاستجابات تحدث نتيجة لإفراز هرمون الاردرينالين . ولمعرفة كيف تحدث كل هذه التأثيرات من هذه المادة ، يجب أن نعرف كيف يرتبط الادرينالين بخلايا الأعضاء المقصودة ، كيف تبث برسائلها داخل هذه الخلايا ، ما هي التراكيب بين الخلوية التي تشترك في استقبال هذه الرسالة ، ما هي التغييرات الكيماوية التي تحصل استجابة له . نحن نعرف الآن هذه العملية بكل تفاصيلها ، ولكن الوصول إلى هذه المعرفة يحتاج إلى تضافر جهود كيماويين ، وعلماء خلية ، وعلماء انزيمات ، وعلماء فسيولوجياً ، وعلماء سلوك الحيوان ، ومع هذا فالادرينالين مادة بسيطة .

أن هذا المثال يعطي دلالة على الصعوبة الكبيرة في فهم العمليات الكيماوي الحيوية التي يقوم بها الكائن الحي . أن أصعب عملية حيوية هي عملية التفكير لدى الإنسان ، أي قدرتنا على التذكر ، على التعقل ، لتجنب الظروف المحيطية أن علم الكيمياء لم يزودنا إلا بمعلومات قليلة جداً عن كيفية عمل دماغ الإنسان ويشعر كثيرون بأن طبيقة اليقظة تقع في نطاق غير خاضع لمقاييسنا العلمية المستعملة الآن ، ولهذا السبب فلقد نشأ فرع جديد في علم الأحياء يدعى علم الأعصاب وكثير من علمائنا الممتازين في الكيماء الحيوية والفيزياء الحيوية وعلماء الوراثة يستخدمون الأن معرفتهم في حل هذه المعضلة .

لبنات الحياة: The building blocks of life

دعنا الآن ندرس تركيب المادة الحية وغير الحية على مستوى العناصر . أن العناصر هي مواد لا يمكن تحويلها إلى مواد أبسط منها مع محافظتها على خواصها الأصلية (خلفية كيماوية للأحياء)أن هناك ٩٢ عنصراً طبيعياً وحوالي عشرة أخرى تم تخليقها باستخدام المساراعات كالسيكلترون ومن بين ٩٢ عنصراً فغن حوالي ١٦ منها تدخل في جميع التراكيب الحيوية . وهناك ثمانية أو تسعة أخرى مثل الفناديوم والبورون واليود ، توجد بكميات محدودة جداً في المادة الحيوية .

عناصر الحياة The elements of life

أن أكثر العناصر توافراً بالوزن في المادة الحية هي بالترتيب ، أكسجين ، كربون ، هيدروجين ، نيتروجين ، فسفور ، والكبريت . ولقد قيل بأن هذه العناصر الستة تشكل ٩٩% بالوزن من الأجزاء الحية للكائنات الحية . والواقع أن هذا ليس صحيحاً ، فمثلاً ، لنأخذ عظام الفقاريات ا لتي تتركب من كمية كبيرة من فوسفات الكالسيوم ، وهو مركب غير عضوي ، أن الكالسيوم يشكل حوالي ٢% من وزن الإنسان ، جاعلاً منه أكثر وفرة من الفسفور والكبريت .

أن السؤال هل ندخل فوسفات الكالسيوم الموجودة في العظم من ضمن المادة الحية في الكائن الحي يمكن الإجابة عنه بطرق مختلفة ، اعتماداً على تعريف الشخص للحياة .

أن معظم عناصر الحياة بالأضافة إلى الكربون، والهيدروجين، والأكسجين

جسم الإنسان				ماء البحر	قشرة الأرض
الرمز	العنصر	نسبته في الوزن	النسبة المئوية لعدد الذرات	النسبة المئوية لعدد الذرات	النسبة المئوية لعدد الذرات
O	أكسجين	٦٥	٢٥,٥	٣٣	٤٧
H	هيدروجين	١٠	٦٣	٦٦	٠,٢٢
C	نيتروجين	١٨	٩,٥	–	٠,١٩
N	كالسيوم	٣	١,٤	–	–
Ca	فوسفور	٢	٠,٣١	٠,٠١	٥..٣
P	كلور	١	٠,٢٢	–	–
Cl	بوتاسيوم	٠,١٧	٠,٠٣	٠,٣٣	–
K	كبريت	٠,٢٧	٠,٠٦	٠,٠١	٠,٢٥
S	صوديوم	٠,٢٥	٠,٠٥	٠,٠٢	٢,٥
Na	مغنيسيوم	٠,١١	٠,٠٣	٠,٢٨	٢,٢
Mg	سيليكون	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠٣	٢٨
Si	المنيوم	–	–	آثار	٧,٩
Al	حديد	–	–	آثار	٤,٥
Fe	تيتانيوم	–	–	آثار	٠,٤٦
Ti					

الشكل (٢-١): العناصر الكيماوية للحياة (مأخوذة من فريدن)

والنيتروجين ، والكبريت ، والفسفور هي معادن : كالسيوم، صوديوم، مغنيسيوم ، حديد ، منغنيز ، كوبلت ، نحاس ، وخارصين . أن هذه المعادن توجد في داخل جسم الكائن الحي على شكل أيونات موجبة والكلور موجود بوفرة على شكل أيونات سالبة . أن هذه الأيونات تلعب أدواراً مختلفة مثل المحافظة على توازن السوائل داخل الخلية وخارجها وعملية نقل المواد من وإلى الخلية وتوصيل النبضات العصبية ، وكعوامل مساعدة لعدد من التفاعلات . وكثير من العناصر التي توجد بكميات ضئيلة لها أهمية كبيرة للكائنات الحية مقارنة بتركيزها الضئيل داخل جسم الكائن الحي . فاليود مثلا يشكل عادة ٤ أجزاء من المليون من وزن الجسم ، ومع هذا فإن نقصانه خاصة بين الناس الذي لا يتنالون الأطعمة البحرية يسبب اختلالاً في عمليات التمثيل الغذائي ولهذا فإن كميات بسيطة من اليود تضاف إلى الملح العادي (الملح الذي يحتوي على اليود) أن غياب اليوم بشكل تام من الغذاء يؤدي على الموت . وفي المقابل فإن عدداً من النباتات تحتاج إلى وجود البورون في تربتها بنسبة لا تقل عن جزء في عشرة بلايين . أن زيادة التركيز بشكل بسيط يؤدي إلى تسمم النبات وأن نقصان التركز يؤدي إلى الإصابة بنقصان البورون .

أن تحليل الكائنات الحية إلى عناصرها ، لا يعطي صورة واضحة عن العناصر المحيطة بالنبات فالسيليكون مثلاً يوجد بكثرة في الكرة الأرضية ولكنه لا يوجد في الكائن الحي إلا بنسبة ضئيلة جداً . والاختلافات الأخرى تظهر في الجدول المرافق . وهذا يشير

على أن هذه العناصر التي تستخدمها الأنظمة الحية لا بد لها من خواص فريدة جعلتها هي الوحيدة من بين ٩٢ عنصراً طبيعياً التي تستعمل خلال المرحلة التطورية ومناسبة بشكل خاص لوظيفتها .

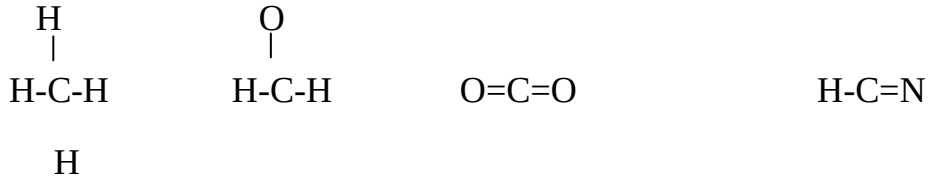
وبالتركيز على العناصر الستة الرئيسية فإنه يمكن إيجاد خواص مميزة لهذه العناصر ساهمت في مشاركتها في الأنظمة الحية . أولاً ، كل هذه العناصر يمكنها أن تكون روابط مشاركة وذلك بمشاركتها بالكترونات مع ذرات أخرى . وإذا استعملنا النقد لتمثيل تركيبها الالكتروني فإننا نجد أن مدارها الأخير غير مملوء تماماً وأنه يتحتم عليها أن تشارك ببعض الكتروناتها حتى تملأ هذا المدار . فذرة هيدروجين ستملأ مدارها الأخيرة بالكترونين إذا شاركت بالكترون واحد . أن ذرة الأكسجين أو الكبريت تحتاج لتشارك بالكترونين ، أما ذرتا النيتروجين والفسفور فتحتاجان للمشاركة بثلاثة الكترونات أما ذرة الكربون فتحتاج إلى أربعة الكترونات لتصل إلى حالة إشباع وهي وجود ثمانية الكترونات في مدارها الأخير . أن الذرات التي يمكنها أن تشارك بأكثر من الكترون يمكنها أن تكون رابطة مع اكثر من ذرة أو يمكنها أن تشارك بأكثر من الكترون يمكنها أن تكون رابطة مع أكثر . ذرة أو يمكنها أن تكون رابطة متعددة مع ذرة واحدة . فالأكسجين مثلاً يكون أما رابطتين مشاركتين مفردتين كما هو الحال في تكوين الماء أو رابطة مشاركة ثنائية كما هي الحال في تكوين جزيء الأكسجين :

$$٢H+ \ddot{O} \rightarrow H:\ddot{O}: \ OR \ H-\ddot{O}-H$$

$$\ddot{O}+ \ddot{O} \rightarrow \ddot{O}::\ddot{O} \ OR \ \ddot{O}=\ddot{O}$$

وبالمثل فالنيتروجين وجد في مداره الأخير خمسة الكترونات يمكنه أن يشارك فيها فيمكنه أن يكون ثلاث روابط مشاركة مفردة كما في الأمونيا ، أو رابطة مفردة وثنائية كما في أكسيد النيتروز أو رابطة مشاركة ثلاثية كما في جزئ النيتروجين . وفي معظم مركبات النيتروجين فإن ذرة النيتروجين تحتفظ بزوج من الالكترونات التي لم تشارك بها . أن هذا الزوج من الالكترونات بحذب أيونات الهيدروجين لذلك فإن هذه المركبات لها صفات قاعدية وبسبب هذه الخاصة فإن المركبات التي تحتوي على النيتروجين داخل الكائن الحي تقوم بوظائف متعددة . أما الكربون ، فيحتوي مداره الأخير على أربعة الكترونات فبإمكانها أن تقوم بعمل أكثر من نوع من الروابط مثل تكوين أربع روابط مشاركة مفردة أو رابطتين مشاركتين مزدوجتين (ثنائية) أو رابطة مشاركة ثنائية واثنتين مفردتين أو رابطة مشاركة ثلاثية وأخرى مفردة بالإضافة إلى أن ذرات الكربون والأكسجين والنيتروجين صغيرة نسبياً

ولذلك فإنها عندما ترتبط ببعضها بعض فإن أنويتها تكون قريبة جداً من بعضها . وبشكل عام فإنه كلما زاد تقارب النواتين في الروابط المشاركة فإن الرابطة تكون أقوى . ولذلك فإن الروابط التي تحتوي على هذه الذرات تكون ثابتة وقوية . وبما أن الكربون له قدرة على تكوين روابط ثابتة من أنواع مختلفة ، فإنه عنصر قابل لأن يكون روابط متعددة وأن عدد مركبات الكربون التي يمكن أن يكونها ليس لها نهاية . أن عدد المركبات الكربونية المعروفة كبير جداً . ونتيجة لهذا فإن هناك فرعاً رئيسياً يدعى بالكيمياء العضوية التي تختص بدراسة مركبات الكربون .



سيانيد الهيدروجين ثاني أكسيد الكربون الفومالدهايد (الميثان)

والفسفور مثل النيتروجين يحتوي على ثلاثة الكترونات منفردة في مداره الأخير ، أما الكبريت فهو مثل الأكسجين يحتوي على اثنين . وهناك تشابه في الصفات الكيماوية بين الفسفور والنيتروجين ، وبين الكبريت والأكسجين ، ومع هذا فإن ذراتي الفسفور والكبريت أكبر من حجم ذرتي النيتروجين والأكسجين . ومع هذا فإن الفسفور والكبريت يمكنهما أن يستوعبا أكثر من ثمانية الكترونات في مداراهما الأخير والفسفور والكبريتت يكونان رابطة مشاركة أطول وبالتالي أضعف من التي يكونها النيتروجين والأكسجين على الترتيب . أن هذه الخواص تجعل الفسفور والكبريت يلعبان دوراً مميزاً في العمليات التي يقوم بها الكائن الحي .

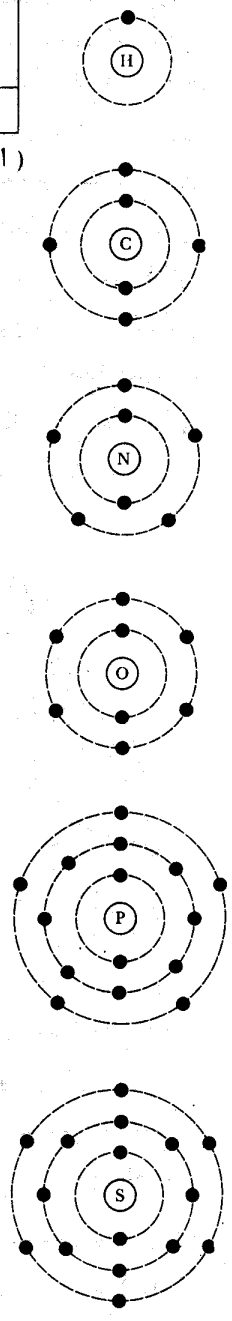
الجزيء الفريد من نوعه: الماء The Unique Molecule: water

ومن المركبات الكيماوية التي تكون المادة الحية ، فإن الماء أكثرها توافراً ، أن الماء يشكل حوالي ٦٥% من الوزن الكلي للإنسان ، وحوالي ٩٨% من الوزن الكلي لبعض قنديل البحر ، وفي الكائنات الحية فإن وظيفة الماء كمادة ملينة ، أو وسط للنقل وكمذيب عام ، أن معظم التفاعلات الكيماوية الحيوية تتم في محاليل مائية مخففة . والمواد الغذائية ومخلفات العمليات الحيوية يتم نقلها من وإلى الخلايا عبر محاليل مائية ، وكذلك فإن معظم الدم والليمف، السوائل التي تنظف الأنسجة، تتكون في معظمها من الماء (وفي الحقيقة فإن

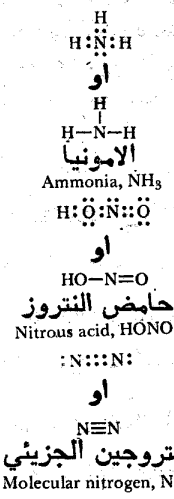
$\dot{H}$	$\cdot\dot{C}\cdot$	$\cdot\ddot{N}\cdot$	$\cdot\ddot{O}:$
		$\cdot\ddot{P}\cdot$	$\cdot\ddot{S}:$
1	4	3	2

(الالكترونات المطلوبة لاكمال المدار الاخير).

الشكل (٢ ــ ٣) : لكي نبين جهد الارتباط للذرات المختلفة فاننا نمثل كل الكترون في المدار الاخير بنقطة . فالكربون ، اكثر العناصر تقلبا ، يمكن ان يساهم باربعة الكترونات ولهذا فهو يستطيع ان يكون روابط احادية ، ثنائية او ثلاثية . ويلعب الكربون الدور التركيبي الاعظم في كل جزيئات الحياة الكبيرة ،



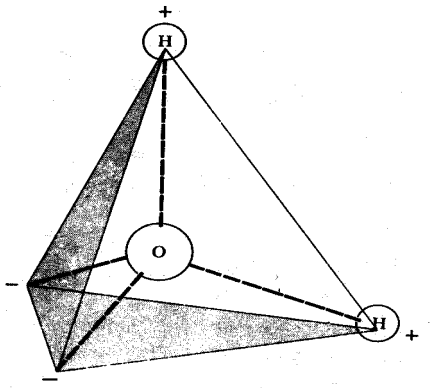
الشكل (٢ ــ ٢) : التراكيب الذرية للهيدروجين ، الكربون، الاوكسجين ،النتروجين، الكبريت والفسفور . كل دائرة صغيرة تمثل نواة ذرية بينما الدوائر الخارجية المنقطعة تمثل مدارات الكترونية او قشورا. لاحظ ان المدار الداخلي جدا يستوعب فقط الكترونين بينما يستوعب كل من الثاني والثالث ثمانية الكترونات .



الشكل (٢ ــ ٤) : بعض مركبات النتروجين . يمتلك النتروجين ثلاث احتمالات ارتباط بسبب ميله للمساهمة بثلاثة الكترونات لاكمال مداره الاخير : وهي رابطة ثلاثية ، رابطة ثنائية ورابطة مفردة او ثلاثة روابط مفردة . كل رابطة يمكن تمثيلها اما كزوج من النقط او كخط .

تركيز الأيونات في هذه السوائل تشابه تركيزها في مياه البحر التي نشأت فيها الكائنات الحية الأولى) .

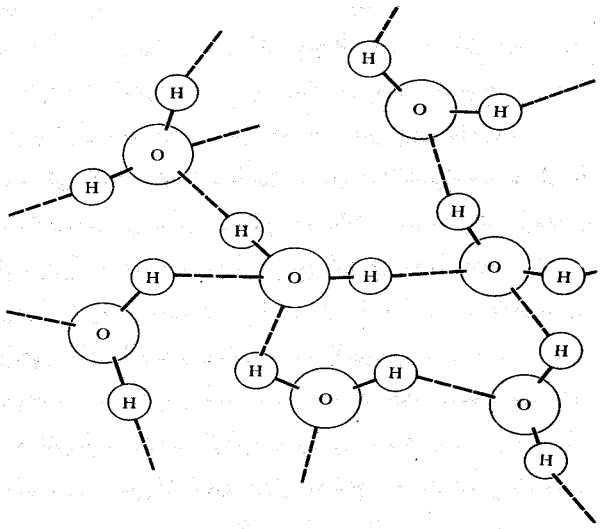
لماذا يلعب الماء H_2O دوراً رئيسياً في استمرارية الحياة ، ولا تقوم بذلك مواد أخرى مثل الأمونيا (NH_3) ، أو الميثان (CH_4) أو حامض الهيدروفلوريك (HF) أو كبريتيد الهيدروجين (H_2S)؟ وكبداية فإن الماء مركب عالي الاستقطاب أن ذرة الأوكسجين تجذب إليها الالكترونات غير المشاركة في رابطة H-O أكثر مما تقوم به ذرة الهيدروجين . ولذلك فإنه تتكون على ذرة الأكسجين شحنة سالبة ، وتتكون على ذرة الهيدروجين شحنة موجبة خفيفة وكذلك فإن المركب غير متماثل ولذلك فإن هذه الشحنات تتركز في نقاط مختلفة على المركب في الفراغ . وإذا فرظنا أن ذرة الأكسجين تحتل مركز هرم رباعي فإن ذرتي الهيدروجين بشحنتيهما الموجبتين الخفيفتين ستقعان على رأسين من هذا الهرم ، أما الشحنتان السالبتان الخفيفتان فتحتلان الرأسين المتبقيين (أن هذا التركيب يوجد عندما تقوم ذرة الكربون بتأليف أربع روابط مفردة) ولذلك فإن أحد طرفي جزئي الماء يصبح موجب الشحنة والطرف الآخر يصب سالب الشحنة .



الشكل (٢ ــ ٥) : اذا وضعنا ذرة الاكسجين في جزيء الماء في وسط هرم رباعي الاضلاع فان ذرتي الهيدروجين ستحتلان رأسين من هذا الهرم . ويتصف الجزيء بخاصية الاستقطاب وستحمل ذرتا الهيدروجين شحنة موجبة خفيفة وستحمل ذرة الاكسجين شحنة سالبة خفيفة وتتركز هذه الشحنة على الراسين الاخرين .

أن خاصية الاستقطاب في الماء تجعل له القدرة على الاحاطة بالجزيئات المشحونة بأعداد كبيرة ، جاعلاً إياها سهلة الذوبان في الماء . وكثير من الجزيئات المعقدة كالبروتينات تحتاج إلى مثل هذا المحلول المستقطب لتبقى في حالة محلول . وجزيئات البروتينات كبيرة جداً ، تحتوي على بضعة آلاف من الذرات في الجزئ الواحد ، وهي لا تذوب في معظم السوائل مثل الكحول والكلوروفورم وهذه الجزيئات لا تترابط مع المحلول بقوة كقوة ترابطها بعضها ببعض ولهذا فإنها تتجمع فيما بينها لتترسب داخل المحلول . ولكن بعض جزيئات البروتين تحتوي على شحنة موجبة وسالبة لاحتوائها على مجموعات

موجبة أو سالبة يمن أن تحاط بجزيئات الماء ، وفي محلول الماء فإنها تشكل روابط مع الماء أقوى من التي تكونها فيما بينها ولذلك فإنها تبقى ذائبة في المحلول .



الشكل (٢ ــ ٦) : تتشكل الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء بسبب الجذب المتبادل بين ذرات الهيدروجين الموجبة الشحنة والكترونات ذرات الاوكسجين غير المرتبطة. هذه الرابطة تفسر كثيرا من خصائص الماء المميزة. كما انها تقف بصلابة في تركيب كثير من الجزيئات الضخمة .

أن خاصية الاستقطاب لجزيئات الماء تسمح بالترابط فيما بينها لتكون الرابطة الهيدروجينية . والرابطة الهيدروجينية هي قوة الترابط بين ذرة الهيدروجين وذرة أخرى لها القدرة على جذب الكترون مثل الأكسجين والنيتروجين أو ذرة أخرى تحتوي على زوج من الالكترونات غير المشاركة مع الكترونات أخرى مثل (الأكسجين والنيتروجين) . ومع أن الرابطة الهيدروجينية غير قوة إلا أن لها أهميتها في الكائنات الحية . أن كثيراً من المركبات الكبيرة مترابطة في الفراغ بروابط هيدروجينية . أن العدد الكبير من الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء تجعل للماء خاصة فريدة تميزه عن المركبات ذات التركيب المتشابه ، وبسبب وجود هذه الروابط فإن الماء يوجد في حالة السيولة في جميع المناطق المسكونة على سطح الأرض بينما يتواجد الأمونيا وكبرتيد الهيدروجين في الحالة الغازية في مثل هذه الظروف من درجة الحرارة ، ومن المؤكد أن الأمونيا وحامض الفلوردريك يكونان روابط هيدروجينية بين جزيئاتهما ولكنهما ليست بعدد الروابط التي يكونها الماء ، وبما أن هذه الجزيئات لها قوة جذب خفيفة لجزيئاتها فإن هذه الجزيئات ليس باستطاعتها البقاء مع بعضها طيلة الوقت لتبقى في الحالة السائلة في مثل هذه الظروف الحرارية .

أن قوى الجذب بين جزيئات المادة قوية لدرجة يصعب معها ابعاد هذه الجزيئات عن بعضها ، فالماء له سعة حرارية عالية ، فهو يحتاج إلى سعة حرارية عالية ليحدث تغييراً في درجة حرارة الماء . ويعرف السعر بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام

واحد من الماء المقطر درجة مئوية واحدة ، بالمقابل فالميثانول له نصف السعة الحرارية التي للماء . فإضافة سعر واحد من الحرارة لغرام واحد من الميثانول سيرفع درجة حرارته درجتين مئويتين . ان السعة الحرارية ا لعالية للماء تمكن الكائنات الحية من مقاومة التغيرات الحرارية التي تحدث بالرغم من التغيرات الخارجية . وبما أن معظم العمليات الحيوية تتتم في مدى ضيق ومحدود من درجات الحرار ، فإنه من الواضح أن هذا الفائدة كبيرة للكائن الحي لتبقى درجة حرارة الجسم ضمن هذا المدى ، والسعة الحرارية العالية للماء تساعد الكائن الحي على الوصول على هذا الغرض .

وللماء خاصية أخرى مهمة من ناحية بيولوجية ، وهي درجة تصعيد عالية ، فعندما يتبخر الماء يمتص كمية كبيرة من الحرارة ، حوالي ٥٥٠ سعراً لتحويل غرام من الماء إلى بخار . ولذلك فإن تبخر الماء على سطح الكائن الحي ، بطرق مثل اللهاث والعرق ، يساعد في تفرق الحرارة الناتجة من العمليات الحيوية ، وكذلك تساعد على تلطيف درجة حرارة الجسم بالرغم من درجات الحرارة العالية .

أن أعلى كثافة لماء هي على درجة ٤°م ، وأن الماء الماء تحت هذه الدرجة أقل كثافة لذلك فإن الجليد أقل كثافة من الماء (معظم المواد تكون في حالة التجمد أكثر كثافة من حالة السيولة) أن إحدى نتائج شذوذ الماء هي أنه عندما يبدأ الماء بالتجمد فإنه يبدأ من أعلى إلى أسفل ، وبذلك فإن الماء في الطبقات السفلى يكون أكثر كثافة ، ولا تنخفض درجة حرارته عن ٤°م . وهناك نتيجة أخرى وهي أن الثلج يطفو على السطح ، وبالتالي فإن الطبقة العلوية فقط تتجمد وينعزل الماء في الأسفل عن الهواء الجوي الذي يمكن أن يكون بارداً جداً أن عملية العزل هذه تقلل من عملية التجمد ، ولو كانت كثافة الثلج أكبر من كثافة السائل كما هي الحال في معظم المواد الأخرى ، فإن الماء سيتجمد من أسفل إلى أعلى ، وسيقضى على جميع الكائنات التي تعيش في الماء نتيجة لذلك . وبما أن ذلك لا يحدث ، فإن المحيطات والبحار في الماض يالبعيد ربما كانت متجمدة بشكل جزئي ، وبالتالي فإن هذا ربما ساعد على تطور ومعيشة الصور الأولى للحياة داخل المياه وليس على اليابسة .

جزيئات الحياة: The molecules of life

وبعكس الماء الذي يبلغ وزنه الجزيئي ١٨ فإن معظم مكونات الحياة هي جزيئات كبيرة يتراوح وزنها الجزيئي بين ١٠,٠٠٠ وعدة ملايين . أن أهم سبب لحاجة الكائنات

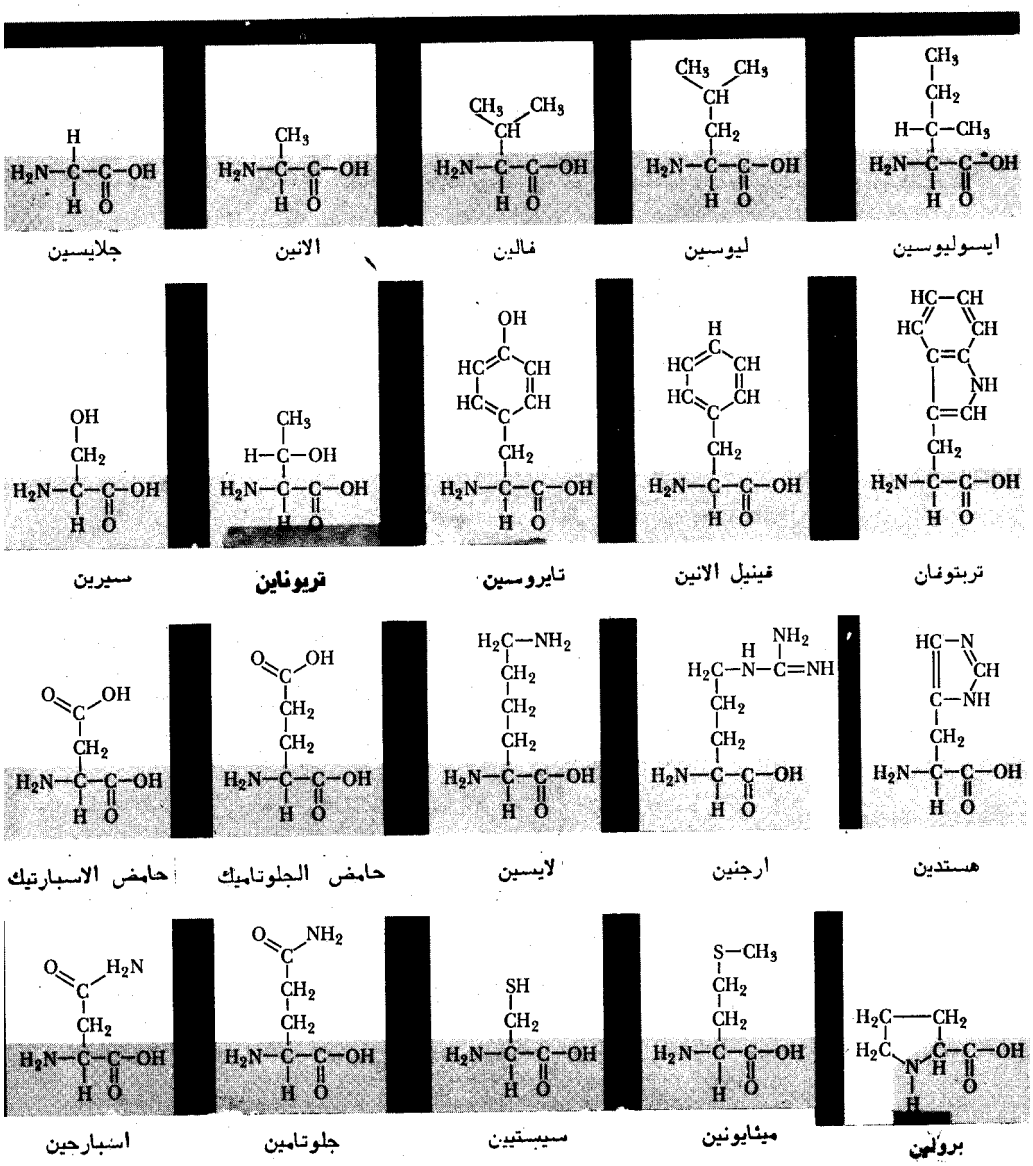
الحية لمركبات في مثل هذا الوزن الجزيئي يعود على التكامل في التركيب والقوة للكائن الحي . أن بعض المواد كالكولادين (البرويتن الأساسي في جلد الحيوانات) الغضروف ، العظم ، والسيلولوز الذي يدخل في الأنسجة النباتية كلها جميعاً تكن اليافا متداخلة تستمد قوتها من الأحجام الكبيرة للجزيئات الداخلة في التركيب . وبشكل عام فإن الجزيئات الكبيرة هي عبارة عن بوليمرات تصنع من عدد كبير من الأجزاء (الجزيئات) الصغيرة مونمرات مرتبطة بنهايات بعضها بعضاً . فالسيللوز مثلاً يتكون من عدد كبير من جزيئات سكر الجلوكوز وتكوين الجزيئات الكبيرة بيولوجياً لا يشتمل فقط على ربط الجزيئات الصغيرة بروابط عند نهايتها بل أن العديد من البولمرات مثل الكولاجين تكون جسوراً بين الجزيئات المتجاورة ، والعملية المهمة في دباغة الجلود تشتمل على تكسير هذه الروابط الجسرية ، وهذه الطريقة تجعل الجلد أكثر طراوة ، ومن الواضح أن مهمة الرابط الجسرية هي المحافظة على القوة التركيبية للجلد .

هناك حقيقة تقول بأنه يمكن خزن المعلومات في الجزيئات الكبيرة وكلما كان الجزئ كبيراً فإن المعلومات التي تخزن فيه أكثر . ولفهم كيف يمكن حدوث هذا إذا اعتبرنا أن ربط الوحدات النباتية من النهاية للنهاية يكون سلسلة مفردة . فالسيلولوز يتكون من تكرار جزيء واحد هو الجلوكوز ، ومن قبيل المعلومات فإن السيلولوز يمكن أن يشبه بكلمة تتركب من تكرار نفس الحرف .

ومن الواضح أن معلومات ضئيلة موجودة ولكن افترض أننا زدنا عدد الوحدات البنائية في البوليمر فإن هذه الوحدات يمكن أن ترتبط بتراتيب وتبادل مختلفة ، مثل الأحرف الموجودة في لغتنا المكتوبة العادية . وكما تعلم فإن نوع المعلومات التي يمكن الوصول إليها من ٢٦ حرفاً في اللغة الإنجليزة هي غير محدودة مع أننا نستعمل ترتيباً مالوفاً وعادياً في كلماتنا ونادرا ما تستعمل كلمات يزيد عدد حروفها عن اثني عشر حرفاً . ولكنه من الواضح أن زيادة عدد الوحدات البنائية في البوليمر يزيد من طاقته في خزن المعلومات .

ففي الخلايا الحية ، فإن سلاسل الأحماض النووية الطويلة تخزن وتنقل المعلومات الوراثية فمثلاً أن تركيب الأحماض النووية يحدد ما إذا كانت عيوننا ستكون بنية أو زرقاء . وسلاسل الأحماض النووية مصنوعة من أربعة أنواع من الوحدات البنائية وبعبارة أخرى أن أربعة أحرف فقط هي الموجودة وبما أن الأحماض النووية تتألف من عدة ملايين من هذه الوحدات البنائية في كل جزيء فإن مقدرتها على تخزين المعلومات هائلة . وهذه الجزيئات

باستطاعتها أن تحمل كل المعلومات اللازمة التي تقوم بها الخلية الحية ، وهي لا تعـد ولا تحصى .



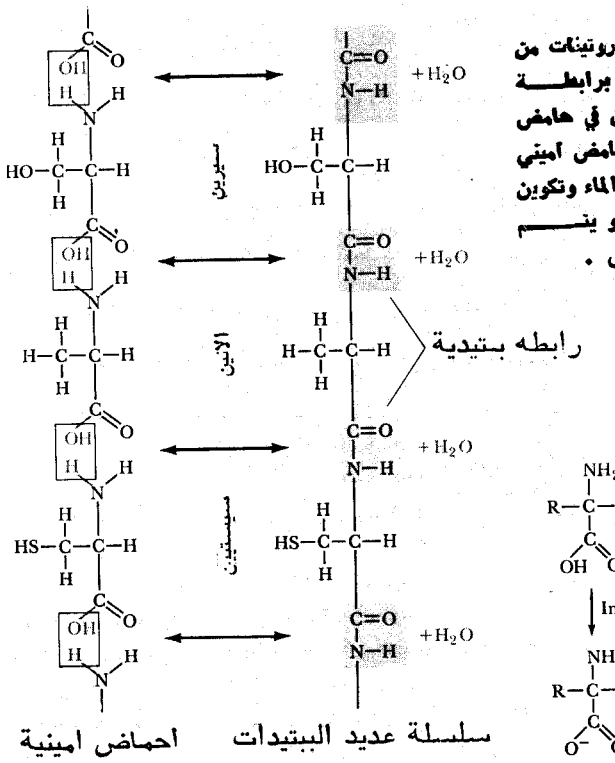
الشكل (٢ ــ ٧): العشرون حامضا أمينيا التي توجد في جميع البروتينات . كل واحد له مجموعة مختلفة او سلسلة جانبية ملتصقة مع ذرة الكربون التي في المركز ، ولهذا فتتميز الاحماض الامينية بخواص كيماوية مختلفة ، وكل حامض أميني يحتوي على مجموعـــة أمين (الصفة القاعدية) ومجموعة كربوكسيل (الصفة الحامضية) قليل من البروتينات تحتوي على أشكال مختلفة لهذه الاحماض العشرين .

البروتينات: Proteins

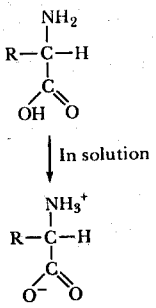
أن أول مجموعة من الجزيئات البيولوجية التي سنهتم بها هي البروتينات وبسبب درجة تعقيدها التركيبي واختلافها فإن هذا ينعكس على العدد غير المحدد من الترتيبات التي يمكن عملها من الوحدات البنائية ، فالبروتينات تلعب أكثر من دور مهم في علم الحياة ، ومن المحتمل أنها تشارك في جميع الوظائف الحيوية ، فالانزيمات التي تدخل كعوامل مساعدة في جميع التفاعلات الكيماوية في الأنسجة الحية هي بروتينات ، وكذلك الحال بالنسبة للهرمونات التي تنظم العمليات الحيوية في كثير من الكائنات الحية .

وكذلك الحال بالنسبة للوحدات التركيبية كالكولاجين الذي يعمل كنسيج رابط وكذلك الحال بالنسبة لليموجلوبين المركب الذي يحمل الأكسجين في الدم . وتدخل البروتينات في عمليات انقباض العضلات وكذلك في المستقبتلا الحسية وفي عمليات النقل النشط من وإلى الخلايا وفي التفاعلات الدفاعية مثل إفراز السموم وتخثر الدم وتكوين المواد الوقائية ضد العوامل التي تسبب المرض كالبكتيريا .

وحتى لو اعتبرنا عمل البروتينات كانزيمات ، أو عوامل مساعدة حيوية فإنه يمكن معرفة أن هناك عدداً لا نهاية له من تراكيب مختلفة للبروتين . أن عدد التفاعلات الكيماوية



الشكل (٢ ــ ٨) تتركب البروتينات من احماض امينية مرتبطة فيما بينها برابطة ببتدية ، وفيها ترتبط مجموعة الامين في حامض اميني مع مجموعة الكربوكسيل في حامض اميني اخر وينتج عن ذلك فقدان جزيء من الماء وتكوين رابطة ببتدية ، أما تحليل المركب فهو يتم بطريقة معاكسة تماما للعملية الاولى .

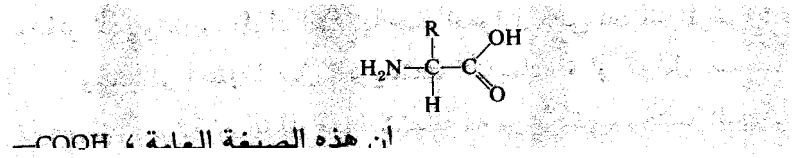


الشكل (٢ ــ ٩): في المحلول تفقد مجموعة الكربوكسيل بروتونا وتحمل شحنة سالبة بينما تكسب مجموعة الامين ايونا من الهيدروجين وتصبح شحنتها موجبة .

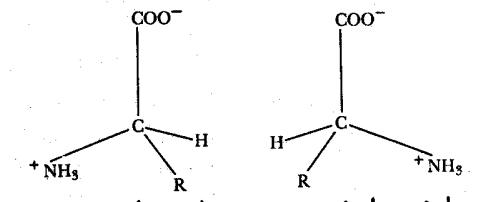
المعروفة في الأنظمة الحية يعد بالآلاف أما عدد التفاعلات غير المعروفة فيزيد عن ذلك وكل تفاعل يحتاج إلى عامل مساعد مختلف (أنزيم) ، والأنزيم هو جزيء بروتيني له تركيب فريد ، أن الأنزيم الذي يعمل كعامل مساعد في تفاعل معين داخل كائن حي يختلف عن الأنزيم الذي يعمل كعامل مساعد لنفس التفاعل في كائن حي آخر . وهذا لاختلاف يلقي بعض الضوء على العلاقة التطورية بين هذين الكائنين ، أن البروتينات الموجودة في الإنسان والقرد بينهما تشابه أكبر من تلك الموجودة في الإنسان والخيول .

سلسلة عديد الببتيدات: polypeptide chains

كيف يمكن الوصول إلى هذه الاختلافات؟ يتم الوصول إلى ذلك باستخدام عشرين حرفاً أبجدياً ، يشكل كل حرف حامضاً أمينياً مختلفاً . أن البروتتينات هي بوليمرات خطية من الأحماض الأمينية يمكن أن تمثل بأن لها التركيب



أن هذه الصيغة العامة ، COOH—



الشكل (٢ ــ ١٠) : الاحماض الامينية، مثل كثير من مركبات الكربون ، يمكن ان توجد بشكل صورة المرآة . والكائنات الحية تستطيع أن تفرق بين الشكلين المتناظرين ، ومعظمها يستطيع ان يخلق او يستفيد من الاحماض الامينية شكل ل .

ى

ي

ي

إذ

ترتبط مجموع الأمين في أحد الأحماض الأمينية بمجموعة الكربوكسيل في حامض أميني آخر مع فقدان جزئ من الماء . والعملية العكسية ، وهي كسر هذه الرابطة بإضافة جزئ من الماء تدعى بعملية الحلمأه (التحلل بالماء) . والحامض الأميني الذي يدخل في تركيب البروتين يدعى بفضلة الحامض الأميني . وعدد الفضلات في بروتين صغير يمكن ان يكون أقل من ١٠٠ ، بينما تصل في بروتين كبير إلى بضعة آلاف . وهناك بعض البروتينات التي تتكون من سلسلتين من عديد الببتيد ملفوفتين احداهما بالأخرى ، فمثلاً أن بروتين الدم

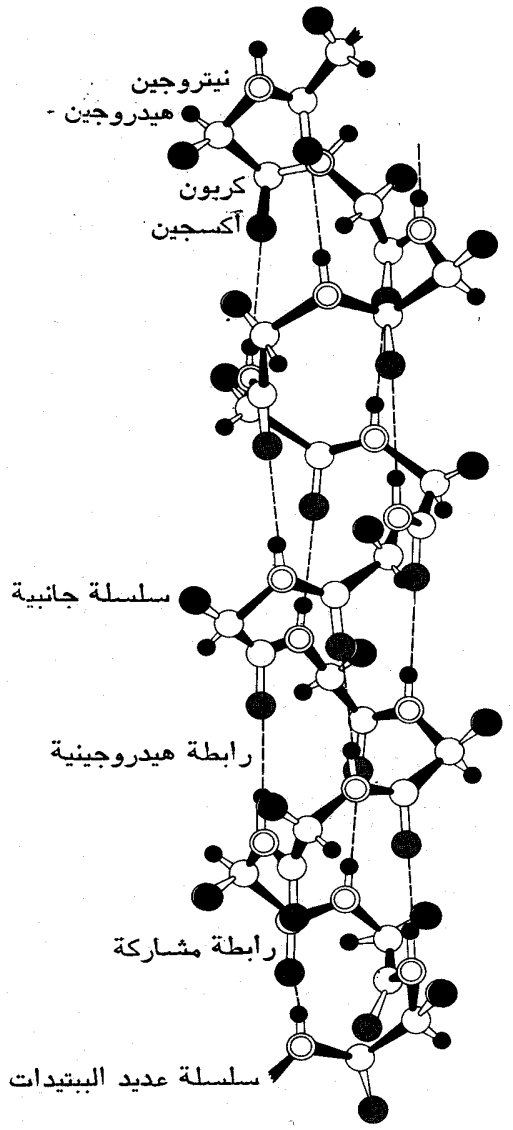
الهيموجلوبين يتركب من زوجين من السلاسل المتشابهة ، أو أربع سلاسل كل واحدة تتركب من أكثر من ١٢٠ حامضاً أمينياً.

وخواص البروتين تتأثر على حد كبير بخواص الأحماض الأمينية المكونة له ، لأحظ أن كل حامض أميني فيه شقان شق حامضي تمثله مجموعة الكربوكسيل وآخر قاعدي تمثله مجموعة الأمين . وبما أن الحامض يميل إلى فقدان بروتون داخل المحلول فالقوي يميل إلى جذب هذا البروتون . والحامض الأميني يتاين داخل المحلول ويتكون عليه شحنتان احداهما موجبة والأخرى سالبة . وبالطبع فإن مجاميع الكربوكسيل والأمين مربوطة بروابط الببتيد داخل البروتين فلا يبقى إلا مجموعة أمين واحدة حرة في طرف (طرف- ا لبروتين) ومجموعة كربوكسيل حرة في الطرف الأخر (طرف- الكربون) ومع هذا فهناك مجموعتان وظيفيتان احداهما حامضية والأخرى قاعدية على طرفي السلسلة . أو "مجموعات R٠groups" في الحامض الأميني . فمثلاً يحتوي اللايسين على مجموعة إضافية من المين بينما يحتوي الحامض الأميني جلوتاميك Glutamic acid على مجموعة كربوكسيل إضافية ولهذا فمن المحتمل أن يحتوي البروتين على عدد كبير من المجموعات الموجبة والسالبة . وبما أن هذه المجموعات يمكن أن ترتبط مع الظروف المائية المحيطة فإن كثيراً من البروتيان تذوب في الحاليل وهذا مهم جداً للانزيمات التي تحتاج في عملها إلى المحلول . أن الشحنة على البروتين تعتمد على مدى توافر الأحماض الامينية الحامضية أو القاعدية ، ولأن البروتينات المختلفة لها شحنات مختلفة فإنه يمكن فصلها بواسطة الهجرة الكهربائية (طريقة لحساب سرعة هجرة جزيئات البروتين المعلقة في مجال كهربائي) . أن قوة وفائدة طريقة الفصل بواسطة الهجرة الكهربائية يمكن ملاحظتها في مرض فقر الدم المنجلي ، أنها حالة وراثية تصيب بشكل خاص السود حيث لا تقدر كرات الدم الحمراء على نقل الأكسجين إلى الأنسجة . فقبل حوالي ٢٥ سنة اكتشف لينوس بالولينغ أن الهيموجلوبين في الأشخاص المصابين بهذا المرض يتحرك بسرعة أقل في المجال الكهربائي لفصل الدقائق المعلقة من السرعة التي يتحرك بها الهيموجلوبين الطبيعي ، وقد لوحظ فيما بعد أن هذا يعود على أن الحامض الاميني جلوتاميك في سلسلتين من الهيموجلوبين الطبيعي قد بدلتا في الأشخاص المصابين بحامض أميني آخر هو الفالبين (Valine) وهو حامض أميني لا يحمل أي شحنة أن هذا الاختلاف البسيط في الشحنة الداخلية للبروتين يمكن كشفه بواسطة جهاز الهجرة الكهربائية . مما هو أهم أنه يستنتج مباشرة بأن تركيب البروتينات يحدد وراثياً.

وبما أن البروتينات تكون سلاسل من الأحماض الأمينية ، فإنه يمكن وضع مفهوم بأن البروتين جزئ طويل ومشدود قليلاً . أن دراسة البروتينات كشفت بأن هذا ليس الشكل الذي تتخذه جميع البروتينات في الخلايا . وبالبديل فإن السلسلة تلتف حول نفسها بطريقة خاصة . والبروتينات تصنف إلى مجموعتين حسب مقدار الثني في سلسلة عديد الببتيد . فجزيئات البروتينات الخيطية تبقى محدودة ولا تنثني على نفسها . وجميع الأحماض الأمينية الموجودة في السلسلة هي مكشوفة في هذا النوع من التركيب . وهذا النوع من السلاسل يشتمل على عدد كبير من المجامعي الجانبية التي لا تحمل شحنة ولا تكون مستقطبة . وهذه المجموعات تدعى مجموعات لا تحب الماء hydrophobic لأنها لا تشكل أي رابطة مع الماء ولا تذوب فيه ، والبروتينات الخيطية لا تذوب في الماء ولا محاليله . وهذه السلاسل الطويلة ترتبط فيما بينها بطرق مختلفة لتكون رقائق أو خيوطاً ذات قوة كبيرة ، ولهذا فإن البروتينات الخيطية تلعب دوراً مهماً بين البروتينات التي تدخل في تركيب كثير من أجزاء الكائنات الحية . الكولاجين ، البروتين الرئيسي في التراكيب الهيكلية مثل المفاصل ، والمرابط ، والغضروف والعظم كلها جميعاً بروتينات خيطية . وكذلك الكيراتين التي توجد في عدد كبير من الأنسجة التي تحمي الحيوانات مثل المخالب والجلد والشعر . أن شرنقة دودة القز تتركب من بروتين خيطي . والبروتينات التي تلتف فيها السلاسل على نفسها لتكون طبقة متراصة وبشكل ملتف لتكون البروتينات الكروية . أن هذه البروتينات بشكل عام ذائبة في الماء ومحاليله عندما تكون البروتينات الكروية . أن هذه البروتينات بشكل عام ذائبة في الماء ومحاليله عندما تكون مرتبة بحيث تكون الأجزاء المشحونة أو المستقطبة متجهة إلى الخارج حيث يمكنها ان تتداخل مع السوط المائي المحيط بينما تحاول المجموعات التي لا تحب الماء أن تشغل السطح الداخلي والثنيات الداخلية للجزئ . والبروتينات الكروية مهمة جداً للعمليات الحيوية ، أن معظم الأنزيمات وبروتينات الدم تنتمي إلى هذه المجموعة وكذلك الهرمونات التي هي من أصل بروتيني .

التراكيب المختلفة للبروتينات:

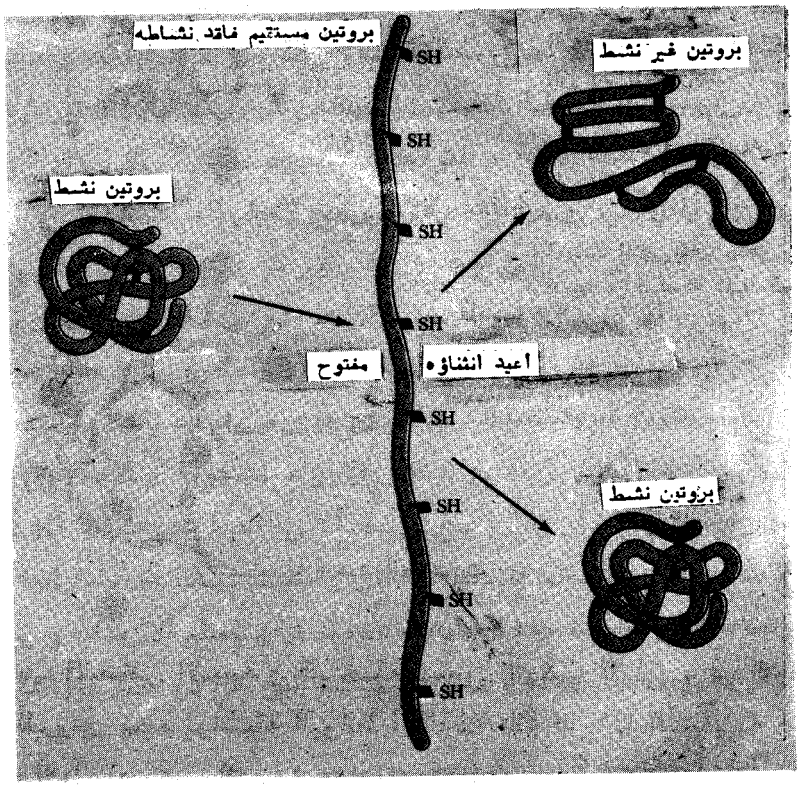
أن علماء الكيمياء الحيوية يجدون من المفيد مناقشة تراكيب البروتينات للتخزين الأربعة المستويات من التعقيدات التركيبية ومع هذا فيجب التفريق بين أربعة مستويات من التعقيدات التركيبية . وأبسطها وأكثرها أساسية في التركيب هي ترتيب الأحماض الأمينية



الشكل (٢ ــ ١١) : اللولب ألفا ، تركيب ثانوي شائع يوجد في عديد من البروتينات . ويثبت الشكل الذي يشبه مفتاح الفلين بالعديد من الروابط الهيدروجينية التي تربط اللفات المتتالية للولب . وبسبب التنظيم الفراغي للاحماض الامينية فان الشكل اليميني فقط هو الذي يمكن أن يوجد . وحتى في البروتينات المعقدة التثني فان مناطق مستقيمة شبيا من سلسلة عديد الببتيد غالبا ما تعرض هذا التركيب .

في السلسلة لتعطي التركيب الأولي . أن التركيب الأولي للبروتين يحدد بواسطة الروابط المشاركة تلك الروابط الببتيدية . أن التركيب الأولى هو في الحقيقة في اتجاه واحد وهو يشير إلى وضع الأحماض الأمينية التي تكون السلسلة وترتيبها ولكنها لا تدل على التراكيب الداخلية للحامض (للأحماض) الأمينية في الفراغ أو الطريقة التي تربط فيما بينها أو بينها وبين السلاسل الأخرى . أن التراكيب الفراغية في الاتجاهات الثلاثة للأحماض الأمينية عليها التركيب الثانوية والثلاثي والرباع .

أن التراكيب الفراغية في الاتجاهات الثلاثة للأحماض الامينية وللروابط الببتيدية بينها لها تأثير كبير في تكوين جزيئات البروتين وفكها في الفراغ . ومع أننا نرسم التراكيب العضوية في اتجاهين للفهم والتسهيل فهي في الحقيقة تقع في الاتجاهات الثلاثة . أن الأربع روابط المفردة للكربون كمثال تكون هرماً رباعياً في الفراغ وهذا يدل على أن للحامض الأميني هناك أمكانيتين فقط . مع أن هذه المتشابهات (الصورية) الجسيمة هي متشابهة إلا أن هناك اختلافاً بينها . كما هي الحال بين اليد اليمنى واليسرى فإن احداهما صورة للأخرى ولا يمكن أن تتطابقا مهما حاولنا قلبهما . فالأحماض الأمينية تتواجد بإحدى الصورتين صورة –ل وصورة– د أن الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتينات الطبيعية جميعها من صورة – ل وهنا يحدد في تركيب السلاسل العديدة الببتيد .



الشكل(٢–١٢): عندماتتفكك الروابط الكبريتية، الهيدروجينية وكذلك الروابط الاخرى الضعيفة، فان جزيء البروتين يفقد شكله في الفراغ وبالتالي يفقد نشاطه الحيوي . وتدعى هذه العملية بتفكك البروتينات ، وكثير من البروتينات تعود الى وضعها الطبيعي عندما يختفي العامل المفكك ونادرا ما يحدث خطأ في الترتيب بعد اعادته .

وهناك تحديدات تأتي من خواص أخرى في هندسة الحامض الأميني . أن خوص رابطة C-N في رابطة الببتيد هي أن الذرات الست في الرابطة يجب ان تقع في مستوى واحد وهذا يعني أنه لا يمكن أن يحصل دوران حول رابطة C-N . أن الدوران حول الروابط التي تصل بين ذرة ا لكربون في الطرف الحامضي مع ذرة النيتروجين في الطرق القاعدي يمكن أن يحصل . ولكنه مرتبط مع حجم وشكل العناصر التي تقع في السلسلة ، فالمسافة بين ذرات الأكسجين في مجموعة الكربوكسيل وذرات الهيدروجين في مجموعة الأمين وبين ذرة الهيدروجين والذرات الموجودة على جانب السلسلة . ذات مجال محدود للدوران وذلك حتى لا تقترب الذرات كثيراً بعضها من بعض وهذا يعني أن السلسلة يمكن أن تنحني أو تنثني إلى حدود معينة .

ومن بين هذه الزوايا التي يسمح بتكينها بين الأحماض الأمينية المتاورة هناك بعض الترتيب في السلاسل يؤدي إلى تكوين ترتيب فراغي منتظم وثابت . أنه بهذه الطريقةة يتم بناء البروتينات الخيطية التي سبق ذكرها . وأهم هذه الأشكال هو التركيب اللولبي (*a*-helix) التركيب الذي وصفه تينوس بالولنغ ، بروبرت كوري ، ومساعدوهم في بداية الخمسينات بتركيب اليد المنى لمثقب الفلين . مثبت بواسطة الروابط الهيدروجينية بين الأكسجين والهيدروجين في مجموعة الأمين لمكونات الحامض الأميني الموجودة في السلسلة والأشكال الأخرى موجودة في البروتينات الخيطية الأخرى . أن الببتيد في الحرير مثلاً ، ترتبط بواسطة صفوف متوازية لتكون تركيباً طبقياً ، بينما يتكون الكولاجين بواسطة ترابط ثلاثة خيوط لولبية من نوع ألفا .

أن هذه التراكيب منظمة بواسطة الروابط الهيدروجينية ، ومثل خيط التنظيم لسلاسل الأحماض الأمينية يمثل التركيب الثانوي للبروتين .

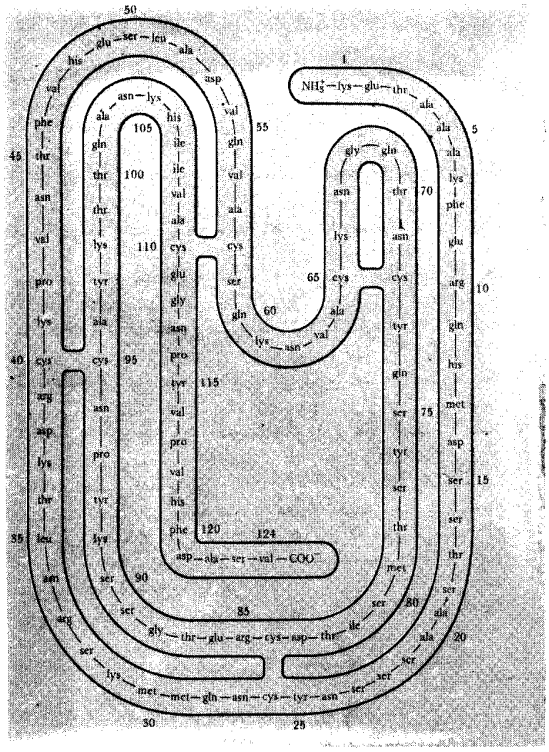
أن الطبيعة الكيماوية وكذلك الحجم وشكل مكونات الحامض الأميني داخل عديد الببتيد في السلسلة تؤثر على شكل البروتين في الفرغ . وأن قوى الجذب الداخلية بين الحوامض الأمينية في مواضع مختللفة على السلسلة تؤدي إلى تكوين الثنيات الموجودة في البروتينات الكرويةة . وبما أن هناك عشرين مجموعة R-groups أو أكثر في حواض أمينية مختلفة فهناك أنواع مختلفة من القوى الداخلية ذات قوى الجذب المختلفة بين هذه المجموعات .

أن تكون الروابط المشاركة مهم جداً في تركيب البروتينات الكبيرة ويحدث هذا بين مركبي السيستين (Cysteine) مكوناً جسراً من ذرتي كبريت –s-s أما ا لقوى الأخرى فهي الروابط الهيدروجينية بين الأيونات المتجاورة ذات الشحنة المضادة ، وهناك قوى كهربائية ضعيفة تعمل بين اطراف السلسلة المستقطبة ، وحتى روابط ضعيفة بين الأجزاء التي لا تعشق الماء وكلها مجتمعة ذات أهمية أقل من الروابط المشاركة . وكنتيجة لهذا فإن البروتينات الكروية هي جزيئات ناعمة ويجب أن تعامل بكل هدوء من قبل الكيماوي الذي يقوم بدراستها . وعلى درجات حرارة عالية أن قيم (hydrophobic) متطرفة ، فإن البروتينات تخضع إلى فقدان طبيعتها الخاصة (denatruation) أعني تحطيم الروابط غير المشاركة والتي تعطي للبروتينات شكلاً ثابتاً في الفراغ . وهذا يغير في خواص البروتين الفيزيائية وفقدان نشاطه الحيوي . أن تخثر المادة الزلالية في البيض عند طبخها مثلاً ناتج عن فقدان الزلال الطبيعية والزلازل هو المكون الأساسي للمادوة البروتينية البيضاء .

لقد ناقشنا الشكل اللولبي لالفا (*a*-helix) مقارناً بالبروتينات الخيطية ، ولكن هذه التركيب مكون مهم في البروتينات الكروية . فعندما توجد سلسلة طويلة ومستقيمة من عديد الببتيد في بروتين كروي كبير فإن هذه الأجزاء تكون السلسلة لولباً بطريقة غير متظمة بحيث تسبب في ثني السلسلة على نفسها بطريقة تظهرها في اتجاهات ثلاثة في الفراغ . وهذا التركيب يدعى بالتركيب الثلاثي للبروتين .

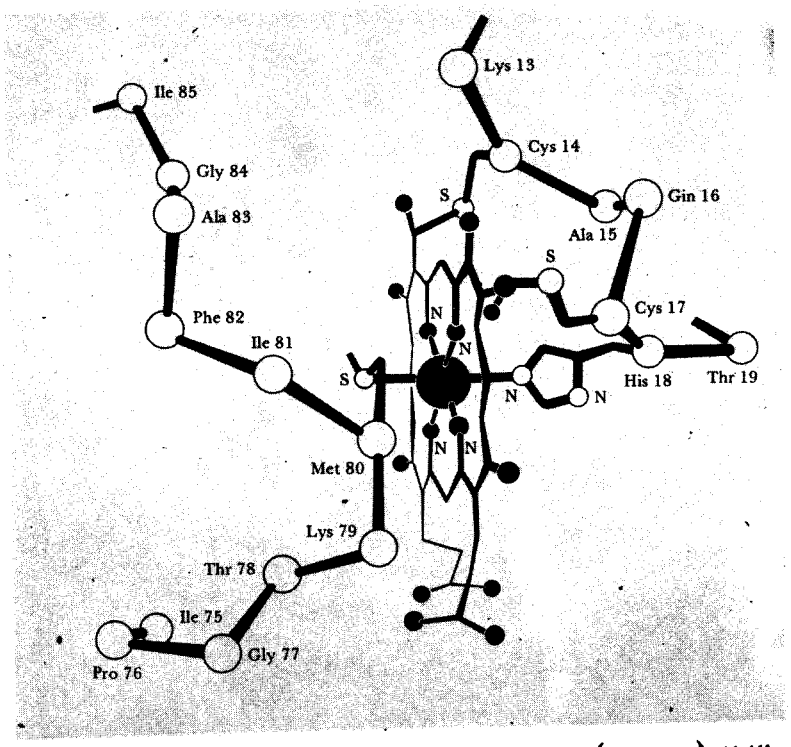
أن العديد من السلاسل ترتبط فيما بينها لتؤدي إلى تكوينن جزيء نشيط حيوياً أن الهيموجلوبين يظهر هذا النوع من الترابط . ففي هذا البروتين يوجد سلسلتان متشابهتان تتكونان من ١٤١ حامضاً أمينياً . وكل سلسلة تحتوي على مجموعة هيم (heme) وهي جزيء غير بروتيني ولكنه عضوي يحتوي على ذرة من الحديد ، وهي في الحقيقة الجزء الذي يحمل الأكسجين في هذا المركب . والسلاسل الأربع يجب ان ترتبط فيما بينها بطريقة محددة حتى يستطيع الهيموجلوبين أن يقوم بوظيفته الأساسية وهي نقل الأكسجين . وهذا الترابط يكون التركيب الرباعي (quaternary Structure) للبروتين .

أن نموذجاً في ثلاثة اتجاهات لانزيم الرايبونكلييز (Ribonuclease) والذي يحطم RNA، يلاحظ من الشكل المرفق .



الشكل (٢ ــ ١٣) : انزيم الرايبونيوكلييز ، عديد الببتيدينتالف من ١٢٤ حامضا امينيا ، خاضعة الى تركيب ثلاثي فراغي يقوم على ضبطها روابط هيدروجينية وأربعة جسور من الروابط الكبريتية. في الصورة السفلى يرى جزيء الانزيم في الفراغ مأخوذ بواسطة انحراف الاشعة السينية ويلاحظ الاحماض الامينية ارقام ١٣ ، ٤١ ، ١١٩ وهي التي تشكل الجزء الفعال ولها علاقة بفعالية الانزيم كعامل مساعد.

أن هذا الشكل يسهل علينا أن نفهم كيف يمكن للبروتينات أن تقوم بوظائف متعددة كما هـو الحال بالفعل . أن كل بروتين له ترتيب معين للأحماض الأمينية التي تحدد له شكلاً فريـداً في الفراغ . ان طرفي السلسلة للعشرين حامضاً أمينياً تحتوي على مجموعة واسعة ومختلفة من المجاميع الوظيفية والتي يمكن أن ترتبط فيما بينها بطرق مختلفة لتزودنا بمئـات مـن المراكز المختلفة التي تعمل كعوامل مساعدة أو مناطق وظيفية أخرى (مثل مركز جـزيء المضاد الحيوي الذي يسمح بالتفاعل مع الفيروس ليوقـف نشـاطه) . بالأضـافة إلـى أن البروتينات يمكن أن ترتبط مع ايوناتمعادن أو مركبات عضوية محددة تلعب دوراً رئيسياً بحد ذاتها . أن جزيء الهيمولجوبين هو أحد الأمثلة على ذلك وإليك مثالاً آخر هو كاربوكسـي ببتايديز (Carboxypeptidase) بروتين يساعد في الهضم والذي يحتاج إلى ذرة خارصين داخل تركيبه المعقد حتى يصبح نشيطاً من ناحية بيولوجية (حيوية).



الشكل (٢ ــ ١٤) : جزء من بروتين سايتوكروم ج ، انزيم يلعب دورا مهما في تفاعلات الاكسدة في الخلية . ان المنطقة الملونة هي مجموعة الهيم والتي تحتوي على ذرة حديد في منتصفها ، وتلتصق مجموعة الهيم الى عديد الببتيد والذي يتركب من ١٠٤ احماض امينية ، ويلاحظ هذا الروتين هنا . ويتوقف النشاط الحيوي لبروتينات اخرى على وجود آثار لمثل هذه الذرات داخل تركيبها .

الأحماض النووية :

البروتينات هي جزيئات كبيرة تحتوي المعلومات أو تخزنها والمعلومات مترجمة في أحماضها الأمينية المرتبة وهذا الترتيب يحدد شكلها في الفراغ وأهميتها الحيوية التي تقوم بها فما الذي يقوم بتزويد المعلومات اللازمة لوضع الأحماض الامينية بهذا الترتيب؟ للأجابة عن مثل هذا السؤال لا بد أن نعرف القليل عن تركيب الأحماض النووي . لقد سميت هذه المركبات بهذه الأسماء منذ حوالي ١٠٠ عام لأنها مركبات حامضية موجودة في النواة نعلم الآن أن هناك نوعين من الأحماض النووية الحامض اللااكسجيني (DNA) ويوجد بشكل رئيسي داخل النواة ، والحامض النووي الرايبوزمي (RNA) ويوجد بشكل أساسي في السيتوبلازم . وكلا الحامضين يحملان في تركيبهما المعلومات اللازمة لتحديد ترتيب الأحماض الامينية في البروتين . وعموماً فإن (DNA) هو (البيت الذي تخزن) فيه المعلومات الوراثية ، أنه يحتوي على الجينات التي تكون الكروموسومات داخل نواة الخلية وجميع المعلومات الوراثية التي يمكن للخلية أن تظهر مخزنة في (DNA) وأن جزءاً بسيطاً من هذ المعلومات يفصح عنه ، وهذا يتضمن نقل جزء من هذه المعلومات من DNA إلى (RNA) ومنها يتحرك إلى السيتوبلازم ليشارك في صنع البروتين .

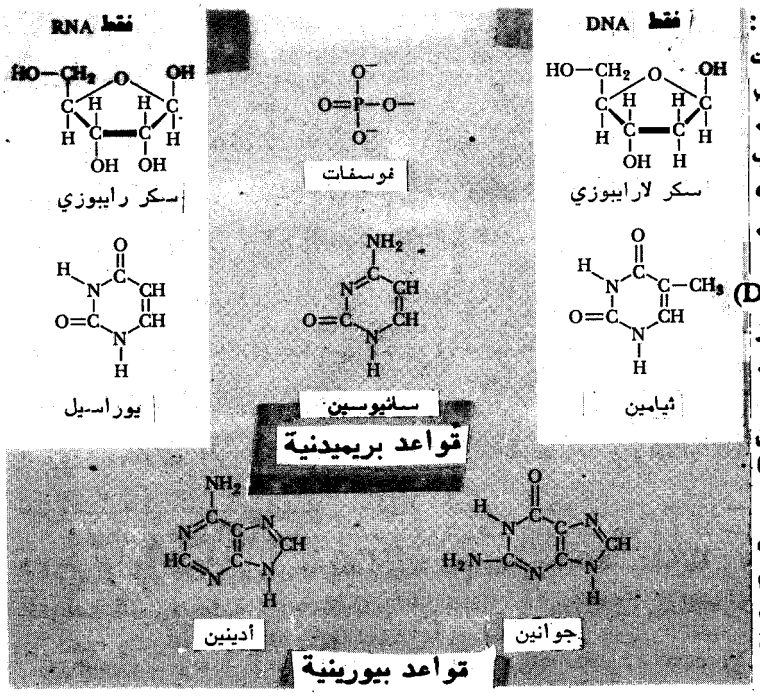
(أن السؤال كيف تعلم الخلية أي معلومات يجب اظهارها هو أحد المفاهيم الأساسية في العلم).

وكما هو الحال في البروتين التي هي خط من الأحماض الأمينية التي تكون البوليمر ، فإن الأحماض النووية هي خط من النيوكليوتيدات التي تكون البوليمر . أن النيوكليوتيد يتركب من بيورين أو بيريمدين وهي قواعد نيتروجينية في النيوكليوتيد د RNA أدينين ، جوانين ، سايتوسين ، يوراستيل ويرمز لها بالحروف U.C.G.A وبالمثل فإن DNA يحتوي على القواعد النيتروجينية C.G.A والثيامين أو تركيب مشابه وقريب من تركيب اليوارسيل . وهذا العدد المحدود من الوحدات المنفردة يحدد الأهمية التي تقوم بها جزيئات الأحماض النووية وفي الحقيقة فإن الوظائف الوحيدة المعروفة هي خزن المعلومات وتجديديها (واستردادها) . أن أهمية هذه الوظائف لهي من الأهمية بحيث تعوض النقص في

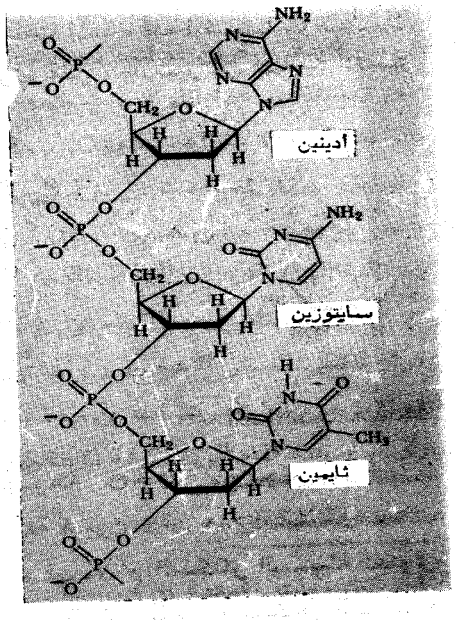
الوظائف المتعددة التي يمكن القيام بها . وكما تكون الروابط بالأحماض الامينية البروتينات بواسطة رابطة الببتيد فإن القواعد النيتروجينية تترابط داخل الحامض النووي بواسطة روابط فوسفاتية تربط الفوسفات في جزيء إلى السكر في جزيء آخر .

ادينين ثلاثي الفوسفات (ATP): أن القاعدة النيتروجينية الادينين توجد في ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) والذي يعلب دوراً مهماً في العمليات التي تقوم بها كل خلية حية . أن (ATP) هو المركب الذي يحمل الطاقةوالذي يشارك في جميع التفاعلات الكيماوية داخل الخلية وكما سنرى في الفصل السادس فإن على الخلايا أكسدة السكر للحصول على الطاقة وان الطاقة التي تنتج خلال هذا التفاعل يتتم اخذها من قبل جزيئات ادنوسين ثلاثي الفوسفات وتخزن حتى يتم استخدامها من قبل الخلية .

يتركب (ATP) من سكر ادينوسين (رايبوز يتحد مع الادينين) وثلاث مجموعات من الفوسات مرتبطة للمركب . أن مجموعتي الفوسفات اللتين ترتبطان عنط الطرف ترتبطان مع بقية المركب بواسطة روابط فوسفات غنية بالطاقة . أنه في هذا الروابط يتم خزن الطاقة ويتم اطلاقها بطريقة منظمة واقتصادية على شكل حقائب غنية بالطاقة عندما تحتاج الخلية



الشكل (٢ ــ ١٥) : تختلف نيو كليوتايدات (DNA) عن(RNA)في اثنين فقط من مكوناتها. فكل نيوكليوتايد يتركب من مجموعة فوسفات ، سكر ، وقاعدة ـ والسكر في (RNA) هو الرايبوز وفي(DNA) هو الدي أوكسي رايبوز الشديد الشبه . والقواعد في (DNA) هي الادنين والجوانين (بيورينات) السيتوسين والثامين (وهي بريميدنات) . في (RNA) تحل اليوراسيل محل القاعدة ثايمين القريبة جدا .

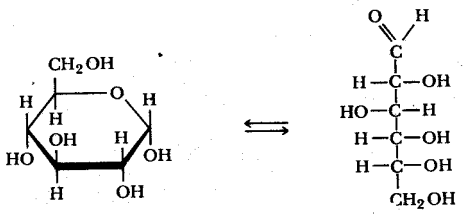


الشكل (٢ ــ ١٦) : سلسلة بروتينية من الاحماض النووية تتألف من أدينين وسايتوسين وثيامين وحقيقة أن السكر هو لاراييوزي ووجود الثيامين تدلنا على ان المركب هو (DNA) وليس (RNA) ان الشيفرة الوراثية تنتقل من جيل الى اخر بواسطة سلاسل طويلة من الاحماض النووية .

غنية بالطاقة عندما تحتاج الخلية إلى الطاقة لتقوم بوظائف معينة . أن هذه الطاقة تصبح جاهزة للخلية عندما تنحل الرابطة الثالثة عن الرابطة الثانية لتكون مركب ادينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) أو في الحالة الملحة للحصول على الطاقة فإن رابطة الفوسفات الثانية تنكسر لتعطي الطاقة . وفي عملية أكسدة الجلوكوز فإن مجموعات الفوسفات تعود لترتبط بالمركب بحيث تعاد شحنه المركب ليخزن الطاقة .

الكربوهيدرات Carbohydrates

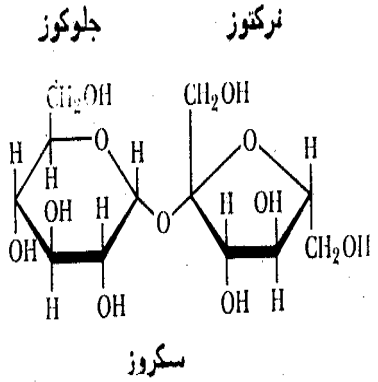
ان اسم الكربوهيدرات يرجع إلى أن هذه المركبات تحتوي ذرات الهيدروجين والأكسجين والكربون . أن نسبة الهيدروجين إلى الأكسجين كنسبة ٢٠: ١ النسبة المميزة للماء . ولذلك يمكن تمثيلها بأنها ماءات الكربون أي C_n (H_2O_n) ومع أن هذا الاسم لا يصف الطبيعة الكيماوية لهذه المركبات ، فإنه مع ذلك يرتبط بها ، ومن ناحية تركيبية فإن مجموعة H-C-OH توجد دائماً في الكربوهيدرات ويرجع إليها نسبة الهيدروجين إلى الأكسجين وكذلك نسبة الكربون إلى الماء . أن هذه الفئة تحتوي على السكاكر البسيطة والتي تدعى بالسكاكر الاجادية وأن اتحاد هذه السكاكر فيما بينها تحتاج إلى جزيئات الماء لتعطينا جزيئات السكاكر الثنائية . وأن السلاسل التي تحتوي على عدد كبير من أحادية التسكر تدعى المركبات عديدة التسكر .



الشكل (٢ ــ ١٧) : في المحلول فان الشكلين الحلقي واللاحلقي للسكاكر البسيطة يكونان في حالة اشراف وفي خلال فترة معينة فان معظم الجزيئات في الصورة الحلقية .

السكاكر البسيطة: Monosaccharides

أن جزيئات السكر التي تحتوي على مجموعة C=O مع مجموعات أخرى من H-C-OH مرتبطة مع بعضها في سلسلة كربون . أن هذه السلاسل تختلف في طولها من ذرتين إلى سبع ذرات كربون . أن معظم السكاكر البسيطة تحتوي ٥ ذرات أو ست ذرات كربون . أن مركبات C٥ تدعى بالسكاكر الخماسية ومجموعة C٦ تدعى بالسكاكر السداسية . أن السكاكر الخماسية والسداسية توجد في صورتين على شكل حلقة أو شكل سلسلة مستقيمة . وفي المحاليل فإن كلتا الصورتين تكونان في حالة اتزان ولكن الحلقة تسيطر على السلسلة . أن أحد السكاكر السداسية ، الجلوكوز يعلب دوراً هاماً في كيمياء الخلية . أنه الوقود الرئيسي الذي تقوم الخلية بحرقه لتقوم بوظائفها المختلفة . وكذلك فإن سكاكر سداسية أخرى تتحول اليه بالاضافة الى بعض الدهون و البروتينات .



الشكل (٢ ــ ١٨) : يتحد جزيئان من السكر الاحادي ليكونا جزيئا من ثنائي التسكر مثل للسكروز (السكر العادي) ويحتاج الى جزيئين من الماء . وهناك بعض انزيمات الهضم تعكس هذا التفاعل بحيث تحطم السكر الثنائي الى سكر احادي .

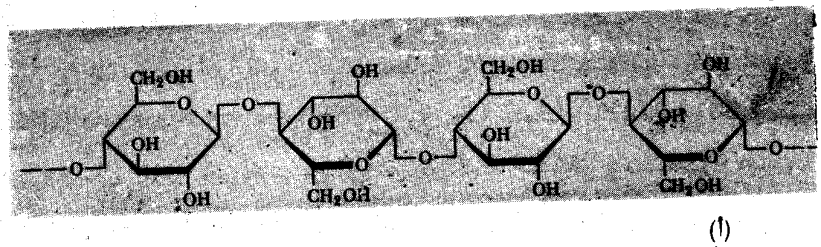
السكاكر الثنائية : DiSACCHARIDES

أن بعض السكاكر التي تستخدمها بعض الكائنات الحية هي سكاكر ثنائية مثل السكروز (سكر المائدة) واللاكتوز (سكر الحليب) . يتكون السكر الثنائي من اتحاد سكرين احادية مع مقدار جزيء ماء .

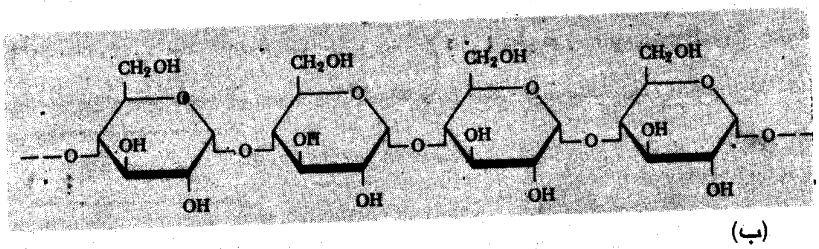
أن تفاعلات من هذا النوع حيث يتحد جزيئان ويفقد جزيء ماء يدعى بتفاعلات التكاثف (Condensation reaction) وفي هذا التفاعل بالذات فإن مجموعة هيدركسيل OH قد فقدت من ذرة كربون لأحد السكاكر وفقدت ذرة هيدروجين (H) من مجموعة هيدروكسيل OH للسكر الآخر . أن الذرتين الفارغتين تتحدان لتكونا O-C بين الجزيئين . والسكروز هو عبارة عن اتحاد سكرين احاديين مختلفين هما الجلوكوز والفركتوز . بعض أنواع السكاكر الثنائية هي تكرار لنفس السكر الاحادي . والمالتوز هو سكر ثنائي يتمي الحصول عليه من التحليل الانزيمي للنشاء ويتركب من وحدتين من الجلوكوز . ويمكن للكسر الثنائي أن يتحلل بواسطة الماء إلى سكرية الاحاديين (تحلل بواسطة الماء) (Hydrolysis).

عديدة التسكر : Polysaccharides

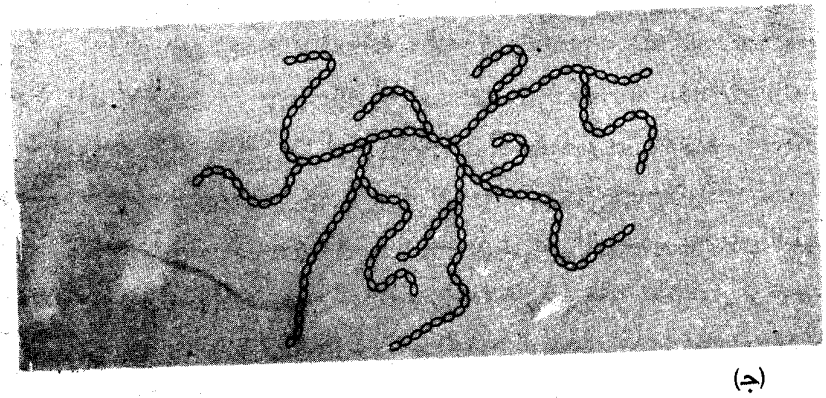
أن النشويات المعقدة تتركب من سكاكر أحادية عديدة مرتبطة في سلسلة طويلة وتدعى بعديدة التسكر . أن هذه السكاكر تتحد بعضها مع بعض بواسطة تفاعلات التكاثف كما هو الحال في تكوين السكاكر الثنائية . وبما أن السكاكر تحتوي على عدد كبير من مجمعات الهيدروكسيد في تركيبها فإن هذه الرابطة تحدث بين مجموعات مختلفة من الهيدروكسيد في السكر . ولهذا فإن أحد السكاكر الأحادية يتبلمر بطرق مختلفة ليكون مركبات مختلفة من عديدة التسكر . أن المركبات العديدة التسكر ذات الأهمية الرئيسية في علم الأحياء هي النشاء والجلايكوجين والسيللوز . ومع أنها بوليمرات للجلوكوز فإنها تختلف في تركيبها بعضها عن بعض . وبما أن الجلوكوز هو الوقود الرئيسي للخلية فإن بلرمته إلى مركبات عديدة التسكر يجعل منه مخزوناً احتياطياً للاستخدام فيما بعد . أن جزيئات النشاء تشكل مخزون السكر في النباتات بينما يشكل الجلايكوجين ذلك المخزون عند الحيوانات . والسيللوز هو عديد التسكر الذي يعطي النبات تركيبه الصلب . أنه يقوم بهذه الوظيفة لأنه يذوب وليس من السهل تحطيمه إلى جزيئاته التركيبية من الجلوكوز . أن الحيوانات التي تتغذى على الحيانات بطريقة الافتراس لا يمكنها تناول النباتات لأنها لا تقدر على هضم السيللوز ، أن عدداً من الحيوانات التي تتغذى على الأعشاب مثل الأبقاء وبعض أنواع الحشرات مثل النمل يوجد في أمعائها كائنات حية دقيقة تقوم بتحطيم السيللوز ، جاعلة لهذه الحيوانات قدرة على هضم الأطعمة النباتية بكفاءة عالية .



(أ)



(ب)



(جـ)

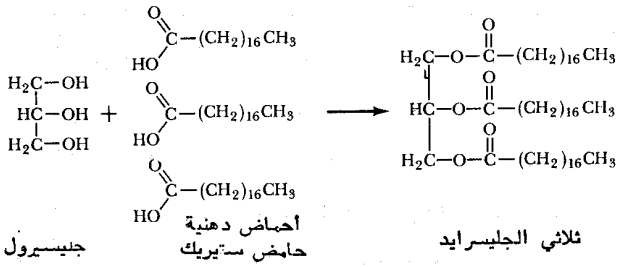
الشكل (٢ ــ ١٩) : ان السيللوز (ا) والنشاء (ب) هما مركبان من عديدة التسكر ــ سلاسل طويلة من سكر الجلوكوز ــ ويختلفان بطبيعة الروابط التي تكونها السكاكر الاحادية . وروابط السيللوز قوية بحيث لا تقدر على تحليلها المواد الكيماوية ، جاعلة من السيللوز مركبا يدخل في تركيب النباتات . وكثير من الكائنات تفقد الانزيم الذي يحطم السيللوز . أما النشاء والجلايكوجين (جـ) فهما سهلان للهضم على كثير من الكائنات وهما يشكلان المخزون الاصلي للجلوكوز ــ النشاء ، في النباتات والجلايكوجين في الحيوانات . ان سلاسل عديد التسكر للنشاء متفرعة اكثر من سلاسل الجلايكوجين .

الدهون:

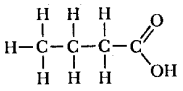
الدهون هي مجموعة متكتلة من الجزيئات البيولوجية (الحيوية) بينها شيء مشترك هي أنها لا تذوب في الماء . أن هذا يرجع إلى تركيبها الذي يحتوي على جزء كبير من الهيدروكربونات والتي تتصف بأنها لا تحب الماء . ونحن نعلم من التجربة بأن الدهون والزيوت والشحوم لا تذوب في الماء ، ولكن هذه المركبات تذوب في المركبات غير المستقطبة ، ولهذا السب فإن رابع كلوريد الكربون يعتبر منظفاً مذيباً جيداً . أن كره هذه المركبات للماء يجعلها تكون جزيئات كبيرة ، ومجموعات غير مرتبطة برابطة مشاركة داخل الخلية . ومع أن هناك أنواعاً متعددة من جزيئات الدهن ، فإن جميعها من الدهون لا يوجد بينها تشابه من ناحية تركيبية . أن أهم مجموعاتها هي الدهون ، والفوسفاليبدات والستيرويدات Steroids أن أكثر الدهون توافرا الدهون المتعادلة أو ثلاثية الجلسيراید أن جزيء الثلاثي جليسيراید يتكون عندما يتكاثف جزيء من الجلسيرول مع ثلاثة أحماض دهنية . أن جزيء الجليسرول يتركب من سلسلة من ثلاثة ذرات كربون . كل ذرة مرتبطة بمجموعة هيدروكسيد . والأحماض الدهنية هي أحاماض عضوية يتركب كل منها من جزيء هيدروكربون طويل ومجموعة هيدروكسيد والتي تتصرف كيماوياً كوحدا منفصلة ولها صفات حامضية . أن ثلاثية الجلسيراید هي المكونات الأساسية للنسيج الدهني أو الدهن الحيواني . وهذا النسيج يقوم بعدة وظائف قبل خزن الطاقة ، يعزل حرارياً ليبقى الجسم دافئاً ، وكواقي طبيعي لبعض الأعضاء الحيوية .

أن الكائنات الحية تكون مجموعة مختلفة من الأحماض الدهنية . أن الأحماض الدهنية التي لسلاسلها أطوال مختلفة معروفة ، والكنها جميعاً تحتوي على عدد زوجي من ذرات الكربون فمثلاً حامض الستيريك (Stearic Acid) يحتوي على ١٨ ذرة كربون مع وجود روابط مفردة بين ذرات الكربون في السلسلة . ولذلك فيقال عنه بأنه مشبع ، لأنه يحتوي على أكبر عدد من ذرات الهيدروجين التي يمكن أن تستوعبها سلسلة الكربون ، حامض الاولييك بالمقابل يحتوي على رابطة مزدوجة ولذلك يقال عنه بأنه غير مشبع لأن سلسلة الكربون يمكن أن تستوعب ذرات هيدروجينية أخرى . أن الأحماض الدهنية التي تحتوي على أكثر من رابطة مزدوجة تدعى بعديدة غير التشبع أن الخواص الفيزيائية لثلاثي

الجلسيرايد لها علاقة بدرجة غير التشبع لمكوناتها من الأحماض الدهنية . وبشكل عام فكلما زاد عدم التشبع فإن المادة تصبح أكثر سيولة لأن تبقى في حالة السيولة على درجة حـــرارة الغرفة .



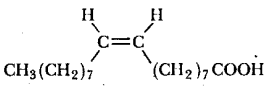
الشكل (٢ ــ ٢٠) : يتكون الدهن باتحاد جزيء من الكحول ــ عموما هو الجليسرين ــ مع ثلاثة جزيئات حوامض دهنية . والعملية العكسية ــ التحلل المائي للدهون ــ تتم عندما تهضم الدهون .ولانها تتكون غالبا من الكربون والهيدروجين وقليل من الاكسجين فان الدهون يمكن أن تمر بدرجة من التاكسد اعظم مما هو في الكربوهيدرات عندما تستقلب داخل الجسم . ولهذا فانها مصدر اغنى بالطاقة من مثل زنتها من السكريات أو النشويات .

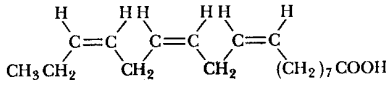

حامض البيوتريك

$CH_3(CH_2)_{24}COOH$

حامض السيروتيك

الشكل (٢ ــ ٢١) : مجموعة مـــن الاحماض الدهنية ، مع سلاسل كربونية مختلفة في الطول ، يتم خلقها من قبل كائنات حية.حامض البروتيك مثلا ، موجود في شمع النحل بينمـا حامض البيوتريك موجود في الزبدة اما الاحماض الدهنية التي تحتوي على روابط احادية تدعى الاحماض الدهنية المشبعة ،واما تلك التـــي تحتوي على رابطة او اكثر غير مشبعة فتدعى الاحماض الدهنية الغير مشبعة ، لان بامكانهـا أن تتفاعل مع ذرات هيدروجينية اضافية .


حامض الاوليك

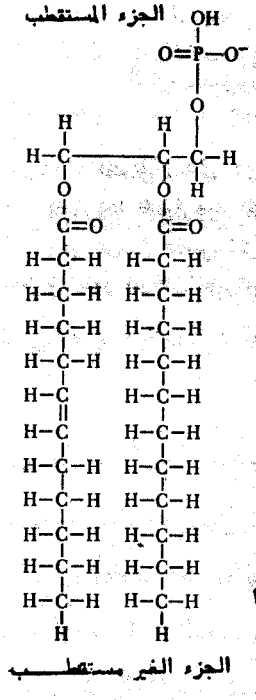

حامض اللينولييك

أن ثلاثي الجلسرايد الموجود في النبات يميل لأن يكون غير مشبع بدرجـــة كبيـــرة . ولذلك فإن زيوت النباتات مثل زيت الذرة هي عادة سائة . أما الدهون كثيرة التشـــبع فـــي الحيوانات مثل الزبدة فهي صلبة . أن هناك علاقة معظمها حرفية بين وزن الجسم الكبيـــر مثبتة في البدينين تربط بين كمية الدهون المشبعة في الطعام وأمراض القلب . ولذلك فـــإن كثيرين من الناس لا يتناولون مثل هذه المواد ، بل يفضلون دهوناً نباتية مثل زيت الـــذرة ، الغني بالأحماض الدهنية غير المشبعة .

أن العلاقة بين الأحماض الدهنية المشبعة وأمراض القلب لها صلة بدهن آخر موجود في الدم يدعى الكولسترول والذي له تركيب جزيئي يختلف تماماً عن تركيب الجزيء لثلاثي الجليسرايد ، ومع هذا فإن كيفية هذه الصلة غير معروفة بدقة حتى الآن .

الفوسفوليبيدات (الدهون المفسفرة):

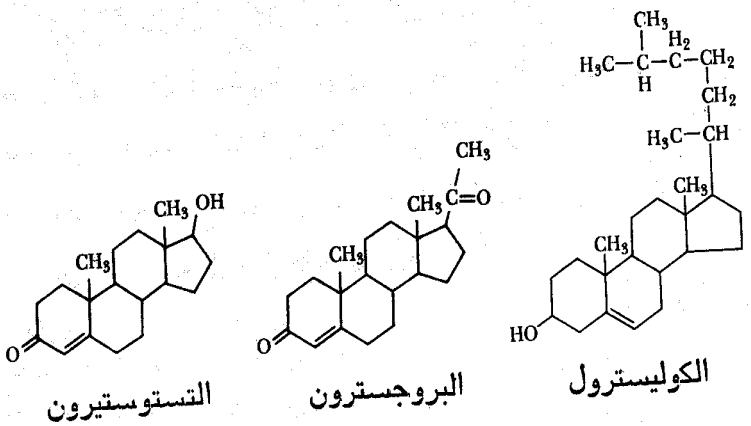
هذه فئة أخرى من الدهون ، والفسفوليبدات هي ثلاثة الجليسرايد فيه بعض التغيير ، أن هذه الجزيئات تختلف عن ثلاثي الجليسرايد بأن أحمد الأحماض الدهنية في ثلاثي الجلسرايد قد استبدل بمجموعة فوسفات . أن هذه المجموعة مشحونة وتجعل طرف هذا الجزيء عالي الاستقطاب وبشكل عام فإن الفوسفوليبدات تحتوي على رأس مستقطب وذيل غير مستقطب . وهذا يجعل لها أهمية كبرى في تكوين الأغشية الحيوية ، والأغشية التي تقوم كحواجز حول الخلايا وبين أجزاء مختلفة من الخلية . أن تركيبها يحد إلى حد كبير من العمليات التي تختص بالطاقة . أن الأغشية تحتوي على كل من البروتينات والدهون أن الفسفوليبدات مكتيفة بشكل أفضل للاستعمال في الأغشية ، لأن الرأس المستقطب يمكنه الاتحاد مع البروتين الموجود في الغشاء بينما الذيل الذي لا يحب الماء يشكل حاجزاً جيداً بين الغشاء والمحاليل المحيطة فيه .



الشكل (٢ ــ ٢٢) : تركيب الفوسفوليبيد المثالي ، وبما انها تحتوي على راس مستقطب وذيل غير مستقطب ، فان الفوسفوليبيدات متكيفة مع وظيفتها كمكون اساسي للاغشية الخلوية .

ستيرويدات:

الستيرويدات هي دهون لها تركيب جزيئي يختلف تماماً عن تركيب ثلاثي الجليسرايد والفوسفوليبدات . ان هذه الجزيئات مصنوعة من ذرات الكربون معلقة مع أربع حلقات في تركيب يشبه قضيب شي الفروج . يوجد مجموعة ذات مختلفة مرتبطة مع التركيب الحلقي الأساسي للستيرويدات المختلفة مع هذا فالفروق التركيبية قليلة . أن هذه المركبات تقوم بنشاطات حيوية كبيرة . فمثلاً هناك نوعان من الستيوريدات ينتجان في الأنسان: البروجسترون والتستوستيرون وهما متشابهان في تركيبهما إلا أن الأول هرمون تفرزه الانثى والثاني هرمون يفرزه الرجل والاثنان لهما علاقة بالنشاط الجنسي . أن الستروريدات لها أهمية كبيرة بالنسبة للكائنات الحية ، أنها لا تمثل فقط نشاطاً هرمونياً ولكنها تقوم بوظيفة الفيتامينات في التراكيب الغشائية .



الشكل (٢ ــ ٢٣) : ان اختلافات كيميائية صغيرة غالبا ما تميز الستيرويدات ذات التأثيرات البيولوجية المتباعدة كالبروجسترون ، وهو هرمون جنسي أنثوي، والتستوستيرون وهو هرمون جنسي ذكري . ويعتقد أن ستيرويد الكوليسترول يلعب دورا لم يفهم جيدا بعد في تطور أمراض الشرايين التاجية والنوبات القلبية .

ملخص الفصل الثاني

أن العناصر التي تدخل في تركيب المواد الحية هي الأكسجين والكربون والهيدروجين والنيتروجين والفسفور والكبريت . هذا بالأضافة إلى العناصر المعدنيـــة مثـــل الكالســـيوم والصوديوم والمغنيسيوم والنحاس والحديد والمنغنيز والكوبلت والخارصين ومعظمها موجودة بشكل أيونات موجبة ، أما العناصر الست غير المعدنية فلها قدرة علـــى تكـــوين روابـــط مشاركة . أن الكربون له القدرة على تكوين عدد غير محدود من المركبات ويعود ذلك إلى نمط الروابط التي يكونها ، والمواد العضوية أوالمواد التي تحتوي على الكربون تشكل قسماً كبيراً من المواد الحية المعقدة التركيب .

والماء هو أكثر المواد توافراً في المواد الحية ، ولخواصه المميزة فإنه مركب أساسي في جميع العمليات والتفاعلات الكيماوية الحيوية . فالماء مركب عالي الاستقطاب لذلك فهو يذيب الأيونات والمجاميع المشحونة كجزئيات البروتين ، ويقوم المـــاء بتكـــوين الـــروابط الهيدروجينية والمسؤولة عن تثبيتت الجزيئات الكبيرة في الفراغ وفي الاتجاهات الثلاثـــة ، والرابطة الهيدروجينية في الماء مسؤولة عن وجود الماء في حالة السيولة وضمن مدى واسع من درجات الحرارة وتعطي الماء سمة حرارية عالية للتعصيد وبالتالي سعة تبريد عالية.

تتركب معظم المركبات في المواد الحية من جزيئات كبيرة يصل وزنها الجزيئي إلى بضعة ملايين . وتتكون هذه الجزيئات من بوليمرات تتألف من وحدات صـــغيرة لتكـــون سلاسل طويلة . ان كثيراً من البوليمرات تدخل في تركيب المادة الحية مكونة روابط طرفية أو روابط جسرية بين السلاسل . أن طبيعة الربط في الجزيئات الكبيرة مهمة جداً لأن ذلك يمثل نظام شيفرة من المعلومات . وتماماً كالأحرف الأبجدية فإن عدداً كبيراً من الوحـــدات البنائية ترتبط بتراتيب مختلفة لتعطي مخزوناً لا حد له من المعلومات . أن هذه المعلومات

في الخلايا الحية تزود بها من سلاسل طويلة من ألأحماض النووية التي تخزن وتنقل المعلومات الوراثية التي تتحكم بجميع العمليات الحيوية .

البروتينات هي أكثر الجزيئات الحيوية تعقيداً واختلافاً ، أن العدد غير المحدود من الوحدات البنائية وترتيبها جعل للبروتينات القدرة على القيام بوظائف متعددة كانزيمات ، هرمونات ، وحدات تركيبية حوامل نقل نشطة للطاقة عوامل تعطي المناعة بالإضافة إلى أن الالاف من التفاعلات التي تحدث في العمليات الحيوية كلها تحتاج إلى عوامل مساعدة انزيمات وهذه جزيئات بروتين .

أن هذا الاختلاف يمكن الوصول إليه باستخدام ٢٠ حرفاً أبجدياً كل واحد عبارة عن حامض أميني مختلف يرتبط مع آخر بواسطة رابطة ببتيدية . أن مجموعة الأمين لحامض أميني ترتبط مع مجموعة الهيدروكسيد لحامض أميني آخر ، مع فقدان جزيء من الماء . وهذه السلاسل يمكن كسرها بإضافة الماء (الحلمأة). وخواص البروتين تحددها الأحماض الأمينية المكونة له والتي تتأين في المحاليل المائية ، والتأين يحدث عند أطراف السلسلة وفي مجموعات على طرفي السلسل ولهذا فإن جزيئات البروتينات يمكن أن تحتوي على مجموعات موجبة أو سالبة الشحنة جاعلة إياها سهلة الذوبان ويمكن فصلها بسهولة بواسطة الهجرة الكهربائية للدقائق المعلقة .

وجزيئات البروتين التي توجد على شكل سلسلة أو عديد اللبتيد تقوم بالالتفاف حول نفسها بطرق معينة: البروتينات الخيطية (مثل الكولاجين) تبقى ممدودة مع ظهور جميع الأحماض الأمينية . وجزيئات السلسلة الجانبية تحتوي على الجزيئات التي لا تذوب ولا تعشق الماء . والبرتينات المثنية على نفسها تدعي بالبروتينات الكروية ، أنها تذوب في الماء وتشمل الانزيمات وبرتينات الدم .

ومن ناحية تركيبية فإن البروتينات تمثل أربعة مستويات من التعقيد : التركيب الأولى والذي يمثل الترتيب الطبيعي للأحماض الامينية في السلسلةة ويحدد داخلياً بواسطة الروابط المشاركة في الرابطة الببتيدية وهي في اتجاه واحد مشيراً إلى ترتيب السلسلة ولكن ليس الترتيب الفراغي أو طريقة الوصل ويزداد التعقيد من النماذج التي تمتد في الفراغ في الاتجاهات الثلاثة مثل اللولب أن يمكن تضيفها كتراكيب ثانيوة أو ثالثية أو رابعية للبروتينات ويمكن تغير صورتها الطبيعية بكسر الروابط المسؤولة عن التركيب الفراغي في الاتجاهات الثلاثة وهذا يؤدي إلى تغير في النشاطات الحيوية .

أن الحامض النووي RNA ، ويوجد في نواة الخلية Ribosoms الموجـود داخـل السيتوبلازم كلاهما يحمل المعلومات المسؤولة عن ترتيب الأحماض الامينيـة . أن DNA يقوم بخزن المعلومات الوراثية ويظهرها عن طريق اعطائها لناقل متسلسلة مـن القواعـد النيتروجينية عبارة عن بيورين أو بيريمدين وسكر ومجموعة فوسـفات . يرمـز للقـواع النيتروجينية بحروف أبجدية . فهي في ال RNA ، ادينين جوانين وسايتوسين ويوراسيل وفي DNA فإن اليوراسيل يبدل بثيامين .

والكربوهيدرات تتركب من ذرات من الكربون ترتبط إلى الهيـدروجين والأكسـجين بنفس الطريقة التي تسهم فيها في جزيئات الماء لذلك فهي "ماءات الكربـون" ومـن ناحيـة تركيبية فهما لا يكونان الماء . ويمكن أن تكون السكاكر بسيطة مثـل السـكاكر الاحاديـة كالجلوكوز أو مزيجا من السكاكر الاحادية مثل عديدة التسكر كالسيللوز .

الدهون– دهن ، فوسفوليبدات وستيرويدات– مجموعة من الجزيئات التي لا تذوب في الماء ، وتراكيبها تحتوي على نسبة عالية من الهيـدروكربون والتـي لا تعشـق المـاء ، والدهون مركبات صغيرة لا تتبلمر لتكون جزيئات كبيرة ، أن أكثر الدهون تـوافراً هـي ثلاثي الجلسيرايد وهي المكون الأساسي للنسيج الهني الذي يخزن الطاقة بالإضـافة لعـزل الأنسجة حرارياً . والأحماض الدهنية تعتبر مشبعة عندما يحتوي الهيكل الكربـوني علـى روابط مشاركة مفردة فقط وتعتبر غير مشبعة عندما يحتوي الهيكل على روابـط مشـاركة مزدوجة أن أكثر من رابطة مزدوجة في المركب تؤدي إلى دهن عديد عـدم التشـبع ، أن الفوسفوليبيدات هي ثلاثي الجليسرايد فيها بعض التغيرات مثل مجموعـة فوسـفات عاليـة الاستقطاب . أن الاستقطاب يعطي الفوسفوليبدات أهمية كمركبات تدخل في تكريب الأغشية الخلوية ، مساهمة في نفاذيتها الاختيارية ، الستيرويدات هي دهون لهـا تركيـب داخلـي مختلف وتتكون من أربع حلقات مغلقة واختلافها الفردي يرجع إلى نوع المجموعات الذرية التي ترتبط مع الحلقات ، أن الستيرويدات تقوم بوظائف مثل الهرمونات والفتياميناتوتدخل في تركيب الأغشية الخلوية .

نظرة فاحصة

أساليب العلم

The Styles of science

لقد جرت العادة على أن ننظر على العالم كانه شخص منعزل يعمل وحده ، حتى أن صورة العالم الذي يعمل وحده في مختبر ولساعات طويلة شيء مألوف لنا . وأن تاريخ العلم حافل بمثل هؤلاء الناس الذين صمموا تجاربهم وقاموا بعملهم وكتابة تقارير عن نتائجهم كل ذلك ذلح على حساب وقتهم . أن هذا الأسلوب العلمي يدعي أحياناً بالعلم الصغير . أما العلم الحديث فله طريقة مختلفة ندعوها بالعلم الكبير . أنه ينظم جموعات من الباحثين المدربين في فروع مختلفة ، كل مجموعة تعمل على جزء محدد من المسائل العامة مستخدمة أدوات بحث معقدة وثمينة ، تدعمها الحكومة أو المؤسسات الخاصة . ولكن كيف أمكن الاستفادة من هذين الأسلوبين في علم الأحياء .

جالينوس

الذين مارسوا العلم الصغير . لقد بدأ جالينوس مهنته رئيساً للأطباء في سجون الأسرى والعبيد وهذا مركز أتاح له ممارسة جيدة لمعالجة الجروح وتشريح جسم الإنسان . ولأن الدين كان يحرم تشريح جثث الإنسان ، فقد قام بتشريح جثث الحيوانات كالخنزير والكلب والقرد الأفريقي ومن ذلك استدل على تشريح الجسم وخاصة وظيفة القلب . ولكنه أخطأ إذا أعتقد بأن الدم يصنع في الكبد ويحمل بواسطة الأوردة إلى باقي أجزاء الجسم ، حيث تصبح هذه الأجزاء طرية . ولم تكن عنده أية فكرة عن ان القلب يعمل كمضخة وبالنسبة إلأيه فإن الدم يتحرك بشكل غامض داخل الجسم مثل المد والجزر . أن نظرية جالينوس حول دورة الدم داخل الجسم ظل يعتقد بها أطباء الغرب أكثر من ١٤٠٠ عام . والسبب يعود إلى أن هؤلاء الأطباء كانوا يحصلوان على معلوماتهم من مراجع قديمة .

لقد تم إثبات خطأ نظريات جالينوس على يد عالم ىخر عمل في مجال العلم الصغير هو العالم الإنجليزي وليم هارفي (١٨٧٩-١٩٥٧) الذي دخل التاريخ عندما وصف كيف يدور الدم داخل الجسم* .

وليم هارفي

ففي مختبره ، قام بتشريح عدد كبير من الحيوانات المألوفة من الحشرات إلى الطيور إلى الإنسان وقد اعتمد على مشاهداته وتجاربه واسقط وجهة نظر جالينوس والعلماء اليونايين الآخرين ، وقد قام بعرض ما اكتشفه على اصدقائه المقربين شارحاً لهم ما تعمله عن وظائف القلب ، وقد برهن على أن الصمامات لا تسمح للدم بالسير إلا في اتجاه واحد وأن

* قبل هارفي بقرون اكتشف العالم العربي ابن النفيس ما يسمى بالدورة الدموية الصغرى ، وقد توفي ابن النفيس سنة ١٢٨٨م (المترجم).

القلب يؤدي على عبور الدم إلى غرفة اخرى . ولقد كان أو عالم أحياء يقيس كمية الدم التي تحتويها الأوعية الدموية وكذلك حساب كمية الدم الكلية الموجودة في الجسم .

وآخر مثال على الذين مارسوا العلم الصغير هو العالم الإيطالي ليوجي جلفاني (١٧٣٧-١٧٩٨) الذي اشتق من اسمه الكلفانية (وهي طريقة لأحداث تيار كهربائي من تفاعل كيماوي) . لقد ساهم جلفاني بدراسة فسيولوجيا العضلات في الضفادع وذلك بدراسة انقباضها . وكانت تجاربه غير عادية . ففي خلال عاصفة كهربائية قام بلمس أعصاب الصغد بواسطة مقصه لأحداث انقباض في العضلات . وقد قام بتجارب اخرى دلت على أن الأنسجة الحيوانية الحية تنتج قوى كهربائية .

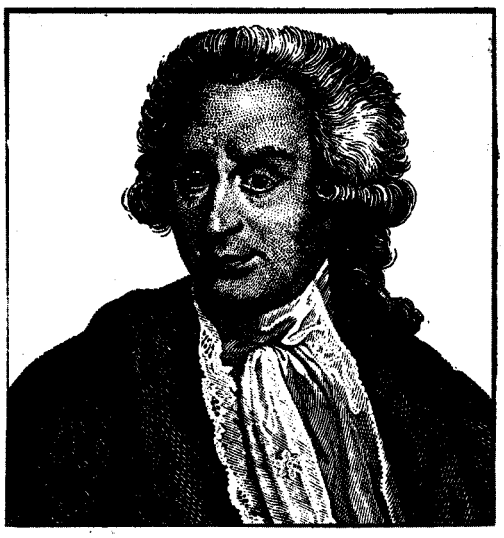
وفي السنوات الأخيرة فإن الأسلوب الذي اتبعه مثل هؤلاء العلماء قد تم تبديله بالعلم الكبير وهو عمل جماعي يساهم فيه عدد كبير من الأساتذة والفنيين والطلاب وذلك بتقسيم العمل بينهم . فعلماء الأحياء المتخصصون في الميكرسكوب الالكتروني يعملون على جزء صغير من البحث ، بينما يقوم المتخصصون الآخرون مثل علماء الكيمياء الحيوية ، والفيزيائيين وعلماء الوراثة بالعمل على جزء صغير آخر .

وهذا النمط من العمل الجماعي يمكن مشاهدته في المدارس الطبية الحديثة حيث يقوم رئيس الفريق بمساعدة عدد من هيئة التدريس في كليته وبعض الفنيين بتويجيه فريق من عشرين إلى ثلاثين من الشباب أو الشابات الذين بدأوا دراساتهم العليا .

وهذه الطريقة توفر الوقت وتمنع حدوث تكرار في العمل . فكل باحث يقوم بحل مسألة روتينية مهمة كتحليل مركب معين مرة بعد مرة . وبهذه الطريقة يتم العمل في بضعة اشهر فقط بدل سنوات يقضيها العالم الذي يعمل بشكل منفرد .

ولعل أهم مثال على العلم الكبير هو "حرب السرطان" التي بدأت في عام ١٩٧١ . أن هذا البرنامج يشتمل على مئات من الباحثين في عدد من المؤسسات المتخصصة مدعومة ببلايين الدولارات من الدولة . والهدف من كل هذا البحث هو إيجاد أسباب وطرق علاج ها المرض الذي يكلف حوالي ١٠٠٠ أمريكي حياتهم في كل يوم . ولكن هذه الطريقة

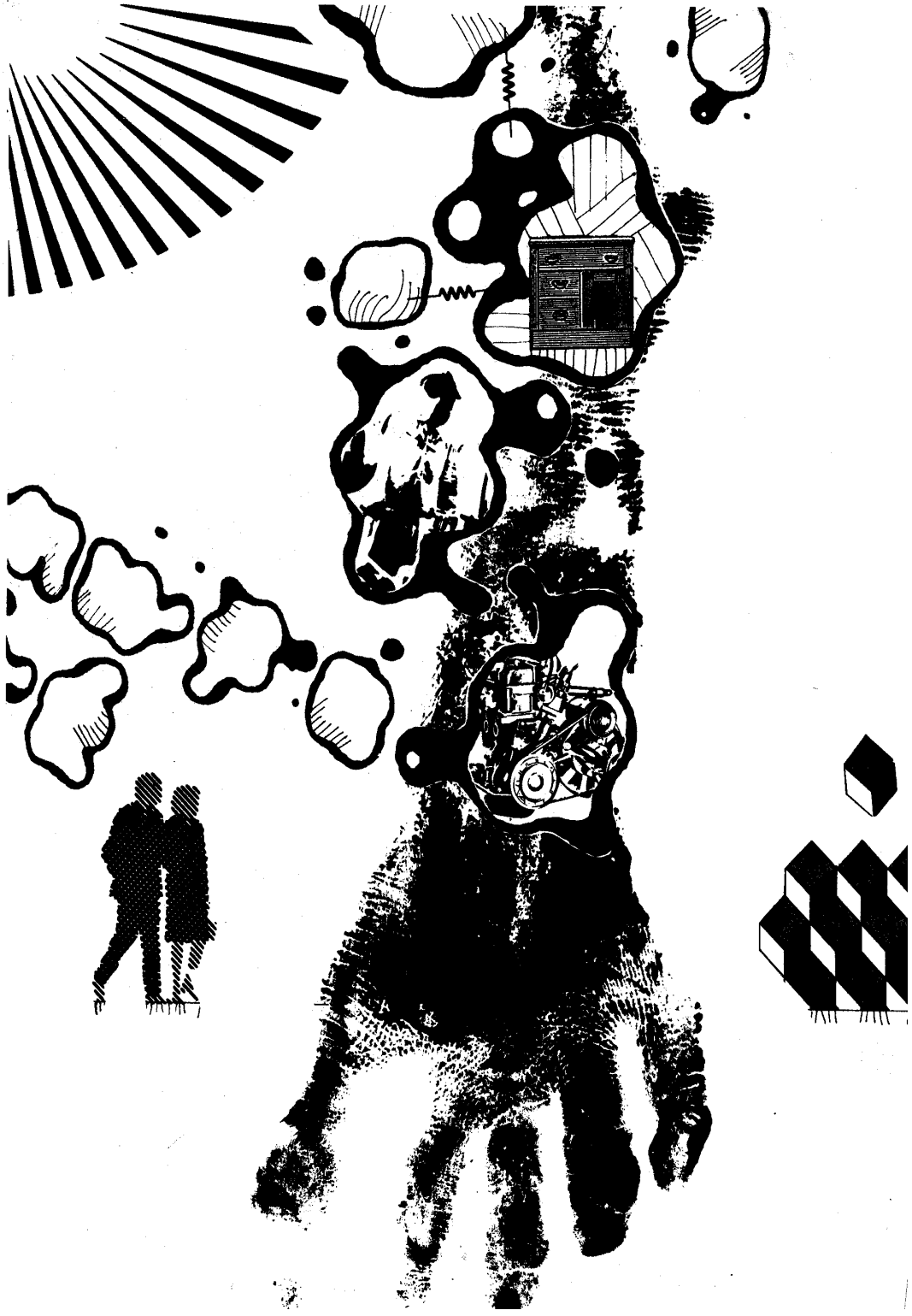
لويجي جلفاني



لويجي جلفاني

وأمثالها
أنجح ه
في قود

يقة تعتبر
المستقبل



الفصل الثالث

تركيب الخلية

Cell Structure

تقوم جميع الكائنات الحية بعدد من النشاطات الحيوية . فالحصول على الغذاء وطرح الفضلات ، والتكيف مع البيئة والدفاع ضد مظاهرها الضارة ، وتكوين كائنات حية مشابهة لها لكن مستقلة وكل هذه الأمور ضرورية لقاء أي كائن حي . وفي الحيوانات العليا تكون هذه الأشياء مألوفة وملحوظة . ولكن هذه الوظائف المختلفة على مستوى الكائن تكون ممكنة فقط بسبب الاستمرارية في القيام بعمليات مشابهة وأن تصعب ملاحظتها ، على مستوى الخلية التي هي وحدة التركيب الأساسية في كل الكائنات الحية .

وتنظيم المكونات الكيميائية في الخلية بحد ذاته يعتبر ظاهرة مدهشة . وعلى الرغم من أنه يمثل المستوى الأدنى من الكيان الذي يمكن اعتباره حياً ، فإنه من الصعوبة البالغة أن لم يكن من المستحيل ، عمل نسخة مطابقة له في المختبر . فمجرد وضع بروتينات وأحماض نووية ، وكربوهيدرات ، ودهنيات ، وأنواع من المركبات غير العضوية ، معاً ، لا يمكن أن ينتج التركيب الدقيق الذي في الخلايا . أن هذا التركيب هو الذي يمكن الخلايا من القيام بآلاف التفاعلات الفيزيائية والكيميائية التي تمكنها من النمو وترميم نفسها والتكاثر ، واستمرار الحياة على مستوى الكائن .

ولا تستطيع الخلايا البقاء على قيد الحياة إذا تمت هذه التفاعلات بشكل عشوائي . فمثلاً ، إذا أريد لمصلحة أن تقوم بتوفير البضائع والحصول على ربح ، فإنه يترتب عليها القيام بأعمال متنوعة ومتداخلة . فيجب أن يكون هناك تنسيق وضبط لنوعية وكمية المواد الخام التي تشترى ، وكذلك تحويل هذه المواد إلى سلع صالحة للاستعمال ، ثم بيع المنتجات وتسليمها للمستهلك . يضاف إلى ذلك أنه يتوجب على الأقسام المختلفة (في هذه المصلحة) أن تبقى على اتصال فيما بينها لتتحاشى التداخل الضار في نشاطاتها وكذلك الأخطاء في الإنتاج .

أن الخلايا قد تتهاوى إلى حالة فوضوية وتموت إذا لم تتوازن وتتجانس نشاطاتها المختلفة . ويجب توافر الكمية والنوعية الملائمة من المركبات غير العضوية والعضوية ليتسنى بناء خلايا جديدة وترميم تلك التي تلفت أو أنهكتن ويجب أن تستمد الطاقة من الشمس أو الجزيئات العضوية ، ثم توزع بشكل ملائم لتقويةا لعمليات الخلوية المختلفة . أما بالنسبة للمواد غير الصالحة للاستعمال فإنها تخزن أو تطرح في البيئة . وفي بعض الكائنات الحية ، تتم جميع هذه العمليات بداخل خلية واحدة ، أما في الحيوانات والنباتات المتعددة الخلايا ، فإنها (أي العمليات) تتوزع بين أنواع مختلفة من الخلايا المتخصصة (تماما كما يحصل في شركات كبيرة حيث توكل المسؤوليات المختلفة إلى أقسام مختلفة بداخلها). وسواء عملت الخلايا بشكل مستقل (كما في الكائنات الأحادية الخلية) أو بشكل اتكالي متبادل (كما في الكائنات المتعددة الخلايا) فإن نشاطاتها تكون متداخلة ويتطلب هذا مستوى متواصلاً من التنظيم الخلوي .

التنوع على المستوى الخلوي: Diversity on the cellular level

عندما نتحدث عن "التركيب الدقيق للخلايا" ، فإنا إنما نقصد أن المكونات الكيميائية لأية خلية تنتظم في نموذج محدد ومعقد . ونحن لا نفترض أن كل الخلايا لها نفس التركيب العام ، ولا حتى أن أية خلية لها كل خصائص الخلايا بشكل عام .

وعلى كل حال فإن العلماء لم يكونوا على مر العصور على علم بهذه الخصائص . فلقد مضى وقت بعد التسليم بأن الخلية هي وحدة الحياة الأساسية ظل يعتقد فيه ان كل الخلايا تتكون من مادة "البروتوبلازم" الحية . وقد عكست هذه العبارة فكرة صحيحة في جوهرها هي أن جميع الأحياء تتشابه أصلاً ، إلا أنها عكست أيضاً فهماً محدوداً ووظيفتها . ثم

ابتكرت أدوات وأساليب متقدمة ، فابتدأ العلماء يكتشفون أن الخلايا تختلف ليس فقط بالحجم والشكل ، وإنما بتعقيد تركيبها ووظائفها .

الحجم والشكل: Size and spatial form

توجد الخلايا بأحجام مختلفة ، إلا أن معظمها صغير جداً حتى أنه لا يمكن مشاهدتها إلا بالمجهر . فبيض بعض الطيور ، التي هي في الواقع خلايا ضخمت بواسطة كميات كبيرة من المواد الغذائية ، يمكن أن يصل قطرها إلى عدة سنتمترات ، ويمكن أن يصل طول الخلايا العصبية في الثدييات إلى ع دة أمتار . ولكن هذه المقاييس تمثل انحرافاً عن المعيار (norm) المألوف . فمعظم الخلايا التي يمكن رؤيتها – مثل الأوليات (Protoza) التي يمكن أن تنمو إلى حجم أقصى هو ٣٠٠ ميكرون– تظهر وكأنها ذرات صغيرة .

ومع أن الخلايا الصغيرة تمثل بمجموعها –مجهرياً– المعيار ، فإنها هي أيضاً تتفاوت في الحجم .

٣٩,٣٧ بوصة	=	متر واحداً (م)
١ سنتمتر (سم)	=	١/١٠٠ متر ($١٠^{-٢}$م)
١ مللمتر (:)	=	١/١٠٠٠ متر ($١٠^{-٣}$)
١ ميكرون (u)	=	١/١٠٠٠ : ($١٠^{-٣}$م)
	=	١/١٠٠٠,٠٠٠م ($١٠^{-٦}$)
١ أنكستروم	=	١/١٠ ١٠ نانومتر
	=	١/١٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ($١٠^{-١٠}$م).

الشكل (٣-١): القياسات المعادلة.

فالخلايا التي تكسو فم الإنسان مثلاً يبلغ قطرها ٦٠ ميكرون ، بينما يبلغ حجم خلايا الجسم الأخرى عشر هذا الحجم . ويبلغ قطر أصغر الخلايا الحيوانية ٤ ميكرون ، بينما يبلغ حجم خلايا بكتيرية كثيرة ربع ذلك . ويرجح أن أصغر الخلايا هي خلايا الكائنات الدقيقة المسماة ميكوبلازما (mycoplasma) التي بلغ قطرها عشر المكرون .

والخلايا كلها ذات أبعاد ثلاثية ، إلا أن لها اشكالاً مختلفة . فقد تكون منتفخة أو مسطحة ، وقد تكون أقراصاً ، مثل خلايا دموية حمراء كثيرة ، أو متعددة الوجودة أو مستطيلة أو خيطية ، كما هي الحال في الخلايا العصبية والعضلية . ويمكن أن يكون

محيطها منظماً أو غير منتظم ، وقد تكون الخلايا بشكل تجمعات لا شكل لها كما في خلايا الدم البيضاء .

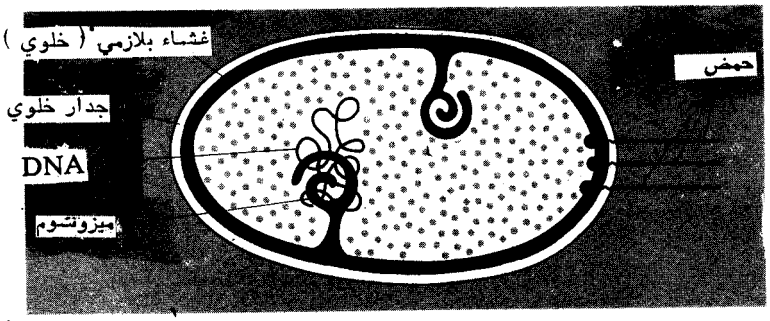
وقد يكون شكلها ثابتاً أو يتغير على فترات ، كما هي الحال في الاميبا . ويتأثر حجم الخلية وشكلها بعوامل عدة ، مثل ضغط الخلايا المتجاورة ، والوظيفة التي تقوم بها الخلية . فمثلاً ، تكون الخلية العصبية التي تقوم بنقل المنبهات لمسافات بعيدة ، طويلة ودقيقة . في حين يساعد الشكل المكتنز لخلايا الدم الحمراء على حمل الأكسجين خلال الشعيرات الدقيقة . ويمكن أن يتخذ النوع الواحد من الخلايا أكثر من شكل واحد ، فخلايا الدم البيضاء (Granulocytes) كبيرة ، في حين أن الخلايا اللمفاوية lymphocytes هي أيضاً بيضاء صغيرة ومستديرة .

الخصائص التركيبية structural features

تحاط خلايا كل كائن حي بغشاء دقيق لين ، مكون من طبقة من جزيئات دهنية محاطة من كل جانب بطبقة من جزيئات بروتينية . ويعطي هذا الغاشء الخلوي plasma membrane للخلية الشكل والقوة ، ويقوم بنوع من الحماية . وينظم عبور المواد من البيئة الخلوية وإليها . ويرجح أن هذا الغشاء هو الجزء المشترك لكل الخلايا .

ويمكن تقسم الخلايا من حيث تركيبها إلى مجموعتين: خلايا البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة (Blue-green Algea) وهذه لها تركيب بسيط نسبياً ، وتدعى بالخلايا الأولية (Orgenelles) وخلايا ما تبقى من الكائنات الحقيقية (Eucaryotic) . ويقوم هذان النوعان من الخلايا بنشاطات متشابهة لاستمرار الحياة ، ولكن الخلاف بينهما يكمن في أن هذه النشاطات تتقاسمها في الخلايا الحقيقية ، وحدات تركيبية متميزة بعضها عن بعض تدعى عضيات (Organelles) في حين أن الخلايا الأولية تقوم كلها بالعمليات الحيوية بشكل أكثر انتظاماً.

وكان أول فريق لوحظ بين هذين النوعين من الخلايا وجود نواة في الخلية الحقيقية محاطة بغشاء . ويوجد في الخلايا الأولية منطقة نووية (Nucleoid-nuclear region) ولكن ليس لها غشاء يفصلها عن بقية المحتويات الخلوية:



الشكل (٢ــ٢):
التركيب الدقيق العام لخلية بكتيرية

وتحاط العضيات في سيتوبلازم الخلايا الحقيقية ، كمثل النواة ، بغشاء شبيه إلى حد كبير بالغشاء الخلوي . وكما يوحي الأسم ، فإن العضيات تقوم بوظائف دقيقة كما تفعل الأعضاء (كالقلب والرئتان) في الكائنات المتعددة الخلايا . وتتم هذه الوظائف في الخلايا الأولية في مركبات بروتينية محاطة بأغشية ، تكون أحياناً على شكل ثنايا داخلية للغشاء الخلوي .

ويعطي التخصص التركيبي للخلايا الحقيقية ليونة كبيرة . ولذلك ، فإنه كما سنرى في فصل لاحق ، ليس من قبيل الصدفة أن تكون كل الكائنات المتعددة الخلايا مكونة من خلايا حقيقية . ومن ناحية ثانية ، فإن خلايا البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة الأولية لها خصائص مميزة تفتقر إليها الخلايا الحقيقية (وخاصة تلك الموجودة في الحيوانات) فمثلاً عندما تكون ظروف النمو غير ملائمة ، فإن بعض أنواع البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة تستطيع تكوين جدران سميكة فتصبح بذوراً (Spores) وبهذا الشكل تستطيع هذه الخلايا الصمود أمام الظروف البيئية القاسية لفترات طويلة من الوقت .

وسنتحرى في البند التالي أوجه الخلاف والشبه في أنواع متعددة من الخلايا ، وأن يكن تركيزنا سينصب على العلاقة بين التركيب والوظيفة في الخلايا الحقيقية .

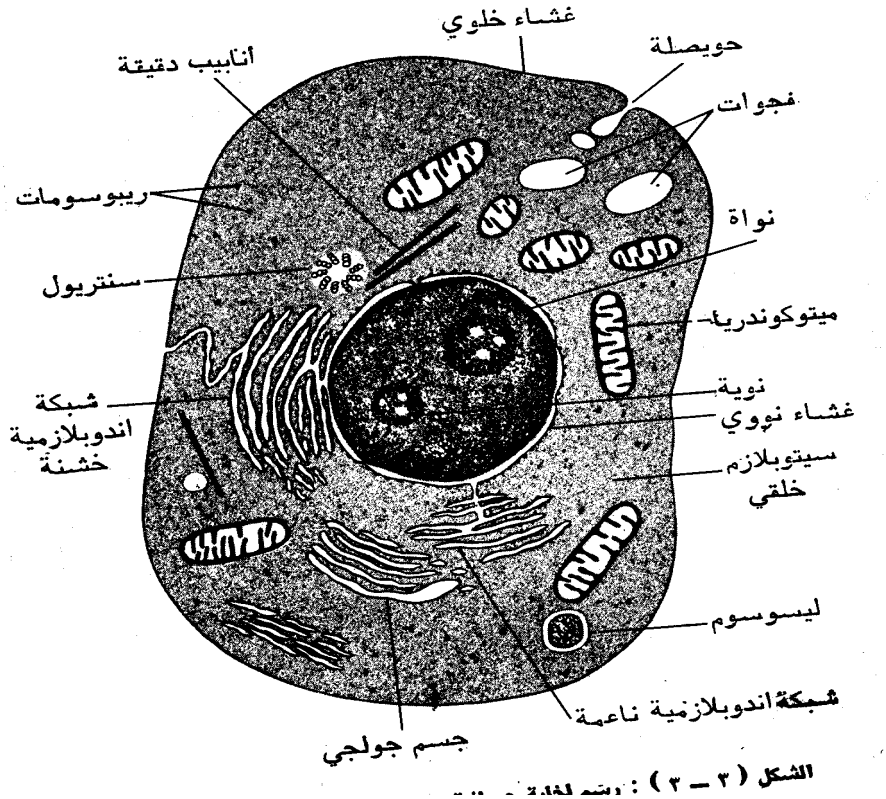
التشريح الخلوي: الخلايا الحقيقية :Cellular anatomy

Eucaryotic cells

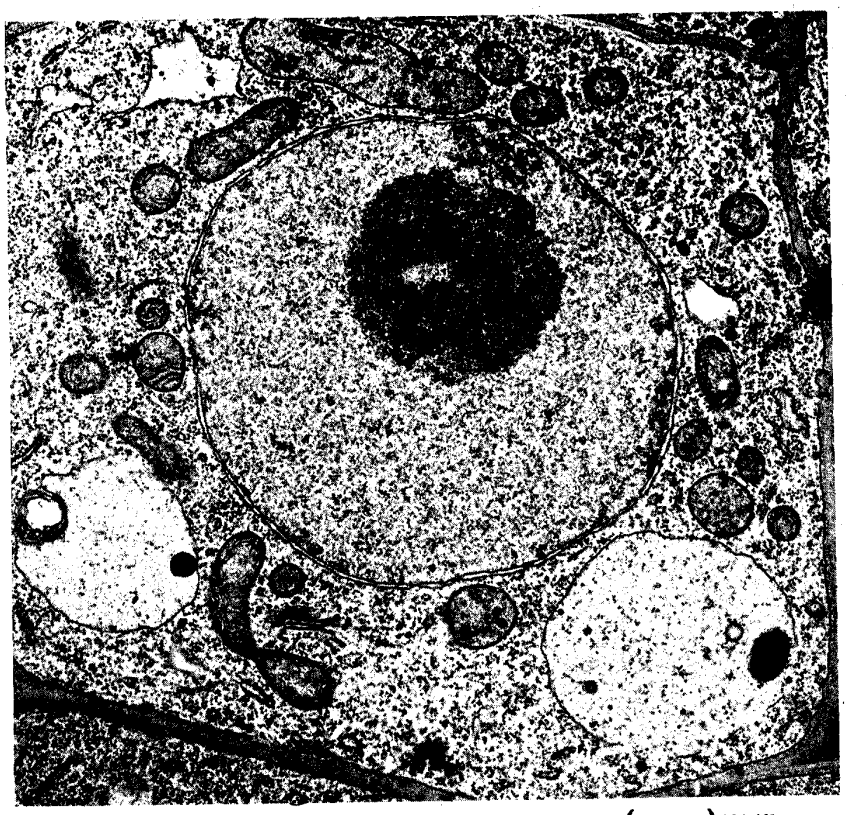
تنقسم الخلية الحقيقية إلى جزأين رئيسيين : السيتوبلازم والنواة . أما السيتوبلازم فإنه معقد وغير متجانس ، ويتكون بشكل رئيسي من بروتينات ودهنيات ، وسكريات ومعادن . ويساعد السيتوبلازم في تنسيق وظائف العضيات لأنه يعمل كوسط تمر خلاله

المواد من عضي لآخر ، أو إلى البيئة خارج الخلية . وتحدث أجزاء من عمليات كيميائية تقوم بها عضيات مختلفة داخل السيتوبلازم نفسه .

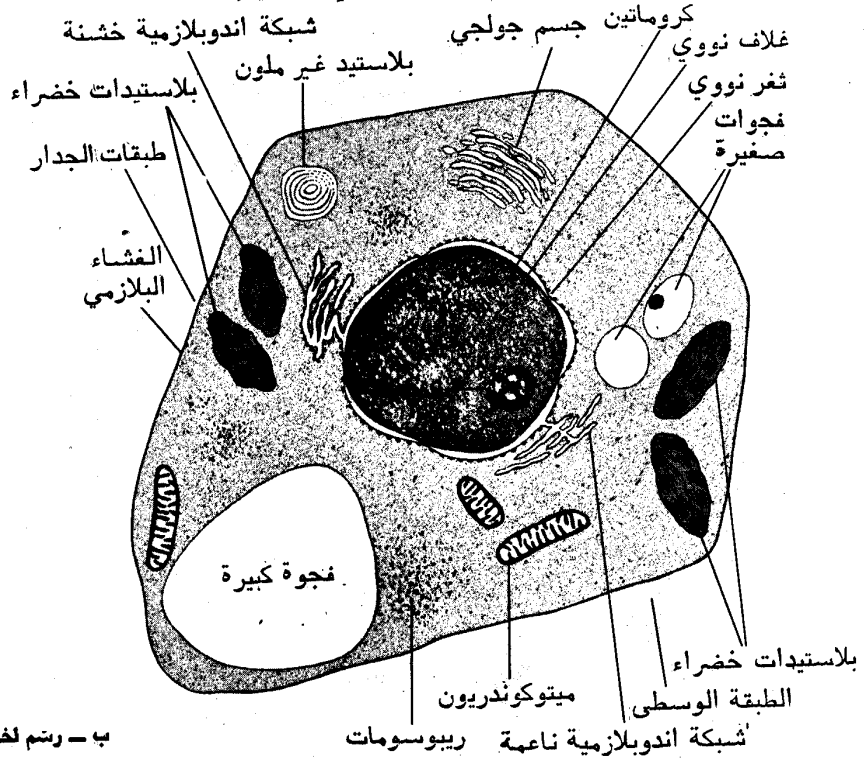
ويفصل النواة عن السيتوبلازم غشاءان وهي تعتبر بمثابة مخزن لمعظم مادة الخلية الوراثية . أما الشبكة الاندوبلازمية (Endoplasmic reticulum) فإنها تربط بين الغشاء النووي والغشاء الخلوي . ويتصل بهذه الشبكة الغشائية المعقدة حبيبات صغيرة تدعى الريبوسومات (Ribosomes) وتقوم بتصنيع بروتينات الخلية بما يتفق مع "المعلومات" الواردة من الخلية . أما العضيات المسماة بالليسوسومات (Lysosomes) فإنها تحتوي على أنزيمات وهي مواد بروتينية تصنعها الريبوسومات وتساعد في هضم المواد العضوية داخل الخلية . وتوجد الانزيمات أيضاً داخل الميتوكوندريا (Mitochandria) وهي بمثابة أجزاء محاطة بأغشية يتم بداخلها تحويل المواد العضوية إلى طاقة لازمة لنشاطات خلوية متعددة .



الشكل (٣ ــ ٣) : يمثل [illegible]



الشكل (٣ ــ ٤) : أ ــ صورة بالمجهر الالكتروني لخلية من نبتة



ب ــ رسم لخلية نباتية .

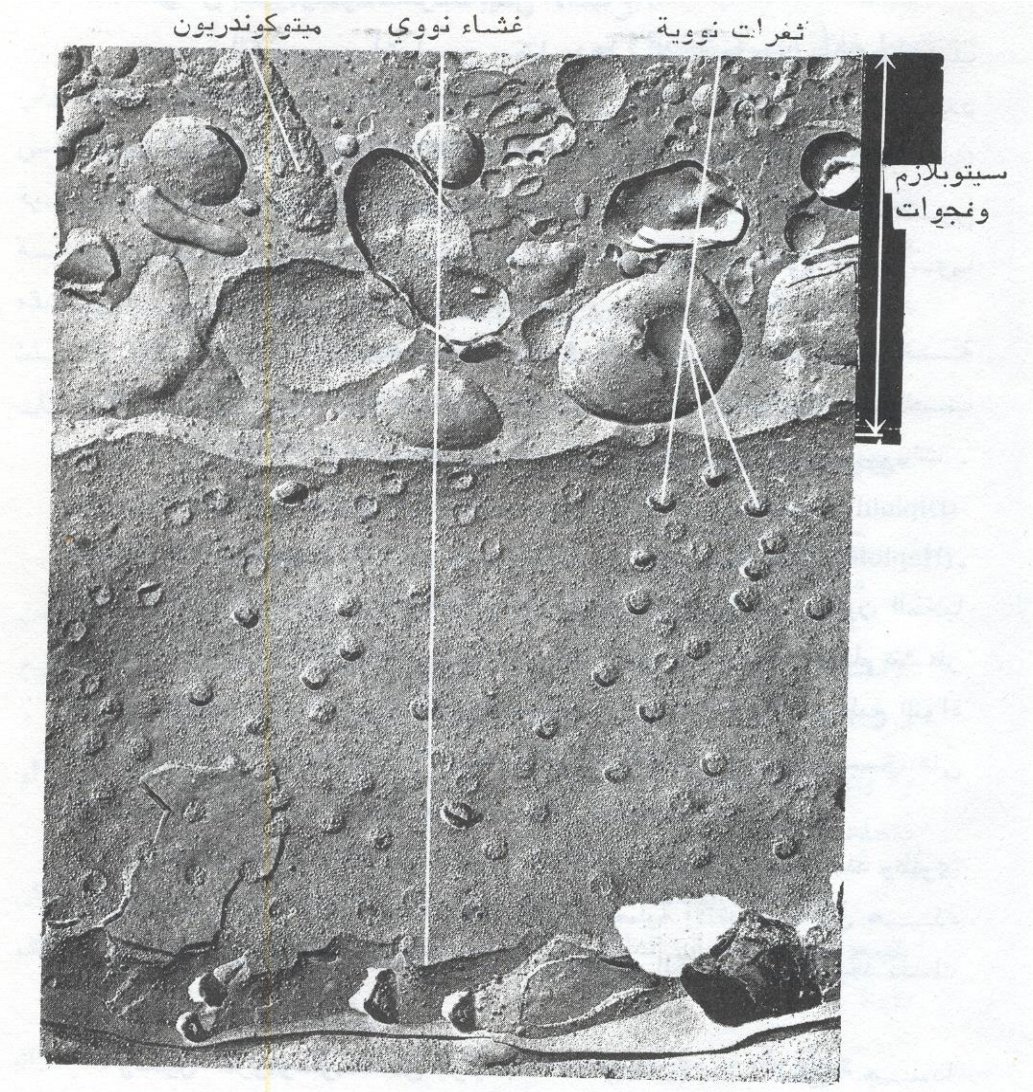
وعلى الرغم من أن هذا الاستعراض لأجزاء الخلية الحقيقية من الناحية التركيبية والوظيفية يعتبر محدوداً ، إلا أنه يبين المستوى التنظيمي الذي يجب على خلايا من هذا النوع الحفاظ عليه لتتمكن من البقاء . ومرة أخرى ، يتوجب علينا عدم إغفال الاختلافات فلا تمتلك كل الخلايا الحقيقية كل العضيات المعروفة ، وليس من الضروري أن تحتوي كل خلية من هذا النوع على كل خصائص الخلايا الحقيقية العامة . وقد يكون هناك خلافات بين خلايا حقيقية لكائنات متعددة الخلايا وأخرى أحادية . وقد يختلف التركيب التحتي بين الخلايا الحقيقية في نفس الكائن وهناك فروق بين الخلايا الحقيقية الحيوانية والنباتية . فمثلاً ، تحتوي الخلايا النباتية وحدها على الكلوروبلاست (البلاستيدات الخضراء Chloroplast) التي تحتوي على مادة كيميائية ضرورية لعملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis) (تحتوي بعض أنواع البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة على هذه المادة ، ولكن ليس بداخل جزء متخصص) . ولكن ، كل العضيات المشار إليها سابقاً ، وتلك التي سنتحدث عنها فيما بعد ، لها نفس التركيب وتقوم بنفس الأعمال ، بغض النظر عن مكان وجودها.

النواة: The nucleous

تعتبر النواة الجزء الرئيسي في كل الخلايا الحقيقية الحية . أنها تحتوي على المادة الوراثية (الحمض النووي DNA) الذي يقرر فعل الخلية في كل العمليات التي يمكن أن يكون لها دور فيها بما فيها التكاثر ، الذي بواسطته تنقسم الخلية لتصبح خليتين جديدتين ، والتميز ، الذي يمكن خلية جنينية ، ذات صفات عامة ، أن تتحول إلى خلية متخصصة ناضجة. وفي النباتات والحيوانات المتعددة الخلايا ، تؤدي عملية التميز (Differentiation) إلى تكوين أنواع متعددة من الخلايا الدقيقة التخصص (مثلاً ، الخلايا العضلية ، أو الخلايا الورقية) التي تمكن هذه الكائنات من التكيف مع بيئاتها . ويقوم الحامض النووي (DNA) بدور رئيسي في التحولات الكيميائية لمواد متعددة تحتاجها الخلية لتنمو ، أو لترمم نفسها ، أو للمحافظة على تركيبها وتنظيمها .

أن النواة هي ، باختصار مركز المعلومات في الخلية وهي التي تقرر مجال نشاط الكائن ، في الوقت الذي تقرر فيه عوامل أخرى – مثل البيئة– الأفعال التي يمكن القيام بها ضمن هذا المجال .

تحاط النواة بغشاء يسمى الغلاف النووي Nuclear envelope وتحتوي على مـــادة حبيبة دقيقة تسمى البلازما النووية (Nucleoplasm) والجزأان الرئيسيان داخل البلازمـــا النووية هما الكروموسومات (Chromosomes) والنوية . ويختلف مظهر هذين الجـــزئين خلال الدورة الخلوية ، ويعتمد عدد كل منهما داخل النواة على على نوع الخلية .



الشكل (٣ ــ ٥) : صورة بالمجهر الالكتروني لنواة من خلية خيطية لجنين دجاج حضرت بطريقة التجميد والتفسخ . لقد جمد النسيج الحي في سائل النيتروجين ووضع في الفراغ . ثم فسخ على طول وجه الغشاء ، ثم ظللت اسطحة بمادتي البلاتين والكربون . واستعملت مادة تقصير لاذابة الوجه الاصلي للغشاء ، وفحصت صورة مطابقة تحت المجهر الالكتروني .

الكروموسومات: Chromosomes

تحمل الكروموسومات الحمض النووي (DNA) الذي يظهر كمادة خيطية كثيفة وذلك عند مشاهدة الأنقسام الخلوي بالمجهر الضوئي وقد أعطى الباحثون الأوائل هـذا الاسـم ، الذي يعني "الأجسام الصبغية" ، لهذه المكونات إذ لاحظوا أن الكروموسومات ترتبط ببعض الأصباغ .

وبصبغ الكروموسوات أصبح ممكناً عدها وملاحظتها بوضوح . واكتشف البـاحثون أثناء ذلك في الخلايا التي لا تشترك في التكاثر الجنسي ، أن عـدد الكروموسـوات فـي الخلايا التي لا تشترك في التكاثر الجنسي (أي الخلايا الجسدية) فـي الحيوانـات ، وفـي الخلايا الخضرية (Vegetative cells) في النباتات يكون ثابتاً ويختلف من نوع إلى نوع . ففي الإنسان تحتوي كل خلية على ٤٦ كروموسوماً بينما تحتوي هذه الخلية في ذبابة الفاكهة على ثمانية فقط .

وقد لوحظ أن الكروموسومات تختلف في الحجم ، والشكل ، وبطريقة صـبغها ، فمثلاً ، عند تقسيم كروموسومات الإنسان الستة والأربعين حسب مظهرها وجد أنهـا ٢٣ نوعاً مختلفاً ، ويمثل كل نوع بزوج من الكروموسومات . وتسمى الخلايا التي تحتـوي على كروموسومين من كل نوع بالثنائية (Diploid) وتسـمى تلـك التـي تحتـوي علـى كروموسوم واحد من كل نوع بالأحادية (Haploid) . وإذا لم تكن الخلية في مرحلة انقسام تنشطر فيها إلى خليتين فلا يمكن رؤية الكروموسومات ، وفي هذه الحالة تصطبغ النـواة عامة بظل خفيف يبين ملامح قليلة من التركيب الداخلي . ويطلق على الكروموسومات في هذه المرحلة اسم كروماتين (Chromatin).

ويعتقد أن جزيئات الحمض النووي (DNA) الطويلة الرفيعة تمتد وتلتوي في النـواة عشوائياً . ولكن عندما تنحصر الخلية لعملية الانقسام ، فإن هذه الجزيئات تلتـف حـول نفسها كشلل الصوف ، فتصبح الكروموسومات بعد ذلك واضحة تحت المجهر الضوئي .

وتتكون الكروموسومات من جزيئات (DNA) الطويلة جداً وتكـون مرتبطـة مـع نوعيات من جزيئات بروتينية صغيرة . وينتمي جزء كبير من هذه البروتينات إلى مجموعة

تسمى الهستونات (Histones) وهذه هي بروتينات صغيرة ترتبط بقــوة بجزئــي (DNA) وهناك بروتينات أكبر توجد في الكروموسومات ، لكنها لا تربط بها بأحكام .

النوية: Nucleolus

تحتوي كل خلية تقريباً ، على نوية أو أكثر . والنويات هي جسيمات كروية صغيرة بداخل النواة . ولا تحاط النوية بغشاء ، ويبدو أنها مكونة من بروتين وأحماض نوويــة وتكون النوية مرئية خلال جميع مراحل النشاط الخلوي ، باستثناء الانقسام الخلوي (وهــذا نقيض حال الكروموسومات التي تكون مرئية فقط خلال انقسام الخلية).

ويبين المجهر الضوئي تفاصيل قليلة عن النوية ، ولكن بالمجهر الإلكتروني تصــبح المكونات تحت التركيبية (Ultrastructureal) متميزة مثل الخيوط التي تلتوي خلال النوية والحبيبات المتوزعة بين الخيوط ، وكذلك المادة الكروموسومية التي تمتد لداخل النوية . وفي انواع مختلفة من لخلايا تكون هذه المادة واضحة عند إحدى نقط التماس بــين بعــض الكروموســومات والنويــات وتســمى هــذه النقطــة بمركــز التنظــيم النــويي (NucleolarOrganizer) ويمكن أن تكون نقاط التماس هذه مراكز تصنيع الحمض النووي (RNA) الذي يمثل إحد مكونات الريبوسومات الأساسية في تصنيع البروتينات .

الغلاف النووي Nuclear envelope

يتكون هذا الغلاف الذي يفصل النواة عن السيتوبلازم من طبقتين مــن الأغشــية . ويسمى الحيز بين الغشاء الداخلية والغشاء الخارجي ، ويتراوح عرضــه بــين ١٠ و ٣٠ نانومتر ، بالحيز حول النووي (Perinuclear Space) ولا يكون هذا الغلاف المــزدوج حصناً مغلقاً حول النواة ، بل يحتوي على ثغور أو فتحات (Pores).

وتقع هذه الفتحات التي يبلغ عرض كل منها حوالي ٧٠ نانومتر في أماكن يندمج فيها الغشاءان الداخلي والخارجي لتكوين حلقة (Annulus) تحيط بكل فتحة .

وعلى الرغم من أن الفتحات كبيرة ، إلا أنها لا تسمح بالعبور الحر للمواد بين النواة والسيتوبلازم . فمثلاً ، أن بعض الجزيئات السيتوبلازمية مع أنها أصغر من الفتحــات لا تستطيع العبور للنواة ، في حين تعبر جزيئيات كبيرة من النواة إلى السيتوبلازم خلال هذه الفتحات .

ولقد بين المجهر الإلكتروني أن الغلاف النووي متصل عند بعض النقاط بالشبكة الاندوبلازمية في السيتوبلازم ، مما يوحي بأن التمييز التقليدي بين النواة والسيتوبلازم يمكن أن يكون تبسيطاً أكثر من اللازم . على أنه لا يزال مفيداً معالجة هذين الجزأين الخويين كشيئين مختلفين ، على إلا يستبعد الاحتمال بوجود رابطة وظيفية مهمة بينهما .

السيتوبلازم The Cytoplasm

يمكن النظر إلى المنطقة الخلوية التي يشغلها السيتوبلازم وكأنها جزءأن متداخلان : الأول هو المادة الإساسية (Ground Substance) أو النسيج السيتوبلازمي (Cytoplasmic Matrix) ويحتوي على كريات غروية دهنية موزعة وجزيئات بروتينية بالإضافة على عدد من الجسيمات الحبيبة والخيطية معلقة في وسط مائي (لا تكون السكريات والأحماض الامينية والمعادن الموجودة في الخلية غروية لأنها تذوب في الوسط السيتوبلازمي) وتظهر المادة الأساسية عدة صفات ينفرد بها النظام اللغوي ، أحداها كما ورد في الفصل السابق ، هي القدرة على تغيير المادة الغروية لنفسها من حالة السيولة على حالة الهلامية ، نتيجة تأثير عوامل مختلفة مثل تغيرات في الضغط ودرجة الحرارة .

والمنطقة الرئيسية الأخرى من السيتوبلازم هي تلك التي تشغلها العضيات الغشائية وهذه لا تكون منطقة منفصلة كلياً بل أن الأغشية تتخلل المناطق الداخلية (الأكثر سيولة) من المادة الأساسية ، مكونة وحودات تركيبية بداخلها .

الريبوسومات والشبكة اللاندوبلازمية

Ribosomes and Endoplasmic Reticulum

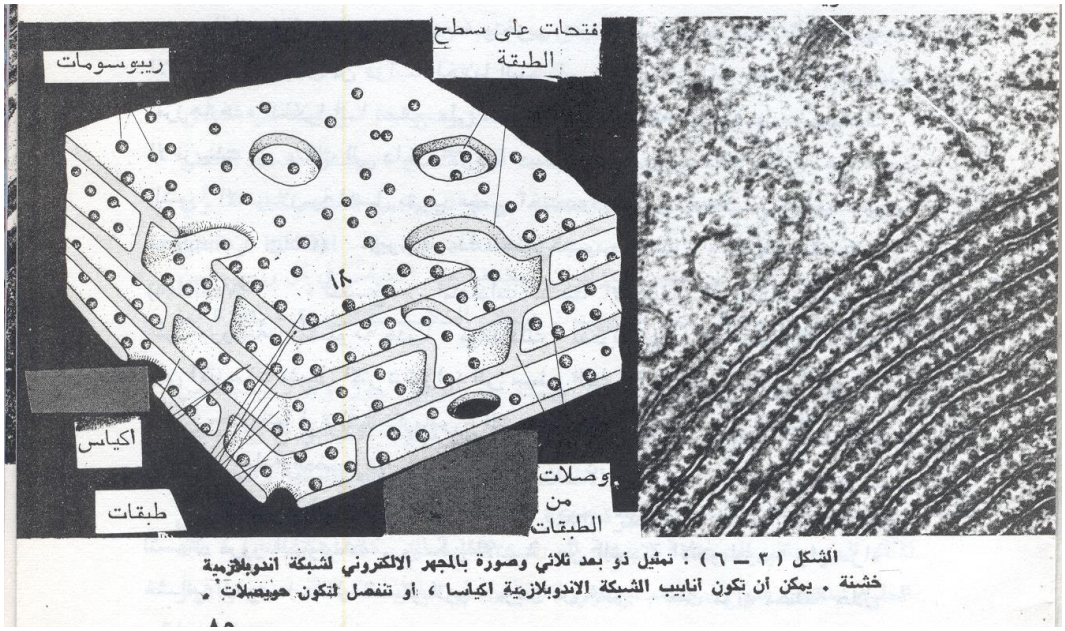
ربما يوحي الحجم الدقيق للأجسام الكروية المسماة بالريبوسومات (Ribosomes) بأن لها دوراً صغيراً في وظائف الخلية . وبالتأكيد ، فإن الأمر يختلف عن هذا . فعلى الرغم من أن قطرها يبلغ حوالي ٢٠ نانومتراً، فإن الريبوسومات قادرة على تصنيع كل الانزيمات وأنواع مختلفة من البروتينان المستعملة في هضم الغذاء ، وبناء وترميم التركيب الخلوي والقيام بالعمليات الكيميائية التي ينتج عنها تكوين الطاقة وجعلها متوافرة للخلية .

تطفو بعض الريبوسومات بحرية داخل سيتوبلازم الخلايا الحقيقية (وهذا كثيراً ما يحدث أيضاً في حالة الريبوسومات الأصغر الموجودة في الخلايا البكتيرية إلا أن هذه الجسيمات توجد في بعض الحالات مرتبطة بالغشاء البلازمي) . وتستعمل البروتينات التي

تفرزها هذه الريبوسوامت "المستقلة" داخل حدود الخلية . أما البروتينات التي تلقى خارج الخلية فتصنفها ريبوسومات موجودة على أسطح الشبكة الاندوبلازمية ، التي هي بمثابة شبكة غشائية غير موجودة في خلايا البكتيريا .

وتكون أغشية الشبكة الاندوبلازمية مجموعة من حيزات مغلقة قد تكون متصلة أو غير متصلة . وتوصف الشبكة الاندوبلازمية بالخشنية (Rough endoplasmic reticulum) نظراً لوجود ريبوسومات متصلة بأغشيتها . أما جزء المجموعة الغشائية التي تفتقر إلى الاتصالات الرسوبية فإنها تسمى بالشبكة الاندوبلازمية الناعمة (Smooth endoplasmic reticulum).

وكل من الشبكة الخشنة والشبكة الناعمة قد تكون مواقع لصنع الدهنيات . وبالاضافة إلى ذلك فإن الشبكة الخشنة هي بمثابة موقع لصنع البروتينات ، وهو عمل الريبوسومات الملتصقة على سطح الشبكة الخارجي ، أي على منطقة الغشاء المحيطية بالسيتوبلازم . ونظراً لأن البروتينات والدهنيات مكونات للأغشية ، فإنه يعتقد أن الشبكة الخشنة هي الموقع الأولى لصنع الأغشية في الخلية .



الشكل (٣ ــ ٦) : تمثيل ذو بعد ثلاثي وصورة بالمجهر الالكتروني لشبكة اندوبلازمية خشنة . يمكن أن تكون أنابيب الشبكة الاندوبلازمية اكياسا ، أو تنفصل لتكون حويصلات .

وكمية الشبكة الأندوبلازمية الناعمة والخشنة الموجودة في الخلايا ، ونسبتهما تتغير من نوع خلوي لآخر ، وكذلك تتغير خلال حياة الخلية الواحدة ، فبعض أنواع الخلايا مثل الخلايا العضلية وتلك التي لها نسبة عالية من تصنيع الدهنيات فيها كمية ضئيلة من الشبكة الخشنة وكمية وفيرة من الشبكة الناعمة . وكذلك ، فأن أنواعاً عديدة من الخلايا ، وخاصة تلك التي تصنع البروتينات (مثل خلايا الكبد والبكنرياس) ، ولها كمية كبيرة من الشبكة الخشنة . وخلال النمو الخلوي وتحت ظروف الأذي (الخلوي) تزيد كمية الشبكة الاندوبلازمية فيالخلية . وهنا ، يلاحظ أولاً زيادة في الشبكة الخشنة وبعد ذلك زيادة في الشبكة الناعمة نويمكن تكوين الشبكة الناعمة عندما تنفصل بعض الريبوسومات عن الشبكة الخشنة .

ويبدو أن تركيب الشبكة الأندوبلازمية يتناسب مع تصنيع المواد العضوية تإذ بأمكانها تخزين هذه المواد إلى حين نقلها خلال الخلية . فمثلاً تكون الشبكة الأندوبلازمية الخشنة قنيات (Tubules) طويلة وأكياساً كبيرة منبسطة ، أو أوعية (Cisternae) يمكن أن تزن البروتينات المصنوعة حديثاً . وحيز التخزين كاف : فكل وعاء يبلغ حوالي ١٠ إلى٢٠ نانوتر عرضاً ، ويمكن أن يصل هذا العرش إلى ١٠٠ نانومتر في بعض الأماكن .

وإليك مثالاً جيداً عن تصنيع ، وتخزين ، ونقل البروتينات بواسطة الشبكة الأندوبلازمية يبتدى من دراسة لخلايا البنكرياس . فأن انزيمات هضمية مهمة تفرزها هذه الخلايا أنما تصنع على سطح الريبوسومات على مهل . وتتحرك الانزيمات من هناك إلى داخل الأوعية حيث تتجمع . وبعد لك خلال المجموعة القنوية الأندوبلازمية لتصل بقرب عضي آخر يدعى جسم جولجي (Golgi Complex) ، تنفسخ عن امتدادات الشبكة الأندوبلازمية الخشنة وتحتوي على البروتينات المصنوعة حديثاً . وبعد ذلك ، تتحرك حويصلات جديدة ، تحتوي على الأنزيمات بشكل أكثر تركيزاً ، إلى سطح الخلية وتلتحم بالغشاء الخلويت وتفرغ محتوياتها في قناة البنكرياس ، التي تأخذ هذه الأنزيمات إلى الأمعاء ، حيث تنشط في عملية الهضم .

ويعتقد أن الشبكة الاندوبلازمية وجسم جولجي يتصلان أحياناً لتسهيل مرور البروتينات . يعطي الأتصال بين الشبكة الأندوبلازمية وأجزاء غشائية أخرى (داخل السيتوبلازم) مزيدا من الممرات لنقل مواد مختلفة خلال الخلية . فمثلاً ، وكما ذكر سابقاً أن الشبكة الأندوبلازمية تتصل في بعض النقاط مع الغشاء النووي الخارجي ، سامحة بذلك مرور المواد بين الحيز حول النووي والحيز الداخلي للشبكة الأندوبلازمية . وتتصل الشبكة

الأندوبلازمية أحياناً بالغشاء البلازمي جاعلة بذلك اتصالاً بين الحيز الداخلي لهذه الشبكة والوسط الخارجي المحيط بالخلية (Extracellula Space) . في الخلايا التي تكون فيها الشبكة الأندوبلازمية متصلة مع كل من الغشائين البلازمي والنووي ، فأن الحيز حول النووي يكون ، بالفعل ، متصلاً بالحيز الخلوي الخارجي . ويعني هذا أن بعض المواد تستطيع التحرك بين بيئة الخلية الخارجية والحيز حول النووي دون أن تمر بداخل السائل السيتوبلازمي .

وحدة جولجي: The Golgi compelx

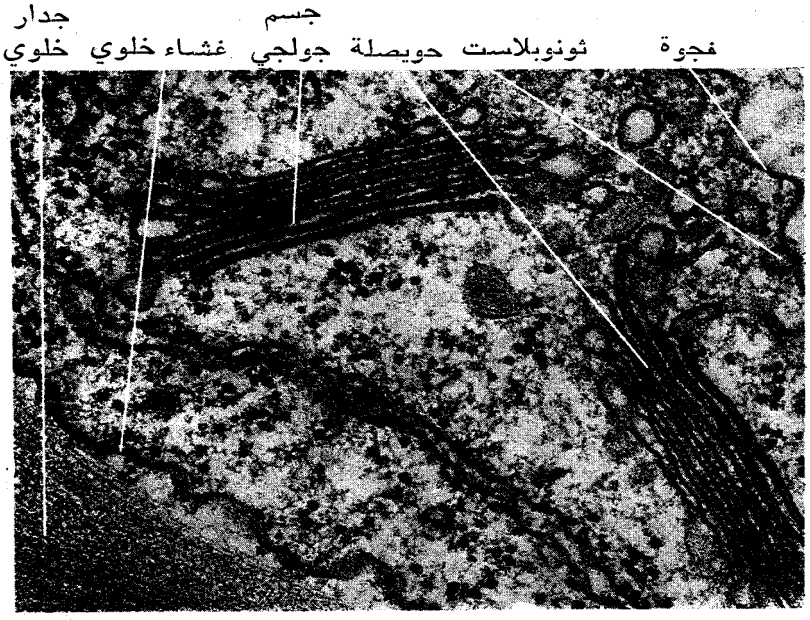
كان وجود الجزء تحت الخلوي المعروف باسم جسم جولجي (Golgi complex) موضع نقاش لمدة طويلة بعد عام ١٨٩٨ ، عندما وصف العالم كاميلو جولجي (Camillo Golgi) هذا الجزء الأول مرة في الخلايا العصبية في البوم والقطط . وادعى علماء كثيرون بأن جسم جولجي لم يكن إلا نتيجة اصطناعية لعملية الصبغ التي استعملت مع المجهر الضوئي . ولكن بتطوير المجهر الإلكتروني أصبح التحقق من وجود هذا الجزء ووصف ملامحه الرئيسية أمراً ممكناً .

يتكون جسم جولجي عادة من حويصلات ، وفجوات ، ورزمة من أكياس منبسطة وتتقوس كل من هذه لتكون كأساً قليل العمق . ويدعى أسفل الكأس الوجه القريب (Proximal Face) وهو قريب من الغشاء النووي والشبكة الأندوبلازمية . أما الوجه البعيد (Distal Face) أو أعلى الكأس ، فأنه إلا بعد هذين الجزأين . ويختلف عدد الأكياس في كل رزمة من جسم جولجي ، وكذلك عدد الرزمات . فبعض الخلايا النادرة ، مثلاً ، لها حوالي ٢٥,٠٠٠ رزمة .

وكانت هذه الاختلافات عوامل تبعث على الجدل حول وجود وخصائص جسم جولجي التركيبية . وأخيراً ، تم الأقرار بأن ترتيب الأكياس في رزم يكون جسم جولجي ، بغض النظر عن الاختلافات في أنواع الخلايا النباتية والحيوانية المختلفة . ولكن ، حتى خلال فترة الجدل ، عندما كان يشار إلى التركيب التحتي لذلك الجزء بأسماء مختلفة (نسبة إلى نوع الخلية التي كانت تكتشف) ، كان العلماء متفقين على أن جسم جولجي كان أبرز في الخلايا المتصلة بنع وأفراز

المواد المختلفة.

ومنذ ذلك الوقت أكدت الدراسة المجهرية الالكترونية دور جسم جولجي في النشاطات التصنيعية والافرازية لبعض الخلايا . ولكن لا يبدو أن هذا الجسم يعمل كموقع لتصنيع البروتينات ، على الرغم من أنه يشترك في تصنيع مواد غير بروتينية في بعض الحالات . أن وظيفته الأساسية هي معالجة وجمع المواد المختلفة التي ستستعمل في أجزاء أخرى من الخلية ، أو تفرز خارج الخلية .



الشكل (٣ ــ ٧) : صورة بالمجهر الالكتروني لجسم جولجي ، الذي غالبا ما يشار اليه باسم ديكتيوسوم ، عندما يوجد في خلية نباتية (كما يبين هنا) .وتظهر الديكتيوسومات كمنتجة لحويصلات ترتحل للخارج باتجاه الغشاء الخلوي ، أو الى الداخل باتجاه الثونوبلاست (جدار الثوتر) الذي تلتحم به ، بحيث تلقي بمحتوياتها في الجدار الخلوي أو الفجوة . ويعتقد بأن هذه احدى العمليات التي يتم بواسطتها زيادة الجدار الخلوي . يمكن مشاهدة حويصلة تلتحم بالتونوبلاست (جدار التوتر)

وبعودتنا إلى وصف النشاط الخلوي في البنكرياس ، نستطيع التحدث عن عمل جسم جولجي بمزيد من التفصيل . تتحرك حويصلات الشبكة الاندوبلازمية ، التي تنفصل عن الامتدادات الناعمة من الشبكة الخشينة ، والتي تكون معبأة بالانزيمات ، باتجاه الجانب القريب من جسم جولجي . وهنا تندمج هذه الحويصلات بالجسم ويعاد تعبئتها لتصبح الأكياس الخارجية في رزمة الأوعية ، فتعطي أغشيتها (من دهنيات وبروتينات) ومحتوياتها (الانزيمات) إلى الأكياس . وبعد ذلك ، يرحل الكيس ، أو الوعاء ، خلال حزمة الجسم وبهذا تعدل المواد التي فيه وتتركز .

يطرأ على غشاء الأنبوب في جسم جولوجي تغير مثير للدهشة ، وهو زيادة سمك هذه الغشاء بالتدريج من ٦ إلى ١٠ نانومتر ، ففي البدء يكون هذا الغشاء شبيهاً بأغشية الشبكة الاندوبلازمية والغلاف النووي . ولكن عند وصول الأنبوب إلى الجزء الخارجي من جسم جولجي ، ليمر بالسيتوبلازم حيث يأخذ طريقه إلى سطح الخلية فإن سمك غشائه يصبح أقرب إلى سمك الغشاء البلازمي . ويعكس هذا التغير اختلافات في تركيبه الكيميائي . ويبدو أنه يوحي بوجود علاقة تركيبة ووظيفية بين عناصر الأغشية المختلفة .

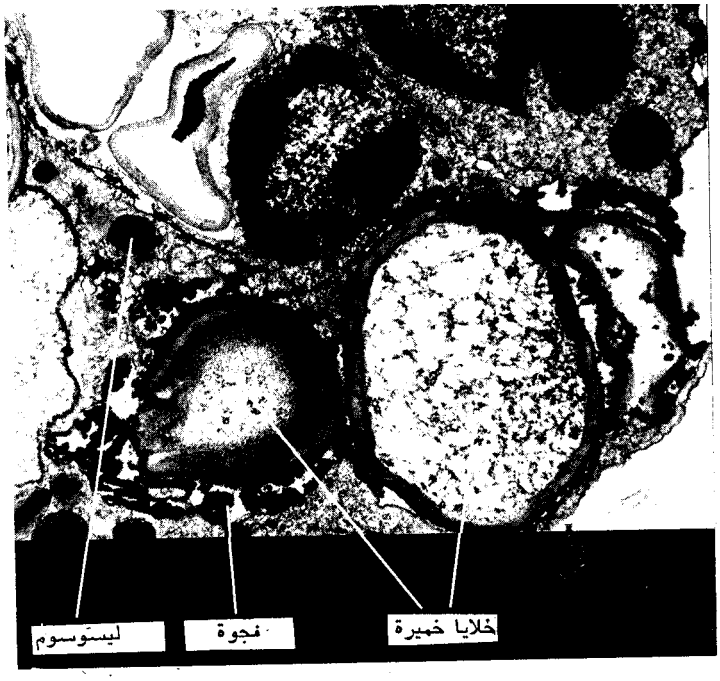
الليسوسومات Lysosomes

لا تفرز كل الانزيمات الهضمية التي يجمعها جسم جولجي خارج الخلية . ويسود الاعتقاد بأن بعض الأكياس الغشائية توزع داخل الخلية كأجسام تدعي ليسوسومات (Lysosomes) تحتوي على أنواع كثيرة من الانزيمات . وتوجد هذه الأجسام في الخلايا الحيوانية ، وقد شوهدت في نوع واحد من الخلايا النباتية الموجودة في قمة جذر الذرة .

تزود الليسوسومات خليتها بطريقة لهضم المواد العضوية . فمثلاً ، تبتلع بعض الخلايا مواد غذائية من البيئة الخارجية وتحيطها بأكياس أو حويصلات . وعندما تتحد الليسوسومات مع كيس كهذا ، فإن أنزيماتها تحطم الجزيئات الناتجة عن هذه العملية الهضمية إلى السيتوبلازم ليستفاد منها كمصدر غذائي أو كطاقة للخلية .

ويختلف عدد الليسوسومات باختلاف أنواع الخلايا . وتوجد هذه الأجسام بكثرة في بعض خلايا الدم البيضاء (Macrophyages) لتساعدها في تحطيم الخلايا الميتة وفضلات الخلايا التي تتجمع في مواقع الأذى . وكذلك ، فإن خلايا النسيج المتفسخ أو المنهك تحتوي على كمية كبيرة من الليسوسومات ، وإليك مثالاً على نسيج غني بالليسوسومات : ذيل فرخ الضفدع ، الذي تهضمه الانزيمات أثناء تحول هذا الفرخ على ضفدع .

وإذا تفجر عدد كبير من الليسوسومات وألقى بأنزيماتها في السيتوبلازم . فإنه ينتج عن ذلك ما يسمى بالتحلل الذاتي (Autolysis) ، أي أن الخلية تهضم نفسها. وربما يكون



الشكل (٣ ــ ٨) صورة بالمجهر الالكتروني لليسوسومات في خليـــة دم بيضاء . لقد غلفت خلية خميرة داخل فجوة ، وهي تهضم بانزيمات الليسوسومات (الكتل الداكنة المحيطة بخلية الخميرة) . وكذلك يظهر ليسوسوم سليم .

وربما يكون من المفارقات بأن عمل أنزيمات الليسوسومات الهدام يمكن أن يدعم الحياة فإذا سمح لخلايا ميتة أو مدمرة بأن تتفكك على طريقتها الخاصة- أي بدون مساعدة انزيمات الليسوسومات ، فإن ذلك سيؤخر أو يمنع تكوين خلايا جديدة أو أجزاء خلوية ، وبعبارة أخرى فإن الليسوسومات تهيء الطريق لتجديد الحياة عن طريق تكسير محتويات خلية ميتة ، أو امداد الجزيئات اللازمة في نمو خلية جديدة .

البيروكسي سومات والجليوكسي سومات Proxisomes and glyoxisomes

بينت الأبحاث الحديثة وجود أكياس غشائية في بعض الخلايا يفرزها جسمم جولجي ، وهي تحتوي على أنزيمات تعمل في الأكسدة وليس في الهضم ، ويبلغ قطر هذه الأجسام في

الحيوانات حوالي نصف ميكرون وتحتوي ، نوع من الأنزيمات يدعي بيروكسيديزات (Peroxisomes) وكذلك سميت هذه الأجسام بيروكسي سومات (Peroxisomes) ويبلغ قطر هذه الأجسام في النباتات بين ١/٢ ميكرون وميكرون واحد ، وتحتوي على أنزيمات لتصنع مادة تسمى كلايوكسيليت (gloyxylate) تتكون أثناء تحطم الدهنيات . ولذلك سميت هذه الأجسام بجلايوكسي سومات (glyoxisomes) وهي توجد بأعداد كبيرة في الأنسجة النباتية الغنية بالدهون ، كالنسيج الغذائي المحيط ببذرة الخروع .

الميتوكوندريا Mitochondria

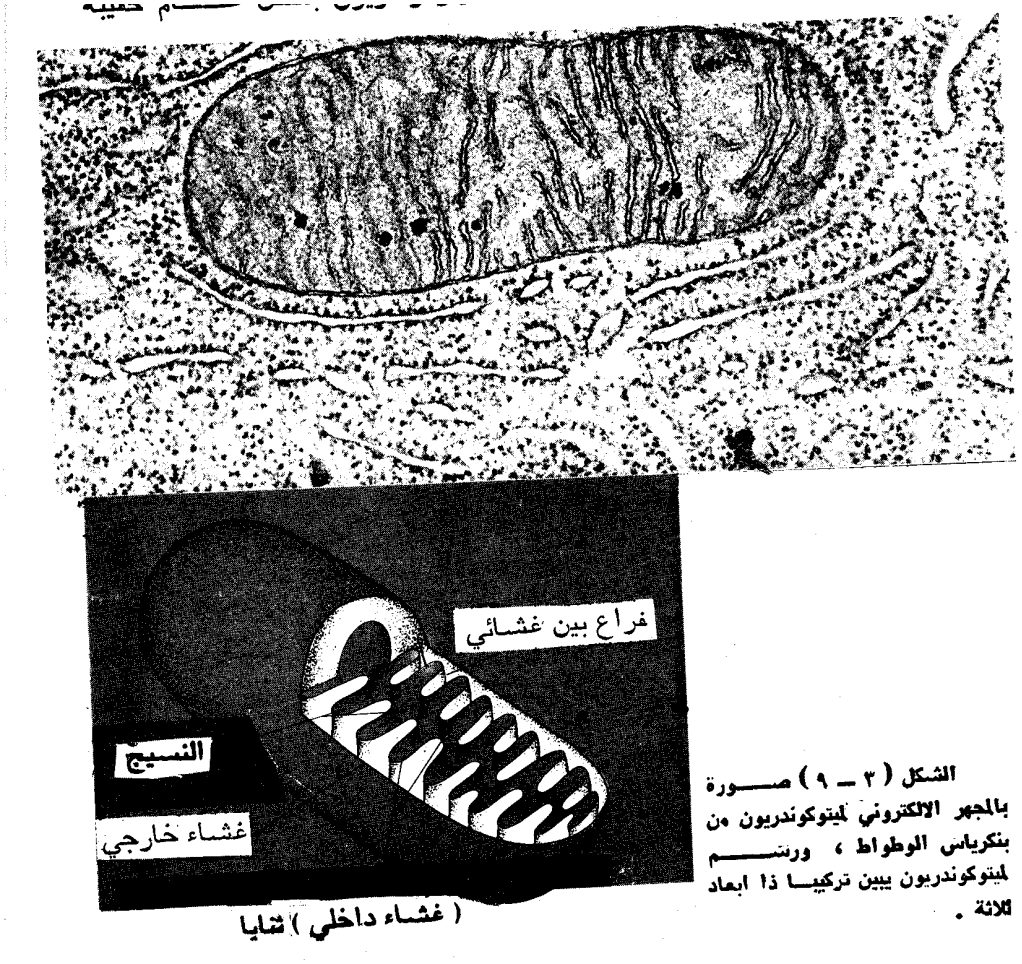
ذكرنا سابقاً أن الليسوسومات تسهل تحطيم المواد العضوية ، الدهون والبروتينات والكربوهيدريات ، والأحماض النووية إلى جزيئات بسيطة مثل الأحماض الأمينية . وتستطيع هذه الجزئيات البسيطة اختراق غشاء عضلي آخر يسمى ميتوكوندريون (mitochondrion) حيث تشترك في التفاعلات الكيميائية التي تمد الخلية بالطاقة .

يتراوح طول هذه العضيات بين ١/٢ ميكرون و٢ ميكرون وعرضها بين ١، ميكرون و ٥ ميكرون لكنها تحتوي على كل الأنزيمات والمكونات التركيبية التي تساعد على أكسدة الجزيئات العضوية بواسطة مجموعة طويلة ومحكمة من الخطوات التي تمكن من تخزين الطاقة التي تنتج في روابط فوسفاتية بجزيء (ATP) وعندما تحتاج الخلية على مصدر حراري فوري لأي من نشاطاتها فإنها تستتطيع الأخذ من احتياطي جزيئات (ATP) المكون من الميتوكوندريا .

ويختلف عدد الميتوكوندريا بالنسبة لنوع الخلية التي توجد فيها . فبعض خلايا الطحالب مثلاً لها ميتوكوندريون واحد ، بينما يوجد في الاميبا حوالي ١٠,٠٠٠ ويوج في الخلايا الإنسانية (باستثناء الخلايا الدموية الحمراء) مئات منها ، بينما لا توجد في البكتيريا أطلاقاً (للكتيريا حجم شبيه بحجم الميتوكوندريا) ويمكن مشاهدة الميتوكوندريا في حركة حية في بعض أنواع الخلايا ، تصل أحياناً إلى مسافات كبيرة داخل السيتوبلازم . ويبدو أنها تميل للتحرك باتجاه مناطق الخلية حيث طلب الطاقة كبيرة . وبالحقيقة ، تتركز الميتوكوندريا دائماً في الخلايا التي لها دور دائم في عمليات تكون الطاقة . فمثلاً ، تكثر الميتوكوندريا في أجزاء الخلايا العصبية التي تنقل المنبهات الكهربائية ، وبأجزاء الخلايا العضلية المشتركة مباشر في عملية الانقباض وبأجزاء الخلايا الافرازية التي تنتج البروتينات

أو مواد آخر ويعطي عدد الميتوكوندريا الكبير الموجود في الاميبا وكائنات مشابهة مصدراً جاهزاً للطاقة للمساهمة في حركة هذه الكائنات المميزة .

لقد اصبح ممكنا تفسيخ الميتوكوندريون جزءاً جزءاً ، بحيث تفصل مكوناتها لتبيان أدوارها الخاصة . ويشبه تركيب الميتوكوندريون بشكل عام حقيقة غشائية صغيرة محيطة



الشكل (٣ ــ ٩) صـــورة بالمجهر الالكتروني لميتوكوندريون من بنكرياس الوطواط ، ورســـم لميتوكوندريون يبين تركيبـا ذا ابعاد ثلاثة .

بحقيقة أكبر ثنيت بشكل أنيق وطويت بحيث تناسب ذلك . وتدعى الثنايا والطيات في الغشاء الداخلي بالأصابع (Cristae) ويدعى الحيز بين الغشاءين الدخلي والخارجي بالحيز بين الغشاء (Intermemberane Space) أما المنطقة السائلة المحاطة بالغشاء الداخلي فتدعى النسيخ (Matrix) وتحتوي على حبيبات ، وبعض الانزيمات المستعملة في نشاطات تكوين الطاقة في الميتوكوندريون ، وجزيئات ألى (DNA) وهذه قد تعطي تفسيراً

لاستقلالية هذا العضي عن النواة). وكذلك ريبوسومات من نوعية أصغر من تلك الموجودة داخل السيتوبلازم .

لقد كانت أغشية الميتوكوندريا الشبيهة بالغشاء البلازمي مداراً لدراسة مستفيضة . وقد استطاع الباحثون سلخ الغشاء الخارجي وتفكيك الغشاء الداخلي عن طريق إزالة المكونات البروتينية أو الدهنية واحد تلو الآخر . وتظهر هذه العملية أية وظائفة يخسرها الغشاء عند إزالة مكون ما وبهذا يمكن معرفة العناصر النشطة في الغشاء . ولقد بينت معظم الدراسات أن أغشية الميتوكوندريا متكيفة بشكل دقيق مع وظائفها الكيميائية . فمثلاً ، يعتبر الغشاء الداخلي أكثر تمييزاً للمواد التي تمر من خلاله بالمقارنة بالغشاء الخارجي . وكذلك ، فإن معظم الأنزيمات التي تشترك في نشاطات الميتوكوندريون الكيميائية متداخل في الغشاء الداخلي . وهذا ليس مستغرباً نظراً لأن الأصابع تعطي مساحة سطحية كبيرة تلزم للتفاعلات الكيميائية المتلاحظة التي تتم بداخل الميتوكوندريون (إذا لم تكن مجموعات الأنزميات التي تحفز هذه التفاعلات مبتعدة بعضها عن بعضه بما فيه الكفاية فإنه من غير المستطاع أن تتم هذه التفاعلات بطريقة منتظمة) . ولقد يبدو أن التغيرات في عدد الاصابع وتركيبها ترتطيب بالحاجات الحرارية للخلية . فمثلاً إذا كانت احتياجات الطاقة كثرة ، فإن عدد الأصابع يكون بالمقابل كبيراً ، وتساعد هذه (الأصابع) في زيادة المساحة السطحية للغشاء الداخلي ، وهذا ما يساعد في مضاعفة القدرة الوظيفية للميتوكوندريون .

البلاستيدات Plastids

يشار إلى ثلاثة أجزاء نباتية . البلاستيدات الخضراء (Chromoplast) والبلاسيتديات البيضاء (Leucoplast) والبلاستيدات الملونة (Chromoplast) بعبارة عامة هي البلاستيدات (Plastids) ، وتتكون جميع هذه البلاستيدات من أجزاء أبسط وأصغر تدعي البلاستيدات الأولية (Proplastids) وللبلاستيدات الأولية ، مثل الميتوكوندريا ، ريبوسوماتها الخاصة ، بالإضافة إلى بعض (DNA) الذي يساعدها على الانقسام مستقلة عن النواه .

ويمكن اعتبار البلاستيدات والميتوكوندريا شركاء ، نظراً لأن المواد الأولية لكل منهما هي نواتج الآخر ، كما يظهر من القائمة التالية:-

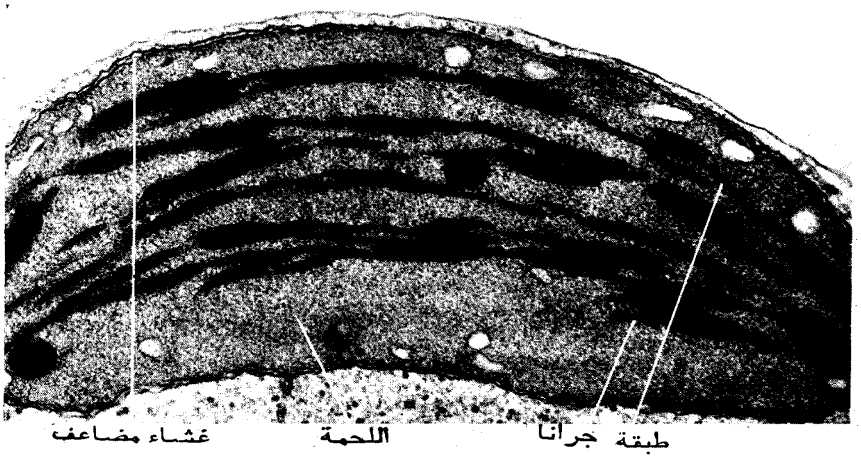
	البلاستيد	الميتوكوندريون
المواد الخام	– ثاني أكسيد الكربون	– كربوهيدرات بسيطة
	– ماء	– أكسجين
	– طاقة	– ثاني أكسيد الكربون
النواتج	– كربوهيدرات بسيطة	– ماء
	– أكسجين	– طاقة

يساعد الصبغ الأخضر الخاص بالبلاستيد على التقاط الطاقة الشمسية ، التي تستعمل لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى سكريات ونشويات وأكسجين . وعملية التحويل هذه المسماة بالتمثيل الضوئي (Photosynthesis) هي السبب في إنتاج معظم الطاقة الكيميائية (المخزونة عادة بشكل روابط كيميائية في الكربوهيدرات) اللازمة للنباتات والحيوانات التي تتغذى عليها .

أن قدرة الكلوروفيل على التقاط الطاقة الشمسية مرتبطة بشكل وثيق بالتركيب الداخلي للبلاتسيد . يحاط بالبلاتسيد ، وهو عادة صغير وبويضي ، بطبقتين من الأغشية تحيطان بالمادة الداخلية لهذه الجزيء . وتدعى هذه المادة باللحمة (Stroma) وهي شبيهة بالمادة الداخلية في الميتوكوندريون ، إذ إنها تحتوي على ريبوسومات وأنزيمات عديدة . ويشكل الغشاء الداخلي ثنايا تعرف بالصفائح Lamellae أو (Thylakoids) تدخل في اللحمة . وجزيئاتت الكلوروفيل موجودة بداخل هذه الأغشية . أن التنظيم الدقيق لمكونات هذا الغشاء والصبغ الحساس للضوء هو الذي يسهل عملية التمثيل الضوئي .

ولا يتم التمثيل الضوئي في البلاستيدات الملونة لأنها تحتوي على الأصباغ الصفراء ، أو البرتقالية أو الحمراء فقط . وتعطي هذه الأصباغ اللون الخاص للأزهار ، والفواكه ولجذور النبات ، مثل الجزر ، والبندورة . وفي بعض الحالات تنتج البلاستيدات الملونة من البلاستيدات الخضراء . وهذا ممكن نظراً لأن البلاستيدات الخضراء تحتوي عادة على

أصباغ الكلوروفيل ، على الرغم من أنها مخفية بالصبغ الأخضر . وعندما تنقص كمية الكلوروفيل ، تصبح ألوان الأصباغ الأخرى بارزة، وبهذا تتغير البلاستيدات الخضراء إلى



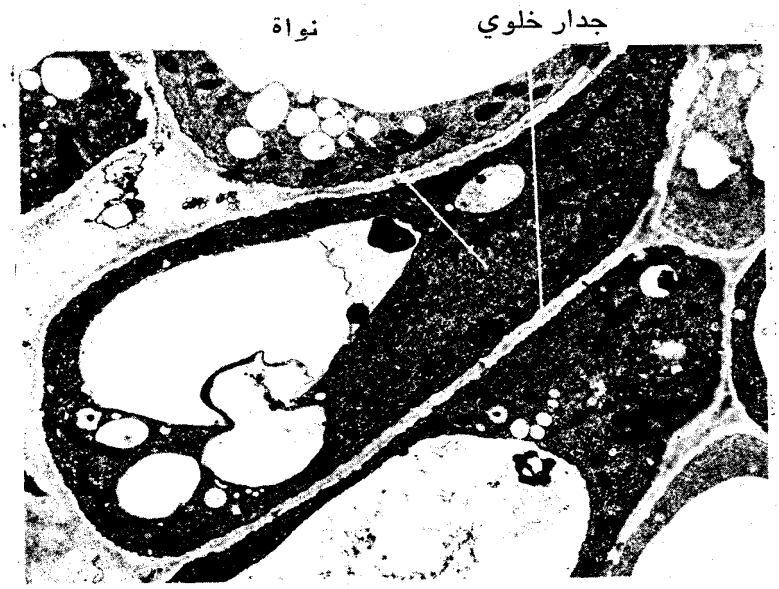
الشكل (٣ ــ ١٠) صورة بالمجهر الالكتروني لبلاستيد أخضر من ورقة التبـــــــــاك *Nicotiana tabacum* . يدعى داخل الثايلاكود بالفراغ الثايلكودي ، وتسمى منطقة الغشاء المضاعف حيث تتصل الثايلكويدات المكونة من عدة طبقات بالحاجـــز . ويمكن فصل أغشية الثايلكويدات وبتكسيرها يمكن تشخيص مواقع الخطوات المختلفة في النقاط الطاقة .

بلاستيدات ملونة . والبلاستيدات عديمة اللون لا تحتوي على أصباغ ، ولكنها تخزن مواد غذائي مثل النشا ، والبروتين والدهون ، وذلك يعتمد على نوع الخلية التي توجد بها هذه الأصباغ .

ويبدو أن نمو نوع البلاستيدات الذي يتكون من البلاستيد الأولي يتقرر بأمرين: موضع النسيج وبيئته . فيجب تعريض البلاستيدات الأولية للضوء كي تتحول إلى بلاستيدات خضراء ناضجة نظراً لأن الضوء ضروري لتكوين الصفيحة وتصنيع الكلوروفيل . والبلاستيدات الأولية في الجذور تنمو عادة لتكون بلاستيدات عديمة اللغون أو بلاستيدات ملونة .

وهناك عضي يوجد بالخلايا النباتية أكثر منه في الخلايا الحيوانية وهو الفجوة (Vacuole) والفجوة في جوهرها ، عبارة عن فراغ منفصل عن بقية أجزاء الخلية بواسطة غشاء يدعيى (Tonoplast) وهذه الفجوة تحتوي على محلول مائي يسمى عصارة الخلية

(Cell Sap) . ويلاحظ أن الفجوات الصغيرة توجد بداخل سيتوبلازم الخلايا غير الناضجة وبنمو النبة يزداد حجم الفجوات ثم تتحد لتكون فجوة كبيرة خاصة بالخلايا الناضحة . وتضغط هذه الفجوات على السيتوبلازم ، وأحياناً على النواة دافعة بها نحو الحد الداخلي للخلية.



الشكل (٣ ــ ١١) : خلايا برنشيمية يانعة من مزرعة خلوية ، تبـــدأ بالازدياد بنمو الفجوات في السيتوبلازم . في الخلية العليا ، يمكـــن مشاهدة فجوتين تندمجان ، حيث ان الاغشية والسيتوبلازم بينهما تتفكك . وينتج عـــن زيادة الحجم الكلي للخلية نقصان في الحجم النسبي لكل من النواة والجدار .

وتعمل الفجوة كخزان للماء، وكمخزن للمواد المذابة في الماء التي تكون العصارة الخلوية . ومن هذه المواد الأحماض العضوية ، وبعض الكربوهيدرات والأملاح اللاعضوية (مثل النايتريت والفوسفات) ، وبعض الأصباغ الذائبة في الماء ، وكذلك البروتينات والغازية المختلفة (مثل ثاني أكسيد الكربون، والأكسجين والنيتروجين). ويخزن بعض هذه المواد بداخل الفجوة نهائياً ، وبخزن البعض الآخر بشكل مؤقت . فمثلاً يمكن أن تنتج الخلية كميات كبيرة من القلويات العضوية ، أو يمكن أن تجمع كميات غير مستعملة من أملاح التربة . كل هذه تخزن في الفجوة إلى حين الحاجة إليها . وتعتبر الفجوات مصدراً للعصير المستخرج من النباتات بعد سحقها .

وفي كثير من الأوليات والكائنات أحادية الخلايا ، تحتوي الفجوات على جسيمات من الغذاء كشيء احتياطي . وبمساعدة انزيمات الليسوسومات ، يستطيع الكائن هضم هذه الجسيمات على مدى فترة من الزمن ، لينتج عن ذلك فضلات تخزنها في فجوات أخرى من الخلية .

الأنابيب الدقيقة (Microtubules) والخيوط الدقيقة (Microfilaments)

يوجد في سيتوبلازم الخلايا النباتية والحيوانية أجزاء تسمى الأنابيب الدقيقة (Microtubles) وهي أنابيب طويلة جوفاء وقاسية يبلغ قطرها حوالي ٢٠-٢٥ نانومتر، وهي مكونة من بروتين يسمى تيوبيولين (tubulin) ويتألف كل أنبوب من ١٠-١٤ وحدة بروتينية منظمة في حلقة .

وتكثر هذه الأنابيب الدقيقة في أماكن في الخلية وتقل في أماكن أخرى . فمثلاً ، أنها تكثر في الأهداب (Cilia) والأسواط (Flagella)- التي تساعد الخلايا على التحرك - وكذلك وتوجد بشكل مركز في الأجزاء الخارجية من سيتوبلازم بعض الخلايا النباتية ، وأيضاً في الأقدام الكاذبة (نتؤات سيتوبلازمية مؤقتة) لعدد من الأوليات ، وفي الأذرع الطويلة للخلايا العصبية . وتوحي المقارنات التركيبية بأن الخيوط (Spindle fibers) التي توجه الكروموسومات خلال الأنقسام ا لخلوي هي في الحقيقة أنابيب دقيقة .

ويعتقد بشكل عام أن الأنابيب الدقيقة لها دور أساسي في حركة ودعم الخلية . وهذا الاعتقاد مبني على أماكن شيوعها في الخلية . وعلى الرغم من أن الطريقة التي تسبب فيها الأنابيب الدقيقة ا لحركة غير معروفة بالدقة ، إلا أن البحث أعطى ملاحظات هامة عن هذه الوظيفة ، فمثلاً وجد أن كل الأنابيب الدقيقة تستطيع أن ترتبط بالمركب (Colchicine) ، الذي إذا استعمل بكميات قليلة يريح من مرض النقرس (داء المفاصل) ، ولكنه يكون ساماً إذا أعطى بجرعات كبيرة . ومهما كانت الطريقة التي تسهل بها هذه الأنابيب حركة الخلية ، فإنها تتوقف باستعمال (Cholchicine): إذا توقف كل الحركات إذا عولجت الخلايا بهذا الدواء .

ويبدو أن الخلية قادرة على إعادة تكرار البروتين تيوبيولين . فمثلاً ، تتجمع الخيوط المغزلية ، التي تلزم أثناء الأنقسام الخلوي ، وتتفكك بعد ذلك . وتبقى الوحدات المتفككة في السيتوبلازم للاستعمال ثانية . لقد بينت التجارب تجدد الأسواط في الطحلب الأخضر

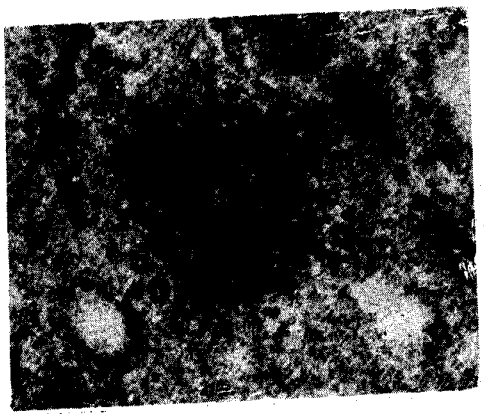
كلاميدومانوس (Chlamydomonas) فإذا بتر أحد سوطي هذا الكائن في المختبر ، فإن وحدات التيوبيولين تنتقل من السوط المتبقي لتضاف إلى عقب السوط المبتور.

وتحتوي خلايا حيوانية جنينية عدة على طبقات من الخيوط الدقيقة (Mierofilaments) التي يبلغ قطرها ٤ نانومتر ، وهي تنتظم في رزم أو صفائح . ويعتقد بأن الخيوط قابلة للانقباض ، وهي سبب التغيرات في شكل الخلايا خلال نموها الجنيني . ويعرف القليل عن تصنيع هذه الخيوط ، ولكن يظهر بأنها أيضاً تتجمع من وحدات موجودة أصلاً في السيتوبلازم .

السنتريولات Centrioles

هناك عضي يوجد عادة في الخلايا الحيوانية ، ولكنه لا يوجد في معظم النباتات العليا وهو السنتريول (Centriole) . أنه أسطوانة جوفاء (يتألف جدارها في تسع مجموعات متوازية من أنابيب ثلاثة . وتكون أنابيب كل ثلاثي خطاً مستقيماً يميل بزاوية ٤٠ عن مماس الدائرة التي ينتظم بها . وتوجد السنتريولات عادة بجانب النواة ، على شكل زوجين على زاوية قائمة .

تضاعف السنتريولات نفسها مستقلة عن الخلية ، ولهذا يعتقد بأنها تحتوي على (DNA) وتكون السنتريول الجديدة في طرف ما (من الخلية) على زاوية قائمة بالنسبة لسنتريول الجديدة في طرف ما (من الخلية) على زاوية قائمة بالنسبة لسنتريول موجودة أصلاً . ويتكون في البداية شكل حلقي ، يسمى السنتريول الأولي "بالقرب من الطرف المغلق للسنتريول الأم" وبزيادة سمك الحلقة ، تبتعد السنتريول الأبنة "من السنتريول الأم" لتبلغ نهائياً طولها الكامل . وعندما تنقسم خلية ما ، فإن كل خلية ناتجة تستلم أثنتين من السنتريولات المتقاربة . وبعد ذلك تبتعد هذه السنتريولات ، لتنقسم كل منها قبل الانقسام الخلوي التالي:

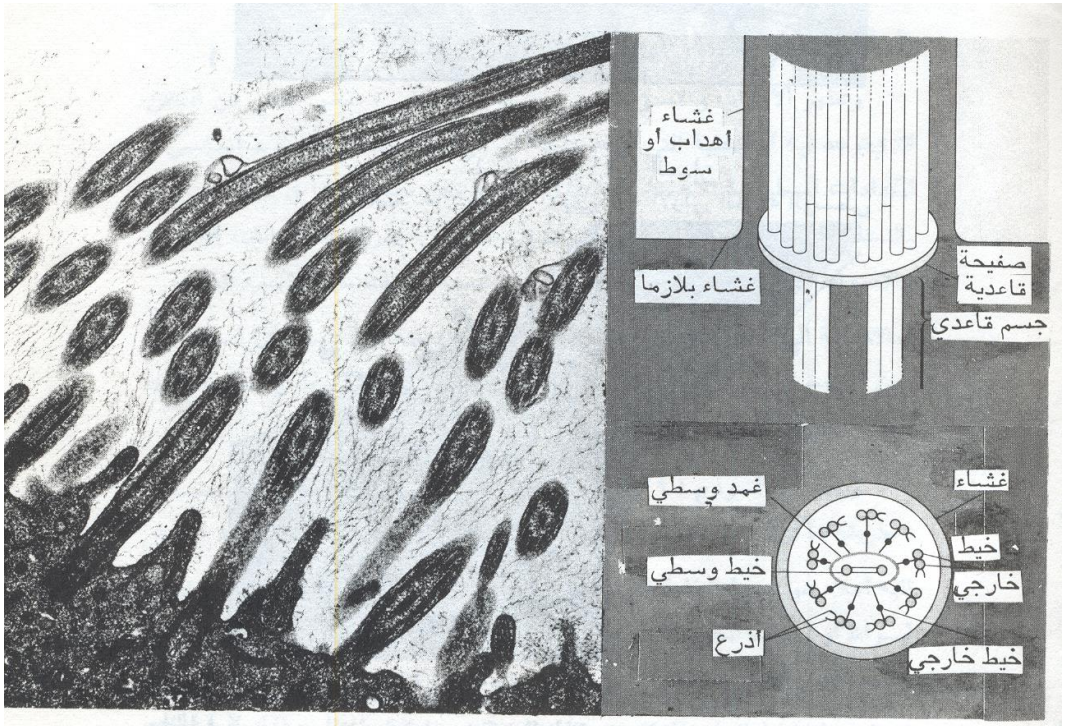


الشكل (٣ ـ ١٢) : صورة بالمجهر الالكتروني لسنتريول من خلية دم بيضاء تبين تسع مجموعات متوازية من الانابيب الدقيقة الثلاثية وتبلغ السنتريولات حوالي ٠,٢ الى ٠,٣ ميكرون في الطول ، و ٠,١ في القطر ويمكن أن تحتوي الاقمار ، التي هي بمثابة كتل صغيرة لا شكل لها وكثيرا ما تشاهد قريبة من السنتريولات ، على المواد التي تتكون منها سنتريولات جديدة .

وتعمل السنتريولات في الخلايا التي توجد فيها في عملية الانقسام الخلوي كنقط ارتكاز للخيوط المغزلية ، التي يبدو أنها عبارة عن امتدادات الأنابيب السنتريول . وتكون بعض السنتريولات أجزاء تسمى الجسم القاعدي (Basal Body) التي توجد عند نقطة اتصال الهدب أو السوط بالخلية . وتمتد الأنابيب من هذا الجزء إلى داخل كل هدب أو سوط.

الأهداب والأسواط Cilia & Flagella

الأهداب (Cilia) والأسواط (Flagella) هي أجزاء مثل الشعر تمتد من الأغشية البلازمية لعدد من الخلايا النباتية والحيوانية والبكتيرية . وتتميز هذه الأجزاء بطولها وبعددها في الخلية: فيشار إلى الامتدادات القصيرة والكثيفة بالأهداب وإلى الامتدادات الطويلة غير الكثيفة بالأسواط.



الشكل (٣ ــ ١٣) : صورة بالمجهر الالكتروني تبين اهدابا (في مقطع طولي) على سطح خلية طلائية من مثانة السلحفاة . ويبين الشكل تركيب الاهداب والاسواط في مقطع طولي واخر عرضي. ولا تتأثر الانابيب الدقيقة في الاهداب الناضجةبمركب كولتشيسين . وهذا يوحي بأن تركيبها يختلف نوعا ما عن تركيب الانابيب الدقيقة العادية .

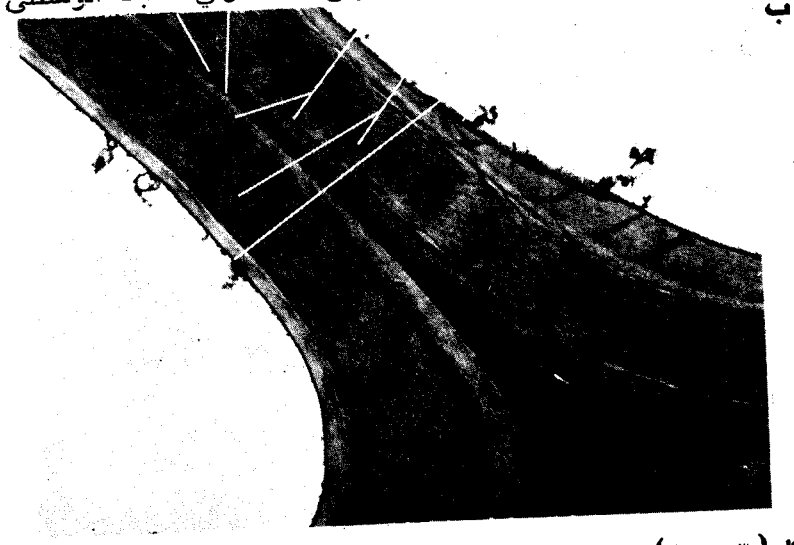
والكثيفة بالاهداب والى الامتدادات الطويلة وغير الكثيفة بالاسواط .

ا

الجدار الثانوي

طبقة ثالثة طبقة ثانية الطبقة الاولى الجدار الاولي الطبقة الوسطى

ب



الشكل (٣ ــ ١٤) : ا ــ خيوط سليلوزية دقيقة مجدولة تتجه بزوايا مختلفة في كل طبقة من الجدار الخلوي . ويتكون السليلوز من سلاسل من الجلوكوز . وتكون رزم مكونة من ١٠٠ ــ ٢٠٠ من هذه السلاسل الخيوط الدقيقة التي تبلغ حوالي ٢٥ ــ ٥٠ نانومتر في القطر ، وعدة ميكرونات في الطول . وتعطي هذه الخيوط معظم القوة للجدار الاولي . ب ــ طبقات الجدار الخلوي الناضج من خشب

وتعطي الأهداب والأسواط في الكثير من الكائنات الأحادية الخلية التي تعيش في بيئات مائية طريقة فعالة للحركة – إذ تعمل الأسواط كذيول مثل السوط ، بينما تقوم الأهداب بوظيفة المجاذيف . ويمكن استعمال الأهداب في خلق تيارات تحمل جسيمات الغذائية العائمة إلى الكائنات الجائعة ، دون أن ينتقل هذا الكائن للبحث عن الغذاء . وتقوم الأهداب والأسواط بأدوار مماثلة في الكائنات متعددة الخلايا . فمثلاً ، في الأجهزة التناسلية في الإنسان يقوم سوط واحد في دفع خلية الحيوان المنوي . وكذلك تساعد الحركات الدورية للأهداب التي تغطي خلايا أنابيب فالوب مسهلة بذلك رحلة البويضة من المبيض للرحم . وكذلك نجد الأهداب الموجودة في ممرات أخرى في الإنسان والكائنات متعددة الخلايا تسهل حركة جسيمات متعددة ، فمثلاً ، تساعد الأهداب البارزة من الخلايا التي تغطي ممر التنفس في توزيع مادة مخاطية واقية خلال الأغشية ، وكذلك في طرد مواد اخرى مثل الغبار.

وتظهر الأهداب والأسواط نفس التركيب الداخلي ، بغض النظر عن الكائن الذي توجد فيه أو الخلية التي توجد عليها . وهي مع استثناء وحيد أساسي ، امتدادات اسطوانية للأجسام القاعدية ، ولهذا فهي شبيهة جداً في تركيبها بالسنتريول . ولكنها تختلف عن السنتريولات في أن جدران أسطوانات الأهداب والأسواط تتكون من تسعة أزواج ، وليس تسعة ثلاثيات من الأنابيب الدقيقة .

وبالإضافة إلى ذلك فإنه يوجد زوج من الأنابيب الدقيقة تمتد وسط كل أسطوانة . ومن المرجح أن يكون الغشاء الذي يحيط بأسطوانة كل سوط أو هدب امتداداً لغشاء البلازما المحيط بالخلية .

ويبدو أن النموذج (٩+٢) ليس هو ترتيب الأنابيب الوحيد القادر (بطريقة ما تزال غير مفهومة) على الحركة المستقلة . والاستثناء الوحيد المشار إليه أعلاه هو سوط الخلية الأولية الذي يظهر تركيباً أبسط من ذلك الموجود في أسواط أو أهداب الخلايا الأخرى ، كأسواط الخلايا الأولية لها قطر أصغر . ولكن تتجمع الأسواط في عدة أنواع من البكتيريا وتتجدل لتكون أجزاء أسمك بكثير من أهداب وأسواط أنواع أخرى من الخلايا . وفي حالات كثيرة ، يظهر سوط خلية بكتيرية تركيباً مجدلاً ، مكوناً من ثلاثة خيوط لولبية . والجزء الرئيسي لهذه الخيوط هو نوع بروتيني تصنعه البكتيريا نفسها .

أغلفة الخلية Cell Cooats

يغلف الغشاء البلازمي للخلية بطبقة من المواد العضوية التي تعطي حماية زائدة للخلية وفي حالات كثيرة يمسك بتلك الخلايا التي تحيط ببعضها . وتوجد هذه الأغلفة على الخلايا النباتية والحيوانية ، ولكنها تلعب دوراً رئيسياً في النباتات . ومن ذلك أنه عند موت الخلية يبقى الغطاء الخارجي لكي يعطي قوة لأجزاء النبتة المختلفة . أو يعمل جزء من جهاز النقل الذي يسمح بانتقال الماء والمواد الأخرى خلال النبتة .

الجدار الخلوي The Cell Wall

أنه الغطاء الخارجي للخلية النباتية ، وهو شبكة مركبة من سلاسل السكريات المتعددة والمكونة من السليلوز وكميات ضئيلة من البروتينات والدهون ، وكثير من الفراغات المملوءة بالماء والموجودة بين السلاسل لتسمح بمرور المواد إلى داخل الخلية وخروجها منها والجدار الخلوي هو من صنع الخلية التي يحيط بها : ويتكون مباشرة بعد الانقسام الخلوي . وتصنع حويصلات من جسم جولجي الصفيحة الوسطى (Middle Lamella) المكونة من بكتات الكالسيوم (Calcuim Pectate) وتساعد هذه المادة التي هي شكل من السكر المتعدد المسمى بكتين (Pectin) في تماسك الخلايا المتجاورة . ثم تتجمع سكريات الجدار الأولي المتعددة داخل الصفيحة الوسطى . وعند نمو الخلية يتجمع عدد من الطبقات الثانوية الغنية بمادة ليجنين (Lignin) لتكون الجدار الثانوية وتعطي الخلية مزيداً من القوة ، وقد تسبب موتها فيما بعد . والسبب في ذلك يعود إلى أن كميات كبيرة من الليجينين تجعل الجدار الثانوي غير نفاذ للماء والمواد أخرى ، وبهذا تعزل الخلية عن مصادر الغذاء الخارجية . أنها الطبقات الثانوية التي تبقى بعد موت الخلية .

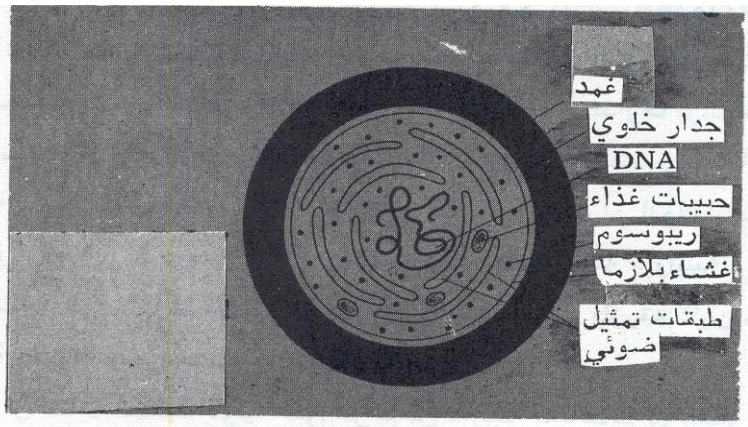
ويتحكم الجدار الخلوي ببعض ميزات الخلية ، فهو بسبب طبيعته الكيميائية ، يمتص الماء بقوة ، ولكن ليونته المحدودة تضع ضوابط على حجم الخلية ، وبالتالي على كمية الماء التي تستطيع دخول البيئة الخلوية . وبدون هذا الضبط ، فإن كميات كبيرة من السائل تنفذ إلى الفجوات وتسبب انفجار الخلية ويمكن تبيان ما ذكر في المختبر : فعند إزالة الجدار ووضع الخلية بمحلول شبيه بذلك الذي يحيط بالخلايا في الحالات العادية ، فإن الخلية تنفجر

بسبب الامتصاص السريع غير المنضبط للماء . وأن من التناقضات أن جدار الخلية الذي يقيد حجمها قد يكون ذا أهمية في المساعدة على نموها . وهذا يعود إلى أنه قادر ليس فقط على الامتداد والعودة إلى المقاييس الأصلية (كالرباط المطاطي) ، بل أيضاً على الامتداد والبقاء على مقاييس أكبر وأكبر– وبهذا يساعد الخلية على زيادة حجمها .

تركيب الخلايا الأولية: Structure of Procaryotic Cells

أن بحث خواص الخلية يبين بشكل كاف العلاقات المتداخلة للأجزاء المختلفة في الخلايا الحقيقية ، ويبين كذلك طبيعتها الكيمائية والوظائف التي تقوم بها داخل جهاز الخلية . ويساعدنا هذا البحث على مقارنة مفصلة بين الخلايا الحقيقية والخلايا الأولية .

ذكرنا سابقاً أن البكتيريا والطحالب تفتقر إلى عدة عضيات غشائية توجد في الخلايا الحقيقية وبخاصة الأنوية. وبمعنى آخـــر، فإن لها (DNA) ولكـــن لا يـــوجد لها غـــلاف



الشكل (٣ ــ ١٥) تركيب دقيق وعام لخلية طحلب خضراء مزرقة .

نووي ليفصل خيوط ال (DNA) عن السيتوبلازم . ويكون (DNA) في الخلايا البكتيرية حلقة وحيدة.

وبالإضافة إلى ذلك تفتقر الخلايا الأولية شبكة اندوبلازمية ، وجسم جولجي ، والبلاستيدات ، والميتوكونريا ، والأنابيب الدقيقة والسنتريولات . ولكنها تحتوي على مركبات بروتينية مرتبطة بأغشية تعمل كمواقع لكثير من النشاطات التي تتتم في العضيات ،

وفي بعض الأحيان ، نجد لهذه المركبات ثنايا ، أو أغماد من الأغشية البلازمية ، وتتخذ أشكالاً مختلفة تسمى ميزوسومات ، ويعتقد بأن هذا هو المكان الذي تتضاعف فيه المادة الوراثية تحضير للأنقسام الخلوي . ولكن الطحالب الخضراء المزرقة لا تكون ميزوسومات ولا تعرف طريقة توزيع حمضها (DNA) خلال الانقسام الخلوي .

وبعض أنواع البكتيريا وعلى الرغم من افتقارها للبلاستيدات الخضراء ، فإنها تحتوي على الكلورفيل وتستطيع القيام بالتمثيل الضوئي . وتتم هذه العملية على إغماد الأغشية التي تمتاز بشكل خاص بكل نوع (البكتيريا) . ويمكن أن تعوض هذه أغماد عن عدم وجود شبكة اندوبلازمية ، نظراً لأنها تكون أحياناً مرتبطة برايبوسومات بكتيرية ، وهذه تكون عادة أصغر من تلك الموجودة في سيتوبلازم الخلايا الحقيقية . أما الطحالب الخضراء المزرقة فإنها تتوي على كلوروفيل وأصباغ أخرى بداخل صفاح غشائية تكون عادة منفصلة . ولكن قد توجد بشكل رزم في بعض الأنواع . ولا تكون هذه الأجزاء بلاستيدات واضحة ، ولكنها تقوم بالتمثيل الضوئي.

وعلى الرغم من وصف الخلايا الأولية نسبة للأجزاء التي تفتقدها فإنها تمتلك جزءاً تفتقده بعض الخلايا الحقيقية ، وهو الجدار الخلوي الذي يوفر مقداراً جيداً من الحمياة للتركيب التحتي للخلايا . أن خلية بدائية نزع جدارها بواسطة الانزيمات ، أو وقع تدخل في تصنيع جدارها ، تكون عندما تنقسم خلية أولية عارية ، وخلايا كهذه تكون هشة أو تنفجر بسرعة . وجدران الخلايا البكتيرية هي في الأساس كربوهيدراتية ، ولكن بعضها مغلق بطبقة بروتينية ودهنية . وبالإضافة إلى جدارها الخلوي ، فإن الطحالب الخضراء المزرقة تكون محاطة بطبقة جلاتينية تدعى غشاء (Sheath).

أن تنظيم الخلايا الأولية على الرغم من بدائيته يساعدها في القيام بك الوظائف المهمة التي تقوم بها الخلايا الحقيقية . ورغماً عن حجمها الصغير ، فإن البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة تحتوي على كل الأنزيمات اللازمة لبقائها . وفي الحقيقة ، لقد قدر أن البكتيريا تحتوي على ٩٠% على الأقل من جميع الانزيمات الموجودة في الكائنات المتقدمة ، بما فيها الإنسان .

الجزء	الخلايا الحقيقية	الخلايا الأولية
النواة	لها غشاء نووي	تفتقر على غشاء نووي
كروموسومات	تحتوي على (DNA)	تحتوي على (DNA) وبروتين
شبكة اندوبلازمية	موجودة	غير موجودة
جسم جولوجي	موجودة	غير موجودة
بلاسيتدات	موجودة، الكلوروفيل موجودة داخل بلاستيدات خضراء	غير موجودة يمكن أن يوجد الكلوروفيل ولكن ليس بداخل بلاستيدات
ميتوكوندريا	موجودة	غير موجودة
أنابيب دقيقة	موجودة	غير موجودة
أسواط	نموذج ٩ + ٢	تركيب أصغر من ٩+٢

الشكل (٣-١٦): مقارنة بين الخلايا الحقيقية الأولية.

ملخص الفصل الثالث

تتمكن الخلية بواسطة الطريقة الدقيقة والمعقدة التي تنتظم بها مكونات الخلية الكيميائية من الانخراط في آلاف التفاعلاتت الفيزيائية والكيميائية التي تؤدي وظائف النمنو والتـــرميم والتكاثر . وللخلايا ابعاد ثلاثية ، وهي محاطة بغشاء بلازمي دقيق ولين ، يعطي الخليـــة الحماية ، ويحافظ على سلامة تركيبها ، وينظم مرور المواد من وإلى الخلية . وتختلـــف الخلايا في الحجم ، والشكل وتعقيد التركيب الداخلي . وتدعى خلايا البكتيريا والطحالـــب الخضارء المزرقة التي لها منطقة نووية وتركيب تحتي بسيط ، بالأوليـــة ، أمـــا النـــوع الخلوي الثاني ، الذي يحتوي على خلية معزولة ، وتركيب تحتي معقد ، فيسمى بالحقيقي.

وهناك مكونان رئيسيان للخلية الحقيقية هما السيتوبلازم والنواة . وتحتوي النـــواة ، المحاطة بغشاء يدعى الغلاف النووي ، علـــى الكروموســـومات والنويـــات . وتحتـــوي الكروموسومات على المادة الوراثية (DNA) التي تحدد قدرة الخلية في عمليات مثل التكاثر والتميز وتمتد كروموسومات معينة لنويات مختلفة عند نقاط تدعى منظمات النوية ، التـــي يعتقد بأنها أماكن لتصنيع الحمض (RNA) الرايبوسومي.

وينقسم سيتوبلازم الخلية إلى جزأين : المادة الأساسية والعضيات: التي هي بمثابـــة حجرات صغيرة متخصصة تركيبياً للقيام بوظائف الخلية المختلفة . وتحتوي المادة الأساسية على جزيئات دهنية وبروتينية . وجسيمات خيطية متوزعه بشكل غروي فيهـــا . وتوجـــد الريبوسومات المهمة في تصنيع البروتينات في نوعي الخلية الرئيســـيين . وفـــي الخلايـــا الحقيقية ، تطفو بعض الريبوسومات حرة في السيتوبلازم ، بشكل أفرادي أو بمجموعات ، ولكن بعضها متصل بشبكة أغشية تدعى الشبكة الاندوبلازمية. ومن هـــذه الشـــبكة يوجـــد

نوعان: خشن ، وهو الذي على سطحه ريبوسومات ، وناعم ، وهو الذي يفتقر إلى ريبوسومات وتعمل الشبكة الناعمة كموقع لصنع الدهنيات ، أما الشبكة الخشنية فإنها تعمل كموقع لتصنيع الدهون والبروتينات .

وهناك عضي ، غالباً ما يعمل مع الشبكة الاندوبلازمية ، وهو جسم جولجي ، الذي يقوم بوظيفة أولية وهي معالجة وتجميع مواد مختلفة ، من ضمنها الانزيمات ، لتستعمل داخل وخارج الخلية . أما الليسوسومات ، فهي عضيات غشائية تحتوي على أنزيمات تستعمل في هضم المواد العضوية داخل الخلية ، ويعتقد بأنها تنشأ من جسم جولجي . ويدخل هذا العضي في تكوين أجسام كيسية تدعى بيروكسي سومات في الحيوانات وجلايوكسي سومات في النباتات ، وتحتوي على أنزيمات لها علاقة بالأكسدة .

وهناك عضي آخر هو الميتوكوندريون ، وهو يستخدم في تكون الطاقة الكيميائية من المواد الغذائية . ويخزن الميتوكوندريون هذه الطاقة في روابط فوسفاتية في جزيء (ATP) وتحاك معظم أنزيمات الأكسدة التي تستعملها الميتوكوندريون في ثنايا وصفائح على سطح الغشاء الداخلي .

أما البلاستيدات ، فهي عضيات توجد فقط في النباتات . ويساعد الصبغ الأخر ، الكلوروفيل- البلاستيد الأخضر في التقاط الطاقة الشمسية لتستعمل في عملية التمثيل الضوئي وتحتوي البلاتسيدات الملونة على أصباغ تعطي اللون للأزهار ، والفواكه وجذور بعض النباتات . أما البلاستيدات العديمة ا للون فهي تستعمل لخزن المواد الغذائية ، مثل النشا الذي يستعمل في الاستقلاب الخلوي .

والفجوة هي حيز في الخلية ، يكون عادة منفضلاً عن بقية سيتوبلازم الخلية النباتية بواسطة غشاء يدعى تونوبلاست ، ويكون معبأ بمحلول يدعى عصارة الخلية . وتستعمل هذه الفجوة كمخزن ماء ، أو كمستودع لمواد عضوية وغير عضوية متعددة تحتاجها الخلية أو لمواد تفصل عن الخلية فيما بعد .

وهناك الأنابيب الدقيقة التي تتجمع من مكوناتها في السيتوبلازم ، وتعمل هذه العضيات في حركة ودعم الخلية ، وهي مكونات تركيبية في السنتريولات والأهداب والأسواط . والسنتريولات هي عصيات جوفاء . تعمل كنقطة بؤرية للخيوط المغزلية التي تجر الكروموسومات أثناء الأنقسام الخلوي . أما الأهداب والأسواط فهي أجزاء شبيهة

بالشعر ، تساعد في حركة خلايا معينة ، أو في حركة بعض الجسيمات خلال الخلية التي تخرج منها .

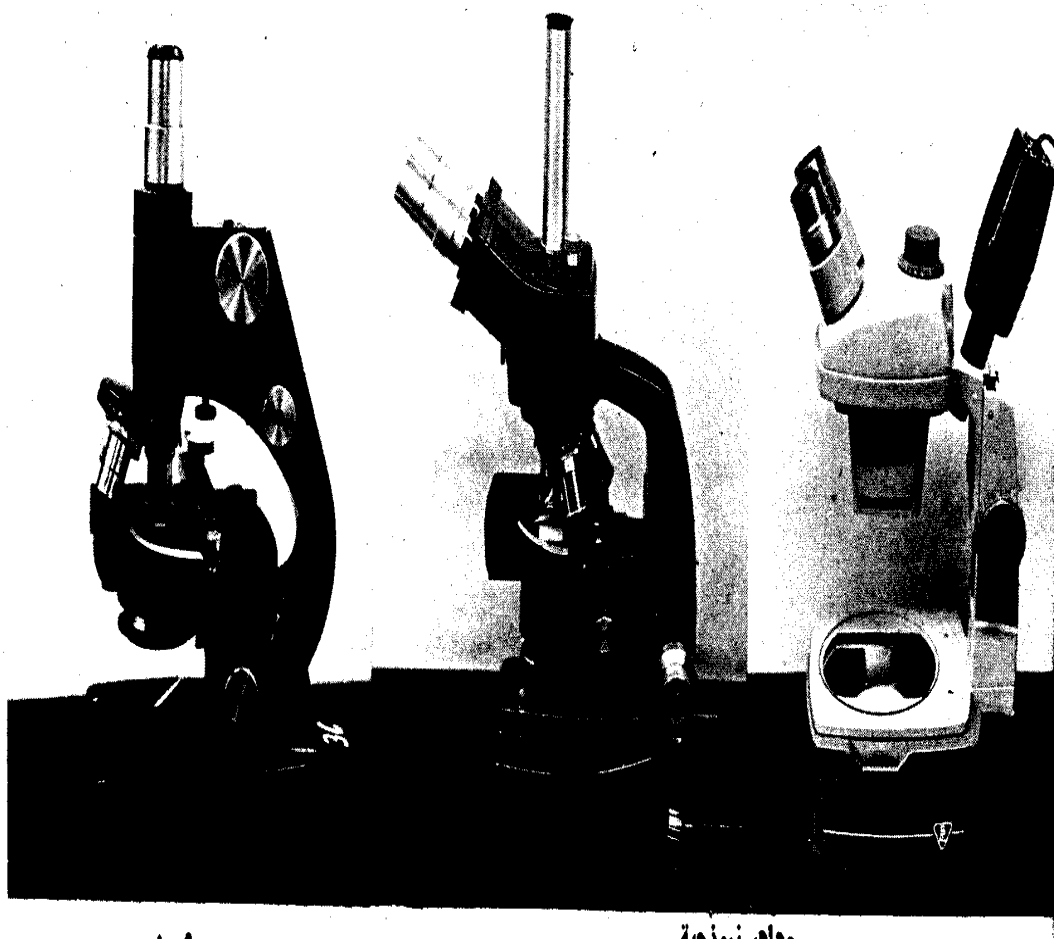
وتصل الخلايا الأولية على نواة وشبكة اندوبلازمية وجسم جولجي . وبلاستيدات وميتوكوندريا ، وأنابيب دقيقة ، وسنتريولات ، ولكنها تحتوي على (DNA) وجميع الانزيمات الحيوية ، ومركبات بروتينية مرتبطة بالأغشية ، تشبه العضيات في عملها . وتحتوي بعض البكتيريا والطحالب الخضارء المزرقة على كلوروفيل وتقوم بعملية التمثيل الضوئي . ولكل الخلايا الأولية جدران خلوية حافظة ، وهذه صفة تفتقدها بعض الخلايا الحقيقية . وتتحكم هذه الجدران في الخلايا النباتية بامتصاص الماء ، ويمكن أن تقوم بوظيفة دعم ، وفي بعض الحالات ، تكون نظام نقل للماء والمواد الغذائية للنبتة .

نظرة فاحصة

علم المجاهر

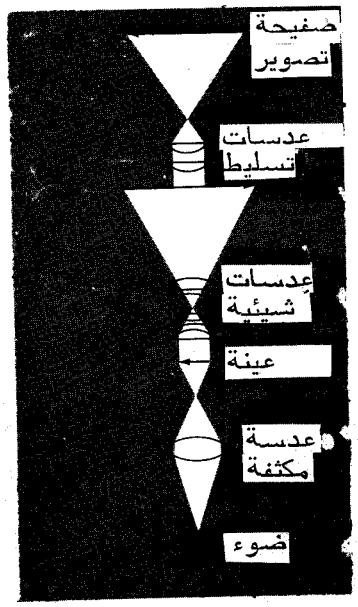
Microscopy

هناك جهازان أساسيان يستعملهما علماء الحياة لدراسة الخلايا هما المجهر الضـــوئي والمجهر الإلكتروني . ونوع المجهر الأكثر شيوعاً هذه الأيام هو المجهر الضوئي المركب



المركب الذي سمي كذلك لأنه يتكون من عدستين أو أكثر ، ويستعمل الضوء لأثارة العينة . ويوجد في هذا المجهر عدسة مقعرة تعكس الضوء خلال العينة وعدسة مكثفة . وتركز هذه العدسة الخيال على العدسة الشيئية (وهي العدسة الأقرب للشيء الذي يدرس) والتي تكبر بدورها الخيال ليمكن ملاحظته خلال العدسة العينية .

وهناك طرق عدة يمكن استعمالها لزيادة الفائدة من المجهر الضوئي ، وإذا ما كانت عينة ما غليظة جداً لا يخترقها الضوء ، فإنها تقطع إلى مقاطع نحيفة جداً بواسطة قاسطع للأنسجة (Microtome) وهي جهاز دقيق يقطع المواد إلى سمك يبلغ بضعة ميكرونات أما العينة الشفافة جداً ، مثل قطعة الجليد على خلفية بيضاء ، فإنها تفتقر إلى التباين اللازم ، كي يتمكن الفاحص تمييز التفاصيل . وباستعمال الأصباغ التي تلون أجزاء مختارة من الخلية ، يمكن الحصول على تباين أكثر ويمكن تمييز أجزاء العينة ، أما مشكلة الصبغ فإنها تكمن في أنه يقتل العينة .

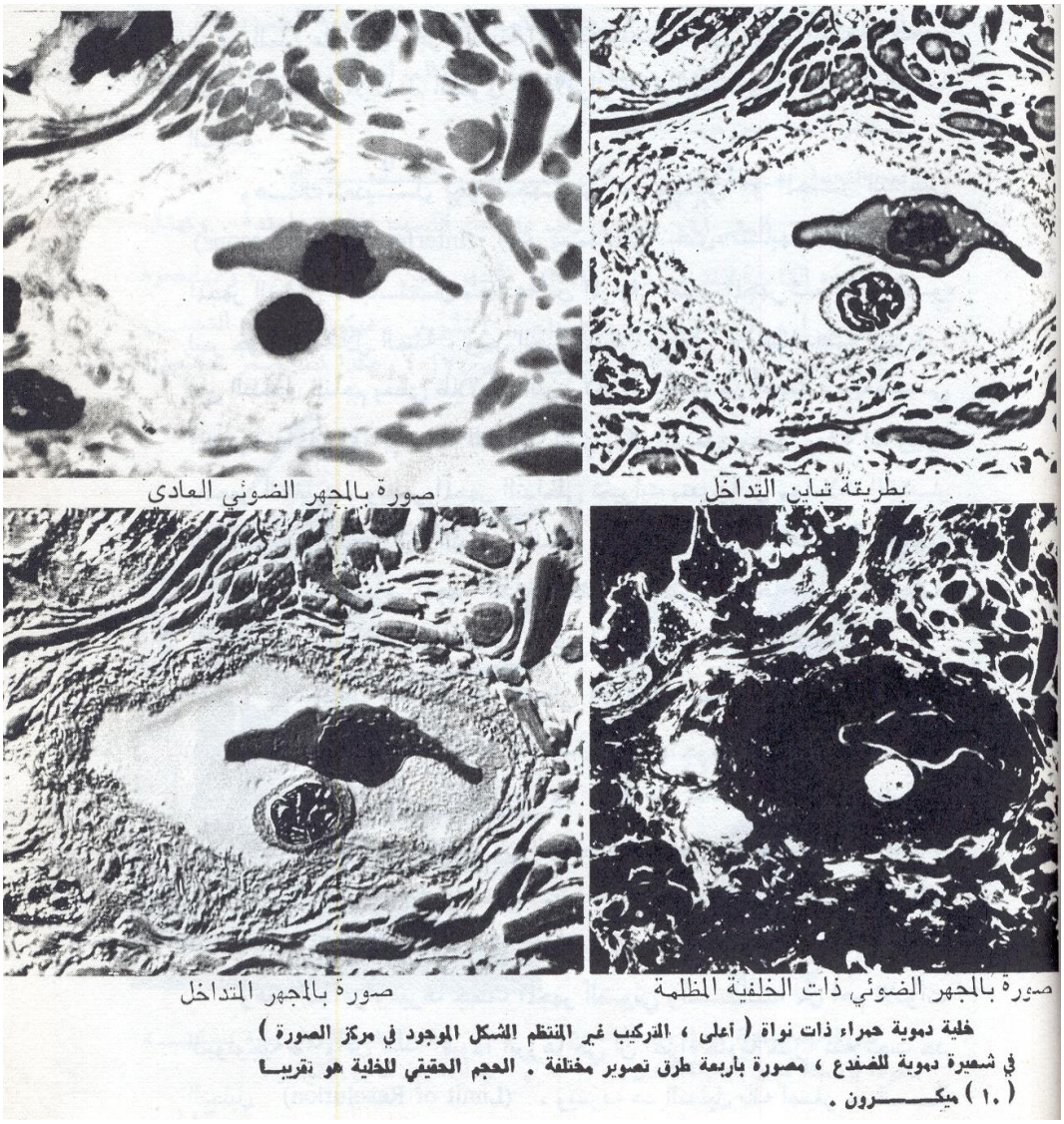


رسم تخطيطي للمجهر الضوئي مع وسيلة التصوير الملحقة به .

وهناك عدة طرق لتعديل المجهرية الضوئية لتجنب استعمال طرق الصبغ والحصول في الوقت ذاته على معلومات بشأن أجزاء الخلية . وإحدى هذه الطرق هي استعمال المجهر التباييني (Phase Contrast Microsocpe).

وهو نوع من المجهر الضوئي يستفيد من الفورق وفي معاملات الانكســـار (Refractive Indices) لأجزاء الخلية المختلفة ، ويبينها كفروق في التباين . أن عين الإنسان تستجيب لقوة الضوء أو للونه ، ولكنها لا تستطيع رؤية تغيرات مثل التسارع والتباطؤ في ســـرعة الموجات الضوئية عند مرورها في مادة ما . وهدف المجهر التباييني هـــو ترجمـــة هـــذه التغيرات إلى تغيرات في القوة الضوئية يمكن رؤيتها بالعين .

ويتم هذا بوضع حجابين في النظام الضوئي للمجهر الضوئي العادي.



خلية دموية حمراء ذات نواة (أعلى ، التركيب غير المنتظم الشكل الموجود في مركز الصورة) في شعيرة دموية للضفدع ، مصورة بأربعة طرق تصوير مختلفة . الحجم الحقيقي للخلية هو تقريبـا (١٠) ميكـــــرون .

ويتناسق هذان الحجابان ليسمحا بمرور جزء من الضوء خلال العينة ، بينما يمر الجـزء المتبقي حولها ، وبطبيعة الحال فإن الشعاع الذي يمر خلال العينة ، يتباطأ ، وأن مقـدار الأعاقة يعتمد على القدرة الانعكاسية للعدسة وكذلك على سمكها . أما الضوء الذي يمر حول العينة ، فإنه يمردون أبطاء ويمكن اعاقة سرع الضوء الذي يمر خلال العينة ثانية ، بما يعادل ربع موجة ضوئية ، بواسطة أحد الحاجبين ، وعند اتحاد الشعاعين ثانية بعد العدسة الشيئية ، فإنهما ميران بما يسمى بالتداخل (Interference) ونتيجة لذلك تبدو العينـة أمـا أكثر سطوعاً أو ظلاماً من محيطها ، ويعتمد ذلك على كيفية التقاء الشعاعين ، ويساعد هذا التباين العين على رؤية أجزاء العينة المختلفة بتفصيل دقيق . ولقد استعمل المجهر التباييني لدراسة الانقسام الخلوي ، والأفراز ، وعمليات حيوية أخرى في الخلايا الحية .

وهناك تعديل آخـر للمجهـر الضـوئي هـو المجهـر التـداخلي (Interference Microscope) الذي يعتمد على مبادئ مشابهة لتلك التي في المجهر التباييني . فباستعمال مجموعة من المرايا ، يقسم المجهر شعاعاً من الضوء ليمر جزءاً منه خلال العينة ، ويمر الجزء المتبقي حولها . وعندما يجتمع الجزءان ، فإن التداخل الناجم يعطي ظلالاً من اللون لأجزاء مختلفة من العينة . ويعطي المجهر التداخلي رؤية واضحة للخيال ، الذي يمكن أن يكون محاطاً بهالة إذا رؤي بالمجهر التباييني . ويظهر المجهر التداخلي تغيرات متدرجة في معاملات الانكسار للعينة ، بينما يبين المجهر التباييني المناطق التي تظهر تغيرات فجائية في معاملات الانكسار . ولقد ساهم المجهر التداخلي كثيراً في تدقم علم المجاهر فقـد سـاعد علماء الحياة في دراسة الانقسام الخلوي ، ودورات الحياة لبعض الكائنات .

وهناك تعديل ثالث للمجهر الضوئي هو المجهر ذو الخلفيـة المظلمـة (Darkfield Microsocpe) الذي يعطي تغيرات جوهرية في قوة الضوء ويعكس هذا المجهر الضـوء عن العينة ولا يجعه يمر مبشارة خلالها . ونظراً لأن العينة تكون مضاءة بشكل مائل مـن الجانب ، فإن أجزاءها تبرز بالنسبة لخلفيتها المظلمة . وهكذا ، فإن أجزاء خلويـة مثـل النواة ، والنوية ، والميتوكوندريا تظهر بتباين مشع على خلفية السيتوبلازم المظلمة .

وهذه المجاهر وغيرها جعلت المجهر الضوئي واحداً من أهم الأدوات البيولوجيـة . ولكن لذلك لقيوداً أبرزها هي أن أجزاء خلوية كثيرة تقع تحـت حـد التحليـل (Limit of Resoloution) ويعرف حد التحليل بأنه أصغر مسافة بين جزأين يمكن عنـدها تمييزهمـا كشيئين منفصلين وواضحين . أن لعين الإنسان المجردة حداً للتحليل يبلغ عشر الميليمتـر

(أي مائة ميكرون) وإذا وضع خطان مثلاً ، على مسافة أقل من هذا الحد ، فإنهما يظهران كخط واحد غير واضح . ويمكن لمجهر بحد رؤيا يبلغ ٢٠٠ نانومتر (وهو الحد الأقصى لحد التحليل لمجهر الضوئي الحديثي) أن يميز شيئين بشكل واضح إذا كان يفصلهما مسافة ٢٠٠ نانومتر أو أكثر .

وتعمد قدرة التحلي في لامجهر على طول الموجات الضوئية (التي يشار إليها بحرف ( ) (لامبدا) الأغريقي والعامل العددي (Numerical Aperture) N A للعدسة الشيئية . والعامل العددي للعدسة هو قياس لزاوية العدسة ، يبين كمية الضوء التي يمكنها تجميعها . ومعرفة هذه العوامل تعطي حد التحليل للمجهر ، كما يتبين من هذه القاعدة :

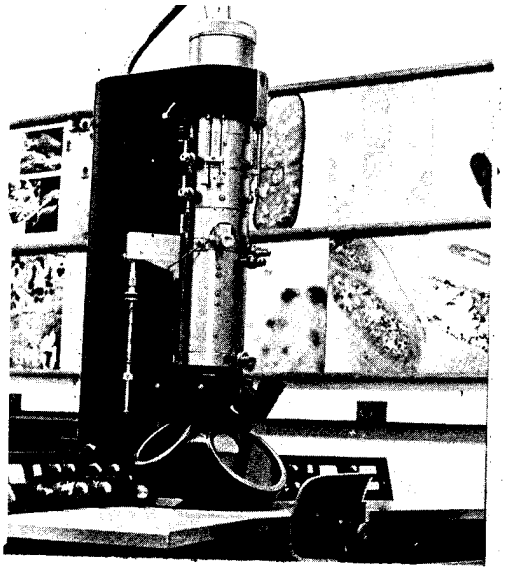
$$R = \frac{٠,٦١\ \lambda}{NA} \qquad \text{أي} \quad \frac{٠,٦١\ \lambda}{N\ A_i}$$

وينشق الرقم ٠,٦١ من حساب عدد من النسب المثلثية المعقدة . وكمثال على هذه القاعدة لنفترض أن (NA) لمجهر معين هو ١,٤ ، وأن الضوء المستعمل أرجواني ، بطول موجات يبلغ ٤٠٠ نانومتر . فيكون حد التحليل بحدود ١٧٤ نانومتر

$$\frac{(٠,٦١ \times ٤٠٠)}{١,٤} = ١٧٤$$

، وهكذا كلما صغر طول الموجة وكبر العامل العددي

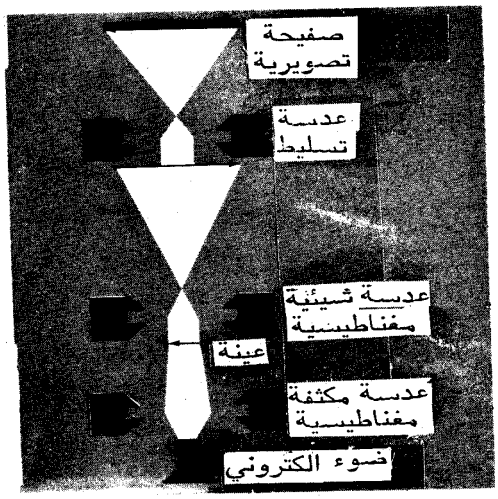
صورة لخلية دموية حمراء من الضفدع ماخوذة بواسطة مجهر البث الالكتروني .



مجهر البث الالكتروني بقوة تحاصلة مقدارها ٢ر. — هو. نانوميتر .

للعدسة قل حد التحليل وكبرت قوة التحليل.

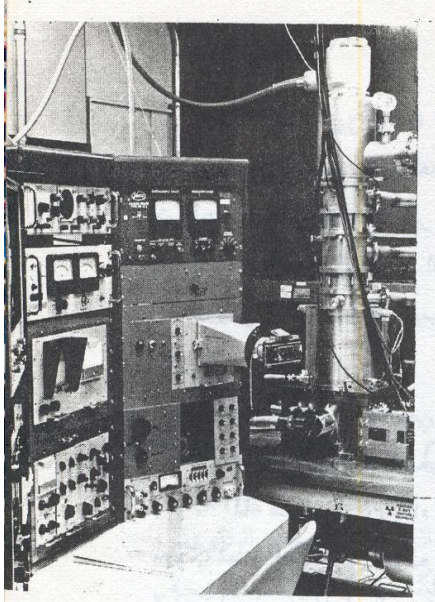
وعلى الرغم من أن المجهر الضوئي الحديث يعطي قوة تكبير للأشياء تبلغ ٢٠٠٠ مرة فإنه لا يستطيع الوصول إلى التحليل اللازم لدراسة التركيب الدقيق للخلايا ، لأنه يعتمد على الضوء الذي تعتبر أقصر موجاته الطولية (٤٠٠ نانومتراً) طويلة جداً فلا تتبعثر بواسطة الجزيئات الكبيرة والعادية . ولقد تم التغلب على هذه العقبة بالمجهر الإلكتروني ، الذي سمي كذلك لأنه يستعمل الالكترونات ، ذات الموجات الطلية التي تبلغ (٠,٠٠٥) من النانومتر ، كمصدر للاشعاع .



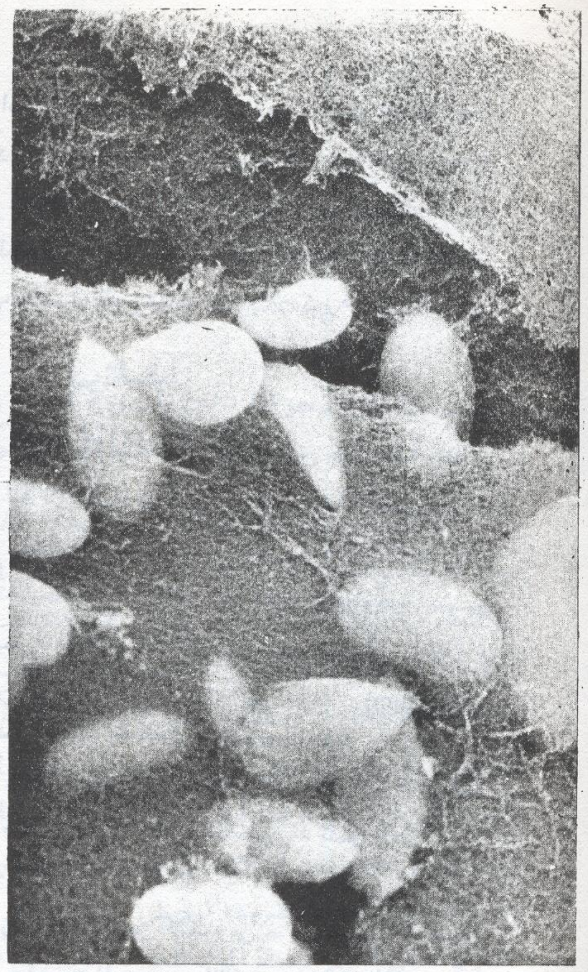
رسم تخطيطي للمجهر الالكتروني مبينا حزمة الاشعة الالكترونية .

ويتكون هذا الجهاز بشكل أساسي من مصدر الكتروني Electron gun يرسل موجات من الالكترونات خلال حجرة فراغ (الهواء يعيق الالكترونات). وهناك عدسة مغناطيسية ، وهي عبارة عن مجموعة من لفات تحمل تياراً كهربائياً وبذا تكون حقلاً كهربائياً . وهذه العدسة تركز الالكترونات ، (بنفس الطريقة التيتركز فيها عدسة زجاجية شعاعاً من الضوء) كي تتمكن من ملاقاة العينة بشكل مناسب وتمر خلالها . وبعد ذلك، تسلط على لوحة فوتوغرافية لتعطي خيالاً (صورة) يمكن تكبيره فيما بعد . وبعبور الالكترونات خلال العينة فإنها تتبعثر وتعتمد درجة التبعثر على العدد الذري للذرات التي تكون العينة ، فكلما كانت الذرات أثقل، زاد عدد الالكترونات المبعثرة بعيداً عن اللوحة . وهكذا ، فإن مناطق عينة ما ، فيها ذرات لها أعداد ذرية عالية تظهر أكثر ظلاماً من مناطق لها ذرات ذات أعداد ذرية أقل .

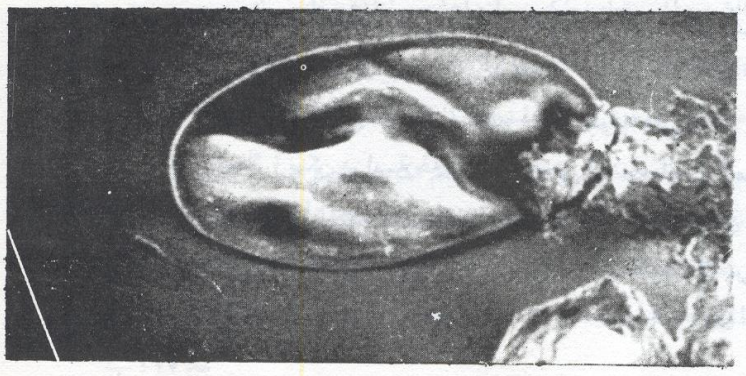
أن أهم ميزة للمجهرة الإلكتروني هي أنه يعطي قوة تكبير تبلغ (٣٠٠,٠٠٠) مرة،



مجهر الدكتور الك بروبرز .Dr. Alec N. Broers
الالكتروني التحليلي ذو القوة الفاصلة العالية



صورة لخلايا دم حمراء لحيوان السلمندر ماخوذة بواسطة المجهر الالكتروني التحليلي . أما المادة التي تشبه الخيـــوط فهي الفايبرين .



صورة لخلية دم حمراء مـــن الضفدع ماخـــوذة بواسطة المجهـــر الالكتروني التحليلي .

وأكثر من مليون مرة ، إذا كبرت مرة ثانية بالتصوير . وحد التحليل لهذا المجهر هو ١ نانومتر ولكن حداً قدره ٠,١ نانومتر– وهو قطر ذرة الهيدروجين ، تم الحصول عليه لعينات غير عضوية . ويحدد حد التحليل نفس العوامل التي ، تحكم بحد التحليل في المجهر الضوئي . ولقد ساهمت قدرة التحليل العالية للمجهر الإلكتروني في دراسة التركيب ا لمفصل للبروتينات وجزيئات كبيرة مثل الأحماض النووية .

ولكن للمجهر الإلكتروني حدوده . ومن أبرزها ، أنه يجب إزالة الماء من العينة المدروسة وكذلك قطعها شرائح رقيقة جداً ، وينتج عن هذا عينة ميتة . وإزالة الماء ضرورية لأن بقاء أية آثار للماء في العينة يعيق أشعة الالكترونات . ويجب قطع العينة إلى مقاطع رقيقة جداً بجدود عشرة الميكرون ، لأن الالكترونات لا تستطيع عبور المواد السميكة . يضاف إلى ذلك ، أن المواد البيولوجية لها أعداد ذرية قليلة لا تسمح ببعثرة الالكترونات للحصول على صورة . ولهذا ، يجب معالجة هذه المود بمعادن لها ذرات ثقيلة ، مثل اليورانيوم (Uranium) أو (Osmium) وتسمى هذه الطريقة بالتظليل (Shadowing) ولها ميزة تقوي من التفصيل المرئي ، ولها سلبية في أنها تغطي على المكونات الكيميائية للخلايا الحية . بالإضافة إلى ذلك . فإن أساليب التحضير قد تدمر الخلية ، أو تخلق بداخلها أجزاء اصطناعية .

لقد أمكن التغلب على أبرز سيئات المجهر الإلكتروني – أي ضرورة الحصول على مقاطع دقيقة جداً – بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Micrscope) ويكرز هذا الجهاز الإلكترونات في مجرى ضيق يرتحل فوق المساحة لاسطحية للعينة أي سمحها ليبني صورة ما ، نقطة نقطة ، وخطاً خطاً . وتظهر صورة العينة ، ببعد ثلاثي على شاشة تلفزيون . وتبدو مساحة العينة التي تعكس الكترونات كثيرة أكثر أشعاعاً من تلك التي تعكس الكترونات قليلة .

وميزة المجهر الإلكتروني الماسح ، الكبيرة هي قدرته علىمسح عينات مهما كان سمكها . فمثلاً ، يمكن دراسة خلايا كاملة وحتى أعضاء ، مثل العيون المركبة لبعض الحشرات– بهذا المجهر دون تحصير كبير . وعلى الرغم من أن حد التحليل في هذا المجهر هو ١٠ نانومتر – حوالي ١٠٠ مرة أقل من المجهر الالكتروني النفاذ ، فإن المجهر الماسح برهن على أنه عظيم الفائدة في دراسة سطوح الأجزاء المختلفة .

الخلايا

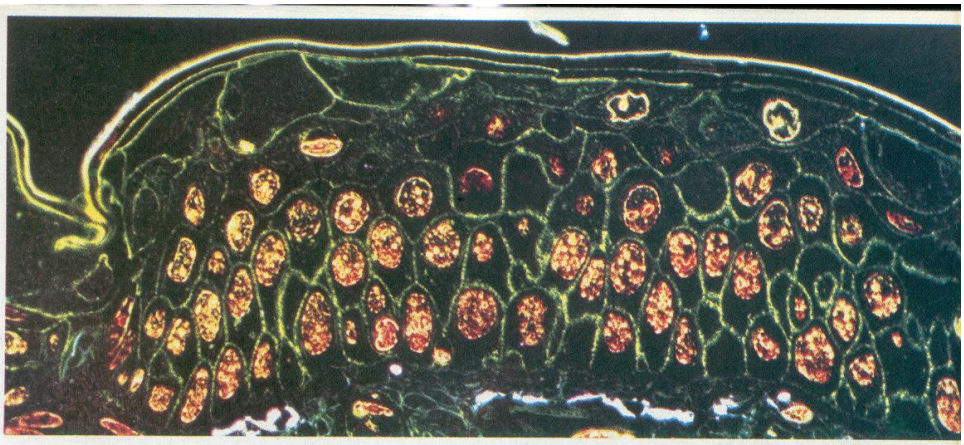
Cell Structure

أن الأساس الوظيفي لأشكال الحياة متعددة الخلايا هو التخصص الخلوي ، وفي النباتات والحيوانات الراقية ، تكون النشاطات المتناسقة للخلايا والأنسجة والأعضاء وسائل تكيف أبعد من طاقات الكائنات البسيطة . ويساهم الغضروف والعظم ، وكلاهما مشتق من النسيج الجنيني الضام المسمى ميزنكايم (Mesenchyme) في حماية ودعم الأشكال المتقدمة لحياة الحيوان . وتبين صورة الغضروف الزجاجي طريقتين يمكن بواسطتهما أن ينمو الغضروف هما ، نمو داخلي ، يتم نتيجة عدة أنقسامات للخلايا الناضجة ، ويؤدي ذلك إلى تجمعات من خليتين غضروفيتين أو أكثر ، ونمو سطحي يحدث بواسطة زيادة خلايا جديدة من النسيج الكثيف للغضروف المحيطي . ونظراً لأن الغضروف يفتقر إلى نسيج دموي ، فإن الخلايا تستلم المواد الغذائية عن طريق السوائل التي تنتشر خلال المادة المادة بين الخلوية . وفي صورة العظم الكثيف المأخوذة بواسطة عدسات تداخل الأوعية الدموية التي تمد الخلايا بالمواد الغذائية بواسطة اقنية أو قنيات ، في المادة بين الخلوية . وفي صورة العظم الكثيف المأخوذة بواسطة عدسات تداخل وبتاين فإن الضوء المستقطب ينكسر باتجاهات مختلفة وذلك بسبب بروتين الكولاجين (Collagen) والمواد المعدنية التي أفرزتها الخلايا . أن تكون العظم من العظم الاسفنجي هو عبارة عن استجابة للحاجة إلى المزيد من الدعم التركيب كلما نما الكائن . ويتطلب تعديل كهذا في العظم تكوين مجموعات هافيرس (Havesian Systems) كالطبقات العظيمة المتراكزة الواضحة في الصورة التي تتكون من قنوات هافيرس الميكروسكوبية التي تمر من خلالها الأوعية الدموية والأعصاب. مهمتان للكائنات المعقدة . ويمكن اعتبار الإفراز بأنه المدى الكامل للنشاطات المتعلقة بالتصنيع والخزن وإطلاق عدد من المواد الكيميائية . وبالنسبة لمصيدة الذباب فينوس (Venus's

Flytrap) تساعد العملية الإفرازية في اعطاء طريقة أكثر فعالية للتكيف مع البيئة . فبكونها خضراء ، فإن النبتة قادرة على القيام بالتمثيل الضوئي ، ولها أيضاً القدرة على هضم الحشرات . وتصنع الانزيمات وتخزن بواسطة العضيات المناسبة . ثم تنتقل على خلايا الغدد الموجودة على سطح الورقة (لاحظ الشكل التاجي للغدة في الصورة) وعند اصطياد الحشرة ، تفرز الغدة أنزيماتها التي تحطم الحشرة إلى مكونات يمكن استيعابها بواسطة خلاليا النبتة .

وبالإضافة إلى الإفراز والطرق الأخرى المستعملة للتكيف مع البيئة الخارجية تكونت طرق للمحافظة على علاقة ثابتة بين الخلايا والبيئة الداخلية . وفي الفقاريات ، يقوم الجهاز البولي بتعديل كمية الإملاح والماء في الدم ، وإخراج الفضلات الضارة التي تنتج عن العمليات الخلوية املختلفة مثل فضلات النيتروجين الناتجة عن استقلاب البروتينات . وفي هذا الجهاز تؤدي الكليتات وظيفة الترشيح التي تبدأ بالكبسولة البولية ، التي هي بمثابة شبكة الأوعية الدموية والخلايا الدعامية . وتبين الصور جزئي الجسيمة البولية (Renal Corpuscle) وهما كبسولة بومان (Bowman's Capsule) والحبيبة (Glomerulus) (مجموعة الشعيرات الدموية بداخل الكبسولة وهي التي يمر من خلالها مرشح بلازما الدم ليدخل فتحة الكبسولة). وبمرور المرشخ خلال أنابيب وقنوات الجهاز البولي ، تعيد بعض الخلايا امتصاص الماء ومواد غذائية مهمة ، بينما يساعد البعض الآخر في إخراج الفضلات الضارة . وبهذا يخرج الكائن الحاصل النهائي ، وهو البول.

ويعتمد التكاثر كغيره من النشاطات الحيوية على مستوى الكائن ، على الوظيفية المنظمة والدقيقة على المستوى الخلوي . وهذا يعني أنه يتوجب وجود طرق ليس فقط لإنتاج عناصر متشابهة ، ولكن مستقلة ، لنوع من الكائنات ، بل طرق أخرى تمكن الخلايا من التخليق والتخصص ، والتعويض عما يتدمر من خلايا خلال حياة الكائن الواحد ولتبيان النوع الأول من هذه الطرق ، نرى بأن التكاثر بشجرة الصنوبر يبدأ بتكوين أكواز ذكرية وأنثوية . وتحمل حبات اللقاح التي تتكون بداخل الأكواز الذكرية بواسطة تيارات الهواء إلى بيضات الأكواز الانثوية . وبعد أن تدخل حبات اللقاح بواسطة فتحة صغيرة في حراشف الكوز الأنثوية وبنهاية السنة الثانية ، تتحول البذيرات (Ovules) إلى بذور –

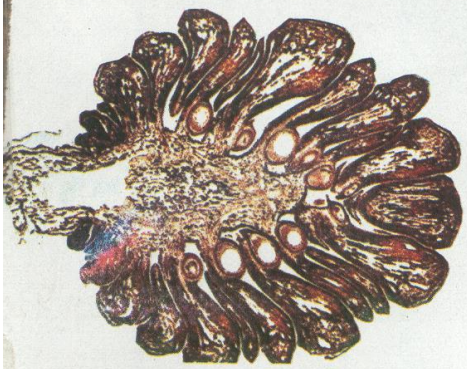


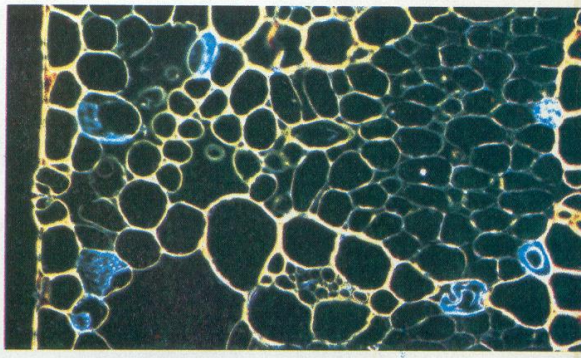
صورة النسيج الطلائي مأخوذة بطريقة المجال المعتم

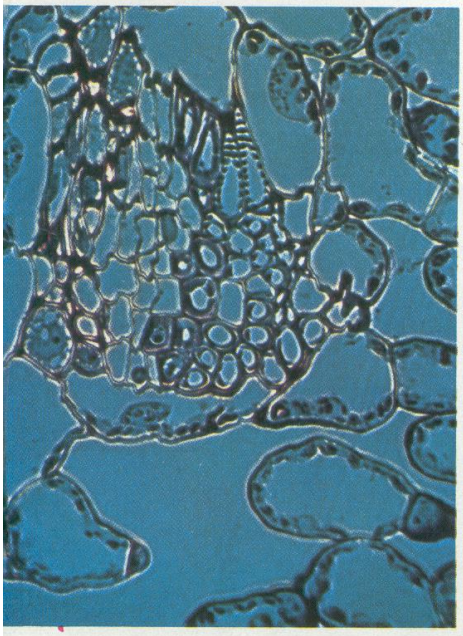
صورة النسيج الطلائي مأخوذة بطريقة تباين التداخل

مخروط الصنوبر الانثوي مبينا البويضات

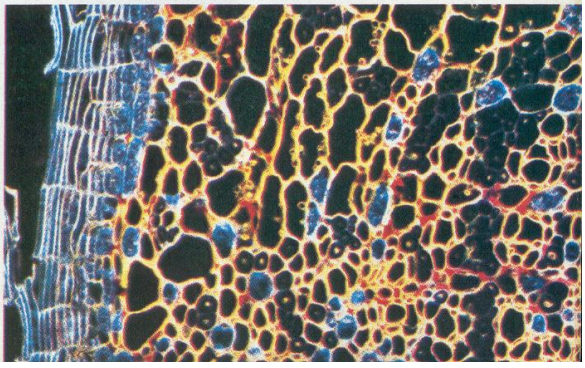
مقطع عرضي لورقة زنبقة الماء



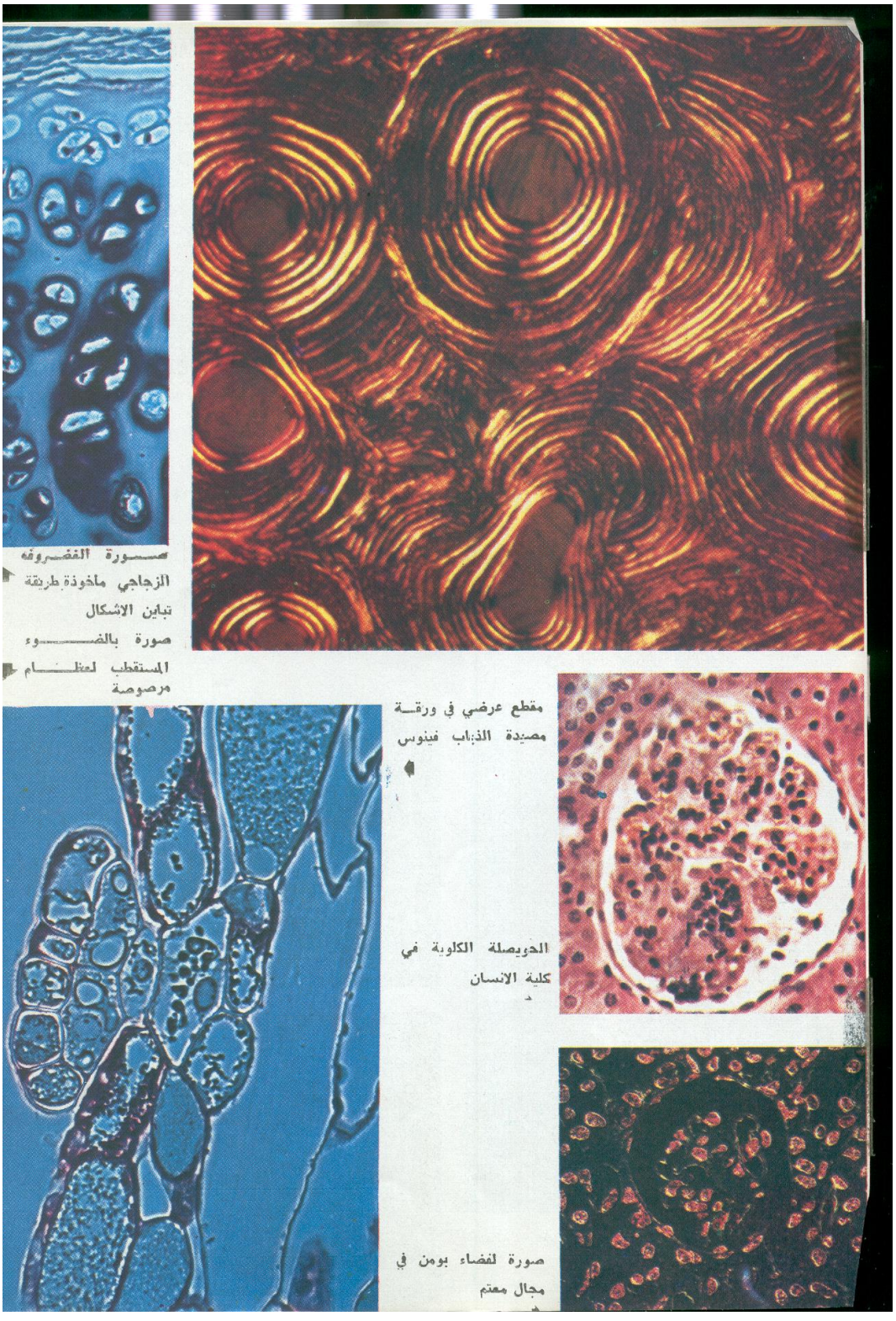




صورة الحزمة الوعائية مأخوذة بطريقة تباين الاشكال



مقطع عرضي لجذر نوع من الزيزفون



صورة الفضروفه الزجاجي ماخوذة بطريقة تباين الاشكال

صورة بالضوء المستقطب لعظام مرصوصة

مقطع عرضي في ورقة مصيدة الذباب فينوس

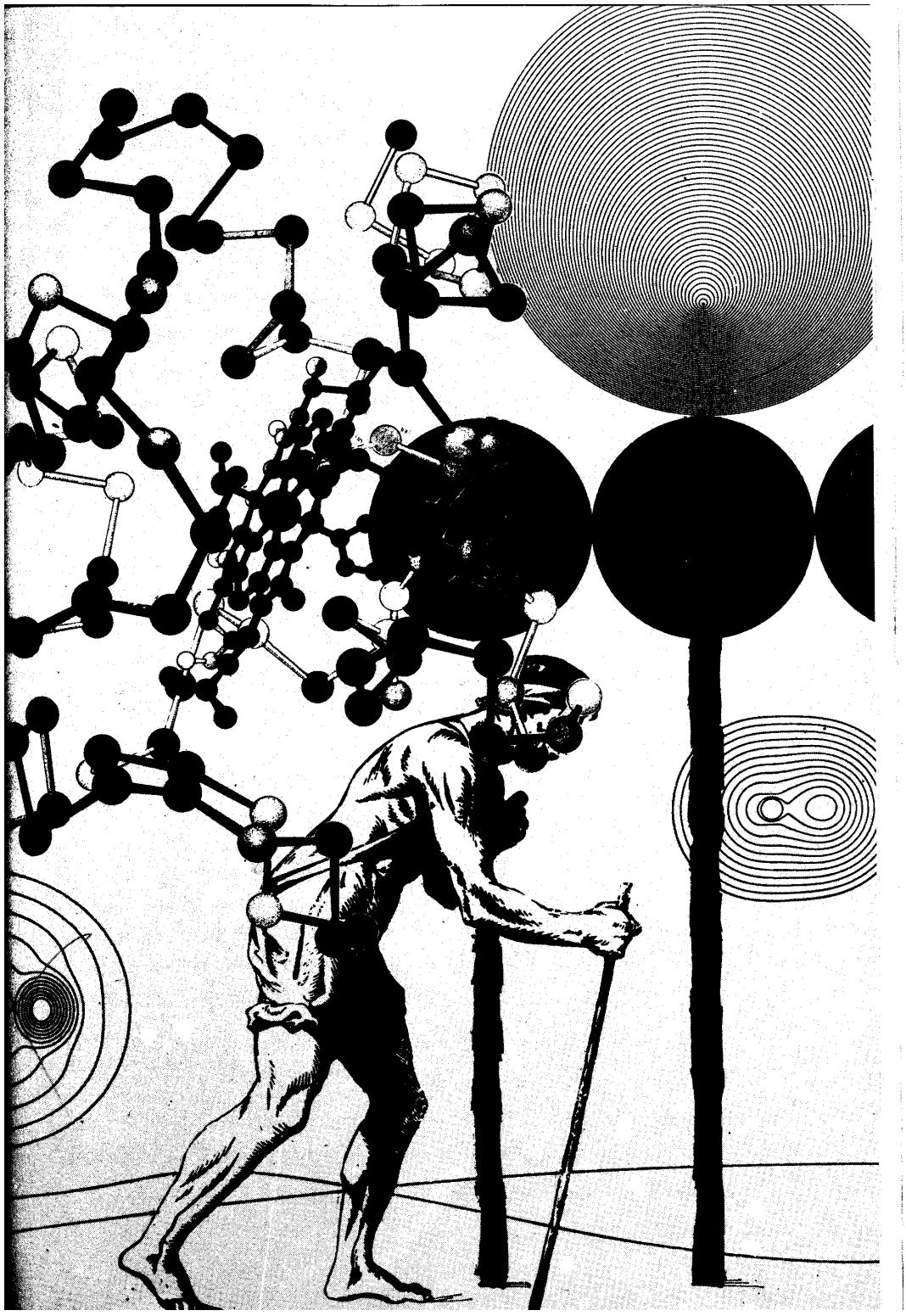
الدويصلة الكلوية في كلية الانسان

صورة لفضاء بومن في مجال معتم

وهذه تتكون من جنين ، ونسيج غذائي ، وغلاف بذري- تسقط من الأكواز لتكون جـذوراً في الأرض .

والتجديد والتوليد لنوع مختلف – ليس لكائنات جديدة ، وإنمـا لخلايـا مـن نسـيج موجود- مبينة بشكل جيد في النسيج الطلائي . ففي النسيج الطبقي المبين ، تعوض الخلايا السطحية التي تنسلخ أو تدمر بواسطة الانقسام الخلوي في الطبقات السفلى . ويبين تحت هذه الطبقة في الصورة المظلمة اوعية دموية تمد الأغذية للخلايا الفوقية ، بواسطة السائل بـين الخلوي . وتتخصص الخلايا الجديدة غير المختلفة بمرورها باتجاه السطح .

وتبين صور أنسجة الجذور والورقة ، الوظائف الخلوية المتعددة التي تساهم في بقاء النبتة الكلي ، فتعمل الجذور على تثبيت النبتة ، ودعمها ، وخزن الغذاء ، وامتصـاص الماء والمواد المعدنية من التربة . ومن ناحية ثانية فالأوراق مهمة لأنها تعتبر مواقع تصنيع الغذاء . وكذلك فإنها تعدل في دخول وخروج بخار الماء ، وغازات اخرى مـن خـلال الثغور التي تكون عادة كثيرة على السطح السفلي للورقة . (تطفو زنابق الماء على سطوح البرك ، ولهذا فإن الثغور موجودة على السطوح العليا للأوراق) . وتقوم الحزم الوعائيـة بداخل الورقة بنقل الماء والأملاح التي تمتصها الجذور وهي المـأخوذة خـلال السـيقان ، وكذلك تنقل الغذاء (الكربوهيدرات) التي تتكون في الخلايا البرنشيمية المجاورة ، ويعطي النسيج المرستيمي الجنيني أجزاء النبتة المصنعة (الأوراق) والماصة (الجذور) مصدراً مـن الخلايا غير المتخلفة واللازمة للنمو .



الفصل الرابع

أغشية الخلية

Cell Membranes

أن تبادل المواد ما بين داخل الخلية والمحيط الخارجي نشاط حيوي مهم لاستمرارية عمل ونمو الخلايا . فالمحيط الخارجي للكائنات ووحيدة الخلية التي تعيش في المحيطات والبحيرات والبرك يشتمل على ماء مالح أو عذب . أما المحيط الخارجي للنباتات عديدة الخلايا ، فيشتمل على العصارة بين الخلوية ، وللحيوانات عديدة الخلايا يشتمل على الدم واللمف .

ومهما يكن المحيط الخارجي فيجب على الخلايا استخلاص مجموعة مواد منه كالماء والأوكسجين والأغذية ، وعليها إيجاد طريقة للتخلص من المواد التي لا تحتاجها . كما عليها إيجاد طريقة للتحكم في سرعة وكمية المواد المتبادلة إذا أريد لها أن تعمل بكفاءة وتتفادى الموت . وكما لوحظ في نقاش تركيب الخلية ، فكل خلية محاطة بغشاء . لذا فمن البديهي أن مرور المواد لداخل الخليةة وطرد الفضلات والمواد الزائدة لخارج الخلية يتأثران بهذه الأغشيةة وبالخواص التي لها .

فلو كانت أغشية الخلايا مثقبة كقماش الشاس ، فإن معظم المواد ستمر خلالها دون اعاقة . بمعنى آخر ، ستكون الأغشية منفذة لهذه المواد ، وبالتالي تمر بمرور الجزيئات التي تدخل في التفاعلات الكيماوية داخل الخلية تمر خلال الحواجز الغشائية بشكل عشوائي

وبالتالي تعيق الكفاءة الوظيفية . فالانزيمات الهاضمة الموجودة في اللايسوزومات تستطيع آنذاك أن تخرج للسيتوبلازم وتهدم الخلية . وكذلك مختلف المواد الموجودة خارج الخلية أن كانت سامة أو غير ذلك ، تدخل خلال الغشاء البلازمي وتسبب الخلل لتنظيم الخلية الداخلي بومعنى آخر فالخلية ستصبح معرضة لكل أنواع التفاعلاتت المضرة وستصبح تحت رحمة المحيط الداخلي والخارجي .

وأغشية الخلية ليست منفذة لكل المواد ، ولهذا السبب فإنها تلعب دوراً واسعاً وحيوياً في استراتيجية بقاء الخلية . فأغشية الخلايا تحافظ على تماسك العضيات وتفصلها عن السيتوبلازم ، كما أنها تعمل كمواقع لتفعلاتت معينة في الخلايا البدائية والخلايا الراقية . كما أن هذه الأغشية تحافظ على التنظيم الموقعي للانزيمات ، وبذا فإن كل خطوة في التفاعلات الكيماوية الخلوية التي تعمل هذه الانزيمات على تنظيمها تحدث تبعاً لترتيب منتظم كما أن هذه الأغشية تعمل على تنظيم تبادل المواد الداخلية والخارجية . وباختصار ، فالأغشية الخلوية هي بمثابة حراس منظمين وإداريين للخلية .

الأسس الفيزيائية للنقل: Physical Principles of Transport

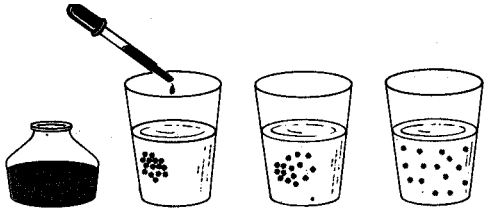
بالرغم من أن حركة الجزيئات خلال الأغشية الخلوية ضرورية لبقاء الخلية ، إلا أن هذه الحركة ليست نتيجة النشاط الحيوي فقط . ففي الحقيقة ، تقوم الخلايا بنشاط لنقل المواد من المحيط الخارجي إلى داخلها وبالعكس ، كما سنتطر لهذه افيما بعد ببعض من الإسهاب . إلا أن أكثر حركة الجزيئات خلال الأغشية تحدث بشكل سلبي ، أي بطرق فيزيائية تحكم حركة كل المواد . وأحد هذه الطرق هو الانتشار .

الانتشار Diffusion

لو وضعنا قطرة حبر في وعاء فيه ماء ، فإنها ستقوم بتلوين كل الماء . فهذه الظاهرة المألوفة هي نتجية لحركة الجزيئات . فالجزيئات في حركة عشوائية دائمة وتغير اتجاه حركتها عندما يصطدم بعضها ببعض أو بعائق . وبعد مضي بعض الوقت ، فإن هذه الجزيئات بحركتها توزع نفسها بانتظام في الحيز التي توجد فيها .

فمحصلة الحركة لهذه الجزيئات تتحكم بالقوانين الفيزيائية التي تحكم حركة كل الجسم في أن يكون الجزيئات يكون من المنطقة ذات التركيز العالي إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض . فقطرة الحبر مثلاً لا تستطيع الحفاظ على حالتها المركزة حين وضعها في إناء

الماء . فجزيئات الحبر تبدأ حالاً بالحركة من المنطقة التي توجد بها بتركيز عال إلى المناطق المشغولة بجزيئات الماء أي المناطق ذات التركيز المنخفض لجزيئات الحبر . فبعض جزيئات الحبر تصطدم بجزيئات اخرى وترجع إلى المنطقة ذات التركيز العالي من لحبر ، إلا أن مجمل الحركة يكون بالاتجاه المعاكس لهذه المنطقة . ومجمل الحركة للجزيئات هذه يدعى بالانتشار . فعندما تنتشر الجزيئات في عينة الماء هذه وتوزع نفسها بانتظام تظل الجزيئات تتحرك ، ولكن لا تلاحظ حركتها فكلما تحرك جزيء من منطقة ، حل محله جزيء آخر .



الشكل (٤ ــ ١) الانتشار : تنتشر جزيئات الحبر من المنطقة ذات التركيز العالي الى المنطقة ذات التركيز المنخفض .

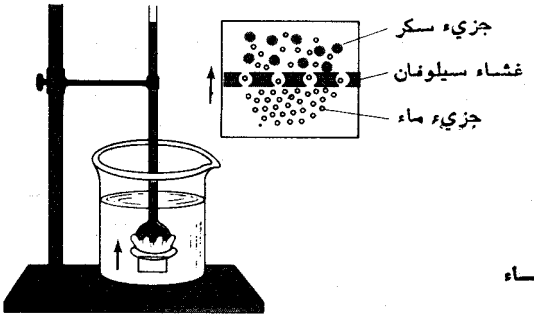
وسرعة الأنتشار تعتمد على عدة متغيرات منها احتمال وقوع التصادم إذ تتعرض جزيئات سائل ما يحاول الانتشار بين جزيئات سائل آخر لتصادم الجزيئات وبالتالي لإعاقة عملية الانتشار أكثر من تعرض جزيئات غاز تحاول الانتشار بين جزيئات غاز آخر . والسبب أن جزيئات الغاز متباعدة فيما بينها أكثر من تباعد جزيئات السائل فيما بينها . وكما يتوقع المرء ، فإن سرعة الانتشار خلال المادة الصلبة أبطأ من سرعة الانتشار خلال السوائل والغازات وذلك لأن جزيئات المادة الصلبة متراصة .

كما أن سرعة الانتشار تعتمد على سرعة واتجاه الجسيمات المتحركة . فالحرارة والضغط عاملان يؤثران على حركة الجزيئات ، لذلك فإنهما يؤثران في سرعة الانتشار.

الاسموزية Osmosis

أفرض أننا فصلنا محلولين أحدهما عن الآخر بواسطة غشاء اختياري النفاذية ، أي أنه يسمح بمرور بعض المواد دون غيرها . ففي هذه التجربة نغطي القعر القمع بالدبس الغني بالسكاكر والفقير بالماء . وبعد التأكد من أحكام وضعقطعة السيلوفان ، نضع القمع باناء يحتوي على الماء بشكل لا تلامس به قطعة السيلوفان قعر إناء الماء . إننا نستعمل

قطعة السيلوفان بهذه الحالة كغشاء اختياري النفاذية ، يسمح للماء ولكنه لا يسمح للسكر بالمروب خلاله . فماذا نتوقع أن يحدث؟ نعم أن الماء له تركيز ماء أكثر من تركيز الماء في الدبس . وبما أن الماء يستطيع أن يمر خلال الغشاء ، لذا نتوقع أن يمر الماء من خلال الغشاء باتجاه الدبس (أي من المنطقة ذات التركيز العالي للماء إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض للماء) . ولكن السكر لا يستطيع الخروج باتجاه الماء لأن غشاء السيلوفان لا يسمح بمرور السكر . فمصحلة الحركة إذن هي حركة الماء باتجاه الدبس الموجود في القمع.



الشكل (٤ ــ ٢) : جزيئات الماء تنتشر خلال الغشاء اختياري النفاذية

فهذه العملية لانتشار جزيئات الماء خلال غشاء اختياري النفاذية تدعى بالخاصية الاسموزية . فمن الناحية الكيماوية ، أن انتشار أي مذيب خلال غشاء اختياري النفاذية تدعي بالخاصة الاسموزية . وبما أن المذيب في الأجهزة الحيوية هو الماء ، فإن التعرف السابق أكثر دقة لأغراضنا .

الضغط الاسموزي: Osmotic Pressure

بوصفنا لتجربة الخاصة الاسموزية ، لاحظنا أن محصلة حركة الماء كان باتجاه الدبس . ونتيجة لهذه الحركة ، فإن مستوى محلول الدبس يرتفع ومستوى الماء ينخفض ولكن مهما كانت كمية الماء الداخلة إلى الدبس ، فإن محلول الدبس يبقى أقل تركيزاً بالماء من الماء المحض .

فقد يبدو أن عملية الانتشار تستمر لما لا نهاية . ولكن هذا لا يحدث . إذ أن مستوى محلول الدبس يرتفع فيسبب وزنه ضغطاً على جزيئات الماء يردها للخارج فلا يسمح لها بالمرور خلال الغشاء . فعندما يصبح معدل سرعة دخول الماء إلى اتجاه الدبس يساوي معدل سرعة خروج الماء نتيجة ارتفاع مستوى محلول الدبس ، يقال أن المحلولين بحالة توازن .

فلو أجرينا تجارب اسموزية مشابهة ولكن بتراكيز مختلفة للمحاليل ، لفهمنا كيفية عمل الأغشية: فكلما زاد تركيز المحلول على أحد جوانب الغشاء (أي كلما ازداد عدد الأجسام المذابة في المحلول على أحد جوانب الغشاء) ازداد عدد جزيئات الماء التي تدخل خلال الغشاء لذلك الجانب . وذلك يحدث المزيد من الضغط على جزيئات المحلول لتساوي بالنهاية الضغط المسبب لمرور الماء وبالتالي لإحلال التوازن . وهذا الضغط الذي يزداد طردياً بازدياد عدد الجسيمات المذابة بالمحلول يدعى بالضغط الاسموزي للمحلول .

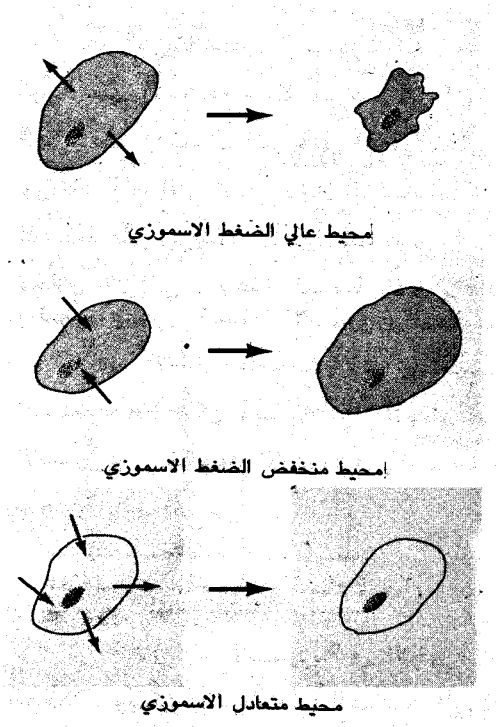
وعند الإشارة للضغط الذي يستطيع المحلول بناءه ، أي الجهد اللازم لبناء الضغط وهذا يمكن حسابه قبل حدوث الضغط ، نستعمل ما يدعي بالجهد الاسموزي . فالجهد الاسموزي والضغط الاسموزي متساويان رقمياً ويقاسان بوجدات الضغط .

علاقات الخلية والماء: Cell-water relations

أن العلاقات الاسموزية في الأجهزة الحيوية تلعب دوراً مهماً في نشاطات الخلايا . ويمكن تصنيف هذه العلاقات إلى ثلاثة أنواع:

فإذا كانت الجسيمات المذابة في المحيط أكثر من تلك المذابة في الخلية ، فيقال أن ذلك المحيط عالي الاسموزية بالنسبة للخلية ، أي أن ضغطه الاسموزي أعلى من الضغط الاسموزي للخلية . لذا فالماء ينتقل من الخلية على المحيط وتنكمش الخلية . أما المحيط المنخفض الاسموزية فيحتوي على جسيمات أقل من الجسيمات المذابة بالخلية ، ولذلك فضغطه الاسموزي يكون أقل . ففي هذا المحيط ، تنتفخ الخلايا وبالتالي تنفجر إذا لم يمنع انتشار الماء إليها . وإذا كان الضغط الاسموزي للميحط الخارجي مشابهاً للضغط الاسموزي لسيتوبلازم الخلايا ، فيقال أن للمحيط الخارجي ضغطاً اسموزياً متعادلاً . ففي هذه الحالة يكون المحيط الخارجي والجاخلي في حالة تعادل . فقد يتم تبادل كمية محدودة من الماء بين الخلية ومحيطها ولكن ذلك لا يسبب التغير في حجم أو شكل الخلية .

فبعض الخلايا مهيئة للتعامل مع ضروف اسموزية غير ملائمة . ففي النباتات كمثال تكون السوائل الخارجية ذات ضغط اسموزي منخفض بالنسبة لسيتوبلازم الخلايا . فجدار الخلايا يسبب ضغطاً معاكساً للضغط الاسموزي ويمنع الماء الزائد من الدخول وبالتالي لا تنفجر هذه الخلايا . كما أن بعض الحيوانات وحيدة الخلايا كالاميبا التي تعيش في المياه



الشكل (٤ ــ ٣) : النفاذية الاختيارية للاغشية الحيوية تساعد في تنظيم تركيز المحاليل في الخلية وبالتالي تنظيم الضغط الاسموزي لسوائل الخلية .

العذبة فإن الماء يدخل باستمرار ، ولكنها مزودة بالفجوات المنقبضة التي تطرح الماء الزائد . كما أن هناك طرقاً تعمل على التعامل مع فرق الضغط الاسموزي وهذه مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بوظيفة الغشاء الخلوي التي سنتعرض لها فيما بعد .

تركيب الغشاء Membrane Structure

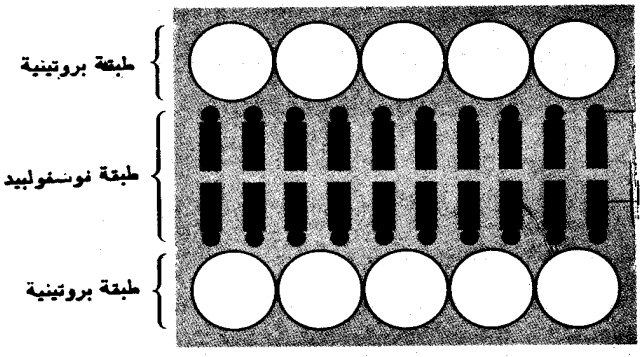
أن مفهوم خاصيتي الانتشار والاسموزية يرتبط بدراستنا للخلايا والأغشية إذ أن هذه النشاطات الفيزيائية نشاطات نقل خلوية ، وأغشية الخلية نفسها عبارة عن حواجز شبه منفذة وبالرغم من احتمال وجود فورق بين النفاذية التخصصية لغشاء خلية وخلية أخرى وحتى بين غشاءالخلية الواحدة ، إلا أن هناك خواص عامة مشتركة لجميع الأغشية . فمعظم الأغشية الخلوية منفذة للماء وللدهون وللسكاكر البسيطة ولمواد أخرى ذات جزيئات صغيرة ، ولكنها غير منفذة للبروتينات ولكثير من الكربوهيدرات ولمواد أخرى ذات جزيئات كبيرة . وبشكل عام ، فإن الأغشية أقل نفاذية للايونات (الذرات الحاملة لشحنة كهربائية) من الجسيمات المتعادلة الشحنات .

فصفات النفاذية ، تعتبر مصدراً للمعلومات غير المباشرة عن الأغشية وقد أدت لظهور النظريات التي تساعد في تفسير كيفية وسبب عمل الأغشية ، فالنظريات السالفة

عدلت وصححت خلال العقود الماضية وذلك بمساعدة الأشعة السينية والتحليل الكيماوي للأغشية المفصولة بأجهزة الطرد المركزي وبمساعدة المجهر الإلكتروني .

نظرية الأغشية: Membrane theories

لوحظ في بداية هذا القرن أن الغشاء الخلوي يسمح بمرور المواد التي تذاب في الدهون . وبناء على ا لعرف أن "المواد المتشابهة يذيب بعضها بعضاً" فإن الأغشية تحتوي على كمية من الدهون . وقد عرف العلماء الكيماوين الدهون بأنها تلك ا لمواد التي لا تذوب في الماء بل تذوب في المذيبات العضوية كالاسيتون والايثر والبنزين . وهذا النوع يحتوي على العديد من المركبات التي تشترك فيما بينها في عظم مساهمة الهيدروجين والكربون في تركيبها الجزيئي . وهذا الجزء من مركب الدهن هو ما يجعله غير قابل للذوبان في الماء .



الشكل (٤ – ٤): نموذج دانيسون لتركيب الغشاء البلازمي.

وفي سنة ١٩٢٥ تم عزل وتحليل الأغشية الخلوية لخلايا الدم الحمراء لمعرفة نوع وكمية الدهن في تركيبها . وقد وجد أن معظم الدهون في هذه الأغشية مكونة من الفوسفوليبيدات . وقد دلت قياسات كمية هذه الليبيدات بالنسبة لمساحة سطح هذه الأغشية الخلوية أن الخلية تحاط بطبقتين من جزيئات الفوسفوليبيدات .

فالفوسفوليبيدات مركبات تحتوي على مجموعة الفوسفات ومجموعة الهيدروكربون . ومجموعة الفوسفات قطبية وعاشقة للماء . أما مجموعة الهيدركربون فغير مستقبطة وكارهة للماء . فالجزيئات الكارهة للماء أو أجزاء الجزيئات الكارهة للماء تميل للتفاعل فيما بينها ولا تميل للتفاعل مع الماء . وبالمثل ، فالجزيئات العاشقة للماء تميل للتعامل مع الماء مع المواد المستقطبة الأخرى ولا تميل للتعامل مع المذيبات العضوية أو المواد التي تذوب فيها .

ولهذا السبب نجد أن الزيت والماء لا يذوب أحدهما في الأخر وينفصلان إلى طبتقين واضحتين . فالزيت مكون من جزيئات كارهة للماء شبيهة للفوسفولبيدات ولكن باستعمال مجموعة غير مستقطبة بدلاً من مجموعة الفوسفات المستقطبة عند مزج الفوسفولبيدات مع الزيت والماء نجد أن جزيئاتها تصطف على السطح الفاصل بين الزيت والماء . ونجد أن الجزء الكاره للماء من الفوسفولبيدات يقترب من طبقة الزيت أما مجاميع الفوسفات العاشقة للماء فتقترب من الماء .

ففي عام ١٩٣٠ وبناء على هذه الخواص للفوسفولبيدات وكمياتها في الأغشية قام دانيللي وافسون بوضع نموذج لتركيب الغشاء البلازمي .

ومجموعات الفسفوريل العاشقة للماء لكل طبقة تبرز إلى الخارج وتتفاعل مع الماء . ومن قياسات قوة التوتر السطحي ، افترض أن كلا من جانبي الغشاء البلازمي مغطى بجزيئات البروتين (أن فكرة جزيئات البروتين تسبب انخفاضاً في قوة التوتر السطحي للخلايا دعمت جزئياً بتجارب على أغشية صناعية). وهكذا ، فنموذج دانيللي- دافسون للغشاء الخلوي يماثل سندويشاً جزيئياً فالطبقات من البروتين الخارجيتان يمكن اعتبارهما كالخبز ، أما طبقتا الفوسفولبيدات المترتبة ظهراً لظهر فتمثل بالحشوة أو المادة التي تملأ السندويش .

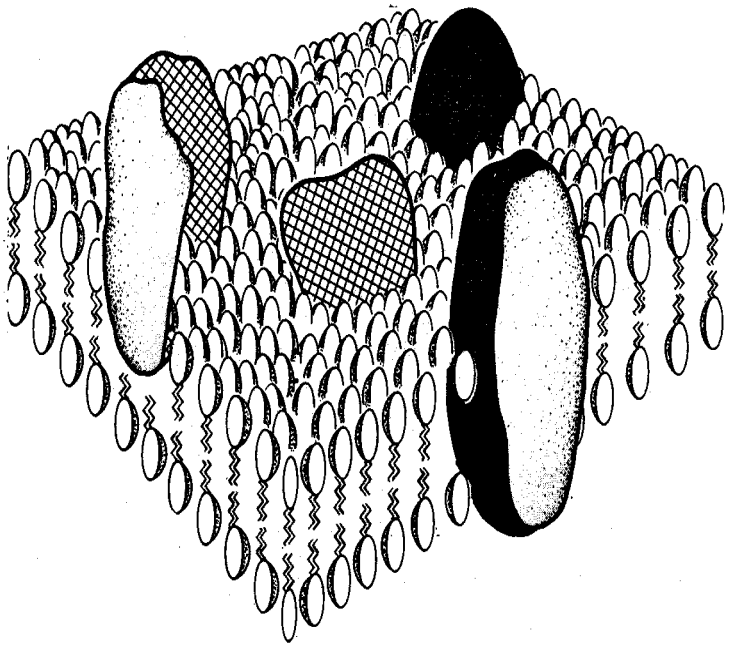
أن الخصائص العامة لهذا النموذج النظري دعمت بتجارب استخدمت فيها تقنيات حيود الشعة السينية الميكروسكوب الإلكتروني . وإحد سلاسل هذه التجارب التي قام بها روبرتسون عام ١٩٥٠ استخدم فيها المجهر الالكتروني الخارق . فقد بينت الصور المأخوذة أن الغشاء البلازمي مكون من خطين داكنين للالكترونات سمكها ٢ نانوميتر مفصولين بمنطقة قليلة الكثافة الالكترونية سمكها ٣,٥ نانوميتر . واقترح روبرتسون أن تركيب هذه "الوحدة الغشائية" يمكن تطبيقه على جميع أغشية الخلية أي الغشاء البلازمي وجميع الأغشية داخل الخلية كتلك التي تغلف العضيات والتي تشكل الغشاء الاندوبلازمي الكثيف . أما الاكتشافات الجديدة فقد حورت هذه النظرية . فكمثال ، بينت بعض الدراسات أن أغشية أنواع الخلايا المختلفة تختلف في سماكتها وفي محتواها للدهون.

النموذج الفسيفسائي السائل: The Fluid mosaic model

أن الصورة التي شرحت عن الأغشية وهي لا تزال نظرية ، قد تكون صحيحة . إلا أن الدراسات الحديثة خلال السنوات القليلة الماضية ، زادت لهذه الصورة بعداً جديداً .

وتتضمن هذه الزيادة ديناميكية الدهون والبروتينات والفكرة التي أثارت العديد من الدراسات والتجارب هي أن الدهون والبروتينات متحركة وليست مثبتة في مكانها كمكونات لتركيب الغشاء . وإحدى النظريات الحديثة التي انبثقت عن هذه الدراسات هي النظرية التي قدمها سنجر ونيكلسون والمسماة بنظرية الفسيفساء السائل .

فحسب هذا النموذج ، فمن المعقول أن جميع الأغشية ، من العالية التخصص كالميلين التي تغلف بروزات الخلايا العصبية إلى الغشاء الاندوبلازمي والغشاء النووي وجهاز جولجي والغشاء الداخلي للميتوكندريا المتخصص جداً ، كلها لها صفيحة متصلة ومستمرة من طبقتين من الفوسفوليبيدات . وهذه الصفيحة هي التي تعمل كحاجز اختياري النفاذي ، يسمح بمرور بعض المواد ويعيق أو يمنع مواد أخرى من المرور خلاله .

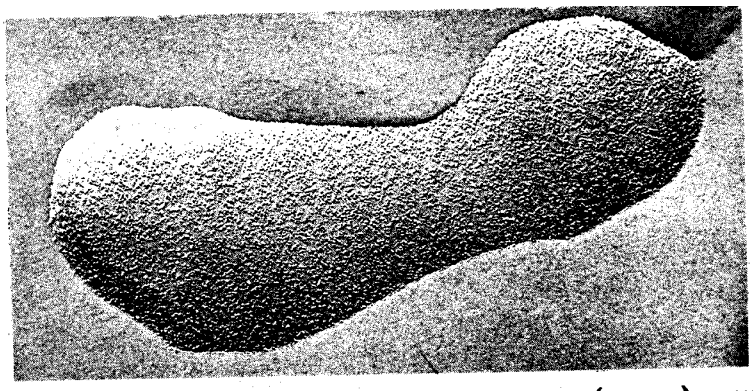


الشكل (٤ ــ ٥) : النموذج الفسيفسائي السائل . من الممكن مشاهدة بروتينات كروية مكملة موزعة بغير انتظام في قالب سائل القوام . (الخطوط الملتوية تمثل نهايات الهيدروكربونات لجزيئات الدهون ، أما الاجسام الكروية في قمة وقعر الطبقات فتمثل الرؤوس المستقطبة). ويمكن تمييز البروتينات المكملة عن البروتينات الجانبية بكون الاولى لا تنحلل عن تركيب الغشاء . ويعزى هذا التفاعل مع المكونات الهيدروكربونية للدهون . وعلى ما يبدو فان تركيب وحجم جزيئات البروتين يقرران مدى ارتباط البروتينات المكملة مع الغشاء الخلوي .

وهذه الصفيحة من طبقتي الفوسفوليبيدات ليست مغطاة بأكملها بغطاء بروتيني كما اقترح دانيللي دافسون ، فبالحقيقة هناك مناطق كبيرة من هذه الصفحة مكشوفة .

لذا فنموذج الحشو له حدوده . وعلى ما يبدو فأنه من الأصح تصور الأغشية بأنها مكونة من طبقتي فوسفوليبيدات مزينة بنمط من البروتين والكربوهيدرات والدهون مما يعطي الغشاء ظواهره المميزة . ومن المعتقد أن الدهون تدخل داخل منطقة الطبقة المزدوجة بين أجزاء الفوسفوليبيدات الكارهة للماء ولهذه الدهون ارتباط وثيق بعمل بعض البروتينات .

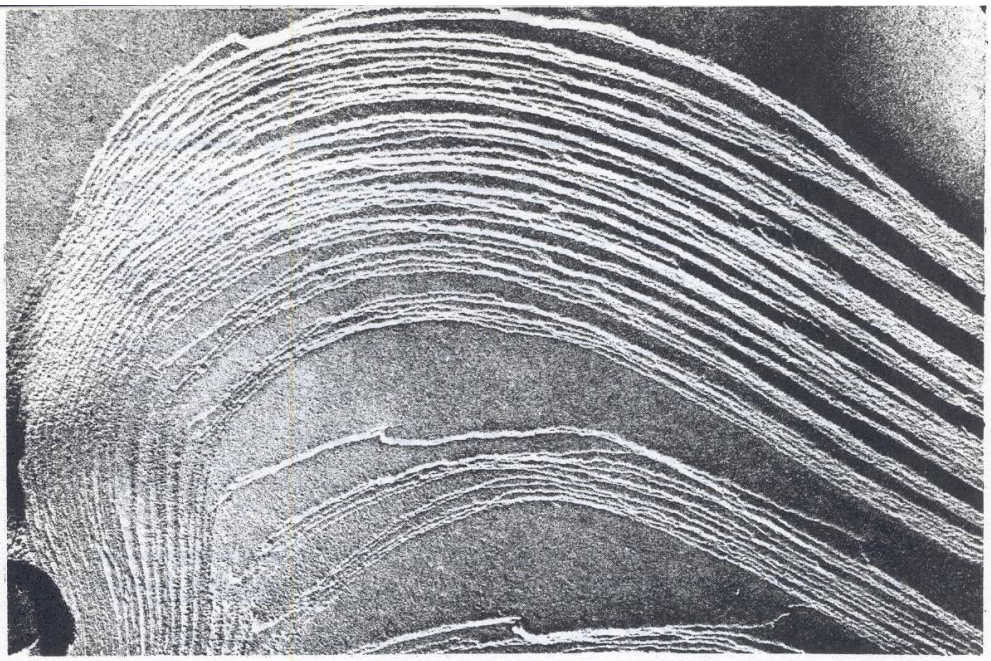
وتشير الشواهد من الدراسات على أغشية خلايا الدم الحمراء إلى أن بروتينات الأغشية البلازمية يمكن أن تحتل ثلاثة مواقع مختلفة ويرجع ذلك بشكل جزئي إلى ميوعة تركيب الغشاء . فقد توجد بعض البروتينات داخل أو على الغشاء البلازمي ، ويكون سطحها الخارجي مكشوفاً . وبعض البروتينات موجودة داخل أو على الغشاء البلازمي ، لكن سطحها الداخلي مكشوف . وهناك بعض البروتينات التي يكون سطحها الداخلي والخارجي مكشوفين وعلى ما يبدو أنها تخترق جميع سمك الغشاء .



الشكل (٤ ــ ٦) : صورة بالمجهر الالكتروني للغشاء البلازمي لكرة الدم الحمراء مأخوذة بواسطة الحق التجمدي . هناك اجسام كروية قطرها تقريبا ٧ر٥ الى ٨ر٥ نانوميتر موجودة في الغشاء . وتشير الدراسات الى أن هذه الاجسام هي بروتينات مكماة وتخترق جميع سمك الغشاء البلازمي لكرة الدم الحمراء .

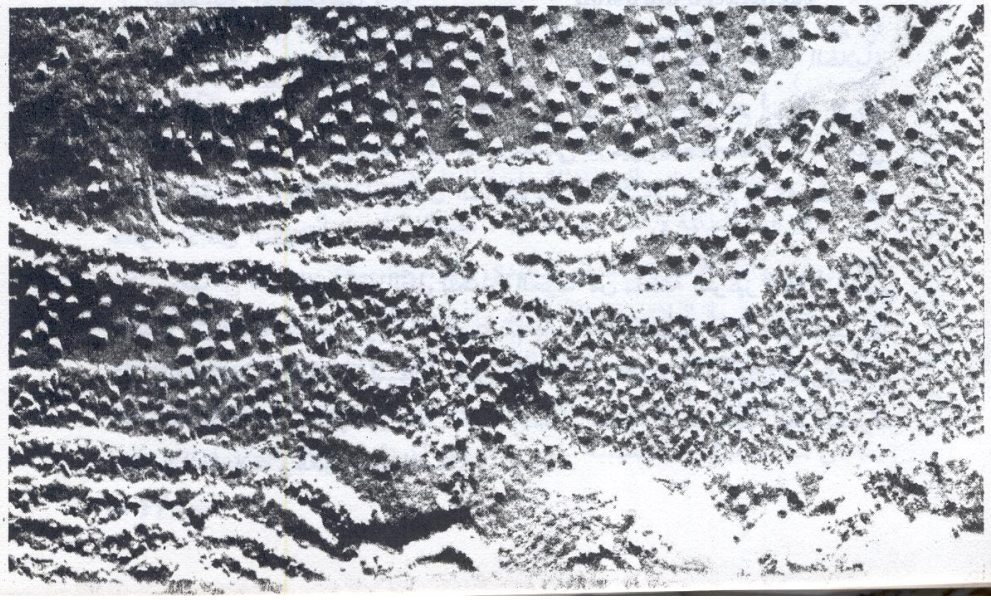
وحسب النموذج الفيسفسائي السائل ، فأن الطبقة المزدوجة تعمل كمذيب للبروتينات التي تستقر بأعماق تركيبها .

ويختلف مدى حركة مكونات الغشاء باختلاف أنواع الخلايا واختلاف أنواع الأغشية . وقد وجد أن ليونة الفوسفوليبيدات في نفس الطبقة المزدوجة تختلف.



الشكل (٤ ــ ٧) : صورة بالمجهر الالكتروني بواسطة طريقة الحف التجمدي للميالين. والميالين أغشية تغلف الالياف العصبية . فالبروتينات في هذه الاغشية شديدة التنوع وتشترك في النشاطات الخلوية الديناميكية وعلى ما يبدو انها تعمل كعوامل وسيطة في عمليات حيوية كالنقل النشط وتحويل الطاقة . والميالين فقير في البروتين وغني في الدهن وهذا التركيب الكيماوي ملائم لعمل هذه الاغشية كعازل كهربائي . وطريقة الحف التجمدي تظهر غياب البروتينات الكروية (لاحظ نعومة السطح المحف) .

الشكل (٤ ــ ٨) : صورة بالمجهر الالكتروني بواسطة طريقة الحف التجمدي لصفائح البلاستيدات الخضراء . من الواضح ان هناك العديد من البروتينات المكملة الكروية ظاهرة من السطح المحف ، وهذه بالغالب تساعد في عملية تحولات الطاقة المميزة لاغشية البلاستيدات الخضراء الداخلية .



وأقلها صلابة هي تلك الموجودة نحو وسط الطبقة المزدوجة . وتشير الدراسات أيضاً إلى أن حركة جزيئات الدهون تتأثر بتلك البروتينات التي تمتد عبر الطبقة المزدوجة من سطح إلى آخر . وعلى ما يبدو أن جزيئات الدهون الطليقة تميل للحركة جانبياً خلال طبقة الدهون المزدوجة أكثر من حركتها إلى أعلى وأسفل وكذلك البروتينات محددة الحركة عبر الغشاء ، أي من سطح إلى أخر عبر الغشاء ، ولكنها تستطيع عادة الحركة الجانبية . وحركية الحركة هذه ليست من الضروري أن تتسبب في التوزيع العشوائي للدهون والبروتينات . ففي بعض الخلايا كمثال ، فأن بعض انواع البروتينات تتجمع في مساحات محددة فقط .

النقل الخلوي: Cellular transport

الانتشار السلبي– أي حركة المواد من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيز المنخفض – يمكن حدوثه خلال أغشية اصطناعية أو أغشية خلوية تخدم كحواجز شبه منفذة ولكن هناك وسائل معينة للنقل غير الانتشار والأسموزية ، خاصة بالخلايا فقط . بعض هذه الوسائل تحتاج إلى طاقة وترتبط بوظائف البروتينات المكونة لتركيب الخلية . ووسائل أخرى كهذه تتضمن التهام كمية من السوائل أوالمواد الصلبة بواسطة الخلية .

الانتشار المسهَّل: Fecilitated diffusion

عند قياس سرعة دخول بعض الجزيئات المذابة في الماء خلال أغشية الخلايا نجد أنها أكثر من السرعة المتوقعة للانتشار السلبي . السبب هو أن كل جزيء من هذا النوع من المادة يرتطب مبدئياً بحامل يدعي بيرميز (Permease) يوجد على سطح الغشاء . وينقل هذا الحامل الجزيء خلال الغشاء ومن ثم يتركه بعد دخوله لداخل الخلية .

وبما أن هذا النوع من النقل يتضمن الحركة من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيز المنخفض ، وبما أنه يستخدم جزيئاً ناقلاً محدداً ، لذا دعي هذا النوع من النقل بالانتشار المسهل . ومن الأمثلة على الانتشار المسهل الحركة السريعة للجلوكوز والفركتوز خلال خلايا الأمعاء الدقيقة وأخذ خلايا الدم الحمراء وخلايا العضلات وخلايا الكبد للسكاكر بسرعة .

النقل النشط: Active transport

عندما يقوم الناقل بتحريك المواد بعكس فارق التركيز – أي من منطقة التركيز المنخفض إلى منطقة التركيز العالي– تدعى العملية بالنقل النشط . وهونشاط البرميز الذي يحتاج إلى طاقة ، وقد لوحظ في العديد من الخلايا من ضمنها خلايا الأنابيب الكلوية التي تسترجع السكر وحركة السكاكر حديثة التكون من الخلايا التي تقوم بالتمثيل الضوئي إلى الخلايا الناقلة للغذاء في النباتات الراقية .

ومن الأمثلة العامة التي درست بتعمق النقل النشط الذي تشترك به كل الخلايا الحقيقية ألا وهو أن تركيز أيونات البوتاسيوم داخل الخلية فيجب أن يبقى أكثر من تركيزه بالخارج وبما أن أيونات البوتاسيوم بطبيعتها تمتيل للانتشار خارج الخلية (أي من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيز المنخفض) وكذلك أيونات الصوديوم تمثل للانتشار إلى داخل الخلية ، فالتوزيع غير المتساوي لهذه الأيونات يعزى لعملية النقل النشط الذي يعرف بهذه الحالة بمضخة الصوديوم والبوتاسيوم .

وتعمل المضخة بواسطة حوامل تنقل أيونات الصوديوم لخارج الغشاء وخلال رجوعها تجلب أيونات البوتاسيوم داخل الخلية . والبقاء على هذا التوزيع للأيونات يتسبب في وجود فرق في الجهد الكهربائي للغشاء . وتوقف المضخة لفترة قصيرة أو عطبها ودخول أيونات الصوديوم وما يرافق ذلك من خروج أيونات البوتاسيوم يسبب تلاي استقطاب الغشاء . (وكما سنلاحظ في الفصل القادم ، أن هذه الموجة من تلاشي الاستقطاب لغشاء الليفة العصبية يدعى بالسيال العصبي) . ومباشرة بعد ذلك يستعيد الغشاء قوته الضاخة ويعيد التوزيع غير المتناظر للأيونات خلال أجزاء من الألف من الثانية .

وقد وجدت مصادر الطاقة الكيماوية للنقل النشط وبعض الأنزيمات المطلوبة لاستعمال هذه الطاقة في أغشية الخلايا . فكمثال أظهرت الصور المأخذوة بالمجر الإلكتروني بواسطة طريقة الحف التجمدي وجود جسيمات بروتينية مغمورة داخل الأغشية كالأغشية البلازمية والثيوكولايد وأغشية المايتوكوندريا . وهذه الأغشية الغنية بالبروتينات تقوم بعملية النقل النشط أو النشاطات المعتمدة على الانزيمات . بنما نجد أن داخل الميلين فقير بهذه الجسيمات والبروتينات إذ أنه يعمل بكل رئيسي كعازل للألياف العصبية . فمن المحتمل أن تكون هذه الحسيات جزيئات بروتين أو خليطاً منها تقوم بالنقل النشط وكأنزيمات تنظم عمليات حفظ الطاقة الكيمياوية في الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء . وعلى كل حال ،

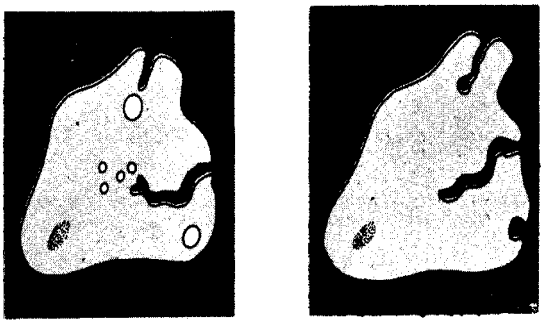
فأن ميكانيكية استعمال الطاقة الكيماوية لتشغيل عملي النقل النشط لا تزال غير مفهومة بشكل متكامل وهي أحدى المجالات للبحث في دراسة الأغشية .

النقل الكيسي: Vesicular transport

بالاضافة للانتشار السلبي والنقل النشط ، هناك طرق أخرى لحصول الخلايا على المواد من بيئتها . وتضم هذه الطرق التهام كميات ضخمة من السوائل أو المواد الصلبة وتدعى هذه الطريقة بالبينوسيتوسس والبلعمة . ولا تقوم جميع أنواع الخلايا بهذه الطرق من النقل ، أما تلك الخلايا التي تستخدم هذه الطرق ، فتستخدم أيضاً الطرق الأخرى للنقل.

البينوسيتوسس: Pinocytosis

ففي طريقة البينوسيتوسس يتم تفاعل محلول مع أجزاء معينة على السطح الخارجي للغشاء البلازمي . وينبعج الغشاء أو ينطوي للداخل عند هذه الأجزاء لتكون أكياساً تحيط بحجم صغير من المحلول . وتنفصل هذه الأكياس وتبدأ بالسباحة داخل الخلية حيث من المحتل أن تندمج بعضها ببعض أو مع الغشاء الأندوبلازمي أو مع جهاز جولجي وذلك يعتمد على نوع الخلية ونوع المادة التي جلبت بهذه الأكياس للخلية . والتحام الأكياس البينوسيتوسية مع جهاز جولجي يمكن أن يتصوره الشخص عكس عملية تكوين الأكياس الأفرازية بواسطة جهاز جولجي التي تسير باتجاه الحافة الداخلية للخلية ثم تلتحم مع الغشاء البلازمي ومن ثم تفرغ محتوياتها إلى المحيط الخارجي للخلية .



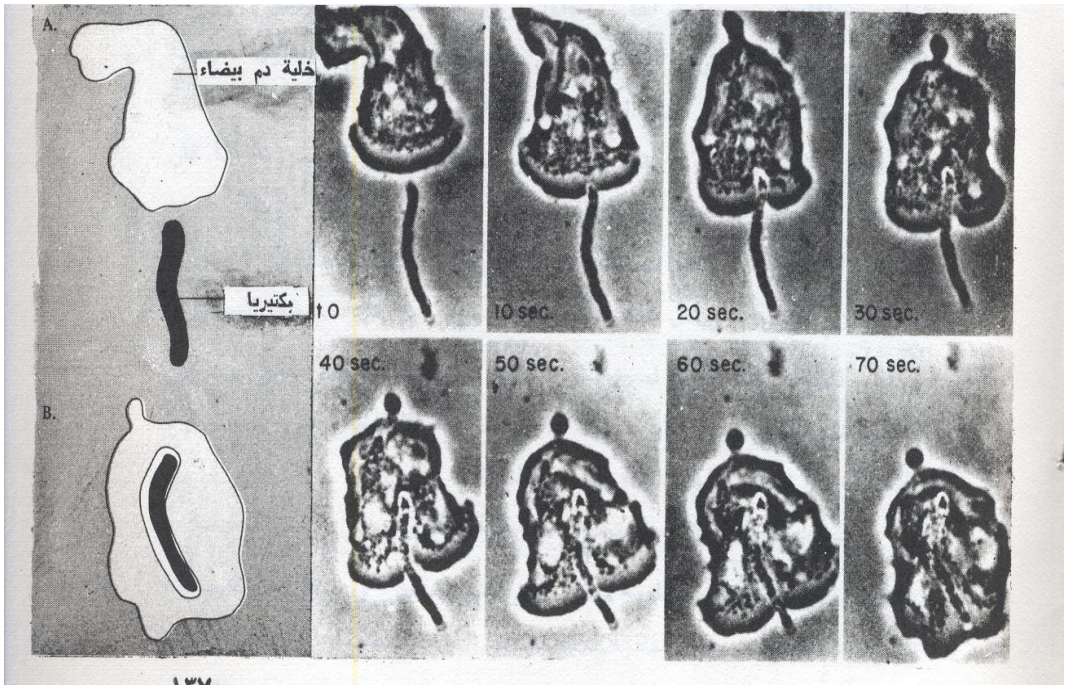
الشكل (٤ ــ ٩) : عملية البانيوسيتوسس . الاكياس تنفصل عن الغشاء البلازمي ، او قناة ضيقة قد تتكون لتدخل الى داخل الخلية ثم تتجزأ الى أكياس صغيرة . وهذه الاكياس تحتوي على الاجسام المذابة من المحيط الخارجي للخلية .

ومما يجدر ذكره أن عملية البينوسيتوسس تدخل للخلية مواد لم تكن لتدخل عادة عن طريق النفاذي الاختيارية والمقاومة الكهربائية للغشاء .

وكمثال أن الطبقة الدهنية المزدوجة تحدد عادة ممرور جزيئات البروتين . ولكن البروتينات في المحلول تلتهم بسرعة . فوجود البروتين وبعض المواد في المحلول (كالأيونات سالبة الشحنة) تسبب بالحقيقية عملية البينوسيتوسس .

البلعمة: Phagocytosis

أن تم التهام جسيمات الغذاء بواسطة عملية البينوسيتوسس أو سلبياً ونقلت بالنقل النشط لداخل الخلية ، فجسيمات الغذاء هذه تكون مذابة عادة في ماء عذب أو مالح محيط بالكائنات وحيدة الخلية أو في السوائل بين لخلوية للكائنات عديدة الخلايا . ولكن بعض الخلايا لها قابلية التهام أجسام كبيرة من المواد الصلبة وهذه العملية تستهلك طاقة تأخذها من بعض النشاطات المكونة للطاقة في هذه الخلايا . فبعض الكائنات كالحيوانات وحيدة الخلية



النشاطات المكونة للطاقة في هذه الخلايا . فبعض الكائنات كالحيوانات وحيدة الخلية عـــادة تستعمل هذه الطريقة المسماة بالبلعمة كطريقة للتغذية ، ولخلايا أخرى كالخلايا الأكولة (نوع من أنواع خلايا الدم البيضاء) تستعمل طريقة البلعمة كوسيلة للتعامل مع البكتيريا التي تهجم على الجسم ومع الأنسجة التالفة .

فعند ملامسة الخلية التي تستعمل طريقة البلعمة كالاميبا لقطة غذاء (أو لكـــائن دقيـــق كالبراميسيوم) فإنها تحيط الجسم بواسطة قدم كاذبة وهي امتداد لجسم الخلية . ويحكم القدم الكاذبة تطويق القطعة ويمتد فوق سطحها حتى يكون فجوة غذائية تنفصل لتدخل إلى داخـــل الكائن وحيد الخلية . وقد تلتحم الفجوة الغذائية مع ليسوزوم وينتج عن ذلك هضـــم قطعـــة الغذاء المحاطة بواسطة انزيمات الليسوزوم .

ملخص الفصل الرابع

الأغشية الخلوية حواجز اختيارية النفاذية تعمل على الحفاظ على تماسك العضيات وتخدم كأماكن للعديد من التفاعلات الكيماوية وتحافظ على انتظام الانزيمات بمواقع منتظمة وتساعد على التحكم بتبادل المواد بين خارج الخلية وداخلها . ويعتمد جزء من النقل الخلوي على التحكم بتبادل المواد بين خارج الخلية وداخلها . ويعتمد جزء من النقل الخلوي على الخاصة الفيزيائية المسماة بالانتشار وهي انتقال الأجسام من المواقع ذات التركيز العالي إلى المواقع ذات التركيز المنخفض وعند انتشار الماء خلال غشاء اختياري النفاذية ، تدعى العملية الاسموزية . والضغط الذي يجب أن يوضع على جزيئات محلول ليصبح بحالة توازن مع الماء أو مع محلول أخف (محلول تركيز جزيئاته أقل) موضوع بالجانب الآخر من الحاجز اختياري النفاذية يدعى بالضغط الاسموزي للمحلول . وهذا الضغط يزداد طردياً مع عدد الجزيئات المذابة بالمحلول.

في الأجهزة الحية ، يقال أن المحيط الخارجي عالي الاسموزية إذا كان ضغطه الاسموزي أكثر من الضغط الاسموزي لسيتوبلازم الخلية ، ويقال عنه منخفض الاسموزية إذا كان ضغطه الاسموزي أقل من الضغط الاسموزي لسيتوبلازم الخلية ، ويقال عنه متعادل الاسموزية إذا كان ضغطه الاسموزي مساوياً للضغط الاسموزي لسيتوبلازم الخلية . وبهذه الأحوال بالترتيب ، فإن الخلايا تفقد الماء وتضرم ، أو يدخلها الماء فتنتفخ ، أو لا تحصل على اماء ولا تخسره ، لذا فتبقى الخلايا ثابتة الحجم والشكل .

وخواص نفاذية الأغشية تختلف من خلية لأخرى وحتى بنفس الخلية. وعموماً ، فإن الأغشية الخلوية منفذة للجزيئات الصغيرة ونسبياً غير منفذة للجزيئات الكبيرة ، وأقل نفاذية للأيونات من المواد المتعادلة الشحنات . وقد ركزت أوائل نظريات الأغشية على خواص الدهون الفسفورية وكمياتها في هذه الأغشية . فمجموعة الفوسفات للفوسفوليبيدات مستقطبة

وعاشقة للماء ، أما جزء الهيدروكاربون فغير مستقطب وكاره للمـــاء . فالفوســـفولبيدات للأغشية حسب نظرية دانييلي ودافسون مرتبة كصفيحتين متعاكستين ومتوازيتين بحيـــث أن الأجزاء غير المستقطبة لكل طبقة تتفاعل فيما بينها والأجزاء المستقطبة تتفاعل مع المـــاء . وهو يقتضي أن كل سطح مستقطب لهاتين الطبقتين ، مغطى بطبقة بروتينية .

وفكرة الطبقة المزدوجة من الفوسفولبيدات لاقت الدعم من العديد من الدراسات علـــى أغشية متخصصة ، أما فكرة الغطاء البروتيني فقد عدلت . فحسب النظريـــة الفيسفســـائية المائية والمتضمنة أن البروتين والدهون مكونات متحركة للغشاء ، فإن الطبقة المزدوجـــة للفوسفولبيدات مزينة باشكال من البروتين والكربوهيدرات ودهون أخرى . والدلائل تشـــير إلى أن البروتينات قد توجد داخل أو على الغشاء البلازمي ، يضعها معرض للسطح الداخلي وبعضها معرض للسطح الخارجي والبعض قد يخترق جميع سمك الغشاء . وبعض الدهون ضرورية لعمل بروتينات معينة ، كما أن طبقة الفوسفولبيدات المزدوجـــة تعمـــل كمـــذيب للبروتينات المغمورة بعمق الغشاء ، وحركة البروتينات والدهون على مـــا يبـــدو تختلـــف باختلاف الأغشية وأنواع الخلايا . فالبروتينات التي تدخل طبقة الدهون المزدوجة يبدو أنها تؤثر على حركة الدهون . فعند غياب القيود على الدهون المزدوجة يبدو أنها تـــؤثر علـــى حركة الدهون . فعند غياب القيود على الدهون فإنها تميل للحركة الجانبية خـــلال الطبقـــة المزدوجة . وتستطيع البروتينات عادة الانتشار الجانبي ولكنها مقيدة الحركة العمودية .

وبعكس الانتشار السلبي ، هناك بعض وسائل النقل المرتبطـــة بمكونـــات الأغشـــية الحيوية . فالحركة من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيـــز املـــنخفض بالاســـتعانة بجزيئات ناقلة (بيرميز) على الأغشية ، تدعى بالانتشار المسهل . وعند احتيـــاج الناقـــل للطاقة كي ينقل المواد عكس فارق التركيز ، تدعى العملية بالنقل النشط ، فأحد أنواع النقل النشط هو مضخة الصوديوم والبوتاسيوم التي تسبب التزيع غير المتساوي لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم في الخلايا الراقية ، فالنواقل أقل تحمل ايونات الصوديوم لخارج الغشاء وتدخل أيونات البوتاسيوم لداخل الخلية ، وبالحالتين تعمل هذه المضخة عكس فـــارق التركيـــز . والحفاظ على هذا التوزيع للأيونات يسبب الكمون الغشائي الكهربائي . ومن المحتمـــل أن تكون البروتينات المغمورة في عمق تركيب الغشاء تشترك في عملية النقل النشط ولعمليات الطاقة التي تشغل هذه العملية .

وهناك طريقة أخرى للنقل الخلوي هيو البينوسيتوسس وهي عملية تلتهم بها المـــواد بشكل سوائل . فالمحلول يتفاعل مع مواقع معينة على سطح الغشاء البلازمي الذي ينـــبعج ليكون أكياساً تحضر احجاماً صغيرة من المحلول لداخل الخلية . وهذه الأكياس قد تلتحم مع الغشاء الاندوبلازمي أو مع جهاز جولجي . وبعض الكائنات تســـتطيع اســـتعمال طريقـــة البلعمة وهي عملية التهام لكمية ضخمة من المواد الغذائية الصلبة . وتوجد قطعـــة الغـــذاء بفجوة تلتحم أخيراً بلايسوزايم . فتقوم انزيمات اللايسوزايم بهضم قطعة الغذاء هذه .

نظرة فاحصة

كيف تعرف الخلايا أين تذهب

How Cells Know Where To Go

تتخاطب الخلايا فيما بينها غالباً عن طريق الاتصال على مستوى الأغشية التي تعتبر الوجه الذي تظهره الخلية لبيئة الجسم . وبشكل غريب ، تستطيع الخلية تمييز نوعها من الخلايا عن الخلايا ذات الشكل والوظيفة المخالفة . وهذه بالطبع ضرورية لتكون ونمو الكائن الحي الطبيعي ودوام التوازن المطلوب لوظائف الكائن الحي البالغ . ولد وجد مخبرياً أنه عند أخذ خلايا من أعضاء مختلفة كالكلية أو الكبد ومزجها تحت ظروف مخبرية معينة ، فإن خلايا الكبد تتجمع وتعمل خلايا الكلية نفس الشيء .

وتستطيع الخلايا الإجابة عن السؤال: من هو رفيقي؟ بواسطة مستقبلات سطحية على غشاء الخلية . وتفسر العملية هذه أيضاً ظاهرة الاحباط اللمسي التي بواسطتها تمنع طبقة من لخلايا حركة الخلايا المجاورة التي تكون من نفس النوع عند الملامسة . والمهم أنها لا تقوم بهذه مع المغايرة وإذا قامت بهذا فإنه يكون بمقدار خفيف جداً . وعند فقدان لخلية لهذه القدرة على الاتصال بهذه الطريقة ، ينتج نمو غير منضبط ندعوه السرطان يسبب موت الكائن في النهاية .

كيف تستطيع الخلايا أن يميز بعضها بعضاً؟ تشير الدلائل إلى وجود بروزات بشكل أقدام كاذبة على الغشاء تعرف بالأقدام الخيطية وهذه تمكن الخلية من تحسس طريقها تجاه الخلايا الأخرى . وينهمك عالم الأجنية المعروف روبرت دي هان حالياً في أبحاث حول دور الأقدام الخيطية في التطور . فقد استخدم التصوير الفوتوغرافي المعتمد على الزمن لأجنة الدجاج المزروعة ، وبين أن الخلايا تهاج بمجموعات من أماكنها في النسيج المتكون أولاً والمحيط بالقلب وهو في دور تطور ، إلى منتصف القلب . أن حقيقة كون هذه الخلايا تتبع طريقاً محدداً خلال هجرتها دفعت دي هان إلى التساؤل كيف تعرف الخلايا الطريق المرسوم لها أن تسلكه .

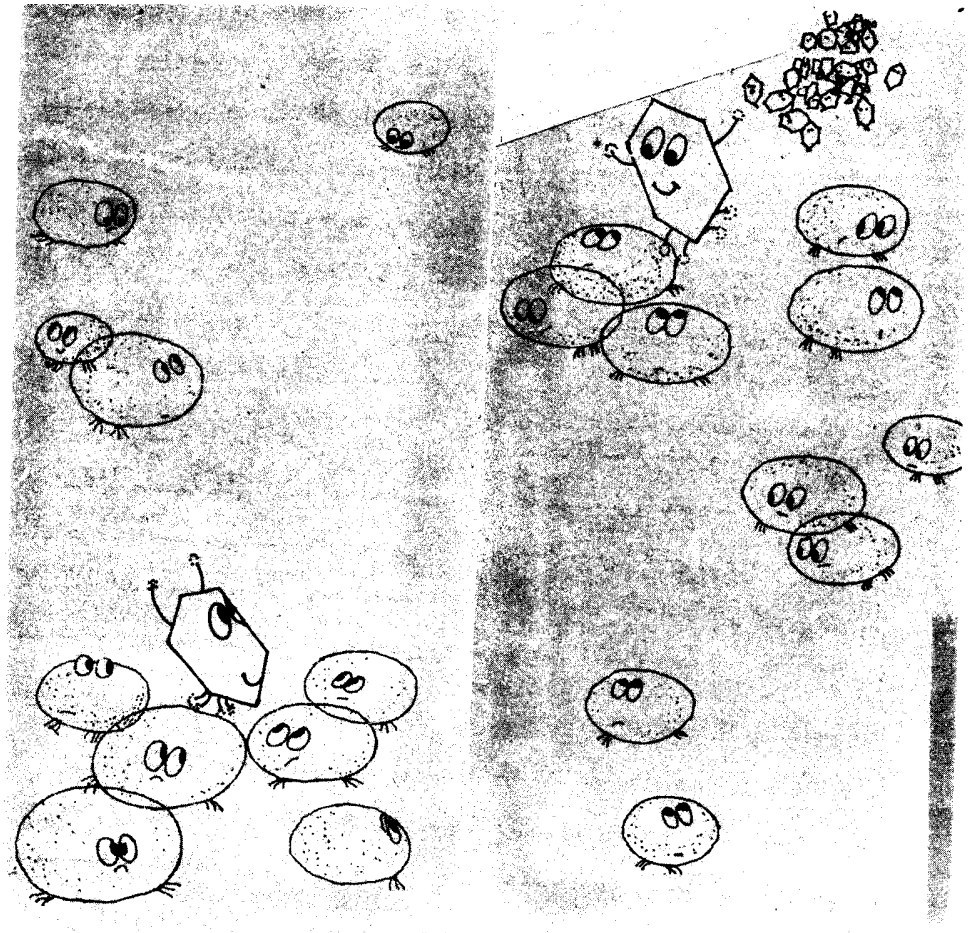
لقد كشفت أجابة دي هان عن هذا السؤال واحدة من أكثر ظواهر سلوك الخلية اثارة ، وخلاف أبحاثه بدا له أن الإجابة الصحيحة يمكن أن تكون في أحد اتجاهين . الأول أن لخلايا يمكن أن يهتدي بنوع من فرق الجهد ا لكيماوي في المواد الموجودة في بيئتها . فمن المعروف جيداً ، على سبيل المثال ، أن خلايا معينة قادرة على التعرف على خلايا أخرى على أساس شدة الالتصاق لسطوحها ، وهي ظاهرة تعزى إلى اختلاف التركيب الكيماوي للأجزاء المختلفة من الخلية .

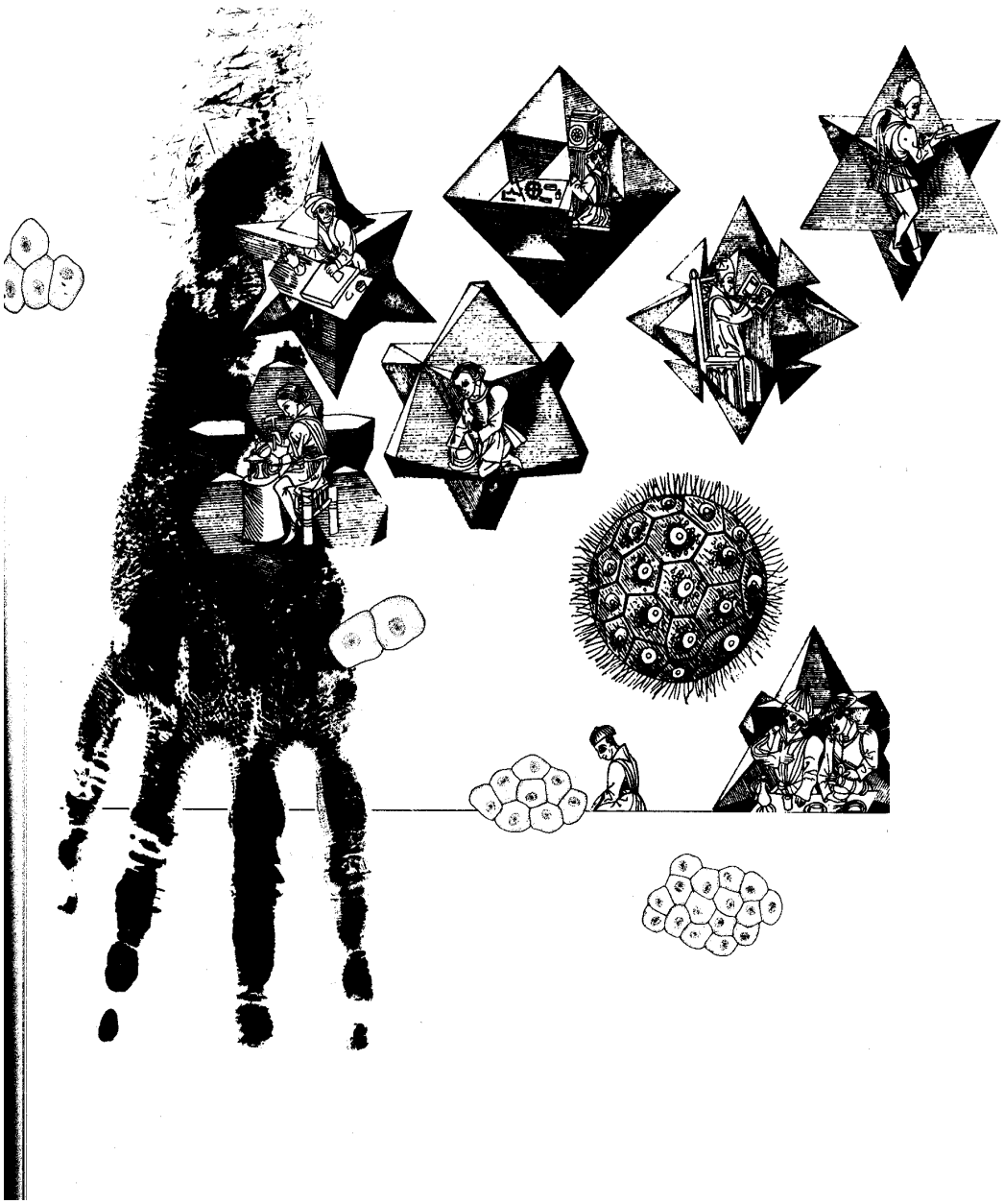
وهكذا فالخلايا الخارجية للأعضاء الجنينية التي لا تزال في دور النمو تمتلك نمطاً متمايزاً من شدة الالتصاق على أغشيتها ، فبعض الخلايا قابلة للالتصاق أكثر من غيرها . فالخلايا المهاجرة المتجولة فوق عضو معين وهي لا تزال في حالة نمو ستلتصق بموضع خاص على هذا العضو إذا كانت قوة الالتصاق للخلايا المهاجرة تتماشى مع تلك التي للطبة الخارجية من الخلايا الموجودة على ذلك الموضع . وإذا كانت شدة الالتصاق للخلايا مغايرة لخلايا الطبقة الخارجية للعضو فتلك الخلايا لن تأتلف مع العضو ولن تستقر عليه . ولهذا ، فهذه الفرضية تقول أن الخلايا لا تعرف إلى أي جزء من العضو سترحل ، وإنما تتجول بصورة عشوائية خلال بيئتها إلى أن تلتقي بموضع خاص على العضو المتطور ذي غشاء له خواص التصاقية مطابقة فيمسك بها .

والفرضية الثانية التي أخذها دي هان بعين الاعتبار تفترض وجود مسالك أو أخاديد مختلفة على الأجزاء المختلفة من كل عضو متطور تتلمسها الخلايا المهاجرة وتتبعها . وكل خلية مجهزة بتركيب يتحسس الموقع وينزلق فيه ، تماماً كالمفتاح الذي سيفتح قفلاً معيناً فقط وعلى أ ية حال ، فقد رفض دي هان كلتا الفرضيتين عندما كشفت أفلامه المصورة عن وجود الأقدام الخيطية تبرز من أغشية الخلايا المهاجرة . وتجمع نظريته الثالثة جانباً من الفرضية الأولى الالتصاق لسطوح الخلايا – مع سلوك الأقدام الخيطية المكتشفة حديثاً . أن هذه الأقدام الخيطية غير العادية في حالة امتداد وانسحاب دائم فهي تتموج بعشوائية متحسسة وكتشفة البيئة المحيطية كقرون الاستشعار في الحشرات . وعندما تلامس القدم الخيطية لخلية أو لمجموعة خلايا ذات نمط من الالتصاق يماثل ذلك الذي لغشاء خليته فإنها تلتصق بسطح الخلية وتنتفخ ويمتد الالتصاق لبقية غشاء الخلية وبالنهاية تلتصق كل الخلية . وهكذا فالخليةة تلتحم مع الخلايا الخارجية للعضو النامي . وبهذه الطريقة فالأعضاء تبني طبقة بعد

أخرى على هيئة موجة من الخلايا مهتدية بواسطة أقدامهما الخيطية كي تجد الضوء وتلتحم معاً.

ففي حالة تجارب دي هان المتعلقة بأنسجة القلب النامي لجنين الدجاج ، وجد أن الخلايا المهاجرة تألف موضعاً معيناً من قلب الكتكوت لأن الخلايا المشكلة للطبقة العليا من النسيج النامي كانت بنفس شدة الالتصاق التي للخلايا المهاجرة . أما مناطق أخرى ، فقد عبرت عنها الخلايا المهاجرة لأنها لم تكن لزجة بما فيه الكفاية لتجذب إليها الأقدام الخيطية لتلك الخلايا .





الفصل الخامس

تخصص الخلية

Cell Specialization

أن النشاطات المعقدة ، والأنماط المختلفة لحياة المجتمعات الحديثة ، أوجبت التخصص ، بل ونتجت عنه . فالطبيب الذي يمارس الجراحية العصبية فقط ، والمؤرخ الذي تجد خبرته بالحرب العالمية الأولى ، ولاعب الكرة الذي ينحصر دوره بقذف الكرة بعد أن تلمس الأرض – كل هذه مظاهر قليلة ومألوفة للاتجاه المتزايد للخدمات والوظائف المتخصصة اللازمة للمحافظة على مستوى الفعالية والتنظيم المطلوب في مجتمع متقدم جداً.

وهناك حالة شبيهة بهذا في عالم الأحياء نجد التخصص القاعدة الوظيفية للنشاطات المعقدة والمتعددة لأشكال الحياة الكثيرة الخلايا . ولننظر الآن إلى مظاهر هذا التخصص . أن الكائن وحويد اخلية الذي يتكون من خلية حقيقية واحدة يمثل شكلاً حيوياً أكثر تنظيماً وتخصصاً من كائن وحيد الخلية مثل البكتيريوم المكونة من خلية أولية . ولكن ذلك يمثل فقط مرحلة مبكرة في الاتجاه نحو التخصص . فكائن كهذا يعمل مثل إنسان "عصر النهضة" يقوم بنفسه بكل النشاطات التي تقتضيها الحياة – مثل تصنيع الغضاء والطاقة ، والنمو والترميم والتكاثر والحماية البيئية – بواسطة خليته الوحيدة . أن المتخصصات الحقيقية التي انبثقت عن تاريخ التطور الطويل هي تلك التي يعتمد بعضها على بعض من خلايا الكائنات المتعددة الخلايا .

أن معظم الكائنات المألوفة– بما فيها النباتات المزهرة ، ومعظم الحيوانات نظائرها المتخصصة في المجتمع الإنساني ، فإن هذه الخلايا تعمل بالتعاون ، فيقوم كل نوع بواحد من النشاطات المتعددة التي يتطلبها الكائن المعني . وللقيام بهذا ، أصبحت الخلايا الحقيقية

متفرعة ، أي أنها بعكس خلايا الكائنات أحادية الخلايا ، فإن كل خلية في الكائن متعدد الخلايا تحتوي فقط على أعداد وأحجام ، وأنواع معينة من العضي التي تمكن الخلية من عمل وظيفتها المحددة . وكنتيجة حتمية لذلك ، فقدت هذه الخلايا قدرتها على العمل باستقلالية ، واصبحت تعتمد بعضها على بعض لتؤدي الخدمات الحيوية لوجودها نفسها . فمثلاً ، الخلايا التي تكون الطاقة لنشاطات الكائن ككل ، تعطي أيضاً الطاقة لتلك الخلايا المتخصصة التي لا تستطيع تكوين طاقتها .

والاعتماد المتبادل خاصة لكل كائن متعدد الخلايا ، وهو ينعكس في تخصص الوظائف وتعاونها لدى الأنسجة والأعضاء ، والأجهزة . والنسيج هو مجموعة من خلايا متخصصة متشابهة في التركيب والوظيفية . وتكون هذه الخلايا عادة في وسط تفرزه الخلايا نفسها . أما العضو ، فهو مجموعة أنسجة قد تختلف في النوع ، ولكنها مع ذلكتعمل معاُ كوحودة وظيفية .

والمستوى التنظيمي الآخر هو الجهاز System وهو عبارة عن مجموعة من الأعضاء تقوم بوظائف مترابطة أو متداخلة . أما المستوى الأعلى فهو الكائن نفسه Organism وهو المكون من عدة أجهزة تعمل معاً في ترابط مفيد ومتبادل.

كان على الكائنات النباتية والحيوانية العليا ان تتكيف مع بيئتها بطرق شتى ، ويبدو هذا جلياً في التركيب المتقن للحيوانات العليا . ولكن التركيبات والوظائف المتخصصة في كلا النوعين من الكائنات متعددة الخلايا – من نبات وحيوان– هما نتيجة النشاط الخلوي . وبعبارة بسيطة ، أن الخلايا هي أساس التخصص.

تخصص الخلية النباتية Plant Cell Specialization

أن تطور حياة النبتة من أشكال بسيطة لأخرى معقدة ، ومن وجودها في بيئة مائية منضبطة نسبياً ، إلى وجودها في بيئة أخرى أكثر تغيراً على اليابسة ، هو مثال طويل ومهم لعملية التخصص . أن كل جزء مألوف من النباتات العليا ، سواء كان الساق ، أو الورقة أو الجذر ، أو الجذع ، يمثل تخصصاً يساعد النباتات على التكيف والبقاء . فالأصناف التي تتجاوز نصف المليون ، وتنمو حاليا على اليابسة وفي الأوساط المائية ، تعطي تاريخاً مرئياً للتقدم التطوري ، وهذا ما سيتم مشاهدته وتسجيله في بند لاحق . ولكن

التحسينات التركيبية والوظيفية على مستوى جهاز النبتة يبدأ أدراكها عن طريق التخصص على المستوى الخلوي .

تنتظم النباتات العليا ، كغيرها من الكائنات متعددة الخلايا – بما فيها النباتات المزهرة والصنوبريات كمجموعات خلايا ، وأنسجة وأعضاء متخصصة ، تعمل بتعاون للقيام بالعمليات الحيوية للنبتة . وهناك جهازان رئيسيان "تناسلي Reproductive مكون من أزهار وألوان ، وبذور وفاكهة ، وخضري Vegetiative مكون من جذور أو سيقان أو أوراق . وتقوم الخلايا التي تكون هذين الجهازين بالوظائف الأولى وهي النمو ، والحماية والدعم ، والتخزين .

خلايا النمو Grwothg Cells

توجد خلايا النمو ، أو الخلايا المرسيتمية Meristematic Cells كما هو متوقع في مناطق النبتة التي تستمر في النمو طوال حياة النبتة . وتوجد القمم المرستيمية Apical Meristems في قمم الجذور والسيقان . وأما المرسيتمية الجانبية Lateral Meristems التي تؤثر في عرض النباتات ، فتوجد كطبقة رقيقة حول الجذور والسيقان وبشكل أكثر وضوحاً حول جذوع الشجر ، حيث تعطي اللحاء ، وللخلايا المرستيمية جدران نحيفة وفجوات صغيرة ونويات كبيرة . وهي بشكل رئيسي جنينية ، أي أنها بسيطة وغير مخلقة أنها ضمن بعض أنواع الخلايا النباتية الضئيلة القادرة على الانقسام . وكلما انقسمت هذه الخلايا وضاعفت نفسها ، فإن الخلايا الجديدة تستطيع أن تنمو ، مكونة أي نوع من الخلايا المتخصصة تحتاج إليه النبتة .

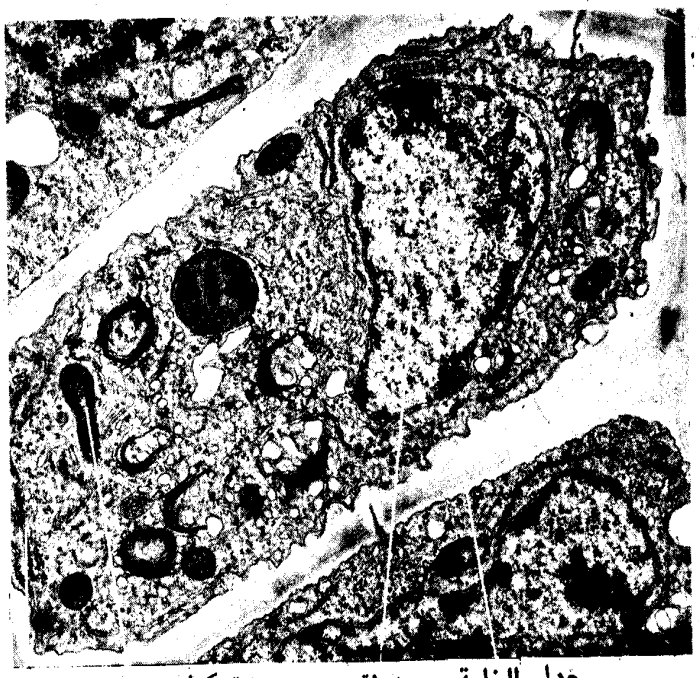
خلايا الحماية Protective Cells

كانت النباتات الأولية المغمورة تحت البحيرات والمحيطات محمية بواسطة الماء من الأشعاع فوق البنفجسي القوي الذي كان يخترف الغلاف الجوي . وفي آخر الأمر ، ساعد إنتاج الأكسجين وما تبعه من تكون الأوزون ، في حماية الحياة من هذا الاشعاع . واليوم على النباتات حماية نفسها ضد فقدان الماء عن طريق تبخره بواسطة الهواء والشمس وتتوافر هذه الحماية من خلال طبقة خارجية وحيدة مكونة من خلايا البشرة epidermal cellls تحيط بسطوح الجذور أو السيقان والأوراق لتمنع التبخر من الخلايا التحتية . وتزيد خلايا البشرة من منع خسارة الماء وذلك بتصنيعها لمادة شمعية تسمى كيوتين Cutin على

سطوحها الخارجية . ويتجمع الكيوتين على هذه السطوح ويتحد مع السليلوز ليكون سطحاً واقياً يدعى كيوتكيل Cuticle . وعلى الرغم من أن خلايا البشرة التي تغطي الجذور تفتقر إلى الكيوتيكل ، فإن لها صفات امتصاص الماء ، وكذلك لها أطراف تدعى شعيرات جذرية Root hairs تمتد على دخل التربة .

ويمكن أن يوجد أيضاً شعيرات ، ونتوءات ، وغدد مكونة من خلايا بشرة متخصصة على أجزاء هوائية من النباتات .

وهناك نوع متخصص من خلايا البشرة هو الخلية الحارسة guard cell . وتوجد هذه مثنى ، ولها جدر داخلية أسمك من جدرها الخارجية ، وهذا ما يسمح لها بالقيام بأهم وظائفها: وهو فتح وغلق الثغرات stomata التي تشبه الصمامات التي تخترق الجوانب



الشكل (٥ ـ ١) : خلية مولدة من قمة الجذر لنبات الفاصوليا . في الحيوانات عديدة الخلايا ، المصدر الرئيسي الوحيد للخلايا غير المتخصصة هو عادة الجنين .وما أن يصل الكائن الى النضج حتى نجد أن معظم الخلايا المتخصصة في أنسجته تعطي فقط خلايا مماثلة . ولكن النسيج المولد يشكل مصدرا دائما للخلايا غير المتخصصة والتي يمكن أن تصبح خلايا متخصصة في أعضاء نباتية أخرى . لا توجد فجوات في هذه الخلايا . ان وجود كثير من العضيات مثل المايتوكوندريا العديدة والرايبوسومات الوفيرة (نقط سوداء صغيرة) التي يرتبط بعضها الى الشبكة الاندوبلازمية وبعضها حر في السيتوبلازم ، يقترح وجود نشاط أيضي مكثف . ان الحويصلات (كرات صغيرة بيضاء بالقرب من الغشاء البلازمي) ، المحتوية على المواد التي يصنع منها جدار الخلية ، تتحد باستمرار مع الغشاء البلازمي جاعلة نقطة اتحاد الجدار بالغشاء البلازمي ذات مظهر عميق التثني .

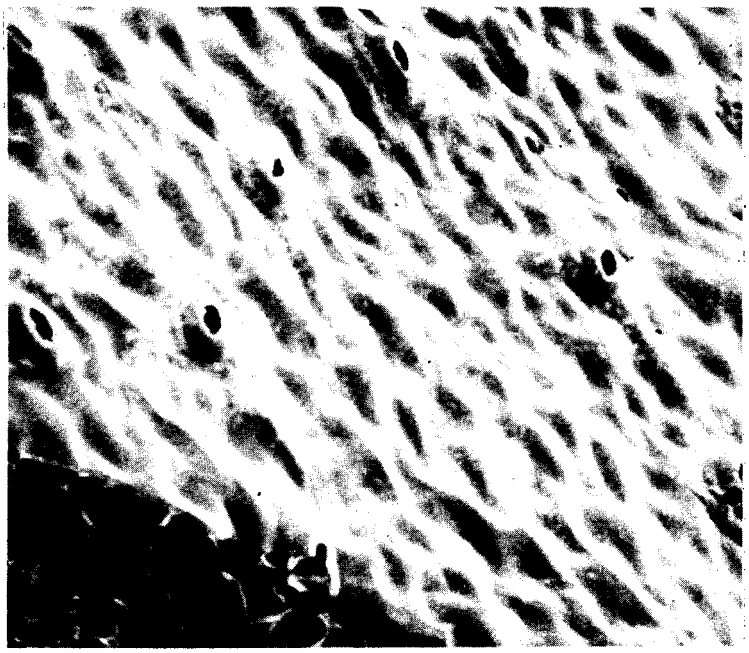
السفلى للورقة . ويحيط بكل ثغرة زوج من الخلايا الحارسة . وعندما تتحـرك جزيئـات الماء من خلايا البشرة إلى الخلايا الحارسة ، ينتفخ الجدار الرقيق الخارجي نتيجـة لزيـادة الضغط الداخلي . وهذا يؤدي إلى ابتعاد الجدارين الداخليين أحدهما عن الآخر وبالتالي إلى فتح الثغرة .

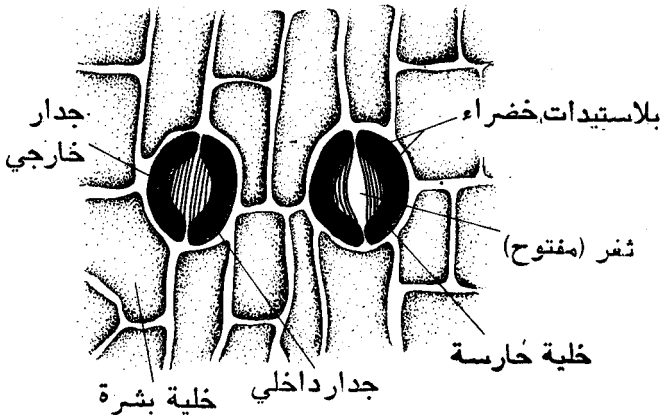
ونظراً لأن الثغرات هي الفتحات الوحيدة في الكيوتيكل غير النفاذة في الورقة ، فإنها حيوية في تنظيم دخول وخروج الغازات المختلفة . أنها تسمح بدخول غاز ضروري لعملية التمثيلي الضوئي هو ثاني أكسيد الكربون – ويخرج الغاز الناتج عـن تلـك العمليـة هـو الأكسجين . ولعمل هذا تبقى الثغرات مفتوحة خلال النهار ، وبالتالي فإن كميات كبيرة من بخار الماء تخرج من خلالها . وإذا أصبحت خسارة الماء أمراً يهدد بالخطر ، فإن الخلايا الحارسة تذبل ، وهذه يؤدي إلى ارتخاء الجدران الداخلية ، وبالتالي إلى أغلاق الثغرات .

خلايا النقل: جهاز النقل Transport Cells: the Vasculer System

يسمح جهاز النقل في النبات بصعود الماء والمواد الغذائية ا لمذابة فيه من الجذور التي تمتصها ، إلى الساق ، ومن ثم إلى الأوراق ، وبالهبوط بعد ذلك من الأوراق إلى أجـزاء النبتة الأخرى . ويتكون جهاز النقل أساسياً من نوعين من الأنسـجة : الخشـب xylem واللحاء pkloem.

يسهل الخشب نقل الماء والإملاح من الأرض خلايا جميع أجزاء النبتة ، بمـا فيهـا الأوراق . وبما أن الخشب يتكون من خلايا مستطيلة وذات جدران سميكة ، فإنه يعطـي دعماً كبيراً للنبتة . وكما ذكر في فصل سابق ، فإن جميع خلايا النبات تقريبـاً ، تمتلـك جدراناً نحيفة ولكن قاسية ، مكونة من السليلوز (جزيء سكري متعدد مكون من جزيئـات من الجلوكوز مترابطة لتكون سلاسل طويلـة). وتغلـف الصـفيحة الوسـطى (Middle lammella) الجانب الخارجي للجدار الأول ، وتعمل لربط خليتين متجاورتين . ولخلايـا معينة ، بما فيها كثير من خلايا الخشب ، جدار ثان يقوم إلى الجانب الداخلي للجدار الأول (ولهذا فإنه الجدار الداخلي) وبالاضافة إلى السليلوز ، فإن الجدار الثاني يحتوي على مـادة ليجنين (Lignin) وهي مادة عضوية مركبة تزيد من صلابة الجدار . والخشـب مـثلاً ، وهو الجزء الناضج من لحاء الشجر ، قاس ومقاوم للتفسخ وذلك نتيجة لوجود الليجنين فـي الجدران الثانوية لخلاياه (وأحياناً في الجدران الأولية والصفائح الوسطى).

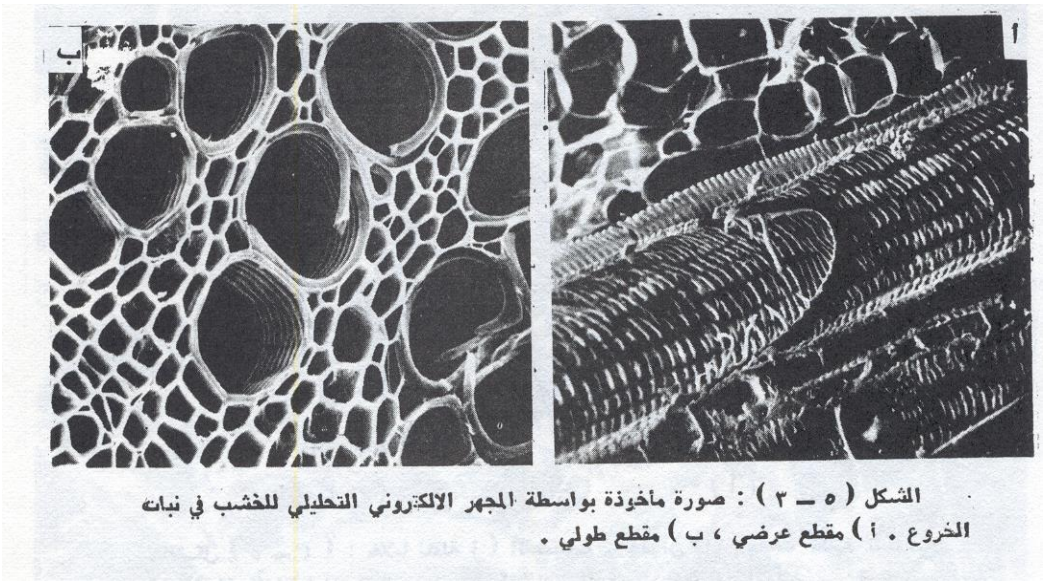




الشكل (٥ ــ ٢) : تتأثر وظيفة الخلايا الحارسة التي تشبه الكلية في شكلها بالضوء ، وبكمية الماء في الاوراق ، وبكمية ثاني اوكسيد الكربون في الهواء المحيط بالاوراق ، وبالتغيرات في درجة الحرارة . وتري الصورة ، الماخوذة بواسطة المجهر الالكتروني التحليلي ، الثغور على سطح ورقة .

وفي النباتات المزهرة نوعان من الخلايا الناقلة في الخشب: القصيبات tracheids والأعية vessels ويموت كلا النوعين عند نضجها ، ويسلمان إلى النبتة جدرانها الثانوية ، التي تعمل فيها بعد كمعابر للمواد التي تمر بالنبتة . أما القصيبات ، فإنها خلايا طويلة متشابكة . ويتم تبادل الماء بواسطة خلايا القصيبات من خلال فتحات صغيرة في جدرانها . وتنتظم الأوعية بتلامس أطرافها واحداً بعد الآخر . ونظراً لعدم وجود جدران على أطراف

الخلايا ، أو لأنها متكسرة ، فإن هذه الخلايا تكون أنابيب أو أوعية يجري خلالهـا المـاء والمواد الأخرى .



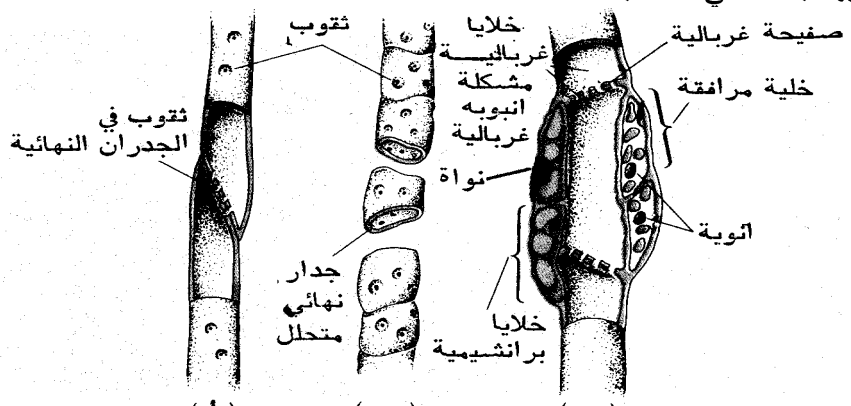
الشكل (٥ ــ ٣) : صورة مأخوذة بواسطة المجهر الالكتروني التحليلي للخشب في نبات الخروع . أ) مقطع عرضي ، ب) مقطع طولي .

وعلى الرغم من أن جدران القصيبات والأوعية قد تقوم بالدعم كوظيفة ثانوية ، فإن الألياف ذات الجدران السميكة الموجودة أيضاً في الخشب ، تقوم بهذه كوظيفـة رئيسـية . وهذه الألياف هي أحد نوعين من خلايا التصلب (الخلايـا السلكرنشـيمية) الموجـودة فـي الأنسجة النباتية . والخلايا الحية الوحيدة في الخشب هي البرنشيمية ، وهذه بعكس الألياف والأوعية والقصيبات ، لا تفقد سيتوبلازمها ونواتها عند نضجها- وكمـا سـنرى ، فـإن الخلايا البرنشيمية تعمل كمواقع تخزين للنبتة . وعند انتفاخها ، نتيجة لضغط الماء علـى جدرانها . فإن هذه الخلايا تساعد في دعم النسيج الخشبي .

وبعكس الخشب ، فإن اللحاء ينقل المواد- وخاصة السكريات والجزيئات العضوية- من الأوراق حيث تصنع إلى أجزاء النبتة الأخرى .

وأما الخلايا في اللحاء فهي الخلايا الغربالية sieve cells ولهذه الخلايا أطراف مثقبة، تسمى الصفائح الغربالية sieve plates ، وتكون متصلة لتكون أنبوبة غربالية sive tube وتبقى الخلايا الغربالية حيةة ، ولكنها تخسر نواتها وأجزاء خلوية أخرى عنـد نضـجها . وتنقل هذه الخلايا بواسطة خيوط سيتوبلازمية لتكون حزماً وعائية مع خلايا مجاورة تـدعى الخلايا المرافقة companion cells ويعتقد بأن هذه الخلايا لا تنقل مواد ، بل تسهل صيانة

خلايا الأنبوب الغربالي . ويحتوي اللحاء أيضاً على خلايا برنشيمية وسكلرنشمية تقوم بوظيفة شبيهة بتلك التي للخشب .



الشكل (٥ ــ ٤) : خلايا ناقلة أ) القصيبات . جدران ذات نهايات مثقبة تسمح بانتقال الماء الى الخلايا المتراكبة معها . ب) عناصر الوعاء . الجدران الجانبية تكتسب طبقات ثانوية ولكن الجدران النهائية تنحل بالتدريج . جـ) خلية غربالية . الخلية الناضجة تمتلك طبقة من السيتوبلازم ولكن نواتها تنحل . ويحتوي مركزها على كتلة من المادة البروتينية اللثية تعرف بالمادة اللزجة . لا تحدث تغيرات رئيسية في عضيات او سيتوبلازم الخلايا المرافقة ، وتبقى انويتها .

خلايا دعامية Supportive Cells

في الوقت الذي تساهم فيه بعض الخلايا بدعم النبتة كوظيفة ثانوية ، يوجد نوعان من الخلايا – كولنشيمية collenchyma وسكلرنشمية(Sclerenchyma) تؤديان الدعم كوظيفة أساسية . تقع الخلايا الكونشيمية الطويلة ، وذات الجدران السميكة وخاصة عند الزوايا ، تحت البشرة وهي تعطي الدعم للنباتات الصغيرة ، وللنباتات غير الخشبية الناضجة ، وكذلك لأعناق الورق وعروقها .

وتكون الخلايا السكلرنشيمية ميتة عند النضج ، ولها جدران ثانوية سميكة مقواة باللجنين وتعتبر هذه الخلايا أكثر تخصصاً من الخلايا الكولنشيمية ، وتقسم إلى نوعين هما الألياف fibers وحبيبات التصلب sclereids . وتعطي الألياف ، وهي توجد عادة في مجموعات ، القوة والمرونة ، للأنسجة النباتية . وكل خيط هو خلية مستطيلة ذات جدار سميك . أما حبيبات التصلب فهي غير منتظمة الشكل ومنظرها حبيبي ، وتوجد في أغشية الجذور ، وفي جلد وداخل الأجاص وفواكه أخرى ، وفي بعض الأوراق وصدف الجوز.

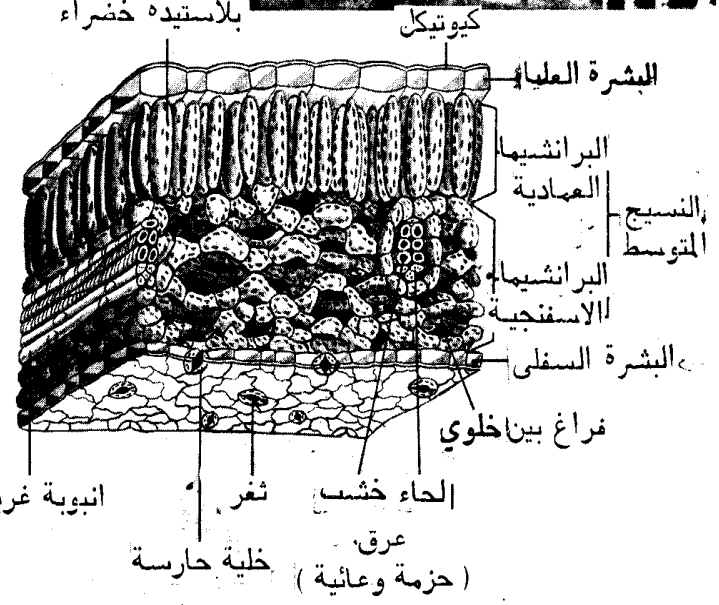
خلايا الإنتاج والتخزين Production and stogage cells

لقد قدمنا أن الخلايا البرنشيمية جزء من الأنسجة الخشبية واللحائية ، ولكنها توجد في جميع أجزاء النبتة . وللخلايا البرنشيمية عامة جدران أولية رقيقة . وهي مثـل الخلايـا المرستيمية ، احتفظت بقدرتها على الانقسام ، وفي بعـض الحـالات يمكـن أن تتمـايز differentiate لأنواع أخرى من الخلايا المختصة .

وأولى وظائف الخلايا البرنشيمية هي التمثيل الضوئي . وتتطلب هذه العملية وجـود الكلوروفيل ، وهي المادة الموجودة في عضيات تدعى بلاستيدات خضراء . فـي معظـم النباتات الخضراء متعددة الخلايا ، توجد معظم هذه البلاستيدات الخضراء في نوع واحد من الخلايا البرنشيمية ، وهو ما يسمى بالخلايا الكلورنشيمية ، التي توجد بشكل رئيسي فـي الأوراق.

وتصنع النباتات كربوهيدرات خلال عملية التمثيل الضوئي أكثر مما تحتاج للمحافظة على نموها والاستقلاب الخلوي . وهذا الزائد ، ينقل كسكريات بسيطة إلى الساق والجذور حيث تخزن في الخلايا البرنشيمية . وفي نباتات كثيرة تكون السيقان والجذور كبيرة، وتعمل

الشكل (٥ ــ ٦) : مقطع عرضي في ورقة . ان العروق وطبقات الخلايا البرانشيمية (تقريبا جميعها تحتوي على البلاستيدات الخضراء) تشكل النسيج المتوسط . أما عروق الورقة الكبيرة (الحزم الوعائية) فقد تحتوي على قصيبات ، خلايا غربالية ، عناصر وعائية ، وخلايا كولنشيمية . ان ثاني اوكسيد الكربون الداخل خلال الثغور يصبح في متناول الخلايا عن طريق شبكة مترابطة من الفجوات بين الخلوية.



كمناطق تخزين خاصة ، ومن الأمثلة المألوفة ، درنة البطاطا ، وهي سيقان تحت أرضية وكذلك جذور اللفت ، والخلايا البرنشيمية الموجودة في هذه الأجزاء ليس لهـا بلاسـتيدات خضراء ، ولكن قدرتها على تخزين الماء والمواد الأخرى كبيرة ، وذلك لوجود فجـوات كبيرة فيها .

تخصص الخلية الحيوانية Animal Cell Specialization

هناك تطابقات واضحة يمكن إبرازها بين فعاليـات التخصـص الخلـوي النبـاتي والحيواني ، وذلك لأن كثيراً من متطلبات البقاء مشتركة بين الحيوانات والنباتات العليـا . ومن هذه المتطلبات الدعم التركيبي ، ونقل المواد الغذائية ، وحماية الذات ضد ظـروف بيئية قد تكون ضارة . وكما بينا سابقاً ، فإن كلا من الحيوانات والنباتات تنظم لمواجهة هذه المتطلبات بواسطة تسلسل هرمي يرتفع من الخلايا إلى الأنسجة إلـى الأعضـاء ثـم إلـى الأجهزة.

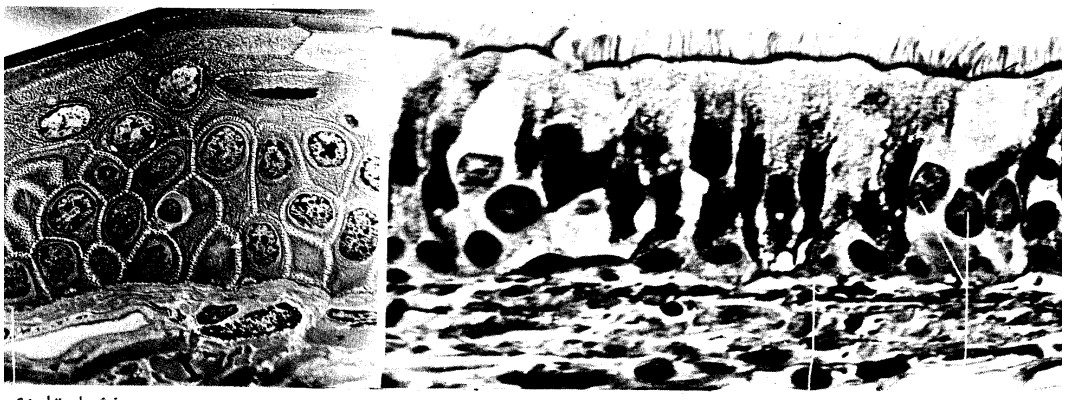
ولكن نظراً لأن الحيوانات العليا تواجه مشاكل بقاء أكثر تعقيداً من تلك التي تواجههـا النباتات . فإنها تظهر درجة أكبر من التخصص الخلوي .

وكل ما نحتاجه (لمعرفة ذلك) هو دراسة الجهاز العصبي الذي يرتبط بحركة الحيوان وهذه ترتبط بدورها بالحاجة للبحث عن الغذاء . وفي هذا البند سنبحث التخصص الخلـوي الكبير في الحيوانات العليا ، وكذلك الطرق التي تساهم بها في المحافظة علـى الكـائن أو بقائه.

الخلايا الطلائية Epithelial cells

هناك طبقة أو طبقات من الخلايا الطلائية التي تغطي السطوح الخارجيـة والداخليـة للحيوان . فالجلد ، مثلاً ، يتكون من خلايا طلائية ، وكذلك الحال فـي طـلاء الفـم ، وفتحات الأنف والأنبوب الهضمي ، والخلايا الطلائية متراصة ومتصلة بمادة بين خلويـة تفرزها الخلايا نفسها ، وتنفصل عن الأنسجة التي تحتها بواسطة غشاء قاعدي basement membrane مكون من خيوط بروتينية مطمورة في المادة بين الخلوية . وتفـرز الخلايـا الطلائية كلا من هذه الخيوط والمادة المذكورة .

أن كثافة الأغشية الطلائية وقدرتها على الافراز خصائص مهمة جداً في حماية الكائن من أضرار البيئة. فأغشية الخلايا الطلائية مكونة، بحيث تسمـح بامتصاص المواد مـن



الشكل (٥ ــ ٧) : أ) نسيج حرشفي مضاعف من جلد حيوان برمائي . الانسجة المضاعفة تسمى طبقا لنوع الخلية القريبة الى السطح . (الخلايا الاعمق التالية المبينة هنا هي عمادية ومكعبة) والخلايا السفلى تحل محل الخلايا السطحية كلما تحطمت او انسلخت . ان انكماش الخلية خلال عملية تحضير النموذج تعتبر مسؤولة عن الفراغات بين الخلوية الواسعة بصورة غير عادية مما يكشف الخيوط السيتوبلازمية التي تربط الخلايا المتجاورة . ب) خلايا عمادية مهدبة من القصبة الهوائية لفار . ويطلق على النسيج المبين هنا النسيج المضاعف الكاذب ، فهو ليس نسيجا مضاعفا حقيقيا ، لان كل الخلايا تلامس الغشاء القاعدي ، ولكنه يعطي الانطباع عن وجود عدة طبقات اذ أن بعض الخلايا لا تمتد الى السطح ولهذا فان انويتها توجد في مستويات مختلفة .

الخلايا المجاورة ، دون أن تسمح لكثير من هذه المواد بالمرور في مناطق مفتوحة للبيئة الخارجية . وهكذا ، بعملها كمرشح بين الكائن ووسطه الخارجي ، وكذلك بين أجزاء الكائن المختلفة ، فإن الإغشية الطلائية تساعد في تنظيم عبور المواد . وتعطي أفرازات الخلايا وخاصة الافراز المخاطي ، وهو مركب بروتيني – كربوهيدراتي– غطاء حماية للجدار الخارجي للخلية .

ومن الأمثلة على هذا التخصص الامتصاصي والافرازي ما نجده في الانبوب الهضمي . فهنا ، تفرز بعض الخلايا الطلائية التي تكون طلاء الأنبوب أنزيمات تساعد في هضم الغذاء . وهناك خلايا طلائية أخرى متخصصة لامتصاص الجزيئات الصغيرة التي تنتج عن هضم المواد الغذائية ، وهناك خلايا أخرى متخصصة لافراز السائل المخاطي الواقي .

وعندما يكون النسيج المخاطي مكوناً من طبقة واحدة ، فإنه يسمى نسيجاً طلائياً بسيطاً simple epithelium ، وعندما يتكون من طبقتين أو أكثر فإنه يدعى بالطلائي الطبقي strafified epithelium وبالإضافة إلى ذلك ، فإن النسيج الطلائي مقسم إلى ثلاثة

أنواع: حرشفي ، ومكعب ، وعمودي . وتكون الخلايا الحرشفية Squamous cells مسطحة كالبلاطة ، وتوجد في طبقة الجلد الخارجية ، وفي غطاء الغشاء المخاطي . أما الخلايا المكعبة Cuboidal cells والخلايا العمودية Columnar cells فتوجد تحت طبقة الخلايا الحرشفية في أغطية الأعضاء الداخلية .

الأنسجة الدعامية والضامة: Supporitve and connective tissue

تعطى الأنسجة الدعامية والضامة ، كما يوحي أسمها ، التركيب والتوحيد لمختلف الأجزاء الفعالة في الكائن . وقد تكون هذه الأنسجة من حيث التركيب صلبة ، أو شبه صلبة أو سائلة . وتتكون من خلايا حية متخصصة ، ومادة بين خلوية تفرزها الخلايا . ويدعى النسيج الضام ليناً مفككاً losse عندما يكون موزعاً بكثرة ، ويتكون من خيوط ، ومادة بين خليوة ، وأنواع مختلفة من الخلايا وتقوم جميعها بربط الأنسجة أو الأعضاء ، أو تملأ في الغضروف أو الأوتار . وتقسم الأنسجة الدعامية والضامة إلى خمسة أنواع: العظم ، والغضروف ، والدهن ، والخيوط الضامة ، والدم .

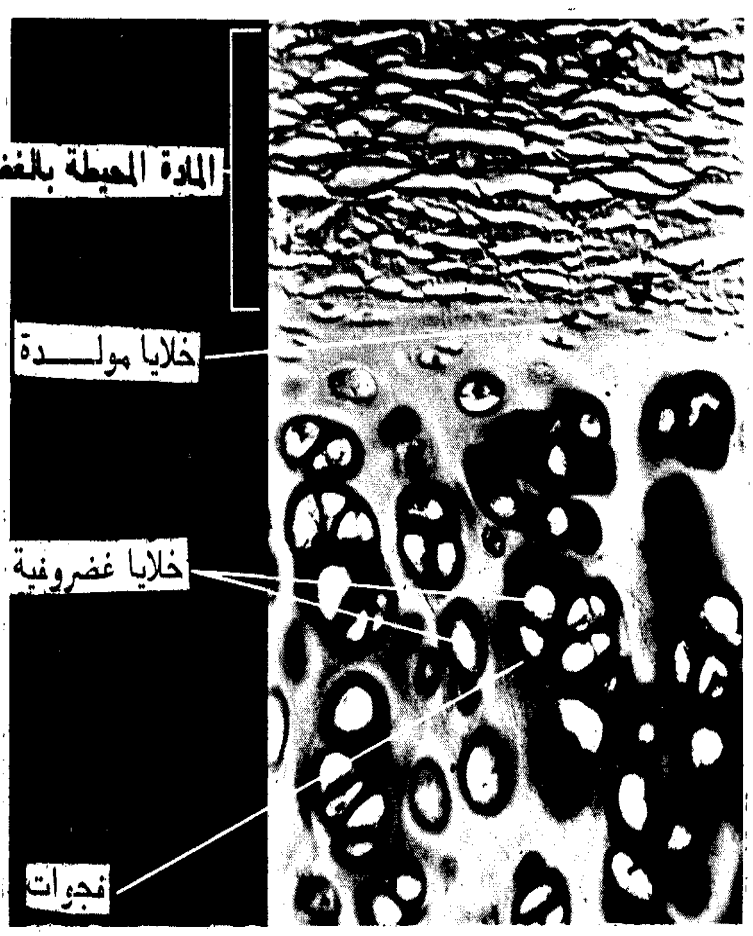
العظم Bone

أن التركيب الدعامي الرئيسي في الفقاريات هو العظم . ويتكون العظم من خلايا عظيمة (Osteocytes) مغمورة في مادة بين خلوية قاسية ، مكونة من خيوط بروتينية وأملاح كالسيوم تفرزها خلايا العظم اليافعة (Osteoblasts) وتتوزع الخلايا الناضجة في المادة بين الخلوية ، ولكنها تتصل فيما بينها ، ومع شبكة من الأوعية بواسطة نتوءآت سيتوبلازمية تسمح للخلايا باستلام الغذاء وبطرد الفضلات ، وبتكون تركيب العظم من عنصري أساسيين العظم المتراص (Compect bone) الذي يكون كتلة صلبة تخترقها فتحات مجهرية ، والعظم الاسفنجي (Spogy bone) ويشتمل عل نخاع العظم (Bone marrow) الذي يستعمل في خزن الدهون وتكوين الأنسجة الدموية ، ومواد أصلب تصون سلامة تركيب النسيج العظمي .

الغضروف: Cartilage

يكون الغضروف ، ذو التركيب القوي والمطاطي ، الهيكل العظمي لأجنة الفقاريات ويؤسس نمط تكوين العظم الذي سيحل محله . وفي مناطق الجسم مثل الأنف ، والأذن ، والفقرات الهيكلية ، حيث لم يحل العظم محل الغضروف ، يغطي السطح الخارجي

للغضروف نسيج كثيف يسمى الغضروف المحيطي Perichondrium وتتوزع خلايا الغضروف كما هي الحال في خلايا العظم ، بمادة بين خلوية مفرزة مكونة من البروتينات والخيوط الضامة ، ولكن ، بعكس خلايا العظم ، فأن الخلايا غير متصلة فيما بينها ، ولا يوجد أوعية دموية . ولهذا فأنه يتوجب على المواد الغذائية الانتقال خلال المادة بين الخلوية لتغذية الخلايا .



الشكل (٥ ـ ٨) : ما أن يتطور نسيج الغضروف ، فان النمو قد يستمر عن طريق تكوين خلايا جديدة هي مولدة الغضروف على السطح الداخلي للمادة المحيطة بالغضروف . وهذه تدفع بعيدا تدريجيا بواسطة المادة الخلالية الجديدة التي تفرزها ، كما انها تصبح خلايا غضروفية بالغة التخصص ومحتواة في فجوات مفمورة في الماده الخلالية . ان عملية التجفيف سببت تراجع وابتعاد الخلايا الغضروفية عن جدار الفجوات .

الشكل (٥ ــ ٩) : تشكل الياف الكولاجين في الطبقات المقطوعة عرضيا (دوائـــــر سوداء) زوايا قوائم مميزة مع الالياف المصورة طوليا . وفي هذه الصورة المأخوذة بواسطة المجهر الالكتروني يمكن لنا أن نلاحظ حزم الالياف ، والخيوط المفردة الضيقة التي تشكل الحزم، بل وحتى اللبيفات الادق (تبدو على هيئة تخطيطات عرضية) التي تشكل الخيوط . كما تبدو في الصورة خلية مولدة للالياف .

الدهن: Fat

توجد الأنسجة الحيوانية المكونة من خلايا دهنية (Fat Cells) تحت الجلـد أو بـين الأعضاء البطنية ، لتعمل كمواقع تخزين للطاقة التي اشتقت مـن المـواد المهضـومة . وبخلاف الأنسجة الضامة الأخرى ، فأن الخلايا الدهنية لا تفرز أية مواد . بل أنها تحتوي على دهون مخزونة يمكن القاؤها في مجرى الدم عند الحاجة . وتكون هـذه المخزونـات الجزء الأكبر من خلايا الدهن المنفردة .

الخيوط الضامة: Connective Fibers

يوجد في النسيج الذي ثبت أعضاء الجسم في أماكنهـا والـذي يـربط الأعصـاب والعضلات بعضها ببعض ، عدد كبير من الخيوط الضامة . وتعطي هذه الخيـوط قـوة

وليونة للجدران الخارجية للأوردة والشرايين ، وتقدم طبقة دعم تحت الجلد وتمكن الأوتار من الوصل بين عضلة وأخرى ، أو بين نسيج عضلي وآخر عضمي . والخيوط الضامة إنما هي بروتينات أفرزتها خلايا النسيج الضم غير الناضجة ، وهي المسماة بالخلايا الخيطية (Fibroblasts) وهناك ثلاثة أنواع من الخيوط الضامة : الصفراء (Elastic) وهي خيوط لينة ومرنة تتكون من البروتين الاستين (Elastin) ، والبيضاء (Collagenous) وهي أسمك وأطول عمراً (من الصفراء) ومكونة من البروتين كولاجين (Colllagen) الذي يبلغ حوالي ثلث البروتين في جسم الإنسان ، والخيوط الشبيكية (Reticular) . وهي خيوط معقدة الحياكة تعمل بمثابة مفصل قوى بين النسيج الضام وأنواع أخرى من الخلايا الحيوانية المتخصصة .

الدم Blood

يتكون مجرى الدم من نوع فريد من النسيج الضام ، وذلك لأنه يمرر المواد إلى كل جزء في الجسم ، تقريباً . وتكون البلازما (Plasma) الجزء السائل من الدم ، وهي أيضاً إحدى مكونات السائل الذي يحيط بخلايا الجسم . ووظيفة البلازما في مجرى الدم هي حمل الخلايا الحمراء والخلايا البيضاء والصفائح ، وأنواع من المواد العضوية المغذية ، وكذلك الفضلات .

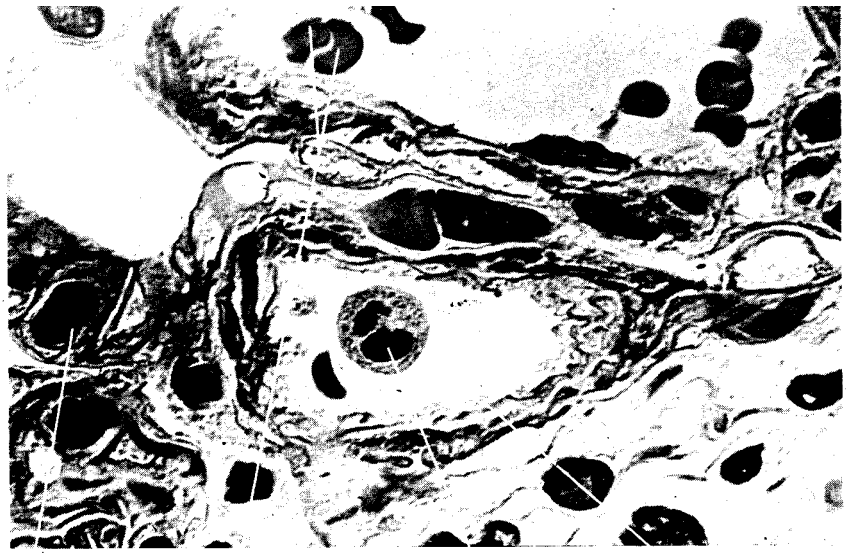
وتقوم خلايا الدم الحمراء الناضجة (Erythrocytes) بنقل كميات الأكسجين إلى خلايا الجسم المختلفة . والمادة التي تساعد الخلايا على القيام بذلك هي الهيموجلوبين (Hemoglobin) وهي مادة بروتينية تتحد مع الأكسجين بسرعة (وهي مهمة أيضاً في إزالة ثاني أكسيد الكربون الذي تلقيه بعض الأنسجة) .

وعلى خلية الدم اليافعة (Eryghroblasts) إخراج نواتها وإذابة عضياتها المتبقية لكي تستوعب أكثر من مليونين ونصف من جزيئات الهيموجلوبين التي تحملها .

وهكذا فإن الخلايا الحمراء تخسر قدرتها على التكاثر وترميم أي ضرر ، ويجب إبدالها باستمرار بخلايا جديدة من نخاع العظم .

أما الخلايا البيضاء (Leucocytes) فإنها أقل بكثير من الخلايا الحمراء . وتدافع هذه الخلايا عن الجسم ضد البكتريا الضارة أو العوامل الفيروسية ، بإحدى طريقتين إذ تستطيع بعض أنواع الخلايا البيضاء إنتاج أجسام مضادة (Antibodies) وهي بروتينات تستطيع

الاتحاد مع مواد غريبة لتجعلها غير ضارة . أما البعض الآخر فإنه يدمر هـذه الأجسـام الغريبة أنزيمياً بعد التهامها بواسطة عملية البلعمة (Phagocytosis) ومـن حسـن حـظ الحيوانات ، فإن الخلايا البيضاء تتحرك بسرعة خلال الشعيرات إلى أية منطقة معرضـة للضرر أو الإصابة .



الشكل (ه ــ ١٠) : طحال القرد . مبينا خلايا دموية في الجيوب ، وهي تراكيبرقيقة الجدران تحل محل الشعيرات الدموية في بعض الاعضاء . لاحظ كيف يتغير شكل الخلايـا الدموية المتجاورة بفعل نشاطهـا عندما تدور في الدم . وتعرف الخلية الدموية البيضاء بالخلية المحببة نظرا لسيتوبلازمها المحبب . كما انها تعرف بالخلية البيضاء ذات النويـات المتعددة الاشكال بسبب شكل نواتها غير المنتظم .

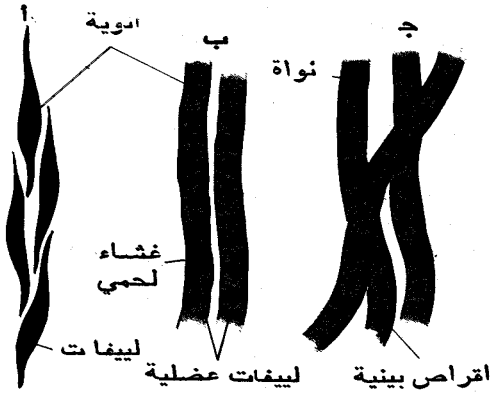
وهناك خلايا التخثر (Thromobytes) التي تخدم الجسم عند تعرضه للضرب وهي فعالـه في عملية تجلد الدم . وحتى الآن لا تعرف الطريقة التي بها تستطيع هذه الخلايا القيام بهذا العمل . وعلى سبيل المثال يعتقد بأنه عند قطع شعيرة أو تمزيقها ، فإن خلايا التخثر تحول البروتين فيبرينوجين (Fibrinogen) الموجود في البلازما إلى فيابرين (Fibrin) وأن خيوط الفيابرين هي التي تسد مجرى الدم بتكوينها الجلطة . ويشار إلى خلايا التخثر في مجـر دم الإنسان بالصفائح الدموية (Blood Platelets) . وفي الفقاريات غير الثديية تكون خلايـا التخثر ذات تركيب مختلف وتسمى بالخلايا المغزلية (Spindle Cells).

الخلايا العضلية: Muscle Cells

أن كل حركة ، تقريباً ، في الحيوانات العليا سواء أكانت لطرف ما ، أو عضو ما ، أو جزء من عضو هي بسبب عمل النسيج العضلي . وبالإضافة إلى ذلك فإن العضلات تقوم بعمل رئيسي في المحافظة على توازن الجسم ، وعلى امداد الجسم بالطاقة . وخلايا النسيج العضلي متخصصة لملائمة الجسم ، وعلى امداد الجسم بالطاقة ، وخلايا النسيج العضلي متخصصة لملائمة ذلك ، فكل خلية تحتوي على خيوط طويلة بسيتوبلازمها ، تسمح بتقليص طول الخلية أي بانقباضها . وفي الفقاريات تصنف الخلايا العضلية على أساس أنها: ملساء (Smooth) أو مخططة (Striated) أو قلبية (Cardiac).

الخلايا العضلية الملساء Smooth Muscle Cells

تبطن هذه الخلايا الأوعية الدموية ، والأنبوب الهضمي ، والرحم والمثانة ، وتسمى لا إرادية (Involuntary) وهذه الخلايا طويلة ونحيفة ، ولها نواة مركزية وخيوط دقيقة مرتبة بشكل طولي . وتنقبض الخلايا العضلية الملساء عند تنبيهها بواسطة الأعصاب أو



الشكل (٥ ــ ١١) : أنواع الخلايا العضلية . (أ) خلايا عضلية ملساء وعادةترتب في حزم تضمها الياف رابطة . ب) كل ليف عضلي مخطط (خلية) يغطى بغمد رقيق يدعى بالغشاء اللحمي . وتشكل مجموعات متوازية من هذه الخلايا الحزم التي تظفها اليافرابطة. ج) والعضلة القلبية تظهر تخطيطا ولكن اليافها تشكل شبكة موحدة مستمرة ، وليس كما هو الحال في العضلات المخططة .

الخلايا العضلية المخططة: Striated Muscle Cells

كما يوحي الاسم ، فإن الخلايا العضلية المخططة ، أو الأرداية Voluntary تستطيع أن تنقبض عندما تؤمر لتحرك أجزاء هيكلية مثل الذراعين أو الرجلين . وتكون الخلايا ، الكبيرة والمتعددة الخلايا ، مكتظة بخيوط بروتينية انقباضية تدعى الخيوط العضلية (Myofibrils) ولهذه الخيوط الطولية مناطق باهتة وأخرى داكنة ، تعطي الخلية العضلية المنظر المخطط . (يتناوب المقطع الباهت لخيط ما مع المقطع الداكن لخيط آخر).

الخلايا العضلية القلبية Cardiac Muscle Cells

العضلية القلبية (Cardiac Muscle) شبيهة بالعضلات المخططة ، ولكنها تتفرع لتكون شبكة من الاتصالاتت ، وليس خطوط منفردة . وتنفصل الخلايا عن بعضها بواسطة روابط عرضية تدعى الأقراص البينية (Intercalated discs) ويوجد بداخل الخلايا العضلية القلبية عدة ميتوكوندريا كبيرة تعطي الطاقة للنشاط الانقباضي للقلب .

نقل السيال العصبي" الخلايا العصبية: Impulse Transmission Nerve Cells

تكون الخلايا العصبية (Neurons) جهاز المواصلات في الحيوان . والخلايا العصبية هي أكبر الخلايا في جسم الحيوان : في حين تصل خلية متوسطة إلى طول ٢٥ ميكرون ، فإن خلايا عصبية عديدة تصل إلى طول يبلغ ١٠٠ ألف مرة أكثر من هذه ، لتتخذ أطوالاً تصل إلى عدة أقدام .

أنواع الخلايا العصبية Nerve Cell Types

من الناحية الوظيفية هناك ثلاثة أنواع من الخلايا العصبية : الخلايا الحسية (Sensory Neurons) وهي التي تنقل المؤثرات من المستقبلات الحسية ، مثل براعم الذوق إلى الجهاز العصبي المركزي . والخلايا العصبية الحركية (Motor Neurons) التي تنقل المؤثرات إلى أعضاء الاستجابة ، مثل العضلات والغدد ، والخلايا العصبية البينية (Interneurons) التي تصل وتنسق بين النوعين السابقين . أن العدد الكبير من الخلايا البينية ، ودقة اتصالاهما بقشرة المخ ، هي التي تتيح للإنسان القيام بالعمليات المعقدة.

وتتكون الخلية العصبية من جسم الخلية الكبير الذي يحتوي على النواة يضاف إلى ذلك عدد من الشجيرات (Dendrites) التي هي بمثابة امتدادات سيتوبلازمية تستلم المنبهات من الخلايا المستقبلة ، أو من خلية أخرى ، وامتداد طويل آخر يسمى المحور العصبي (Axon) أو الخيط العصبي ، وهو ينقل المنبهات إلى خلية مستجيبة أو إلى خلية عصبية أخرى . ويعزل المحاور العصبية خلايا شوان (Schwann Cells) تلف الخيط العصبي بطبقات متتابعة من البروتين الدهني تدعى (Myelin) وتدعى هذه المحاورة بالنخاعية Myelinated ولوحظ بأنها تنقل المنبهات بأسرع من المحاور التي تفتقد إلى غلاف نخاعي تنقل المنبهات بأسرع من المحاور التي تفتقد على غلاف نخاعي . وفي العين نوعان من الخلايا المستقبلة والحساسة للضوء: خلايا عصوية (Rods) وخلايا مخروطية(Cones) .

وهي تلعب دوراً حيوياً في عملية الرؤية ، بنقلها المنبهات للخلايا العصبية ، التي تنقل بدورها المؤثرات للدماغ ، والخلايا العصوية حساسة لقوة الضوء الخفيفة ، بينما الخلايا المخروطية حساسة لقوة أكبر . ويعمل هذان النوعان بواسطة مجموعة من الأغشية المثنية بداخل ساق نحيفة تشبه الأهداب ، متصلة بجسم الخلية ، أما المادة الحساسة للضوء في الخلايا العصوية والمخروطية فهي رتنين (Retinene) التي تحفز جزيئاتها عند وجود الضوء .

الشكل (٥ ــ ١٢) : نوعان من خلايا العصب . الغمد الميليني منقط بعقد او ثغرات توجد بين خلايا شوان .

نقاط التشابك العصبي Synapses

تسمى منطقة الوصل بين خليتين عصبيتين التشابك العصبي (Synapse) وهنا يتسبب مؤثر منتقل على طول المحور العصبي في إطلاق جزيئات خاصة تنتشر خلال فراغ الاشتباك بين المحور والشجيرة ، لتهيج غشاء الشجيرة ، وينتج عن ذلك سيال عصبي (Nerve Imulse) ولا يعرف بالضبط كيف يتم هذا ، ولكن يبدو أن الجزيئات الخاصة تؤدي إلى فقدان مؤقت لنفاذية غشاء الشجيرة . وبهذا يفتقد التوزيع غير المتوازي في أيونات الصوديوم والبوتاسيوم بين جزئي الشجيرة الداخلي الخارجي : فيدخل الصوديوم ، يخرج البوتاسيوم . ويمتد فقدان النفاذية الاختيارية على طول غشاء الشجيرة ليصل إلى جسم الخلية ، ومن هناك ينقل إلى المحور.

ولا تفقد الخلية كل انتقائيتها دفعة واحدة –بل أن الخسارة في اية لحظة تنحصر بمنطقة ضيقة . وفي حالة رد الفعل ، تحفز خلية مستقبلة بعامل بيئي يسبب إرسال المنبه على طول خلية حسية . وبعد ذلك ، يمر المنبه بمنطقة الاشتباك إلى خلية عصبية بينية في

الحبل الشوكي . وهنا يمر المؤثر بمنطقة اشتباك ثانية لخلية أخرى ، تنقل بدورها المؤثر لخيط عضلي ، ليسبب انقباضيه .

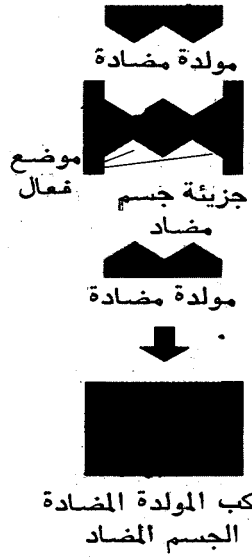
التعارف الخلوي Cell Recognition

أن قدرة الخلية على معرفة خلية أخرى من نفس نوعها أو من نفس الكائن (التي تنتمي إليه) أمر مهم جداً لبقائها ، وبقاء الكائن الذي يتكون منها . فلا يفيد الاميبا أن تلتهم إحدى أقدامها الكاذبة عند تغذيتها على الأوليات . وفي البرك والمحيطات ، سيكون ضاراً أن يلقح بيض السمك أو الحيوانات الأخرى بنطف انواع غريبة . وإذا تم ذلك ، فإن الزايجوتات الناتجة لا تنمو لتكون أجنة قادرة على الحياة .

وفي الأنسان وفقاريات كثيرة تستطيع الخلايا معرفة الخلايا الغريبة مثل البكتيريا المسببة للأمراض . وتستطيع بعض الخلايا المتخصصة أن تستجيب للمواد الغريبة بتصينع بروتينات خاصة تدعى الأجسام المضادة (Antibodies) تتحد مع هذه المواد وتفقدها فعاليتها . وتدعى جزيئات الخلايا الغريبة ، التي تسبب الاستجابة في صنع الأجسام المضادة ، المولدات المضادة (Antigens) وهي عبارة عن بروتينات أو مركبات بروتينية كربوهيدراتية . وتوجد المولدات المضادة عادة على سطح الخلايا الغريبة ، ويمكن أن تكون أيضاً جزيئات مغلفة ، يمكن قذفها بعد دخول الخلايا الغريبة للجسم .

المناعة Immunity

عند حدوث العدوى نتيجة عامل بكتيري أو فيروسي ، يشن الجسم دفاعاً باستخدامه أسلوب المناعة . وبالحقيقة هناك طريقتان ، كما ذكر في بحثنا عن خلايا الدم البيضاء : في الأولى ، تواجه خلايا بيضاء تتحرك بحرية تدعى الخلايا الكبرية الأكولة



الشكل (ه ــ ١٣) : عملية تخميل مولدات المضادات (الانتيجينات) . انواع مختلفة من الخلايا اللمفية قد تكون قادرة على تشخيص انواع محددة من مولدات المضادات كما تمرر معلومات عن التنظيم الفراغي لهذه المولدات الى الخلايا الموجودة في البلازما . هذه الخلايا تصبح عندئذ قادرة على انتاج اجسام مضادة ذات مواضع فعالة مكملة للمولدات المضادة التي احدثت التحفيز .

(Macrophages) وتلتهم المادة الغريبة . وبطريقة إضافية غير معروفة ، يضاف (إلى هذه المواجهة) خلايا كبيرة أخرى تستطيع التعرف على هذه المادة الغريبة . وتشن هذه الخلايا هجوماً مركزاً أكثر عند عودة العدوى . وتسمى هذه العملية بالمناعة بوساطة الخلية (Cell-mediated immunity) .

وبعملية بديلة للاستجابة للمواد الغريبة ، تتحول خلايا لمفاوية (Lymphocytes) إلى خلايا بلازمية (Plasma Cells) تستطيع تصنيع جزيئات أجسام مضادة وأطلاقها في مجرى الدم . ويعتقد بأن لكل جسم مضاد مناطق "اتحادية" تكمل تركيب أجسام غريبة معينة . وهذا يجعل الجسم المضاد ينغلق على المولدات المضادة ، ويزيل فعاليتها . وإذا وجدت أجسام غريبة على سطوح الخلايا الغريبة ، فإن هذه الخلايا تجبر على التجمع في كتل نتيجة اتحاد الأجسام المضادة والمولدات المضادة ، ويطلق على هذه الظاهرة اسم التغرية (Agglutination) .

أنواع الدم Blood Types

كانت التغرية Agglutination مجازفة شائعة في عمليات نقل الدم الأولى ، قبل معرفة وجود أنواع مختلفة من الدم . وأنه لأمر معروف الآن أن خلايا الدم الحمراء في الإنسان تحتوي على مولدات مضادة (Antigens) على سطوحها ولكل إنسان قليل من المولدات المضادة المختلفة .

نوع الدم	علاقة الجسم الغريب بالجسم المضاد	يمنح إلى	يستقبل من
A	الخلايا الحمراء: المولد المضاد A بلازما الدم: أجسام مضادة ضد B	A, AB	O,A
B	الخلايا الحمراء: المولد المضاد B البلازما : أجسام مضاد ضد A	B, AB	O,B
AB	الخلايا الحمراء: المولدات المضادة B,A	AB	O,A,B.AB
O	الخلايا الحمراء: لا مولدات مضادة البلازما: أجسام مضادة ضد B,A	O,A,B.AB	O

الشكل (٥-١٤) : نظام الدم

وأكثر نظام معروف للمولدات المضادة هو (A B O) ويعرف الشخص بأنه من نوع (A) إذا كانت كرياته الحمراء تحتوي المولد المضاد (A) ، وإذا كان دمه يحتوي على الأجسام المضادة ضد المولددات المضادة من نوع (B) . أما نوع (B) على سطح كرياته الحمراء وأجسام مضادة ضد المولدات المضادة فئة (A) . وأما نوع AB فإنه يحتوي على مولجدات مضادة من نوعي A,B على كرياته الحمراء ، ولكن ليس له أجسام مضادة لا ضد المولدات المضادة (A) ولا (B) وعلى كرياته الحمراء ، ولكن له أجسام مضادة ضد النوعين المذكورين من المولدات المضادة . ويعتبر الشخص من نوع (O) "كمتبرع عالمي"- أي أنه يستطيع أعطاء دمه لأشخاص مهما كان نوع دمهم – وذلك لأنه دمه لن يتفاعل مع الأجسام المضادة ضد المولدات من نوعي (B, A).

أما الشخص من نوع AB فإنه يدعى "المستقبل العالمي" وذلك لأن دمه يفتقد إلى الأجسام المضادة ضد المولدات المضادة A,B ولذلك فإنه يستلم الدم من الأنواع الأربعة بدون حصول تفاعل مناعي .

نقل (أو زرع) الأنسجة Tissue Transplantation

أن نفس المشكلة التي تحد من نقل الدم تواجه أساساً نقل الأنسجة ، ولكن القيود هنا أكثر شدة ، أن نفس الخلايا البيضاء التي تحمينا من عدوي البكتيريا ومن بقايا الخلايا الميتة وفضلات الخلايا داخل أجسامنا ، تكون العقبة الرئيسية في نقل الأنسجة . وهذا يعود على الطريقة التي تنتج فيها المولدات المضادة .

ومن المعروف أن المولدات المضادة تتكون من عدة أنواع مختلفة من الجزيئات البروتينية ، كل منها مركب على أساس "معلومات" وراثية محددة . ومهما كانت هذه الفروق التركيبية طفيفة ، فإنها كافية لأحداث هجوم من الخلايا البيضاء (Macrophages) فإذا كان المستلم يفتقد ولو واحداً فقط من المولدات المضادة الأحد عشر الأخرى متماثلة – فإن الخلايا المذكورة تستطيع معرفة الفرق ، وتشخص الخلايا الغازية على أنها غريبة ، وتبدأ بالتزايد . ونظراً لأن عملية الزرع الناجحة تعتمد على تحاشي تفاعل مناعي كهذا ، فإنه يتوجب على النسيج المنقول أن لا يحتوي مولدات مضادة تختلف عن تلك الموجودة في المستلم ، أو يجب سحق التفاعل المناعي بواسطة مواد كيمائية .

أن الاحتمال بأن يكون الشخص المتبرع والشخص المستلم متشابهين وراثياً بشكل كاف لتحاشي تفاعل مناعي احتمال زهيد ، إلا في حالة التوائم المتطابقة . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن استعمال العقاقير لكبح هذا التفاعل كان فاشلاً إلى حد كبير ، وذلك لأنه يعني كبح العملية الدفاعي الطبيعية للجسم . وفي بعض الحالات ، ينتج عن ذلك موت من الالتهاب الرئيوي ، أو اية أمرضا معدية أخرى . وفي حالات أخرى تكون الاستجابة المناعية واضحة ، ويؤدي الهجوم على النسيج المنقول إلى رفضه ثم إلى الموت .

أن الحل النهائي لمشكلة نقل الأنسجة ينتظر فهماً كاملاً للتخلق الخلوي والنمو الجنيني . وبطريقة غير معروفة حتى الآن ، يكون الجنين قلباً ، ورئتين ، وكبداً ، وكليتين ، وأعضاء أخرى من مجموعة صغيرة من الخلايا ، تمت بدورها نتيجة انقسام خلية واحدة – الزايجوت . وبما أن كل الخلايا ، تقريباً ، في الجسم لها نفس المعلومات الوراثية الموجودة في الزايجوت ، فإنه من المعقول الافتراض بأنه يوما ما يمكن استنبات عضو كامل ، مثل القلب ، منعينة نسيجية صغيرة مأخوذة من الإنسان الذي يحتاج للزرع . وسيكون العمل الأول تحضير خلايا نسيج العينة كي تنقسم وتعود لالة للتخلق . وبعد ذلك سيكون ضرورياً تقديم البيئة الكيمائية المناسبة لتحضير كتلة الخلايا المتزايدة لتنمو وتتخلق

لتكون قلباً . أن عملية استنبات الأعضاء تؤدي على تحاشي ظاهرة الرفض المرتبطة حالياً بمعظم عمليات الزرع . ولن يحدث استجابة مناعية وذلك لأن خلايا العضو المزروع ستكون خلايا الشخص المستلم ، وبالتالي سيكون لها نفس المولدات المضادة .

ملخص الفصل الخامس

هناك وظائف معينة تعتبر أساسية لصيانة الحياة واستمراريتها ، سواء أكانت هذه الحياة بسيطة أم معقدة . ولكن الطريقة التي تتم بها هذه الوظائف تتغير بالدرجة التي يتخصص بها هذا الكائن أو ذاك . وتتم وظائف كثير من الكائنات متعددة الخلايا بواسطة أنواع متعددة من الخلايا المتخصصة . ولكل نوع (خلوي) تركيب تحتي معدل يساعده على القيام ببعض النشاطات التي يجب على الكائنات البسيطة القيام بها بواسطة خلية واحدة . وهكذا فإنه يجب على هذه الخلايا المتخصصة العمل باعتماد متبادل ، كما تفعل الأنسجة ، والأعضاء ، والأجهزة .

وفي النباتات العليا متعددة الخلايا ، تعطى الأنسجة المرستيمية مصدراً حياتياً من الخلايا غير المتخلفة التي تستطيع الانقسام والتخصص تبعاً لحاجات النبتة . والخلايا المرتسيمية القممية والجانبية تساعد النبتة في زيادة طولها ومقاييسها العامة .

وتكون خلايا البشرة مسؤولة عن حماية السطح الكلي للنبتة ، وكذلك منع خسارة الماء من الخلايا التحتية . وينظم نوع من خلايا البشرة ، أي الخلية الحارسة ، عمل الثغور ، التي هي بمثابة فتحات في السطح الأسفل للورقة ، يمر من خلالها غازات مختلفة .

وتعطي خلايا متخصصة في النسيج الخشبي واللحائي وسيلة لنقل الماء ومواد أخرى خلال النبتة ، ويمكن أن تعطي الدعم للأنسجة . وتؤدي الخلايا الكولنشيمية – وهي موجودة في عروق الأوراق وأعناقها – وأنواع من الخلايا السكلرنشيمية ، موجودة في نسيج الخشب ، وغلافات البذور وجلد وقلب بعض الفواكه – الدعم كوظيفة أولية . ويمكن أن تعطي الخلايا البرنشيمية دعماً ، عندما تكونمنتفخة ، ولكنها بشكل رئيسي تعمل كأماكن تخزين ، وكمواقع للتمثيل الضوئي ، عندما تكون كلورنشيمية .

ونظراً لأنه على الحيوانات المتقدمة مواجهة مشاكل البقاء ، فإنها تظهر درجة أكبر من التخصص بالنسبة للنباتات المتقدمة . وبالإضافة إلى الحماية ونقل المواد الغذائية ، والدعم ، فإن الحيوانات متعددة الخلايا تحتاج إلى خلايا للحركة ولنقل المنبهات .

وتقوم الخلايا الطلائية بتوفير الحماية ، وذلك بتغطيتها للسطوح الداخلية والخارجية للجسم . وهذه الخلايا متراصة ومتصلة بسائل بين خلوي تفرزه الخلايا نفسها . ويتكون النسيج الطلائي البسيط من طبقة واحدة من الخلايا ، أما الطلائي المتعدد الخلايا فإنه يتكون من طبقتين أو أكثر . وأنواع الخلايا الطلائية الثلاثة هي : حرشفية ، مكعبة ، وعمودية.

أما الأنسجة الدعامية والضامة ، فإنها تعطي التركيب والربط ، ويمكن أن تكون صلبة أو شبه صلبة ، أو سائلة . ويتكون العظم من خلايا عظيمة مغمورة بمادة بين خلوية مكونة من خيوط كولاجينية وأملاح كالسيوم . ويكون الغضروف هيكل أجنية الفقاريات ، وتؤسس نموذجاً لتكوين العظم . وتخدم خلايا الدهن كمواقع تخزين لجزيئات الدهن .

وتؤدي الخيوط الضامة وظيفة الدعم ، وتربط أنواعاً مختلفة من الأنسجة ، وتثبت الأعضاء في أماكنها . وأنواع الخيوط الضامة الثلاثة هي : صفراء ، وبيضاء ، وشبكية أما الدم ، فإنه يتكون من خلايا حمراء ، تساعد في نقل الأكسجين ، وبيضاء تحمي الجسم من الأجسام الغريبة ، وصفائح تساعد في تخثر الدم ، وبلازما ، وهي السائل الذي يحمل الخلايا السابقة الذكر والمواد الغذائية والفضلات .

والخلايا العضلية مسؤ ولة عن الحركة في الحيوانات المتقدمة . والخلايا الملساء طويلة ونحيفة ولها نواة مركزية ، ويمر بينها خيوط دقيقة . أما الخلايا العضلية المخططة فهي كبيرة ومتعددة الخلايا . وتوجد خطوط انقباضية بشكل طولي تكون نموذجاً داكناً وباهتاً والخلايا العضلية القلبية مخططة ومتعددة الأنوية مثل الخلايا المخططة ، ولكنها تكون شبكة تسمح لمجموعات من الخلايا بالانقباض في وقت واحد .

وهناك ثلاثة أنواع من الخلايا العصبية: فالخلايا الحسية تنقل المؤثرات من المستقبلات مثل براعم الذوق ، إلى الجهاز العصبي المركزي . أما الخلايا الناقلة أو الحركية ، فإنها تحمل المؤثرات من الجهاز العصبي المركزي إلى أعضاء الاستجابة ، مثل العضلات . وأما الخلايا بين العصبية فتصل وتنسق بين الخلايا الحسية والناقلة . والمنطقة بين الاثنين تدعى منطقة الاشتباك وتتكون الخلية العصبية من جسم ذي نواة ، وشجيرات تستلم المنبهات

ومحور ، أو خيط عصبي ، ينقل المنبهات . وتعزل المحاور بواسطة خلايا شوان . وهناك نوعان مهمان من الخلايا المستقبلة : الخلايا العصوية والخلايا المخروطية ، ولهما دور حيوي في عملية الرؤية .

وهناك خلايا في الحيوانات المتقدمة قادرة على معرفة الخلايا الغريبة والاستجابة لها . وبواسطة عملية يطلق عليها اسم المناعة بطريقة الخلية تبتلع الجسيمات الغريبة والمعدية ، مثل البكتيريا ، بواسطة خلايا متخصصة تدعى الخلايا البلعمية الكبيرة . ويمكن إضافة خلاية من النوع الأخير خاصة بالجسم الغريب الذي أدى إلى الهجوم الأول . وتبقى الخلايا الجديدة لتكون جاهزة للجسم في حال عودة العدوى . وفي نوع آخر من الاستجابة المناعية تحفز جزيئات المولدات المضادة الموجودة على سطوح الخلايا الغريبة الخلايا اللمفاوية لتكوين خلايا بلازمية ، وهذه تكون بدورها الأجسام المضادة التي تتحد مع المولدات المضادة ، لينتج عن ذلك تكويم ، أو تغرية الخلايا الغريبة .

وهناك مجموعة من المولدات المضادة (ABO) مالوفة جداً . ويدعى الشخص من نوع (O) المتبرع العالمي نظراً لأنه لا يحتوي على مولدات (A) أو (B) . أما الشخص من نوع (AB) فإنه المستقبل العالمي ، نظراً لأنه يفتقر إلى الاجسام المضادة ضد المولدات المضادة (A) و (B) . وتحد الاستجابة المناعية من نقل الدم والأنسجة ، وفي حالة نقل الانسجة ، يمكن تحاشي هذه الأستجابات إذا كان لكل من المتبرع والمستقبل نفس المولدات المضادة . وإلا ، فإن الاستجابات يمكن كبحها كيميائياً .

نظرة فاحصة

أصل عضيات الخلية

The Origin of Cell Orgnelles

تستطيع الحيوانات المتقدمة أن تتكيف مع بيئتها بطرق خاصة ، نظراً لأنها تتكون من مجموعة متعاضدة من الخلايا الحقيقية . وتتكيف هذه الخلايا بدورها للقيام بأعمال خاصة بواسطة عضياتها . وبعبارة أخرى ، فإن أنقسام العمل على المستوى الخلوي مهم للقيام بوظائف متعددة متخصصة على مستوى الكائن ولكن ، كيف أتى التخصص الخولي؟ هي من الممكن أن تمثل الخلايا الحقيقة تقارباً لعدة أنواع سلفية نمت في السابق باتجاهات مختلفة ؟ هذه الفكرة النظرية السائدة والمعروفة باسم التعايش الداخلي (Endosymiosis) يبدو أنها التفسير الأكثر اقناعاً لنمو العضيات في التركيب التحتي للخلايا الحقيقية .

وحسب هذه النظرية ، فإن عضيين منشغلين في عمليات تكوين الطاقة– وهما الميتوكوندريون والبلاستيد الأخضر – هما سليلان لأولياتت حية وحرة ، مكثت في سيتوبلازم الخلايا الحقيقية الأولية ، وهذان الأوليان نجحاً معاً تعايشيا ، إلى الحد الذي فقدا فيه قدرتهما على العمل كخلايا مستقلة . وبمرور الوقت ، وبمزيد من التخصص أصبحا عضيين فعالين في الخلايا الحقيقية .

ويكمن أساس هذه النظرية في الحقيقة القائلة بأن الخلايا الأولية لها خواص كيميائية وفيزيائية مشتركة بين الميتوكوندريون والبلاستيد الأخضر . فمثلاً ، يوحي شكل الأغشية الميتوكوندرية الداخلية بالانغمادات الغشائية في البكتيريا . وتشبه رزم الثايلوكوليدات في البلاستيد الأخضر تلك الموجودة في الطحالب الخضراء المزرقة. وتركيب جزيء (DNA) متشابه في الخلايا الأولية والميتوكوندريون والبلاستيد الأخضر . أنه دائري ، بينما في الخلايا الحقيقة : يكون هذا الجزيء مستقيماً . بالإضافة إلى ذلك ، وعلى الرغم من أن المادة الوراثية في الخلايا الأولية وفي العضيين المذكورين منتظمة في كروموسومات ، فإنها ليست كالكروموسومات الكبيرة ذات الصبغة القوية التي تشاهد خلال الانقسام الخلوي في الخلايا الحقيقية .

أن وجود (DNA) في العضيين المذكورين يبين أنه ربما كان لهما القدرة الكاملة لضبط ومضاعفة نفسهما . وحتى الآن ، فإن النواة لا تتحكم بها كلياً . فبعض التجارب

توحي بأن تركيب العضي يعتمد على العضي نفسه على حد ما . ويبدو أن كلا من العضيين نشأ من انقسام ميتوكوندريات وبلاستيدات خضراء أصلاً . فمثلاً ، عند تدمير البلاستيدات الخضراء في اليوجلينا بواسطة الحرارة أو العقاقير ، فإن هذا الكائن لا يستطيع تكوين بلاستيدات جديدة .

ولكل من الميتوكوندريونات والبلاستيدات الخضراء ريبوسومات شبيهة في حجمها وتركيبها لتلك الموجودة في الخلايا الأولية ، ولكنها مختلفة عن تلك الموجودة في الخلايا الحقيقية . وكذلك فإن تصنيع البروتينات في هذين العضيين والخلايا الأولية يتوقف فوراً بواسطة مضادات حيوية مثل كلورم فينكول ، بينما لا يتأثر كثيراً هذا التصنيع في الخلايا الحقيقية لوجود نفس المضاد الحيوي .

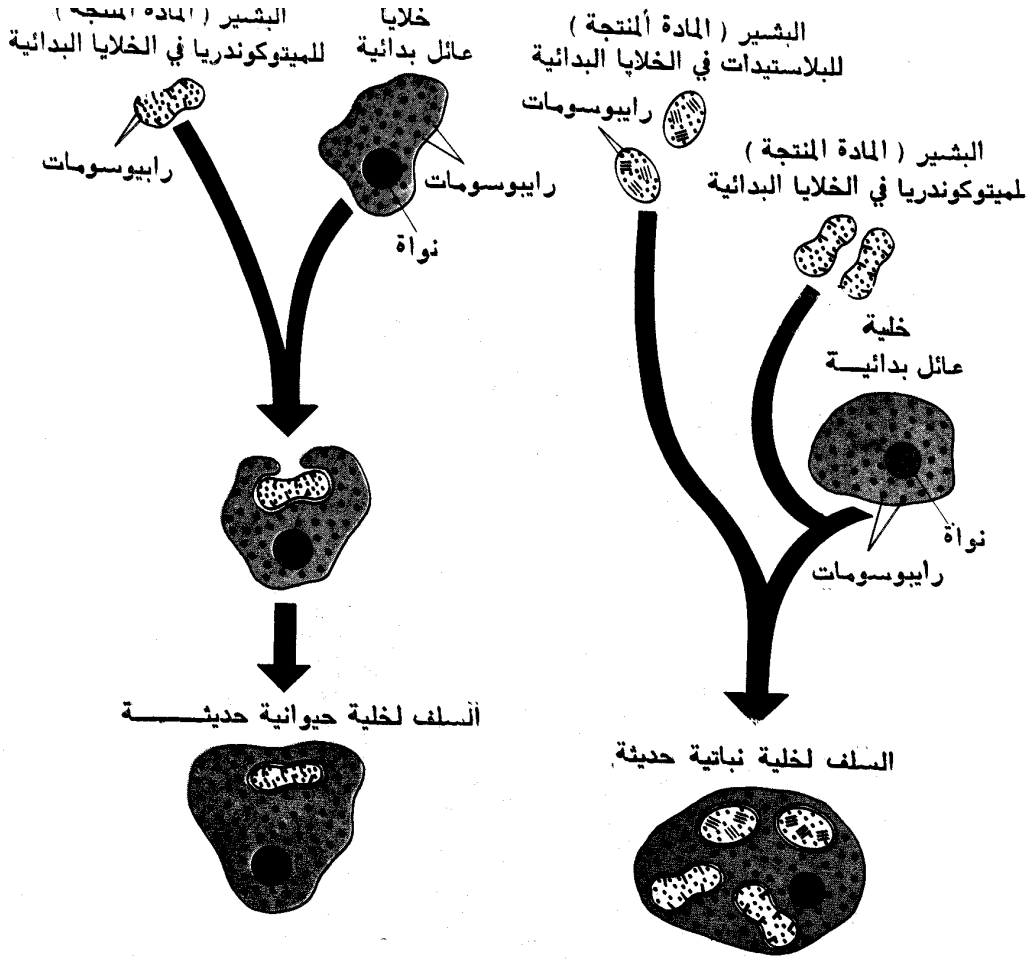
ويمكن تفسير أوجه الشبه هذه وغيرها إذا نشأ هذان العضيان كخلايا أولية تكونت يوماً ما باتجاهين متوازيين ، ولكن مستقلين تطورياً . ويوحي الدليل بأن الميتوكندريونات هي على الأرجح من سلالة الخلايا الأولية يالتي كانت قادرة على تحطيم المواد الغذائية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ، خلال عملية الأكسدة .

أن الكائنات البدائية بدون هذه الإمكانية تكون غير قادرة على إفادة نفسها كلياً من الطاقة الكامنة في أغذيتها . وربما كان أحد هذه الكائنات خلية حقيقية بغشاء نووي ونظام ريبوسومي خاص به . ويفترض بأن هذا قد التقط خلية أولية قادرة على الأكسدة ، وبالتالي ربح نظاماً أكثر فعالية على توليد الطاقة . وفي نفس الوقت ربحت الخلية الأولية بيئة محمية ومصدراً دائماً من الغذاء . وفي مجرى هذا الترابط ، فقدت بعضاً من الاستقلالية الوراثية لنواة خلية المضيف .

وبنهاية الأمر ، يمكن أن تكون هذه الأنواع الأكثر تكيفاً من الخلايا الحقيقية ، التهمت خلايا مثل الطحالب الخضراء المزرقة التي كانت قادة على التمثيل الضوئي . وبهذا أصبحت الخلية الناتجة قادرة على صنع الغذاء وأكسدته . وبالتدريج ، يمكن أن تكون بعض الاستقلالية الوراثية قد فقدت بواسطة المستأجر البدائي الثاني ، ويمكن أن تكون قد أصبحت في الطريق لمزيد من التخصص ، بلاستيدا أخضر معتمداً .

أن نظرية التكامل الداخلي توحي بأن الخلايا الحقيقية البدائية التي التهمت خلايا أولية مثل البكتيريا والطحالب ، هي أسلاف لخلايا النبات . وأن تلك التي أدخلت كائنات مثل

الكتيريا هي أسلاف لخلايا الحيوان . ومن هذين النوعين ، تطورت كل الخلايا المتخصصة المعروفة اليوم .



الفصل السادس

ديناميكية الخلية (الطاقة الطبيعية للخلية)

Cell Dynamics

أن أحد القوانين الأساسية في علم الفيزياء يشتمل على تحديد ضمني لمستقبل هذا العالم وينص على أن الجزيئات والذرات في جميع الأنظمة تسعى إلى حالة ممن الفوضى فيها تتناقص باستمرار الطاقة المتوافرة لإنجاز الشغل (الطاقة المطلقة) وتقل مع زيادة الطاقة العشوائية التي لا يستفاد منها (Entropy) . وبعبارة أبسط فإن الكون بأجمعه ينحدر ببطء نحو حالة أتزان نهائية فيها أقل قدر من النظام وأعلى قدر من الفوضى وفي هذه الحالية لا يوجد طاقة مطلقة وبالتالي فليس هناك قدرة على الحركة والعمل .

وفي هذا الوضع البالغ القوة يبدو وجود الحياة أمراً مناقضاً لطبائع الأشياء ، لا سيما وأن مواد حية جديدة يتم تخلقها باستمرار ، وهي على جميع المستويات تعكس درجة عالية من التنظيم . فالجزيئات تتحد فيما بينها لتكون الأجزاء المختلفة للخلية ، وكل جزء يتم تركيبه بشكل دقيق يتلاءم مع وظيفته ، وأن الكائنات العليا لها القدرة على القيام بوظائفها بسبب التسلسل الهرمي في تركيب خلايها وأنسجتها وأعضائها وأجهزتها .

ولكن هذا التناقض إنما هو ظاهري فقط فالأنظمة الحيوية تسري عليها القوانين الفيزيائية التي تتحكم بالأنظمة غير الحية . والسبب الوحيد في أن الخلايا تتصف بالنظام وبالتالي تبقى حية يعود على قدرة هذه الخلايا على استخلاص الطاقة من المحيط الخارجي

واستعمالها في أغراض مختلفة . ويتضمن هذا بناء عناصر جديدة تستخدمها الخلية لأغراض النمو والتعويض ، وعمليات النقل النشط للجزيئات والأيونات ضد التركيز وبقاء الجزيئات داخل الخلية بشكل منظم رغم ميلها للعشوائية ، وفي أغراض الطاقة الميكانيكية مثل انقباض خلايا العضلات أو حركة الأهداب والأسواط ، وكذلك في الطاقة الكهربائية مثل إرسال النبضات في الأعصاب .

وللاستمرارية في القيام بهذه الوظائف فإن لخلايا تحتفظ بوضع عالي التنظيم وثابت . ولكن القوانين الفيزيائية لا تزال صحيحة . فبما أن هناك ازدياداً بالفوضى بشكل عام ، فإن النظام الذي يخلق داخل الخلية يأتي على حساب الفوضى التي تزداد في الكون . أضف إلى ذلك أنه كان هناك عجز في الخلايا عن الحصول على الطاقة أو استعمالها فإنها تتبع النظم الطبيعية التي تمثل على حالة من العشوائية وهذا يدعو إلى تحطيم الترتيب في تركيب الخلايا ووظائفها .

تحولات الطاقة Energy transformations

أن نواة الطاقة التي يمكن أن تتسفيد منه الخلية تكون على شكل طاقة مخزونة في الروابط الكيماوية ، ولكن المصدر الأساسي لجميع أنواع الطاقة للكائنات الحية هو الشمس . أن النباتات الخضراء ، والطحالب ، وبعض الأوليات وبعض أنواع من البكتيريا لها قدرة على الاستفادة من الطاقة الشمسية واستخدامها في صنع المواد النشوية ومركبات معقدة أخرى ، وهذه المركبات تحتفظ بكميات كبيرة من الطاقة . والكائنات التي تملك القدرة على تحويل الطاقة الشمسية على طاقة كيماوية تدعى بالكائنات ذاتية التغذية Autotrophs وهي مسؤولة عن إنتاج أكثر من نصف المركبات العضوية وتحصل الكائنات الأخرى على الطاقة اللازمة لها من هذه الكائنات . وتدعى الكائنات التي تعتمد كلية على الكائنات الذاتية التغذية باسم الكائنات غير ذاتية التغذية (Hetrotrophs).

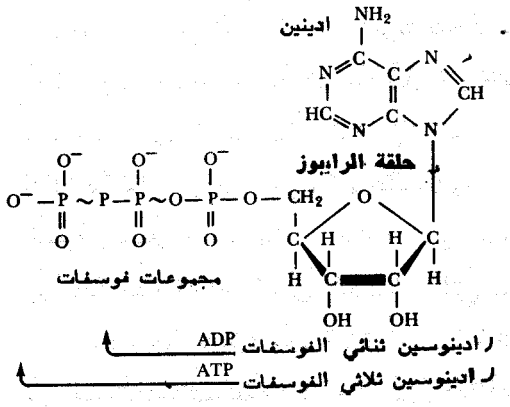
وحتى تستفيد الكائنات الحية من هذه الطاقة لا بد من خزنها على شكل روابط كيماوية داخل الكائن ثم استخلاصها على شكل طاقة نافعة . ويمكن عمل ذلك بإحدى طريقتين اعتماداً على نوع الكائن الحي ومقدار توافر الأكسجين . فالكائنات التي تتنفس الهواء تستخدم الأكسجين O_2 لحرق المركبات العضوية إلى مركبات غير عضوية أي ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء . أما الكائنات التي لا تعتمد على الأكسجين ، أي الاهوائية التنفس ، فأنها تحطم المواد العضوية بشكل جزئي . وعلى الرغم من الاختلاف في التأثير فإن هناك

صفات مشتركة بين الطريقتين: ففي كلتيهما تحلل المركبات العضوية المعقدة إلى مركبات أقل تعقيداً وذات محتوى من الطاقة أقل ، وانطلاق الطاقة نتيجة لعملية أكسدة هي خسران بعض المواد للالكترونات ولا سيما ذرات هيدروجينية ، وتحدث تفاعلات الأكسدة على درجات حرارة منخفضة وتستمر بطريقة مضبوطة ومنظمة ، كل خطوة مصحوبة بأنزيمات مختلفة . وستدرس في نهاية هذا الفصل أهمية ووظيفة هذه الانزيمات في العمليات التي تحدث في الخلية .

وكما هو ملاحظ فإن الطاقة المنطلقة نتيجة لعملية الأكسدة تستخدم في عدد من النشاطات المختلفة للخلية . ففي عمليات التصنيعات الحيوية فإن هذه الطاقة يتم تحويلها إلى طاقة كمياوية مخزونة في الروابط الكيماوية . فمثلاً بعد خزن الطاقة فإن مواد كعديدة التسكر والبروتينات والدهون يتم تكوينها من السكاكر البسيطة والأحماض الأمينية والأحماض الدهننية . وفي العمليات الأخرى التي يتم ا ستهلاك الطاقة فيها مثل انقباض العضلات وإرسال النبضات في الأعصاب فإن الطاقة الكيماوية تتحول إلى أنواع أخرى من الطاقة . والصعوبة في تفاعلات تحولات الطاقة تكمن في وصل التفاعلات المعطية (المنتجة) للطاقة مع التفاعلات الماصة (المستهلكة) للطاقة داخل الخلية . فإذا كان على الكائن الحي أن يقوم بخطوات معقدة لتحطيم المادة العضوية للحصول على الطاقة في أي مكان فإنه يجب توافر جميع الانزيمات اللازمة لكل تفاعل كيماوي في كل خلية . فهذا النظام لا بد أن يكون بطيئاً وغير فعال ويجعل من الصعب الفصل بين تفاعلات البناء والتحطيم ولهذا فإن الكائنات الحية تعتمد على طريقة عبقرية في تجزئة تفاعلات التحطيم والاحتفاظ بالطاقة لسد احتياجات الخلية من الطاقة .

وضع الطاقة قيد الاستعمال Putting energy on tap

يلعب الادينوسين الثلاثي الفوسفات (ATP) دوراً مهماً كوسيط في تبادل الطاقة في جميع الخلايا ويتكون هذا المركب في عملية الفسفرة التي تعني إضافة مجموعة فوسفات غير عضوية إلى مركب معروف . فتركيب الادينوسين ثلاثي الفوسفات ينتج من إضافة مجموعة فوسفات إلى الادينوسين ثنائي الفوسفات وهذا مركب يشبه إلى حد كبير تركيب الادينوسين ثلاثي الفوسفات . وبما أن الرابطة في مجموعة الفوسفات الثالثة تخزن كميات كبيرة من الطاقة فإن تحويل الادينوسين ثنائي الفوسفات إلى ادينوسين ثلاثي الفوسفات عملية مستهلكة.



الشكل (٦ ــ ١) : اديتوسين ثنائي وثلاثي الفوسفات ، لاحظ الروابط المميزة على اخر مجموعتي فوسفات من جهة الذيل . ان الخط الاسود السميك على حلقة الرايبوز يشير الى شكل الجزيء في الفراغ .

للطاقة . وتنطلق نفس كمية الطاقة عندما يتحلل الاديتوسين الثلاثي الفوسفات في عملية كسر للرابطة الفوسفاتية الثالثة وبالتالي ينتج أديتوسين ثنائي الفوسوفات .

وعملية تحويل الاديتوسين الثنائي الفوسفات إلى الاديتوسين الثلاثي الفوسفوات هي طريقة مقبولة ومعقولة للتحكم في استعمال الطاقة . ففي التفاعلات الطاردة (الباعثة) للحرارة يتم صنع الاديتوسين الثلاثي الفوسفات وفي التفاعلات الماصة للحرارة فإن الاديتوسين ثلاثية الفوسفوات يتحلل ليعطي الحرارة . وهناك ثلاث طرق رئيسية لإنتاج الاديتوسين الثلاثي الفوسفات ، كل واحدة مبنية على الطرق المذكورة في البداية للحصول على الطاقة . فالكائنات الذاتية التغذية يمكن أن تفسفر الاديتوسين الثنائي الفوسفات مستخدمة الطاقة الشمسية وهذه الطريقة لإنتاج الاديتوسين الثلاثي الفوسفات تدعى بعملية الفسفرة الضوئية وتحصل خلال عملية التمثيل الضوئي . ويستخدم جزء من من جزيئات الاديتوسين الثلاثي الفوسفات للاستخدام الفوري في الخلية وجزء آخر يخزن وجزء كبير يستخدم في تحضير المركبات الكربوهيدراتية التي تعتمد عليها الكائنات غير ذاتية التغذية والتي تستخدمها الكائنات الذاتية في غياب الأكسجين للحصول على الطاقة . والطريقة التي تنطلق بها الطاقة او يعاد خزنها تشبه إلى حد كبير الطريقة الثانية في تحضير اديتوسين الثلاثي الفوسفات . وفي الخلايا التي تتنفس هوائياً فإن المركبات مثل الكربوهيدرات تتحطم تماماً بعمليات أكسدة متتالية . وعندما تستخدم الطاقة المنطلقة في تحضير الاديتوسين الثلاث الفوسفات فإن الطريقة تدعى بعملية الفسفرة المؤكسدة . وعملية التخمر عملية مشابهة وبما أن عمليات التحطيم اللاهوائية للمركبات العضوية لا يمكن أن تكون تامة . فإن عملية

التخمصر تنتج جزيئات قليلة من الادينوسين الثلاثي الفوسفات . فمثلاً أن عملية التكسير التامة لجزيء واحد من الجلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون وبخاء الماء تطلق ٦٨٦ كيلو سعر من الطاقة القابلة للاستعمال ، بينما تحويل نفس الكمية في الجلولكز إلى الكحول الأثيلي- عملية تخمر تحدث في الخميرة- تطلقه كمية من الطاقة تساوي ٤٠ كيلو سعر .

والفائدة من استخدام جميع طرق التحضير هذه هي تزويد الخلايا بكميات كافية ومناسبة من وحدات الطاقة الكيماوية وهذه الوحدات يمكن استعمالها في جميع العمليات التي تستهلك الطاقة والتي تحدث في أماكن مختلفة من الخلية .

فمثلاً أن عملية الفسفرة المؤكسدة تحدث في الميتوكوندريا ، ولكن جزيئات الادينوسين الثلاثي الفوسفات التي تحضر في هذه العضية توزع إلى أجزاء أخرى من الخلية هي بحاجة للطاقة .

وبعبارة اخرى فإن تفاعلات التكسير المؤكسدة تحدث في مكان ثابت وبالتالي فإنها لا تختلف ولا تتدخل في الطرق البيوكيماوية للتفاعلات الأخرى- ولكن الادينوسين الثلاثي الفوسفات المنتج من هذه التفاعلات يمكن أن يقوم بوظيفيته في جميع أنحاء الخلية .

ليس من العجيب أن نسمى الايدنوسين ثلاثي الفوسفوات بوحودة تداول الطاقة داخل الخلية ، فهو مثل النقود تخدم لتبادل بضائع وحاجات أخرى ، أي أنه عملية للمقايضة بالمثل ذات وحدات صغيرة . فأكسدة كاملة لجزيء من الجلوكوز مثلاً تعطي مائة ضعف الطاقة الناتجة من تحلل رابطة جزيء الادينوسين الثلاثي الفوسفات . وتحويل الطاقة من جزء من الجلوكوز إلى روابط كيماوية في الادينوسين الثلاثي الفوسفوات تشبه على حد كبير عملية صرف ورقة من فئة الدولار بسنتات . ولأن فعالية التحويل محدودة فإن الخلية تستقبل حوالي ٤٠ سنتاً من الادينوسين الثلاثي الفوسفات مقابل كل دولار من الجلوكوز .

التحكم في عملية البناء: Control of metabolism

قبل الدخول في مناقشة تفصيلية للتفاعلات التي ينتج فيها الادينوسين الثلاثي الفوسفوات فإنه من الأهمية فحص العمليات التي يتم فيها ضبط عملية البناء ، وكل التفاعلات الكيماوية التي تحدث في الخلية الحية . فمن الطرق الواضحة التي تلجأ إليها الخلايا لتحتفظ بمسالك مختلفة للتفاعلاتت تمنع تداخلها بعضها في بعض تثبت هذه التفاعلات في أجزاء مختلفة داخل الخلية . فمثلاً أكسدة الأحماض الدهنية تحدث في الميتاكوندريا بينما

تصنع هذه الأحماض يتم داخل السيتوبلازم وربما كانت الانزيمات أقل وضوحاً ولكنها حيوية لجميع خلايا البدائيات والطلائعيات ، فهي على المستوى الجزيئي تنظم جميع العمليات الحيوية .

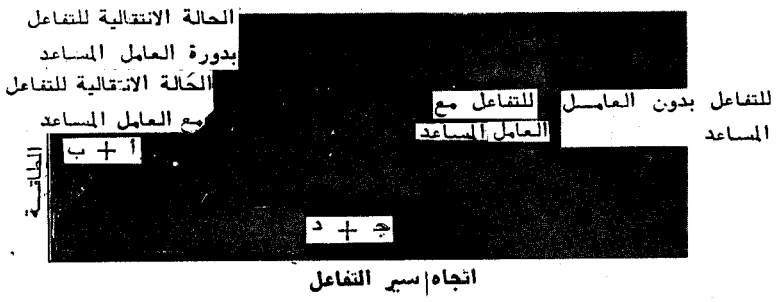
أن هذه العوامل المساعدة الحيوية الفريدة تساعد في تثبيت سرعة المواد الداخلة في التفاعل في أي اتجاه بالاضافة على التحكم في سرعة تصنيع المواد الناتجة . وهي تجعل عملية الأكسدة تسير في خطوات منظمة وبالتالي فإن كميات قليلة من الطاقة تنتج ويمكن احتواؤها لتكوين الادينوسين الثلاثي الفوسفات . وهي تعمل على تقليل مستوى الطاقة لتنشيط تفاعلات الأكسدة التي لا تحدث تلقائياً . وهي تساعد على استمرار التفاعلات في ظروف يعتبرها الكيماوي ظروفاً معتدلة ، وهي الضغط الجوي ، وتركيز هيدروجين متعادل ، درجة حرارة ٣٧م.

الانزيمات: Enzymes

الانزيمات كالعوامل المساعدة غير العضوية ، هي مركبات تزيد من سرعة التفاعل الكيماوي دون أن يحصل أي تغيير في تركيبها ، وهذا لا يعني أن لها القدرة على تحريك التفاعلات التي لا يمكن أن تحدث ، فالتفاعلات التي تطلق الطاقة النافعة هي التي لها ميل طبيعي للحدوث ، ولكنها بكل بساطة تزيد من سرعة التفاعلات .

وفي المصطلحات الفيزيائية فإن المواد المتفاعلة يجب أن تتصادم ببعضها بسرعة معينة وفي اتجاه معين حتى تكون الحالة الانتقالية والضرورية لحدوث تغيير كيماوي ليتم الحصول على المواد الناتجة من التفاعل . فتسخينن المزيج يؤدي على سرعة التفاعل وذلك عن طريق زيادة حركة الجزيئات . وهذا يزيد من عدد الاصطدامات بين جزيئات المواد المتفاعلة وبالتالي من عدد الاصطدامات ذات الفائدة . ومع هذا فالحرارة تزيد من جميع احتمالات حدوث تفاعلات جانبية لا يمكن تحملها والاستفادة منها من قبل الكائنات الحية .

أن الانزيم مثل العامل المساعد الكيماوي يعمل على زيادة التنظيم فهو يزيد من حدوث الاصطدامات النافعة للربيط بين المواد المتفاعلة بطريقة تساعد على حدوث التفاعل وبالتالي فهي تزيد من سرعة التفاعل وذلك بتقليل مستوى الطاقة اللازم للبدء بهذه التفاعلات – وذلك بتخفيض طاقة التنشيط . بالإضافة إلى أن الانزيمات تساعد في تزويد طاقة التنشيط لكي تتم عملية التحطيم بشكل تلقائي وذلك بربط المواد المتفاعلة بجزيئات الادينوسين الثلاثي



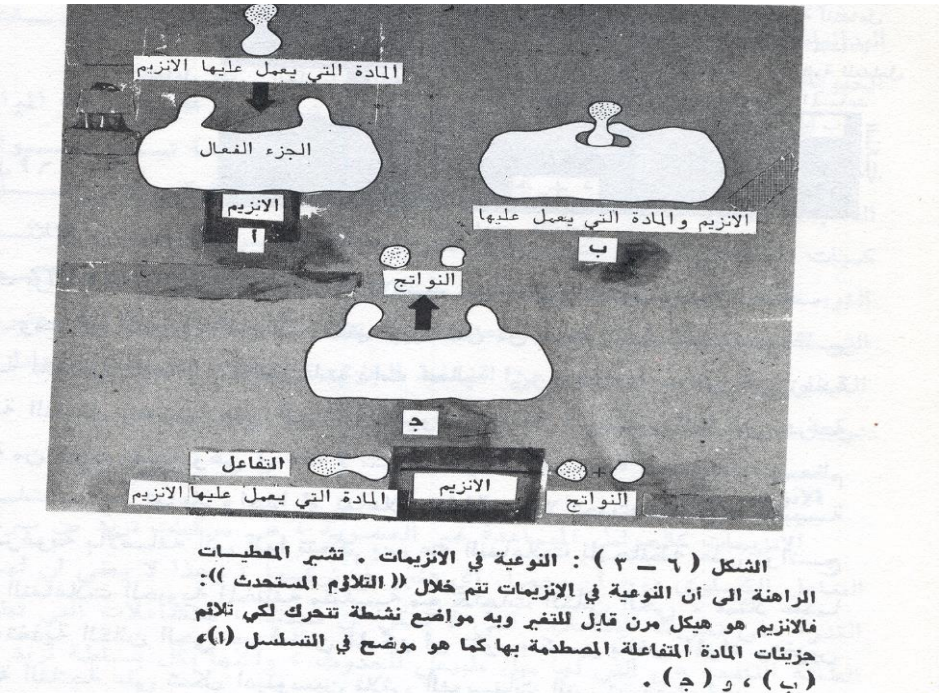
الشكل (٦ ــ ٢)

الفوسفات المتحللة.

ومع أن العوامل المساعدة الكيماوية تقلل من طاقة التنشيط ، فهي غير ملائمة للأنظمة الحية ، فالانزيمات ذات فعالية أكبر وكلاهما يعمل على زيادة سرعة التفاعل وقدرتها على العمل في ظروف معتدلة ، وتتميز بأنها على درجة عالية من الخصوصية وهي في هذا لا تشبه العوامل المساعدة الكيماوية ، ومعظم الانزيمات تساعد تفاعلا واحداً أو تفاعلات قليلة ولا تحدث تفاعلات جانبية غير مرغوبة بالإضافة على أنها تتحكم بسرعة التفاعلات للمحافظة على نواتج طرق التفاعلات الحيوية المختلفة متناسبة مع حاجات الكائن الحي . فمثلاً عندما تكون تغذية الكائن الحي جيدة فمن الممكن أن تقوم بتكسير بعض المواد وتخزين الطاقة الناتجة على شكل ادينوسين ثلاثي الفوسفات التي تستعمل لحين الضرورة . وجميع الطرق التي تشتمل التكسير والتخزين وتحريك التفاعلات كلها تضبط بواسطة الانزيمات التي يتحكم بسرعة تفاعلاتها مستوى التغذية لدى الكائن الحي .

أن خاصة الانزيمات تعود لطبيعة تركيبها ، فالانزيمات هي بروتينات كروية ، مركبات كبيرة ومعقدة تتركب من عدد من الأحماض الامينية في سلاسل . وهذه السلاسل ملفوفة ومطوية ، تعطي كل جزيئ انزيم خاصة مميزة . ففي جزء من هذا التركيب يوجد الجزء الفعال حيث يتم عمل الانزيم على هذا الجزء . أنه يتركب من بضعة أحماض أمينية وهذا يشكل جواً مناسباً للعمل كعامل مساعد وهو جزء من جزء كبير يدعى بالجزء الرابط وهو الجزء من الانزيم الذي يميز المادة التي يعمل عليها الانزيم.

وحتى وقت قريب كان التصور أن الانزيمات تعمل على مبدأ "القفل والمفتاح" وهي نظرية تقول بأن الانزيمات لها مراكز قفل خاصة لا تفتح إلا بمفاتيح خاصة.



الشكل (٦ ــ ٣) : النوعية في الانزيمات . تشير المعطيات الراهنة الى أن النوعية في الإنزيمات تتم خلال ((التلاؤم المستحدث)): فالانزيم هو هيكل مرن قابل للتغير وبه مواضع نشطة تتحرك لكي تلائم جزيئات المادة المتفاعلة المصطدمة بها كما هو موضح في التسلسل (أ)، (ب) ، و (جـ) .

أما المعلومات الراهنة فتشير إلى أن خاصية الانزيم هي الحث على التلاؤم ، وبنـــاء على هذه النظرية فإن الانزيم عبارة عن مركب مرن يحتوي على عدة أجزاء فعالة عنـــدما ترتبط بالمادة التي يعمل عليها الانزيم تحث الانزيم على الانحناء أو التشكل ليكون مركـــزاً فعالاً حقيقياً يتلاءم تماماً مع المادة التي يعمل عليها .

ولهذا فخاصة الانزيم هي نتيجة لعمل الطاقة الطبيعيـــة للانـــزيم ولا تحـــدث نتيجـــة للاصطدام بين جزيئين لهما شكلان ثابتان.

أن علاقة الربط بين الانزيم والمادة التي يعمل عليهـــا لا تـــأتي بمحـــض الصـــدفة ، فالانزيمات تطورت لتقوم بالربط بينها وبين المواد التي تعمل عليها .

وخلال عملية طويلة ومعقدة نشأت علاقة عن طريق التجربة والخطأ فأصبحت بـــذلك ذات فعالية وعلى درجة عالية من التخصص كأدوات كيماوية خلوية.

أن الحاجة التطورية لمثل هذا التقدم هي واضحة وغير معقدة ، فالانزيم غير الفعـــال أو غير النشيط أو الذي يعمل على المادة الخاطئة يمكن أن يؤدي إلى أغـــلاف تفـــاعلات حيوية أو تعطيلها وبالتالي يؤثر على العمليات الحيوية التي تعتمد عليها الحياة.

الفيتامينات، الانزيمات المساعدة والهرمونات: Vitamins, Coenzymes, and Hoxmones

تقوم الانزيمات ببدء وتنظيم كل الظواهر الحيوية داخل الخلية ، ومع هذا فهي ليست المواد أو العوامل الوحيدة التي تنظم العمليات الحيوية ، والانزيمات نفسها تخضع للتنظيم من قبل مواد وعوامل أخرى.

ومن هذه المواد المنظمة الأخرى للانزيمات ، انزيمات الهضم التي لا تملك القدرة على القمل فهي تحضر بصورة غير فعالة ولا يمكن أن تصبح فعالة إلا إذا غيرت انزيمات أخرى تركيبها ، ويتم التنظيم أحياناً بواسطة المواد المثبطة وهي مركبات (العديد منها بروتينات) تقلل من فعالية انزيمات معينة . ففي البنكرياس حيث يصنع العدد من انزيمات الهضم فإن المواد المثبطة موجودة دائماً ولذلك فإن أي أنزيم يعمل بشكل دائم يتم معادلته قبل أن يسبب أي تلف للأنسجة.

وهناك بعض الفيتامينات التي تدخل في بعض التفاعلات الانزيمية ، والفيتامينات هي مركبات مختلفة في التركيب الكيماوي يحتاج إليها الكائن الحي في غذائه . ولكن بكميات قليلة . وهذه الفيتامنات المهمة لعمل الانزيمات هي الفتيامينات الذائبة في الماء مثل : النياسين ، والرايبوفلافين ، والثيامين وبيرودوكسين (فيتامين ب٦) وحامض الاسكوربيك (فيتامين ج) ، وحامض البانثونيك ، والبيوتين ، وحامض الفوليك وفتيامين ب١٢.

ففي الجسم تتغير هذه الفيتامينات وتتحول إلى أنزيمات مساعدة وهذه هي جزيئات بروتينات صغيرة تعمل جنباً إلى جنب مع الانزيمات . ومثال على هذا فيتامين النياسين أو النيكوتين أمين الذي يتحول إلى أنزيم يدعى نيكوتين أمايد ادينين ثنائي النيوكليوتين أو (NAD) ولها تركيب مشابه للادينوسين الثلاثي الفوسفات ، وكذلك يوجد في صورة مفسفرة تدعى (NADP) . ففي تفاعلات الأكسدة فإن (NAD) يستقبل الالكترونات أو ذرات الهيدروجين وينتج ذلك (NADH) أو (NADPH) الذي يكون جاهزاً لاطلاق الكترون أو ذرة هيدروجين . وكما سنرى فإن قدرة (NAD) أو (NADP) على استقبل واطلاق

الفيتامين	صيغة الانزيم المساعد	التفاعلات التي يشارك فيها
ب١ الثيامين	ثيامين بايروفوسفات	فقدان ثاني أكسيد الكربون في تفاعلات الأكسدة تأكسد حامض البيروفيك إلى الاسيتيل معامل أ
ب ٢ الرايبقلافين	فلافين أحادي النيوكليوت فلافين ادينين ثنائي النيوكليوتيد	تفاعلات الأكسدة والاختزال العملية الحيوة في الكربوهيدرات والدهون والبروتينات كحامل للالكترونات.
النياسين (حامض النياسين) (الفيكوتيناميد)	نيكوتيأميد ثنائي النيوكليوتيد نيوكتيناميد ادين ثنائي النيوكليوتيد فوسفات	تفاعلات الأكسدة والاختزال
ب٦ (بيرودوكسال) (بيرودوكسين) (بيرودوكسي أمين)	بيرودوكسال فوسفات	تفاعلات نقل مجموعة الأمين أو انطلاق ثاني أكسيد الكربون من الاحماض الامينية ، وفي العمليات الحيوية للأحماض الدهنية.
ب١٢ سيانوكوبوأمين	الانزيم المساعد للكوبا أميد	تفاعلات المتشابهات ، وبشكل خاص التأكسد والاختزال.
حامض البانتوثنيك	الانزيم المساعد أ	تنشيط الأحمائ الكربوكسيلية في العمليات الحيوية للأحماض الدهنية.
حامض الفوليك	حامض رباعي الهيدروفيليك	نقل مجموعة تحتوي على ذرة كربون ، تصنيع السيرين والجلايسين.
بيوتين	بيوتين	تثبيت ثاني أكسيد الكربون
ج (حامض الاسكوربيك)	حامض الاسكوربيك	اضافة مجموعات الهيدروكسيل

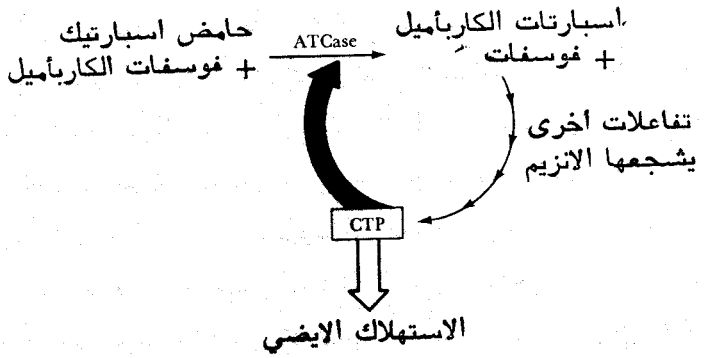
الالكترونات تقوم بوظائف مهمة في النشاطات الخلوية .

والهرمونات هي رسل كيماوية تنظم العلميات الحيوية في الكائنات عديـــدة الخلايـــا . وتفرز من غدد متخصصة أو أ عضاء ويتم نقل افرازاتها إلى مراكز مختلفة في الكائن الحي حيث تقوم بتنظيم النشاطات التي تقوم بها مجموعة أو عدد كبير مختلف من الخلايـــا . أن تأثيرها أقل تخصصاً من عمل الانزيمات وتتميز بوجود أكثر من طريقة لعملها . فبعضـــها يوجه وينبه نمو وتخصص الأنسجة وذلك بحث الجسم على افراز بروتينات معينة ، وقســـم آخر يقوم بتنظيم التوازن بين تفاعلين كيماويين متنافسين . فمثلاُ ابينفـــرين الـــذي يـــدعى بالادرينالين يدخل وينطبع في الخلايا التي تختص بتخزينن واستعمال الغذاء . وهي تقـــوم بذلك عن طريق ارتباطها بمستقبلات على سطح الخلية الخارجية وبالتالي تقوم بوضع ترتيب معين ينظم نشاط بعض الانزيمات وبهذه الطريقة فإن الهرمون خارج الخلية يكون قادراً على إرسال رسالة إلى الانيزمات ذات العلاقة في داخل الخلية .

وبالاضافة إلى هذه الجزيئات المنظمة "الطبيعية" والضرورية فإن كثيراُ مـــن المـــواد تؤثر في نشاط الانزيمات وفي معظم الحالات فإن تأثيرها محدود ولكن في بعض الحـــالات فإن الأذى الذيب يلحق بنوع من الكائنات الحية يكون له فائدة لنوع آخر من الكائنات الحية.

فالعناصر الثقيلة مثل الرصاص والزئبق مثلاً هي سامة للكائنات الحية ، فهي تتفاعل مع بعض المجموعات الكيماوية في البروتين وبالتالي تغير من شكله في الفـــراغ . ونتـــيج لذلك فإن خاصة العامل المساعدة للانزيم تختفي ، فالبنلسين هو عقار نافع لكثير من الكائنات الحية ، لأنه يوقف الانزيمات الضرورية لبناء الجدار الخلوي لبعض الخلايـــا البكتيريـــة ، فالبنسلين يشبه المادة التي يعمل عليها الانزيم والتي يرتبط بها عبر جزئه يالفعال . وهو لا يشبه المادة الحقيقة التي يرتبط فيها الانزيم فهو يرتبط بشكل دائم وبالتالي يعمل على تعطيل تكوين الجدار الخلوي وبالتالي موت الخلايا البكتيرية ، ولكن الحيوانات لا تتأثر لأن خلايها لها غشاء خلوي وليس لها جدار خلوي .

وهناك طريقة أخرى تنظم بها الانزيمات العمليات الحيوية وهي طريقة تحكم النـــواتج وفيها تقوم المواد الناتجة عن تفاعل الانزيم ، كلها أو بعضها ، بالتأثير في عمل الانـــزيم المسؤول عن انتاجها وهذه الطريقة تؤثر عادة في الانزيم المسؤول عن الخطوة الأولى مـــن سلسلة خطوات تؤدي في النهاية إلى تصنيع مادة معينة فعندما تحتوي الخلية على كمية كافية من المادة الناتجة يصبح تصنيع المادة الناتجة الأولى بطيئاً أو يتوقف.



(الشكل ٦-٥): السيطرة بواسطة التغذية الراجعة في تخليق البريميدين . أن البريميدين CTP (سايتدين ثلاثي الفوسفات) يتكون خلال سلسلة من التفاعلات الانزيمية تعمل على نتيجة تفاعل مبدئي بين حامض الاسبارتيك وفوسفات الكارباميل والذي يشجع بواسطة الانزيم (aspartate transcarbamylase) ومع استمرار التفاعل ، وبالوصول إلى تركيز حرج من CTP فإنه يبطئ من تكون نفسه بتثبيط ATCase . وعندما ينخفض تركيز CTP بشكل فعال بالاستهلال الايضي فإن التثبيط يتوقف ويتجدد التكوين (أن التفاعل كما هو مبين يحدث بشكل خاص في البكتيريا (Escherichia coli) .

أن الطريقة التي يتم فيها التنظيم بواسطة الطعم الرجعي (تحكم النواتج) تكشف في كثير من الحالات عن خاصة أخرى في جزيء الانزيم . فإن الناتج الأخير أثناء قيامه بعملية التنظيم يؤثر في نشاط الانزيم وذلك بارتباطه إلى الانزيم ولكن ليس على الجزء الفعال حيث توجد عادة المادة التي يعمل عليها الانزيم بل على جزء منفصل على الانزيم . وعندما ترتبط المادة المنظمة بالانزيم فإنها تغير من شكل الانزيم وبالتالي تغير من صورة الجزء الفعال وبالتالي تقلل من قدرته على الارتباط بالمادة التي يعمل عليها ويطلق على هذه العملية المعقدة الفعالة اسم القفل الخلقي (Allosteric Control) ويمكن القول بأن الناتج الأخير يضع في مؤخرة جزيء الانزيم مفتاحاً أو قفلاً ينظم العملية المساعدة القائمة في مقدمته .

التمثيل الضوئي (عملية التركيب الضوئي) Photosynthesis

أن عملية التمثيل الضوئي هي عبارة عن تفاعلات تأكسد واختزال ويرجع هذا المصطلح (وسنفصله في الملحق) إلى العملية التي تنقل فيها الالكترونات من مركب إلى آخر وفي عملية التمثيل الضوئي فإن مصدر الالكترونات هو الماء الذي يؤكسد ويعطيها إلى ثاني أكسيد الكربون الذي بدوره يختزن . وبما أنها تتم في وسط مائي فإن ايونات الهيدروجين

تسحب من الماء في أي وقت وترتبط مع الالكترونات المنقولة لتكون ذرات الهيـــدروجين . وبالتالي فإن محصلة العملية هي سحب ذرات الهيدروجين من المـــاء (مطلقـــة أكســـجين) واعطاؤها لثاني أكسيد الكربون (نتيجة كربوهيدرات).

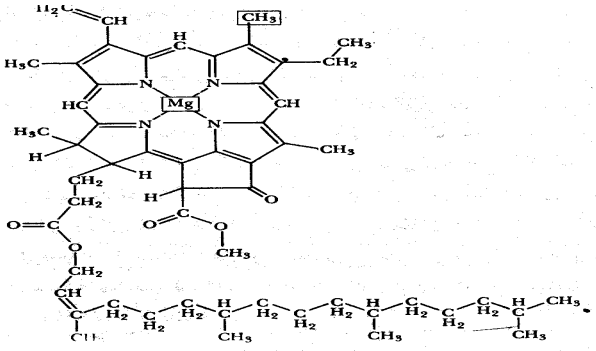
وهذا الترتيب البسيط ينطبق على ما يدخل ويخرج من وإلى النبات خلال عملية التمثيل ولكن من الصعب أن نصف ما يحدث بالتفصيل داخل االأوراق وأجزاء أخرى من النبات . فالماء لا يعطي الكرتوناته مباشرة إلى ثاني أكسيد الكربون ، فهناك العديـــد مـــن حوامـــل الالكترونات التي تعمل كعوامل وسيطة وفي الواقع ، فإن أكسدة الماء واختزال ثاني أكسيد الكربون ليس من الضروري أن يتم بشكل تلقائي . ولا يمكن لأي من التفاعلين أن يســـتمر فترة طويلة بدون الآخر ولكن كل منهما مميز ويتم في مكان ليس له علاقـــة بـــالآخر . أن العملية المرتبطة بأكسدة الماء يتم حدوثها في توافر الضوء ولذلك فإنها تـــدعى بالتفـــاعلات المضيئة واختزال ثاني أكسيد الكربون يتم في غياب الضوء ولذلك فإنها تدعى بالتفـــاعلات المظلمة.

التفاعلاتت المضيئة The light reactions

أن المواد التي تمتص الضوء في النباتات تدعى بالمادة الملونة (صبغات) وهناك ثلاثة أنواع منها مرتبطة بعملية التمثيل الضوئي وهي الفايكوبلينات التي تتألف بشكل جزئي مـــن البروتين والكروتيندات التي تتميز بسلاسل طويلة من الكربون وجزيئات الكلوروفيـــل . أن المجموعة الأخيرة هي أهمها وهناك أشكال متعددة من جزيئات الكلوروفيل الموجـــودة فـــي بعض أنواع البكتيريا وفي النباتات التي تقوم بعملية التمثيلي الضوئي بمـــا فيهـــا الطحالـــب والنباتات الزهرية .

ويتركب جزيء الكلوروفيل من حلقة مـــن ذرات الكربـــون والنيتـــروجين مـــع ذرة مغنيسيوم تتركز في المنتصف وذيل طويل من ذرات الكربون في ترتيب خطي (صـــفي) . ويعمل الذيل على تثبيت جزيء الكلوروفيل في غشاء داخل البلاستيده الخضراء . وعندما يمتص جزيء الكلوروفيل الضوء فإن أحد الالكترونات الذرية يدور في الحلقـــة بـــين ذرات الكربون والنيتروجين ويصبح في حالة إثارة (تهيج) أي أن طاقته تزداد ، أنها الطاقة التـــي أضيفت إلى هذا الالكترون وهي التي تعتمد الحياة عليها .

والضوء يتركب من فوتانت (photons) أو كمات (Quanta) ويه عبارة عن وحدات طاقة . والطاقة تتناسب مع طول موجة الضوء وبالتالي مع لونه فأكثر الكلمات طاقة تقابل أقصرها في موجة الضوء (البنفسجي والأرزق) وأقلها طاقة ترتبط مع أطولها موجة (الأحمر).



الشكل (٦ ــ ٦) يتركب كلوروفيل ا من ذرة مغنيسيوم موجودة في شكل يشبه حلقة البوفيرن بالاضافة الى سلاسل جانبية ويوجد شكل حلقة البوفيرن في الهيموجلوبين وفي السيتوكرومات ولكن الحلقة على ذرة حديد بدل ذرة المغنيسيوم .

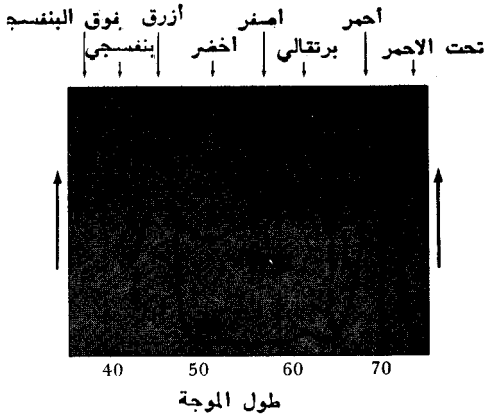
ويمكن قياس كمية الضوء الذي تمتصه الصبغة النباتية من كل لون أو طول موجي وعندما تقاسم مجموعة كاملة من أطياف الضوء التي يمتصها النبات فإن الناتج يدعى طيف الامتصاص للصبغة . وقد أظهر الكلوروفيل الأساسي في النباتات الراقية طيف امتصاص يبلغ الذروة عند أطول وأقصر موجتي ضوء أي أنه امتص اللون الأزرق والبنفسجي والأحمر . ولكنه لم يمتص الأطياف المتوسطة بفاعلية جيدة وهذه الأطياف التي تخترق أو تنعكس تشكل اللونين الأخضر وألأصفر ولهذا السبب فإن النباتات تظهر معظم الوقت باللون الأخضر.

وهناك علاقة بين طيف الامتصاص وفعل الطيف الذي هو عبارة عن مقدار التمثيل الضوئي الذي يحدث عند الاضاءة بمصدر ضوئي مختلف في طول موجته ، وقد ظهر أن أكثر فعالية لعملية التمثيل تتم عند الاضاءة بالطيقين الأحمر والأزرقن وبما أن هذه الأطياف هي نفسها التي يمتصها الكلوروفيل فهذا يعطي دلالة ضمنية على أهمية الكلوروفيل في عملية التمثيل الضوئي وأن الكلوروفيل يقوم بمعظم العمليات الكيماوية نتيجة لامتصاصه الضوء في عملية التمثيل الكيماوي .

ومع هذا فإن عمل الطيف لا يشابه امتصاص الكلوروفيل للطيف وهذا يدل على أن الكلوروفيل ليس المادة الوحيدة التي تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية في عملية التمثيل . وفي الواقع فإن البلاستيدات الخضراء تحتوي على صبغات ملونة أخرى غير الكلوروفيل بما

فيها الكاروتينويدات . وتظهر مرتبة على شكل نوعين من الوحدات الوظيفية التي تمكن النبات الاستفاة بأقصى ما يمكن من الطاقة الضوئية الموجودة .

تمتص هذه الصبغات أمواج الضوء الطويلة (الخضراء والصفراء) التي لا يمتصها الكلوروفيل وتصبح بحالة إثارة ثم تنقل جزءاً من الطاقة الناتجة عن الإثارة إلى جزيئات الكلوروفيل



الشكل (٦-٧) : (أ) طيف الامتصاص لعملية التمثيل الضوئي ويظهر فيه المقدار النسبي للطيف الفعال عند اطوال امواج مختلفة للضوء اعلاها عند الضوء الازرق والاحمر .
(ب) طيف الامتصاص لكلوروفيل أ ويلاحظ عند امواج أطوالها مختلفة . الطيفان الازرق والاحمر حيث اعلى فعالية لعملية التمثيل هي أكثرها امتصاصا .

تصل إلى جزيء كلوروفيل خاص يكون وضعه قادراً على استخدام الطاقة وتحويلها إلى شغل كيماوي . وهذا يحدث بسرعة كبيرة – واحد من البليون من الثانية– وإذا لم تكن طاقة الاثارة فإنه يعادة أشعاعها على شكل ضوء طول موجته مختلفة وبالتالي تفقد من النبات . وعندما تصل الطاقة المأخوذة من الضوء التي جزيء الكلوروفيل المناسب ، فإن الطاقة الزائدة يتم اطلاقها إلى جزيء يمتصها ، وتستخدم طاقته بعد ذلك في صنع مركبات غنية بالطاقة بما في ذلك الادينوسينين ثلاثي الفوسفات .

أن العمليتين اللتين يتم اطلاق الطاقة فيهما بواسطة امتصاص جزيء الكلوروفيل للضوء تدعيان بالفسفرة الضوئية الحلقية وعملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية . ويرتبط مع هاتين العمليتين صبغتان وظيفيتان الأولى تدعى بالنظام الضوئي الأول والثانية بالنظام الثاني ويميزان بطيف امتصاصهما ولكن لم يتم معرفة تركيبهما داخل البلاستيدات حتى الآن . أن عملية الفسفرة الحلقية تستخدم الصبغات وجزيئات أخرى كلها تخص النظام الضوئي الأول بينما في عملية الفسفرة اللاحلقية فإنه يتطلب مساهمة النظام الضوئي الأول والثاني.

عملية الفسفرة الضوئية الحلقية: Cyclic Photophosporylation

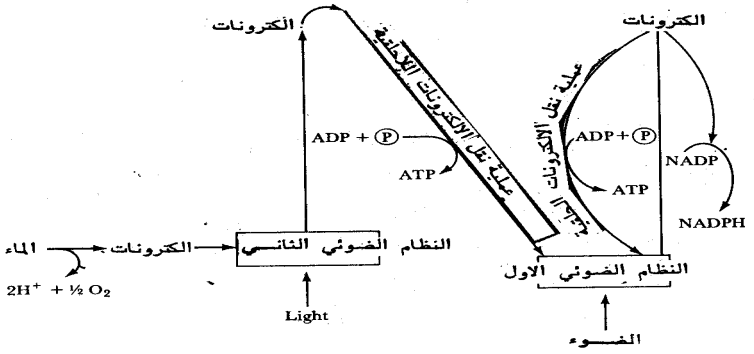
في هذه العملية نجد الالكترون الذي يغادر جزيء الكلوروفيل يعود أخيراً إلى نفس الجزيء ، ويمر الالكترون بجزيئات ناقلة متتالية ومن أهم هذه الجزيئات أنواع مهمة من السيتوكروم وهي بروتينات موصولة إلى حلقة تشبه تلك الموجودة في الكلوروفيل مع استبدال ذرة حديد بذرة مغنيسيوم ، وخلال عملية النقل من مركب ناقل للالكترونات في جزيء الكلوروفيل الذي انطلق منه . وهي حالة فقدان الاثارة ، وبين بعض النواقل فإن الطاقة الزائدة تستخدم لتحويل جزيء من ادينوسين الثنائي الفوسفوات إلى الادينوسين ثلاثي الفوسفات ولهذا فإنه تم انجاز شغل خلال الحلقة وجزء من الطاقة الضوئية تم تخزينه على شكل طاقة كيماوية .

أن عملية الفسفرة الحلقية قد تكون بقية باقية من انظام كان قديماً هو نظام التمثيل الضوئي الوحيد . أما عملية الفسفرة اللاحلقية فيبدو أنها نشأت متأخرة فهي من ناحية تطورية تعتبر أكثر تقدماً . أنها أكثر فعالية ويمكن إرجاع معظم الطاقة التي يخزنها النبات إلى هذه العملية .

عملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية: Noncyclis Photophoshorylation

في تتبع الظواهر التي تحدث في عملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية فإنه من الأفضل البدء من نطقة امتصاص الضوء عن النظام الضوئي الثاني . أن الالكترونات المثارة من هذه الصبغات تنطلق إلى مستبقلات الكتروينة مختلفة عن تلك الموجودة في النظام الضوئي الأول ، والي يحل محل لا يأتي عن طريق جدار حلقي ، ولكنه يكون الكتروناً جديداً مصدره في النهاية جزيء الماء ، ويتم نقل الالكترون المأخوذة بالنظام الضوئي الثاني إلى جزيئات ناقلة للالكترونات تشبه تلك الموجودة في النظام الضوئي الأول بما في ذلك السيتوكرومات . أما المستقبل الرئيسي للالكترون عبر مروره من ناقل إلى آخر فهو كلوروفيل النظام الضوئي الأول وخلال عملية نقل الالكترون من جزيء إلى آخر فإنه يتم تصنيع جزيئات الادينوسين الثلاثي الفوسفوات عن الادينوسين الثنائي الفوسفات . وحتى تكتمل عملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية فإن النظام الضوئي الأول يجب أن يمتص طاقة ضوئية بمقدار كم واحد وهذا يطلق ا لكترونا إلى نفس النواقل الموجودة في النظام الضوئي

الأول . إلا أن الالكترون لا يذهب في التالي إلى الكلوروفيل بل ينتقل إلى حوامـــل أخـــرى مطلقاً مزيداً من جزيئات الادينوسين الثلاثي الفوسفات وحتى يصل إلى الأنزيم المساعد الذي



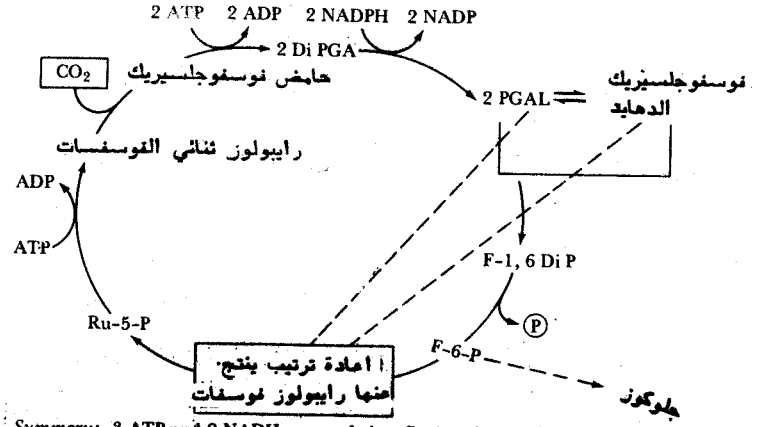
الشكل (٦ ــ ٨) التفاعلات المضيئة ، النظام الضوئي الاول مع كلوروفيل ا كالصبغة الاساسية ، ويمكن ان تتون حلقية تعيد زوج الالكترونات المثار الاصلي الى الكلوروفيل وتكون ادنيوسين ثلاثي الفوسفات وادنيوسين ثنائي الفوسفات مع فوسفات غير عضوي فـــــي العملية . او لا حلقية مع نيكوتين اميد ادينين واينكليوتيد فوسفات يمتص الالكترونات . وفـــي النظام الضوئي الثاني يوجد كميات متساوية من كلوروفيل (أ) و (ب) وينتقل زوج الالكترونات المثار من كلوروفيل (أ) في النظام الضوئي الاول . ويستعيد النظام الضوئي الثاني الالكترونات باكسدة الماء الى الاوكسجين .

يحتوي على الفوسفوات وهو (NADP). وعندما يستقبل الانزيم المساعد الكرتونين فإنه يقدر على استخلاص أيونين هيدروجين من الوسط المائي المحيط ليكون (NADPH).

ويتكون الادينوسين الثلاثي الفوسفوات وجزيئات (NADPH) فإن التفاعلات الضوئية في عملية الفسفرة الضوئية اللاحلقية تنتهي . والمحصلة النهائية تصبح انتقال الكترون (ذرة هيدروجين) من الماء إلى جزيء (NADPH) . ولكن وظيفتهما في عملية التمثيل الضوئي تزداد تعقيداً.

التفاعلات المظلمة: The dark reactions

أن العمليات المتبقية في عملية التمثيل الضوئي مثل تحويل ثاني أكسيد الكربون إلـــى كربوهيدرات لا تحتاج إلى الضوء . وقد تم إثبات هذه الحقيقة من خلال التجـــارب التـــي أجريت على بلاستيدات خضراءس عزلت من الخلايا . فإذا أضيئت البلاستيدات بمعزل عن ثاني أكسيد الكربون فإن الاكسجين ينطلق ويتراكم الادينوسين الثلاثي الفوسفوات وجزيئـــات (NADPH) داخل العضية . وإذا اطفئ الضوء وأضيف ثاني أكسيد الكربون فإن الاكسجين ينطلق ويتراكم الادينوسين الثلاثي الفوسفات وجزيئات (NADPH) داخل العضية.



الشكل (٦ ــ ٩) التفاعلات المظلمة . في كل ذرة في حلقة كالفن حيث تبدأ عند اضافة ثاني اكسيد الكربون الى رايبلوز ثنائي الفوسفات . وهناك مركب وسطي يتألف من ست ذرات كربون . والذي ينقسم مباشرة الى جزيئين من حامض الفوسفوجلسيريك . ويتفاعل كل جزيء من حامض الفوسفوجلسيريك . مع نواتج التفاعلات المضيئة (ادينوسين ثلاثي الفوسفات ونيكوتين اميد ادينين دانكليوتيد فوسفات الهيدروجين) ليكون جزء من فوسفوجليسر الدهايد ليكون جزئيات النشويات اللازمة للكائن الحي ، او يتحول مرة ثانية الى رايبولوز ثنائي الفوسفات بمساعدة الادينوسين الثلاثي الفوسفات .

وكما هو متوقع فإن تكوين الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون هو عملية معقدة وتشتمل على تفاعلات متعددة ومتتالية . ولقد تم اكتشاف ترتيب الخطوات على يد العالم ملفن كالفن ومساعديه ، باستخدام ثاني أكسيد الكربون فيه نظير الكربون ١٤ (ك١٤) . وقد تم تنمية طحالب في جو يحتوي على ثاني أكسيد الكربون الذي يحتوي على نظير الكربون ١٤ لفترة قصيرة ، ثم غطست هذه الطحالب في الكحول لقتل الخلايا ، ولتصبح الانزيمات غير فعالة ولوقف جميع العمليات الحيوية التي تتم في هذه الخلايا . وعندما فحصت الخلايا وحللت المواد التي تحتويها مع اعتبار أن المركبات التي تحتوي على كربون ١٤ هي نواتج عملية التمثيل في فترة قصيرة من الزمن ، فقد وجد كالفن ومساعدوه أن أول المركبات التي تحتوي على كربون ١٤ هو حامض الفوسفوجلسريك (PGA) ، وهو مركب يحتوي على ثلاث ذرات كربون ومجموعات فوسفات واحدة . وقد استطاعوا الاستدلال من هذا الاكتشاف على أن ثاني أكسيد الكربون يتحد مع مركب سكر مفسفر يتكون من خمس ذرات

من الكربون ليكون مركباً من ست ذرات كربون غير ثابت لا يلبث أن ينقسم على مـركبين من (PGA) . أنه (PGA) الذي يتفاعل مع نواتج التفاعل الضيء ، فهو يفسفر بواسـطة الادينوسين ثلاثي الفوسفات ويختزل بواسـطة (NADPH) ليعطـي فوسفوجليسـرالدهايد (PGAL) وهذا مركب متعدد الاستعمالات داخل الخلية . ويقـوم (PGAL) بعـد ذلـك بالتحطيم ليعطي ثاني أكسيد الكربون وطاقة يمكن أن تستخدم في اتحـاد السـكر الخماسـي المفسفر مع ثاني أكسيد الكربون . ومعظم مركبات (PGAL) تتحد مع بعضـها لتعطـي الجلوكوز والنشاء والسيللوز ومركبات نشوية أخرى . وهذه تقوم بمد الخلية بالطاقة اللازمة لفترة طويلة ، بالاضافة إلى أنها تحفظ وحدة التركيب لمعظم النباتـات . وفـي النباتـات والكائنات الحية الأخرى فإن النشويات تشكل نقطة البدء لعملية معاكسة لعمليـة التمثيـل إلا وهي عملية التنفس.

التمثيل الكيماوي: Chemosynthesis

أن عملية التمثيل الضوئي هي أهم طرق التغذية الذاتية في الحياة ، ولكنهـا ليسـت الوحيدة . فهناك بعض أنواع من البكتيريا تعيش بعملية تدعى التمثيل الكيماوي حيث يتم بناء جزيئات الحياة من جزيئات غير عضوية وفي غياب الضوء . وحتى ، قوم بذلك فإن على البكتيريا أن تختار المادة الكيماوية بعناية ، وعليها أن تختار المركبات التي تحتـوي علـى كميات كافية من الطاقة للاستمرار في الحياة . فقليل منها يستفيد من كبريتيد الهيـدروجين حيث تتوفر في المناطق البركانية . وهنك مجموعة أكبر تقوم بتحليل مركبات النيتـروجين الموجود في التربة ، وتيعد جزيئات النيتروجين إلى الجو ، ومع أن هذه البكتيريا تظهـر بأنها دخيلة إلا أن عملياتها الحيوية تشبه إلى حد كبير الكائنات المشابهة لها . فالبكتيريا التي تعيش على البكتيريا مثلاً تستخدم كبرتيد الهيدروجين مصدراً للالكترونات مثلمـا تسـتخدم النباتات (H_2O).

إنتاج الادينوسين الثلاثي الفوسفات لا هوائيا: Anaerobic ATP Production

تقوم عملية التمثيل الضوئي بتزويد جميع الكائنات الذاتية التغذية وقسم من الكائنـات غير ذاتية التغذية بالمواد العضوية اللازمة للمساعة في البقاء ، وللاستفادة فلا بـد لخلايـا هذين النوعين من الكائنات الحية من القدرة على تحطيم هـذه المـواد العضـوية كيماويـاً للحصول على الطاقة والاستفادة منها في الأغراض المختلفة داخل الخلية.

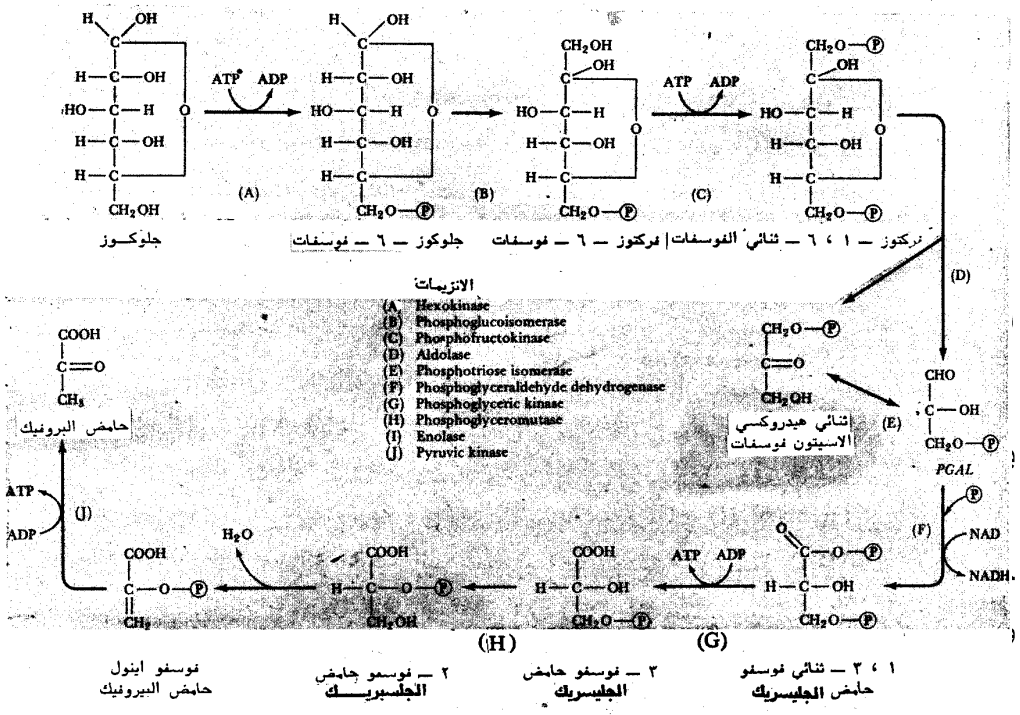
وهناك طريقتان فيهما يتم تحليل المواد المعقدة التركيب جزئياً إلى مواد أبسط منها مع انطلاق جزء من طاقتها هما الجلايكولة وعملية التخمر . وفي كلتا العمليتن هناك تفاعلات كيماوية متتابعة وكلتاهما تؤدي إلى أنتاج الادينوسين الثلاثي الفوسفات وحدة تداول الطاقة في الخلية وكلتاهما تتمان في الغياب التام للأكسجين .

الجلايكولة: **Glycolysis**

تكون الكربوهديات مثل الجلوكوز في الظروف الخلوية غير قادرة على التحطم وعلى أي مستوى ولكنه إذا تم تنشيط هذه الجزيئات تصبح فعالة أكثر ويمكن أن تتحطم- أي تدخل في تفاعلات إنتاج الطاقة .

ففي الجلايكولة فأن المرحلة التحضيرة تتم عن طريق الفسرفرة . ويقوم الأنزيم الذي يعمل في المرحلة الأولى من التفاعل بالعمل على مجموعات الفوسفات الطرفية في جزيء من الأدينوسين الثلاثي الفوسفات فيحللها ويثبتها على طرف جزيء الجلوكوز الذي يحتوي على ست ذرات كربون ، وفي الخطوة التالية يقوم جزيء الجلوكوز ببعض التغييرات التركيبية مع قيام جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات بفسفرة الطرف الأخر من جزيء الجلوكوز وينشأ عن ذلك مركب يدعى بفركتوز ثنائي الفوسفات الذي ينقسم بعد ذلك إلى جزئين من (PGAL) كل واحد يحتوي على ثلاث ذرات كربون ومجموعة فوسفات واحدة.

أن هذا التسلسل يتم بوجود الأنزيمات الضرورية المناسبة فلقد انقسم جزيء الجلوكوز إلى جزيئين أصغر منه ، ولكن لم تنطلق أية طاقة وبالمقابل فإنه قد تم استهلاك جزيئين من الادينوسين الثلاثي الفوسفات يتأكسد كل جزيء من (PGAL) بواسطة الانزيم المساعد (NAD) الذي يختزل بعد ذلك إلى NADH وخلال هذا التفاعل فأن مجموعة فوسفات أخرى تضاف إلى كل جزيء من (PGAL) فيصبح كل جزيء محتوياً على مجموعتين من الفوسفات (أن الطاقة الناتجة من عملية الأكسدة استخدمت في عملية الفسفرة هذه ولا يستخدم مزيد من الادينوسين الثلاثي الفوسفات) وتدخل الجزيئات الناتجة في مجموعة من



الشكل (٦ ـ ١٠) : الجلايكولة (ا) يتفسفر الجلوكوز ليكون جلوكوز ـ ٦ ـ فوسفات (ب) تعيد ذرات هذا المركب فتترتب لتكون ـ ٦ ـ فوسفات (جـ) وفي عملية فسفرة اخرى يتحول المركب الى فركتوز ـ ٦١ ـ ثنائي الفوسفات (د) وينقسم المركب الى جزئين كل واحد يتالف من ثلاث ذرات كربون ، فوسفوجليسر الدهايد وثنائي هيدروكسي الاستيون فوسفات (هـ) ويتحول ثنائي هيدروكسي الاستيون فوسفات جليسر الدهايد (و) ويتحول كل جزء من فوسفو جليسر الدهايد باضافة فوسفات غير عضوي وباختزال نيكوتين امايد دانيوكليوتيد الى نيكوتين امايد دايتيوكليوتيد الهيدروجين ليكون ـ ٣،١ ـ ثنائي حامض الجليسريك (ز) ويلتقط الاديبوسين ثنائي الفوسفات فوسفات ليكون الادنيوسين ثلاثي الفوسفات (ح) ويقوم ٣ حامض الفوسفور جليسريك باعادة ترتيب نفسه ليكون ٢ حامض الفوسفوكليسريك (ط) ينتج ماء ليكون فوسفوانيول حامض البيروفيك (ى)ويتكون جزء اخر من ادنيوسين الثلاثي الفوسفات ليعطي حامض البيروفيك .

جزيء (ADP) وبالتالي فأن المحصلة انتاج أربعة جزيئات (ATP) وتحويل جزيئات (PGAL) إلى نوع آخر من المركبات يحتوي على ثلاث ذرات كربون ويدعى حامض البيروفيك .

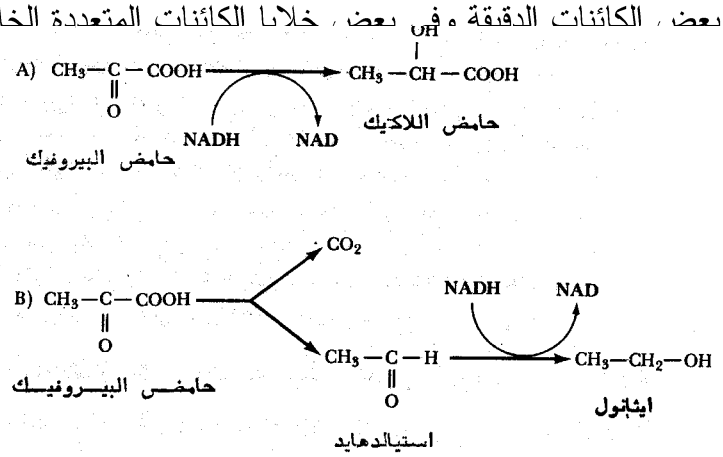
والفرق بين الطاقة المخزونة في جزيء الجلوكوز والطاقة المخزونة في جزيء حامض البيروفيك ليست كبيرة ، وفي الحقيقة فبتحويل جزيء واحد من الجلوكوز (ست ذرات كربون) إلى جزيئين من حامض البيروفيك (٣ ذرات كربون) فأن جزءاً بسيطاً من

طاقة الجلوكوز ينطلق ولكنه من الواضح أن كمية (ADP) التي انتجت أكثر من التي استهلكت . فقد استخدم جزيئان من (ATP) في المرحلة التحضيرية وتم انتاج أربعةجزيئات من (ATP) فالمحصلة هي الحصول على جزيئين من (ATP) لكل جزيء جلوكوز استهلك . والطاقة المتبقية من عملية التحويل أما أن تخزن في جزيئات (NADH) أو تنطلق إلى المحيط كحرارة .

التخمر: Fermentation

تتم الجلايكوولة في وجود الأكسجين أو غيابه ، فأذا لم يتوافر أكسجين فأن (NAD) يمكن استخدامه كعامل مؤكسد (مستقبل الكترونات) وفي غياب الأكسجين فأن نواتج الجلايكولة ، حامض البيروفيك وجزيئات (NADH) تتفاعل فيما بينها ، فيتم اختزال حامض البيروفيك أو أحد مشتقاته بواسطة (NADH) إلى حامض لاكتيك أو كحول أيثيلي وبالتالي فأن (NADH) يتأكسد وبالتتالي يعيد تكوين (NAD) الأنزيم المساعد اللازم للجلايكولة . وعندما يحدث هذا أن التسلسل الكيمياوي الداخلي الذي تم من الجلوكوز إلى النواتج مثل حامض اللاكتيك والايثانول يدعي بعملية التخمر.

أن اختزال حامض البيروفيك إلى حامض اللاكتيك (حامض من ثلاثة رات كربون) يحدث في بعض الكائنات الدقيقة وفي بعض خلايا الكائنات المتعددة الخلايا



الشكل (٦ ــ ١١) : عملية توليد مستقبلات الالكترونات اللاهوائية (ا) حامض اللاكتيك ينتج في خلايا الكائنات الراقية من حامض البروفيك وعن طريق الاختزال بواسطة نيكوتين اميد ادينين دينوكليوتيد الهيدروجين (ب) وفي خلايا الخميرة يكون حامض البروفيك ثاني اكسيد الكربون والاستيالدهايد . ومن خلال اختزال الاستيالدهايد بواسطة نيكوتيد اميد ادنين واينيوكليوتيد يتكون الكحول الايثيلي (الاثيانول) .

انقباض العضلات يحتاج إلى كمية معينة من الطاقة ، وهذه الطاقة تستخلص من جزيئات (ATP) التي هي ليست سوى نواتج أكسدة الجلوكوز فعادة ، يكون العامل المؤكسد هو الأكسجين الذي يزود من خلال عمل القلب والرئتين ، ولكن خلال فترات ذروة النشاط العضلي ، فإن كمية الأكسجين التي تحتاج إليها العضلات تزيد عن الكمية التي تزود بها ، وعندما يحدث هذا فإن خلايا العضلات مجبرة على إنتاج الطاقة بطريقة تخمر الجلوكوز (الموجود على شكل جلايكوجين في العضلات) ، فتحطيم الجلوكوز اللاهوائي إلى حامض البيروفيك إلى حامض اللاكتيك . والشعور بالحموضة والاجهاد في عملية ارهاق العضلات ناتج بشكل جزئي عن تراكم حامض اللاكتيك في العضلات.

أما في التخمر الكحولي الذي قد يحدث في الخلايا النباتية وفي عدد من الكائنات الرقيقة ، فإن الطريق الكيماوي لتحطم الجلوكوز إلى حامض اليروفيك.

هو نفس طريقة التخمر التي تتم في العضلات– ويكون الناتج النهائي جزيئين (ATP) ولكن مصير حامض اليروفيك يختلف ، إذ يتم إنتاج (NAD) من جديد بطريقة تقضي إلى الحصول على ثاني أكسيد الكربون وجزئ من الايثانول ولأن الخميرة تقوم بهذا النوع الأخير من التخمر عندما تحرم من كميات كافية من الأكسجين فهي تستعمل في إنتاج المشروبات الكحولية والمواد المخبوزة . ففي صناعة الخمور فإن الايثانول هو الناتج المهم ، أما تخمر العجين والخبز فيعتمد على الغاز الناتج من ثاني أكسيد الكربون من عملية التخمر .

التنفس الخلوي: Cellular respiration

في عملية التنفس اللاهوائي في الجلايكوله والتخمر ، فإن المركبات العضوية المعقدة تتكسر إلى مواد عضوية أبسط ، وبالتالي تنطلق الطاقة التي تستخدمها الخلايا للقيام بوظائفها الحيوية ، ولكنها أساسياً عملية غير فعالة لأن المواد الناتجة – حامض البيروفيك ، وحامض اللاكتيك والكحول الأثيلي– لا تخزن كميان معقولة من الطاقة مقارنة مع المواد التي استخدمت في البداية . وبكلمات أخرى فإن كميات بسيطة من الطاقة المخزونة في المواد التي بدأ التفاعل بها تنطلق كطاقة يمكن الاستفادة منها .

أن العملية الأكثر فاعلية هي تحويل المركبات العضوية تماماً إلى جزيئات ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وبالتالي أطلاق كميات كبيرة من الطاقة المخزونة وهي لا تشبه التخمر

ففي هذه العملية نحتاج إلى الأكسجين وتدعى هذه العملية بعملية التنفس الخلوي ، أنها أهم الطرق لإنتاج (ATP) في الحيوانات ومعظم الكائنات الدقيقة.

الفسفرة بالتأكسيد: Oxidative phospoylation

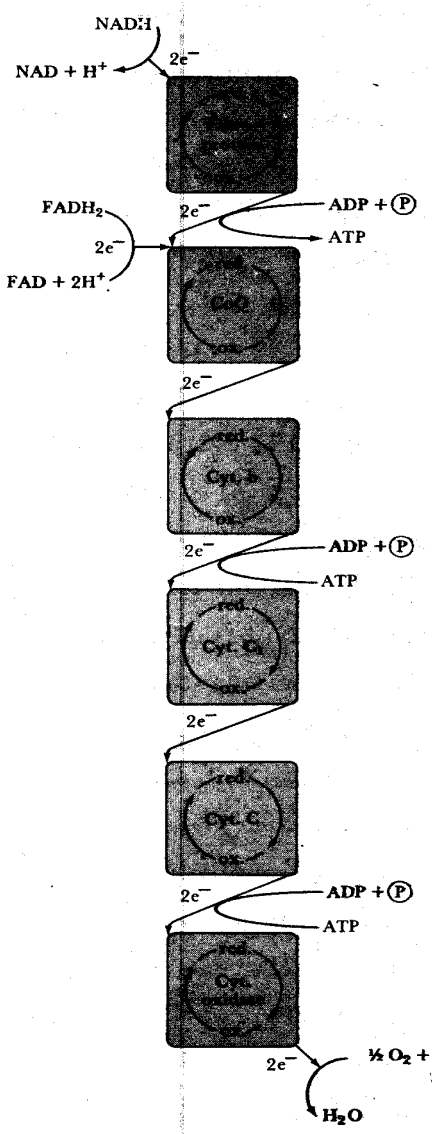
رأينا أن التخمر يحدث في غياب الأكسجين ، عندما يختزل حامض البيروفيك بواسطة (NADH) . وفي التنفس الخلوي يعمل الاكسجين مستقبلاً للانزيم المساعد . ومع هذا ، فإن (NADH) لا يتداخل مباشرة مع جزئ الأكسجين . فبدلاً عن ذلك فإن هناك عدة وسطاء ، نواقل ، معظمها سيتوكرومات ، تنقل الالكترونات من (NADH) إلى الأكسجين . وفي هذه الطريقة فإن الطاقة الناتجة من تفاعلات التأكسد تتحرر بالتدريج وتلتقط على شكل (ATP) من (ADP) وفوسفات غير عضوي . ولأن فسفرة (ADP) تزود بالوقوف الناتج من عملية تأكسد (NADH) . فإن هذا الجزء من التنفس الخلوي يدعى الفسفرة بالتأكسد .

وتتضمن عملية الفسفرة بالتأكسد تصنيع جزيئات (ATP) . وفي كلتا الحالتين فإن ذلك يحدث عندما يتم انتقال الالكترونات في النواقل الالكترونية . والفرق الرئيسي يبدو في أن المنبع الرئيسي للطاقة قد تم تحويله إلى (ATP) ، الذي يؤثر في المحصلة النهائية لكل عملية . أن الطاقة الضوئية تسبب نقل الالكترونات في عملية الفسفرة الضوئية . وبهذه العملية يتم بناء معظم المواد الخلوية التي تخزن الطاقة . وفي الطرق المقابل فإن تكسير المواد الخلية الغنية بالطاقة بعملية الأكسدة تدفع الالكترونات إلى المرور عبر النواقل الالكترونية منتجة الأكسدة الفسفرة ، وبالتالي لا يوجد أي تحويل للطاقة وبالتالي فالفعالية ١٠٠% . والمحصلة هي فقدان الطاقة المخزونة وبهذه الطريقة الأخيرة فإن الطاقة التي لم تفقد توضع للاستفادة بشكل سريع داخل الخلية .

وكما في عملية الفسفرة الضوئية فإن نظام نقل الالكترونات في عملية الفسفرة بالتأكسد موجود داخل العضية . أن الاجراءات التمهيدية لهذه الخطوة أي تفاعلات الجلايكولة تحدث في السيتوبلازم ولكن عملية الفسفرة بالتأكسد تتم في الميتاكندريا ولكل زوج من الالكترونات تم اطلاقه من (NADH) داخل الميتاكندريا يتم تصنيع ٣ جزيئات (ATP).

ومع هذا فكل جزيء من (NADH) يوجد خارج الميتاكندريا يعطي وحدات أقل مـــن (ATP). (NADH) لا يمكنه دخول الغشاء الخلوي للميتاكندريا وبالتالي فإن الجلايكولة تتم في السيتوب وبالتالي فإن (NADH) الناتج مفصول عن عملية الفسفرة بالتأكسد . وبالتالي يقوم (NADH) بنقل الكتروناته إلى نواقل الكترونية يسمح لها غشاء الميتاكندريا بالنفـــاذ ، وهذه النواقل هي التي تنقل الالكترونات إلى الميتاكندريا لتسمح بمرور جزيئات الأكسجين.

وهناك بعض الطاقة التي تفقد خلال نقل الالكترونات في السيتوبلازم وأخيراً تدخل



الشكل (٦ – ١٢) عملية التأكسد بالفسفرة . في البداية يتأكسد نيكوتين أميـــد اديئين دايتوكليوتيد الهيدروجين بواسطة فلافوبروتين وينقل الكترونـــــين الى اسفل خلال مستقلات تقوم بالاختزال – مساعد انزيـــم وسيتوكرومـــات اخرى – مـــــع انطلاق الطاقة في نقاط انتقال ثلاث لتكوين الاديتوسين الثلاثي الفوسفات . وهنـــاك بعطي الكترونات اضافي فعال في هذه العملية وهو فلافين ايماد اديـــين دايتوكليوتيـــد أميـــد اديئين دايتوكليوتيـــد اميـــد ادنـــين دايتوكليوتيـــد الهيدروين اقل من مستقبل يختزل الانزيم المساعد . وكذلك فان اول نقطة لانتاج الاديتوســـين الثـــلاثي الفوسفات وينتج جزيئات من الاديتوسين الثلاثي الفوسفات .

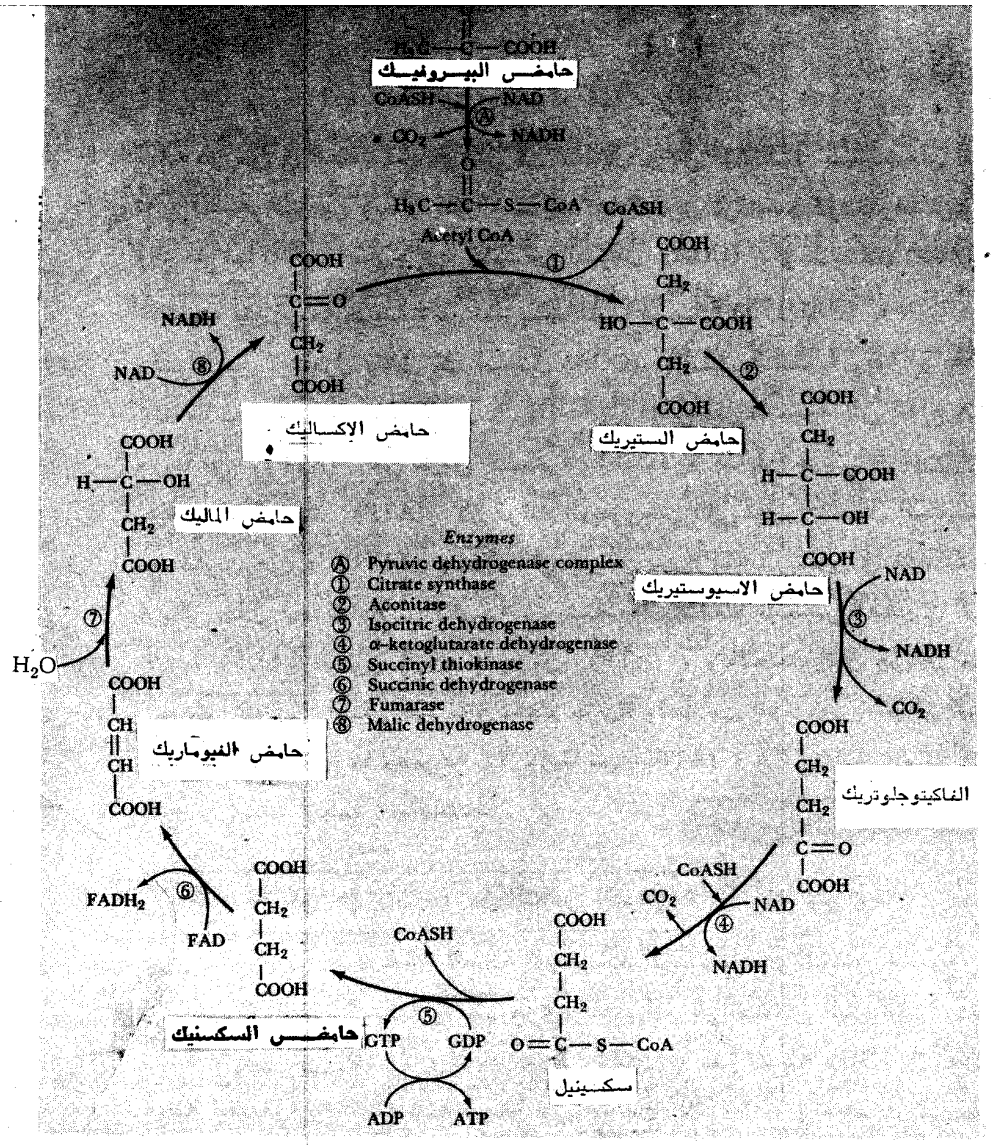
هذه الالكترونات نظام السيتوكروم في نقطة بعد تكون أول جزيء من (ATP) . وبالنتيجة فإن كل جزيء من (NADH) تكون خلال الجلايكولة يعطي جزئين من (ATP) في ظروف هوائية ثم تكون ٦ جزيئات من (ATP) خلال عملية تحويل الجلوكوز إلى حامض البيروفيك – اثنين من الجلايكولة وأربعة من عملية الفسفرة بالتأكسد .

حلقة كريبس (حلقة حامض السيتريك) The citric acid cycle

الآن يمكن أن نشاهد أنه في عمليتي التخمر والتنفس الخلوي ، يتم إنتاج (NAD) ليستعمل في الجلايكولة . ويمكن أن نلاحظ أن تحول السكر على حامض البيروفيك يتم في التنفس الهوائي واللاهوائي لإنتاج جزيئات (ATP) . ولكن جزيئين من (ATP) يتم انتاجهما في عملية تحطم الجلوكوز إلى حامض البيروفيك لا هوائياً في حين ان ستة جزيئات (ATP) تنتج في وجود الأكسجين ، اثنان من الجلايكولة لا هوائياً وأربعة من عملية نقل الالكترونات التي حررت من جزيئات (NADH).

بالإضافة على ذلك فعند وجود الأكسجين فإن نواتج حامض البيروفيك لا تتفاعل مع جزيئات (NADH) كما هو الحال في التخمر . وبدلاً من ذلك فإن المركب ذا ثلاث ذرات كربون يتحطم إلى ثاني أكسيد الكربون وبخاء الماء . وهكذا فإن كمية ٦٨٦ كيلو سعر مخزونة في جزئ الجلوكوز الأصلي ستنطلق ويستخدم جزء غير قليل منها في تكوين جزيئات (ATP) . أن التفاعلات الداخلية لتحطم حامض البيروفيك تحدث في الميتاكندريا . وبما انها حلقية وتبدأ وتنتهي في حامض السيتريك فإنها تدعى أحياناً بحلقة حامض السيتريك أو حلقة كريبس باسم العالم البيوكيماوي الإنجليزي سيرهانس كرب الذي كان أول من اكتشف هذه الطريقة الكيماوية المهمة.

وقبل الدخول في حلقة الستيريك فإن جزيئات حامض البيروفيك الناتجة من الجلايكوله تتحول إلى مركبين معقدين يدعيان (اسيتل مرافق (COA) (Aceyl COA) هو رمز للانزيم المساعد (A) الذي تحول من حامض البانتونيك ، فيتامين). وفي هذه العملية يتم انطلاق ثاني أكسيد الكربون والالكترونات ، ويتكون من ٦ جزيئات من (ATP) عن طريق الفسفرة بالتأكسد (نظام سيتوكروم). وبعد ذلك يتحد كل جزئ من أستيل مرافق (COA) مع مركب من أربع ذرات كربون ليكون حامض السيتريك ويحصل لهذا الحامض أكسدة عدة مرات . وفي نهاية دزرنيم في الحلقة فإن جزيئين من اسيتيل مرافق (COA) يتأكسدان إلى



الشكل (٦ ــ ١٣) : حلقة حامض الستريك . حامض البيروفيك لا يدخل الحلقة مطلقا وليس جزءا منها . انما يتحول أولا الى (استيك مساعد) بواسطة مجموعة انزيمات تدعى بيروفيك مزيل الهيدروجين وخلال عملية التحويل فان التركيب الثلاثي البروفيك يتأكسد لكون مركب من ذرتي كربون (مجموعة استيل) ويرتبط الانزيم المساعد أ مع مجموعة الاسيتيل ، وينطلق ثاني اكسيد الكربون ويتحول نيكوتين أميد ادينين دايتوكليوتيد الى نيكوتين أميد ادينين دايتوكليوتيد الهيدروجين ويدخل استيل مساعد أ الى الحلقة ويرتبط مع حامض الاوكساليك . وتنطلق مجموعة الانزيم المساعد أ ويتكون حامض الستريك ويتحول حامض الستريك الى حامض اسيوستريك باعادة ترتيب ذراته . وخلال تحول حامض الاسيوستريك الى حامض الفاكيتوجلوتريك يتكون ثاني اكسيد الكربون من الحامض الفاكيتوجلوتريك . ويلزم NAD و CoA كعوامل مساعدة، خلال استيل مساعدة. ويتكون [illegible] . ثم يضاف (GDP) وفوسفات غير عضوي ويتكون حامض السكسنيك وينطلق [illegible] ويتكون $FADH_2$. ثم تحذف ذرتا هيدروجين من حامض السكسنيك ويحملها FAD ليكون $FADH_2$ ويتكون حامض الفيوماريك . ثم يضاف الماء الى حامض الفيوماريك ليكون حامض المالك ثم يتأكسد حامض المالك ليكون حامض الاكساليك

ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء . ثم يتم اعادة تكوين المركب ذي الأربـــع ذرات كربـــون ويسمح لها بالاتحاد مع جزئ جديد من اسيتيل (COA). وخلال تفاعلات الأكسدة فإن أربعة جزيئات من الانزيمات المساعدة (NAD٣)، رايبوفلافين وتختزل مقابل كل اسيتيل (COA) يدخل الحلقة وبما أن هذه التفاعلات تتم في الميتاكندريا فإن ٦ (NADH) التي تكونت تعود إلى إنتاج ١٨ جزيئاً من (ATP) لأن ذرات الهيدروجين التي تحررها تـــدخل الحلقـــة بعـــد تكوين جزئ (ATP) . وكذلك فإن جزيئين من (ATP) تتكون في حلقة كريبس خلال أحد تفاعلات الأكسدة . ويضاف الفوسفات غير العضوي على جزئ (ADP) فيتكـــون جـــزئ جديد من (ATP) وبالاختصار فإن جزيئين من اسيتيل (COA) اللذين هما ناتج تحطم جزئ واحد من الجلوكوز) يمران عبر حلقة كريبس وينتج ما مجموعه ٢٤ جزيئـــاً مـــن (ATP) (١٨+٤+٢) منها ٢٢ تنتج من عملية الفسفرة بالتأكسد .

مقدار ما ينتج من (ATP) من التنفس الهوائي:

سنلخص الآن مركبات الطاقة الوسيطية التي تنتج من التنفس الخلوي في الجزء الأول من العملية يتحطم جزيء الجلوكوز إلى حامل البيروفيك منتجاً جزيئين من (ATP) وجزيئين من (NADH) . وأكسدة (NADH) خلال عملية الفسفرة بالتأكسد تنتج أربعة جزيئات من (ATP) وتحطم جزيئين من حامص ا لبيروفيك إلى جزيئين مـــن الاســـيتيل (COA) فـــي الميتاكندريا يعطي جزيئين . اضافيين من (NADH) وهذا يؤدي إلى إنتاج ٦ جزيئات من (ATP) . وأخيراً فإنه نتيجة لتحطيم جزيئين من الاسيتيل (COA) ، ينتج ٢٤ جزيئاً من (ATP) لكل جزئ من الجلوكوزو يحطم إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

أن الطاقة النافعة الناتجة من تحول جزيء من (ATP) إلـــى جـــزيء مـــن (ADP) تساوي ٧,٣ كيلو سعر . ولذلك ففي تحطم جزيء واحد من الجلوكوز في التنفس الهـــوائي ينتج حوالي ٢٦٢,٨ كيلو سعر تم خزنها على أساس طاقة كيماوية . وبما أن حـــوالي ٦٨٦ كيلو سعر مخزونة في جزئ الجلوكوز فإن فاعلية التنفس الهوائي هي حوالي ٣٨%.

إن إنتاج الطاقة من الكربوهيدرات ليست هي الطريقة الوحيدة في التنفس الخلـــوى ، بل يمكن استعمال بعض المركبات الوسطية لتصنيع المواد الحيوية المختلفة اللازمة للخلية . مثل الأحماض الدهنيةة والاحماض الأمينية ، أن عملية التنفس الخلوي تربط بين العمليـــات التي تتم على الكربوهيدرات بالاضافة إلى تحطم مركبات عضوية أخرى.

فمثلاً (PGAL) هو مركب وسطي في العمليات الحيوية للجلوكوز وللجليسرول الذي هو أحد مكونات الدهن . وعندما يتكون (PGAL) في العمليات الحيوية للدهون فإن باستطاعته دخول الجلايكوله في نفس النقطة التي يتكون فيها (PGAL) في العمليات التي تحدث على الجلوكوز وبعبارة أخرى فإن التفاعلات المتتالية التي تتم على الكربوهديرات لا يحتاجها الكائن الحي الذي لا يعتمد على الكربوهيدرات للحصول على الطاقة . فيمكن أن تؤخذ نواتج التحطم إلى نفس المسالك الكيماوية التي تتوافر فيها الكربوهيدرات وبالتالي يستفاد منها للحصول على الطاقة.

تحطيم الدهون والبروتينات:

أن الكربوهيدرات ليست المواد الوحيدة التي تستخلص الخلية منها الطاقة ولكن تكسير المواد الأخرى يتم باستخدام التفاعلاتت والمسالك التي تدخل فيها الكربوهيدرات فالدهون والبروتينات تدخل عمليات التكسير عند نقطة مختلفة ولكن الكربوهيدرات والدهون والبروتينات تلتقي جميعاً عند حلقة كريبس فالدهون تتحطم إلى أحماض دهنية وهذه الأحماض هي سلاسل خطية من ذرات الكربون يبلغ طولها بين ١٤-١٨ ذرة كربون . وهناك انزيم يدخل في عملية الأكسدة ويكسره إلى قطع تحتوي ذرتي كربون ، أما مجموعات الاسيتيل التي توجد مع (COA) فتكون اسيتيل (COA) . ثم تدخل هذه الجزيئات حلقة حامض السيتريك كما يدخلها تماماً اسيتيل (COA) الناتج من تحطم حامض البيروفيك من الجلوكوز .

أن مخلفات البروتين هي أكثر تعقيداً ، فهي تتحطم أولاً إلى مكوناتها من الأحماض الامينية ، وهي حوالي عشرين نوعاً أساسياً ، ثم يتم استبدال الاكسجين بكل نيتروجين في الحامض الاميني . ثم تتابع التفاعلاتت الانزيمية لتؤدي إلى فصل مجموعات الاسيتيل ثم تعد للنقل بواسطة (COA) . أن العشرين حامضاً أمينياً تتبع طرقاً متعددة عندما تحترق وهذا يحدهه تركيب هذه الأحماض

فمثلاً يتحول حامض الاسبارتيك عندما يفقد نيتروجينه إلى إكمال حـــامض الخليـــك وهـــو المركب الذي يحتوي على أربعة ذرات كربون ويتحد مع اسيتيل (COA) في حلقة حامص السيتريك ، الأنين يتحول إلى حامض البيروفيك وبالتالي يدخل مباشرة الطريق الذي تسلكه الكربوهيدرات .

أن الطاقة التي تستفيد منها الخلية يمكن أخذها من أي مصدر من مصادر الهدم ولكن بعضها يمتاز بأنه أكثر فاعلية من غيره ، أن تحطيم البروتين هـــو أضـــاعة للطاقـــة لأن النيتروجين في الأحماض الأمينية يلزم في تصنيع أحماض أمينية أخرى ، فعندما يســـتهلك النيتروجين من أجل فائدته للطاقة ، فأن النيتروجين الذي يعتبر عنصراً يحدد نمو الفرد يفقد بواسطة الافرازات . أن الدهنيات هي أكثر الطرق فاعلية للحصول على الطاقة في الخلية . أنها مختزنة أكثر من الكربوهيدرات والبروتينات أي أنها تعطي جزيئات أكثر من (ATP) . ولهذا السبب فأنها واسعة الانتشار في الخلايا للقيام بعملية التخزين .

ملخص الفصل السادس

يتحتم على الخلايا الحية أن تستخلص باستمرار طاقة من البيئة الحيطة بها لتقوم بواجباتها المتعددة ولتحافظ على حالاتها منتظمة . وتستعمل الكائنات ذاتية التغذية الطاقة الاشعاعية في تصنيع الجزيئات العضوية التي تختزن طاقة وضع كيماوية نافعة لكلتا الكائنات ذاتية التغذية وعضوية التغذية . وتتحرر طاقة الوضع الكيميائية كطاقة نافعة من خلال تفاعلات أكسدة واختزال منظمة أنزيمياً . وتعتبر الكائنات الهوائية التي تستخدم الأكسجين الجزيئي لتكسير الجزيئات العضوية تماماً أكثر كفاءة بالفطرة في استخلاص طاقة المواد الغذائية من الكائنات اللاهوائية التي لا تستطيع استخدام الأكسجين وبالتالي لا تستطيع تكسير الجزيئات العضوية تكسيراً تاماً .

والعمليات الاكسرجوينة هي تلك العمليات المنتجة للطاقة النافعة والعمليات الأندورجونية هي تلك العمليات المستهلكة للطاقة النافعة أما بتحويلها إلى طاقة وضع كيميائية جديدة (تخلق حيوي) أو بتحويلها إلى صور أخرى من الطاقة (مثل انقباض العضلات) . ويرتبط هذان النوعان من العمليات بمركب الـ (ATP) : فتستخدم التفاعلات الأكسرجونية لتخليق جزيئات (ATP) بينما تستطيع التفاعلات الاندرجونية الحصول على الطاقة بتكسير مركب الـ(ATP) في التفاعل الثاني ، وهناك ثلاث طرق لإنتاج الـ(ATP) . هي الفسفرة الضوئية والفسفرة التأكسدية والتخمر . وتوجد التفاعلات الكيميائية المنتجة للـ (ATP) في حجيرات خاصة تحت خلوية ، ومن الممكن نقل وحدات الـ(ATP) إلى أي جزء آخر في الخلية لسد الحاجات السريعة للطاقة .

أما على المستوى الجزئي ، فتقوم الأنزيمات بمساعدة وتنظيم جميع العمليات الكيمياوية البين خلوية . أن الأنزيمات هي بروتينات تؤثر في سرعة التفاعلات الكيماوية دون أن تدخل في تلك التفاعلات وذلك بواسطة تخفيض طاقة التنشيط- تلك الطاقة اللازمة لبدء التفاعل . وتتميز الانزيمات بتخصصها إلى حد كبير وقدرتها على تنظيم سرعة

التفاعلات بما يتفق وحاجة الكائن الحي . وتخصصها هو نتيجة تركيبها ، فالأنزيم له جانب نشط يميز المادة التي يعمل عليها والتي يتفاعل معها .

ويمكن تنظيم عمل الأنزيمات بواسطة مركبات أخرى ، بواسطة مثبطات ، وبه مواد تعمل على تقليل نشاط انزيمات معينة ، وبواسطة مرافقات الانزيمات ، وهي أشكال متغية من الفيتامينات تعمل باتحادها مع الأنزيمات في تفاعلات كيماوية معينة ، وبواسطة الهرمونات ، وهي مواد كيماوية خارج الخلية تنظم عمليات الأيض في الكائنات عديدة الخلايا . وهاك نوع من التنظيم يدعى التأكسد وفيه يثبط الناتج النهائي لسلسلة من التفاعلات بواسطة التأثير الالستوري على نشاط الأنزيم اللازم الأول تفاعل في السلسلة . وهو يلعب دوراً هاماً في توجيه كثير من العمليات الكيماوية الحيوية .

وتحدث عملية الفسفرة الضوئية خلال عملية التمثيل الضوئي ، وهي عملية تأكسد واختزال من خلالها تنتقل الالكترونات (وذرات الهيدروجين) من الماء (مطلقة الأكسجين) إلى ثاني أكسيد الكربون (لإنتاج الكربوهيدرات) . وينتج عن التفاعلات المضيئة جزيئات NADPH و (ATP) . وتستعمل هذه النواتج في التفاعلات المظلمة لاختزال ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات ومواد عضوية أخرى .

أن عملية التمثيل الضوئي ليست الطريقة الوحيدة لإنتاج الجزيئات العضوية من المواد غير العضوية . إذ أن بعض أنواع البكتيريا تستخدم عملية التمثيل الكيماوي . وهي عملية استخلاص الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية ليس من الطاقة الضوئية وأنما من تأكسد بعض المواد غير العضوية كالمواد النيتورجينية والكبريتية .

ويتم اطلاق الطاقة من خلال التحطيم الجزيئي للجزيئات العضوية بواسطة عمليتين هما التحلل الجليكولي والتخمر . وهاتان عمليتان لا هوائيتان يستخدم فيهما مرافق الأنزيم COENZYMES كعامل مؤكسد . ففي عملي الجلايكولة (التحلل الجليكولي) يتم تحطيم جزيء الجلكوز إلى حامض البيروفيك معطياً جزيئات (ATP) . أما في عملية التخمر فينج

نفس الكمية من جزيئات الـ(ATP) ولكن حامض البيروفيك يختزل إلى حامض اللاكتيك أو الكحول الأيثيلي ، ويتم أعادة توليد جزيء من (ATP) لتخمير جيء آخر من الجلوكوز .

ويحدث في التنفس الخلوي تحطيم كامل للمواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وذلك بسبب وجود الأكسجين الحر وينتج عن التنفس اللاهوائي جزيئان من (ATP) لكل جزيء واحد من الجلوكوز ، بينما تحدث الجلايكولة (التحلل الجليكولي) في السيتوبلازم .

ويتم نقل نواتج تحطيم المواد غير الكربوهيدراتية إلى المسالك التي تسلكها الجلايكولة والطرق الهوائية (التنفسية) . فتتحطم الدهون إلى أحماض دهنية ، وتنطلق جزيئات تتألف من ذرتين من الكربون عبر تفاعلات الأكسدة ، وتتحد هذه الجزيئات مع "الأنزيم المرافق" ومن ثم تدخل الجزيئات الناتجة دورة حامض السيتريك (حلقة كريبس) . وتعتبر الدهون مدصراً فعالاً للطاقة إذ أن كمية معينة من الدهن تختزنطاقة وضع كيماوية أكثر من كمية مساوية من أية مادة أخرى . أما ألأيض البروتيني فهو عملية معقدة ومصدر هدر من الطاقة أساسياً ، ويترتب على عملية تحطيم البروتين إلى مواد قادرة للدخول قادرة للدخول في دورة حامض السيتريك (حلقة كريبس) فقدان النيتروجين اللازم لتكوين البروتين.

نظرة فاحصة

الأكسجين والتمارين الرياضية

Oxygen and Exercise

قبل بضع سنوات قام الدكتور كينثيت كوبر (Kenneth Cooper) بتأليف كتاب سماه (Aerobics) (التمرينات الهوائية) ووضع للعامة فيه بعض المعلومات عن مبادئ التمرين المألفوة للرياضيين في بعض أنواع الرياضة على مدى سنوات . وبذا أصبح التمرين الهوائي واللاهوائي مسألة يهتم بها جمهور كبير ، فركاب الدرجات الهوائية ، وسباحو المسافات الطويلة وعداءو المسافات الطويلة أصبحوا غير غرباء عن عالم الرياضية . بل أصبحوا في مكان ومركز أكثر أهمية .

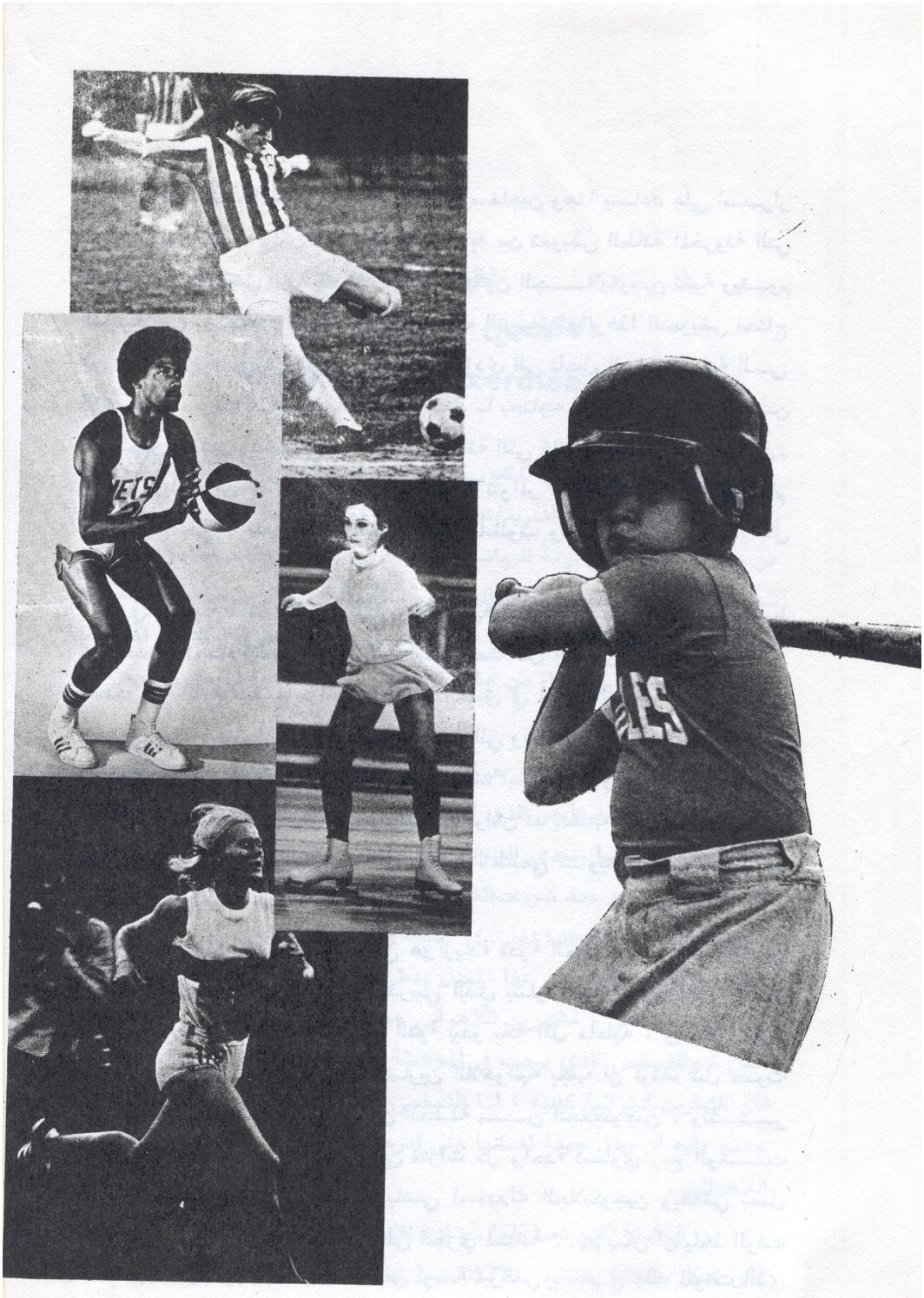
ماذا يقصد ماماً بتمرين هوائي أو لا هوائي ، وما قيمة هذا المهفوم؟ أن التمرين الهوائي أساسياً هو الذي لا يحتاج إلى أكسجين أكثر مما يزود به الجسم العضلات . وعندما يتعدى التمرين هذا المفهوم وينسحب من الطاقة المخزونة فأنه لا هوائي . أن عدد ضربات القلب هو المؤشر الأساسي فيما إذا كان الشخص يتدرب هوائياً أو لا هوائياً فأن ١٤٠ نبضة في الدقيقة أو أقل تعطي دلالة على تمرين هوائي وأي عدد أعلى من هذا المعدل يعطي دلالة على أن ا لتمرين أصبح لا هوائياً . وبالتالي ، فالتمرين اللاهوائي هو نفس التمرين الهوائي ولكن بسرعة أعلى ، وللشخص الذي يرغب في المحافظة على مظهره أو في أن يفقد وزنه فأن التمارين الهوايكة كافية ، أما الشخص الذي يرغب في زيادة قوته وقدرته فيجب عليه أنيبذل جهداً أضافياً حتى لدرجة الأرهاق أو التألم من التمرين اللاهوائي .

أن العضلة التي تعمل لها مصادر ثلاثة للطاقة ، أولها احتراق الطعام على شكل جلوكوز لإنتاج (ATP) من تفاعلات الجلايكولة ، وحلقة حامض كرياتين الفوسفات العالي الطاقة ويدعى فوسفاجين وهذا يساعد على استمرار عمليها بشدة أكبر . ولكن آجلاً أو

عاجلاً لا بد من تعويض الطاقة المخزونة التي استهلكت . فحامض اللاكتيك يبدأ في البنـــاء ليكون الجلايكوجين ثانية ويقوم الفوسفاجين باستعادة مجموعات الفوسفات التي فقدتها وهـــذا التعويض يحتاج إلى الأكسجين . ولهذا فالتمرين اللاهوائي يؤدي إلى تأجيل الحاجـــة إلـــى الاكسجين . ويبدا الأنسان بالتدريج بناء ما يحتاجه من الطاقة الناتجة عن الأكسين – ديـــن أكسجيني– ليعوض الطاقة التي كانت مسحوبة من المخـــزون . وعنـــدما يزيـــد ا لـــدين الأكسجيني فأن العضلة لا تتوافر لها الطاقة اللازمة للقيام بعملها وبالتالي لا تقدر على القيام بالعمل المطلوب وتصاب بحالة من الأرقها والأجهاد .

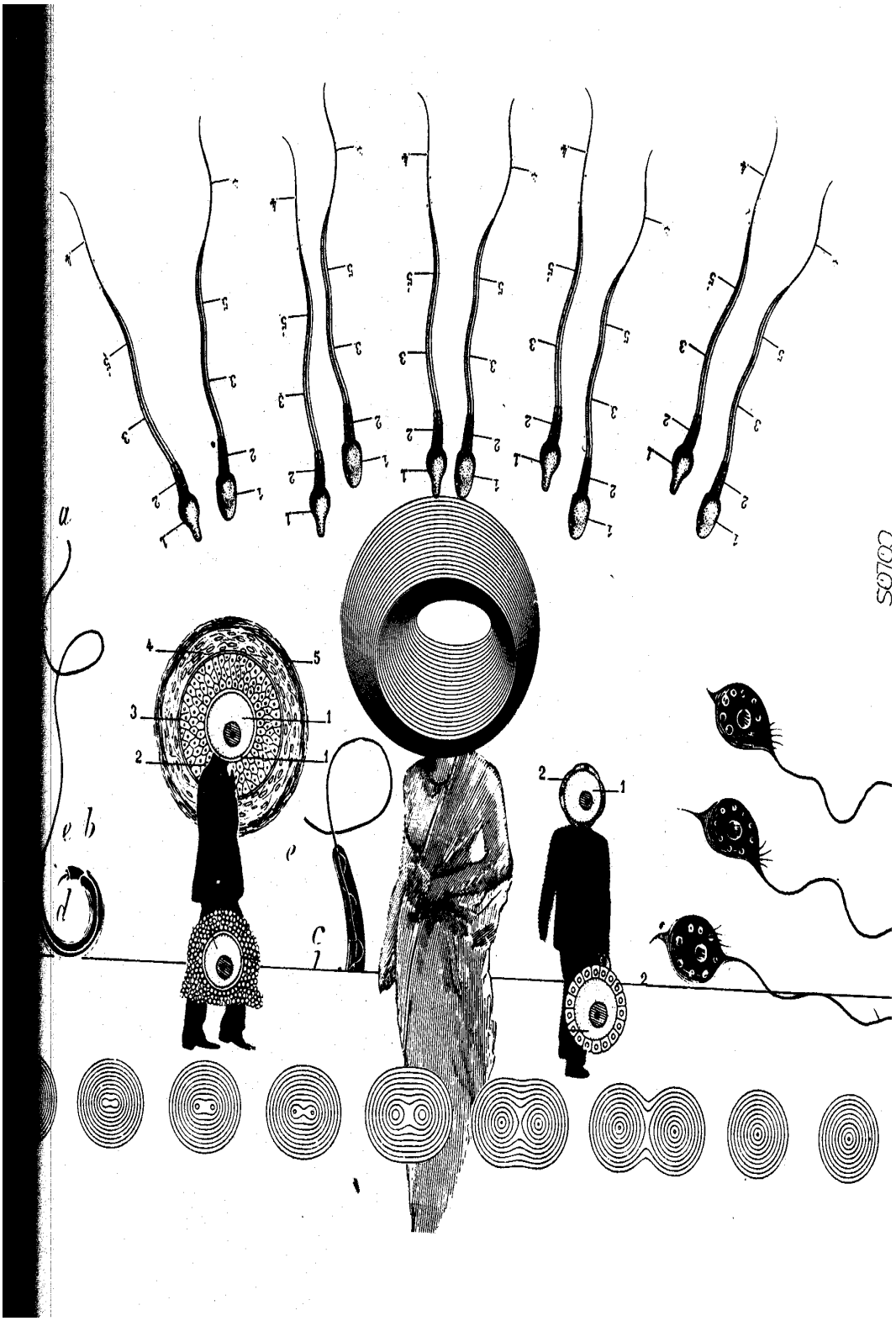
في البداية ، فأنه حتى التمارين الهوائية تتسبب في دين أكسجيني بسيط كي يحـــدث الأحماء ليضع المتمرن إلى أُقصحى حالة من التنفس . ولكن هذا الدين يسدد عنـــد القيـــام لبضع ثواني بالتنفس العميق في نهاية التمرين– أن التعب الحقيقي يحدث عندما يقوم المـــرء بتمرين لا هوائي ويستمر فيه لحد يصبح جميع المسموح به من الجلايكوجين والفوسفاجين قد استعمل ، وعندما يحدث هذا فأن الفوسفاجين يمكن أن يعاد خزنه بسرعة ولكن قد يتطلـــب الأمر ساعة أو أكثر حتى يعود مستوى الجلايكوجين إلى وضعه الطبيعي– ويتاح للعضـــلة المرهقة أن تسترد قواها .

والهدف من التمرين اللاهوائي هو زيادة قدرة العضلة على الاســـتفادة مـــن الطاقـــة المخزونة ولكن البرنامج التدريبي الذي يتناوب فيه العمل حتى الأجهاد والتعب مـــع ســـاعة راحة لاسترداد القوة يبدو بأنه أقل فاعلية . وبشكل عام يقول الخبراء في هـــذا المجـــال أن التمارين اللاهوائي يجب أن توقف قبل حدوث الأرهاق حتى لا تستعمل كل مخزون العضلة من الجلايكوجين . وتشير الدراسات بتقسيم فترة التمرين إلى فترات كل واحدة تساوي ربع الوقت المخصص للتمرين حتى يتجنب الرياضي استهلاك الجلايكوجين وبالتالي يعمل فتـــرة أطول . فمثلاً عداء يتدرب على الجري لمسافة ٤٠٠م يمكن أن يأخذ الوقـــت الـــذي يريـــد الوصوف فيه فيقسمه على أربعة فيركض ١٠٠م في ذلك الوقت الذي اختاره وهكذا وبهذه



اختاره وهكذا وبهذه الطريقة فإنه في أربع ساعات تمرين قد ركض ٣٦٠ مـــرة قاطعـــاً مسافة تبلغ ٣٦,٠٠٠ متر، فإذا مارس أن يركض ٤٠٠م كاملة في الوقت المحـــدد فإنـــه سيخضع إلى دين أكسجيني وعليه أن يرتاح لمدة ساعة على الأقل قبل أن يعاود الكـــرة. وخلال أربع ساعات فإنه لا يقوم بالركض إلا ثلاث مرات. أي ما مجموعه ١٢٠٠م. أن مسافة المئة متر هي قصيرة جداً فلا يحتمل أن يحتاج إلى المخزون من الطاقة. وبالتالي فإن هناك ديناً بسيطاً بعد كل مرة من الركض. وبعدها يكون المتسابق جاهزاً للبدء ثانية.

وهناك مزيج من التمرين الهوائي واللاهوائي يظهر عندما يحتـــاج إلـــى الجهـــاز العصبي لينظم عمل العضلات لاستعمال أقل من الطاقة لأي نشاط معطى ولخـــزن هـــذه المعلومات التنظيمية في ذاكرة البنك الدماغي. ولكن كيف يتم حدوث هذا، فلا أحد يعمـــل أن معلوماتنا لا تزال سطحيةة عن كيفية عمل العضلات، ولماذا تعمل. ولكن التمرين نافع على كل حال من الناحية البيوكيميائية.


a
b
c
d
e
f
g
1
2
3
4
5

الفصل السابع

مضاعفة الخلية

Cell Replication

"تنشأ كل الخلايا من خلايا أخرى"، هذه هي المعادلة التي قدمها العالم فيرتشو (Virchow) عام ١٨٥٨، فأصبحت فيما بعد حجر الزاوية للنظرية الخلوية المتطورة، ثم حظيت بالإثبات الذي قدمته تجارب باستور (Pasteur) في أوائل الستينات من القرن التاسع عشر. أن القدرة على التكاثر أمر، كما رأينا في الفصل الأول، يتركز حوله أحسن تعريف للحياة يمكن أن يقدم. تتكاثر كل الخلايا بالانقسام إذ تنقسم الخلية الواحدة لخليتين. ونظراً لأنه حتى أبسط خلية هي كيان معقد التنظيم، يقوم باستمرار بمئات من التفاعلات الكيميائية المعقدة، فإن انقسام خلية ما لتكوين خليتين متطابقتين ليست عملية بسيطة، مثل انقسام بلورة، إلى بلورتين صغيرتين متشابهتين.

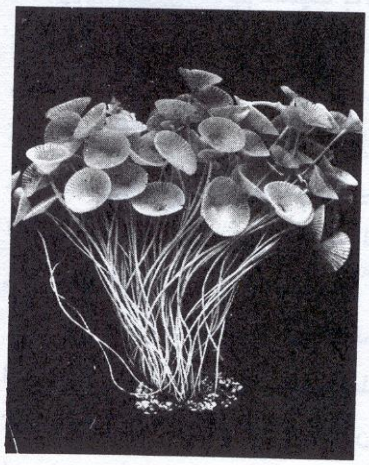
أن مجموعة واحدة من الخطط الكيميائية الرئيسية الموجودة في نواة الخلية الحقيقية تتحكم بكل أنشطة الخلية وكل صفاتها. ولقد تم تبيان ذلك بتجارب كثيرة. فإذا أزيت نواة حيوان أحادي الخلية، مثلاً، فإن ذلك الكائن يمكن أن يعيش لأسبوع أو أكثر، ويمكن أن يعمل بشكل عادي في البداية.

يبدو أن العمليات الحيوية لذلك الكائن تستمر تحت تأثير إنزيمات لا تزال في الخلية، وأنتجت بما يتفق والتعليمات السابقة من النواة، ولكن بعد أيام قليلة يبدأ الكائن بفقدان قدرته على القيام بنشاطات حيوية مثل التغذية، والحركة، وبالتالي فإنه يموت. وما يجعل هذا الأمر مهماً هو أن هذه العملية قابلة للانعكاس: فإذا زرعت نواة جديدة

بسرعة كافية، فإن الحيوان يمكن أن يستمر بنشاطه (العادي) كأن شيئاً لم يحدث.

لقد بينت تجارب أخرى أنه حتى تركيب الخلية تفرضه النواة . ولقد بين ذلك بواسطة مجموعة تجاب قام بها جواكييم هامرلينج (J.Hammerling) لقد اشتغل هذا العالم بنوعين من الطحالب الكبيرة أحادية الخلايا.

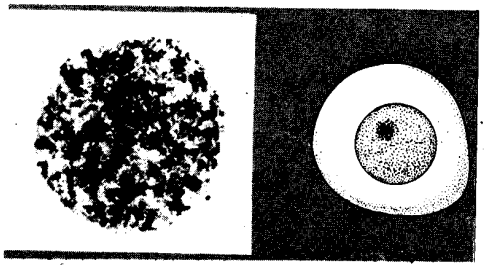
لهذه الخلايا "تاج" فوق عنق طويل مدعم بقاعدة كالجذر تحتوي على نواة الخلية. وهناك نوعان من هذه الطحالب: أولهما Acetabularia Mediterranea التي لها تاج شبيه بالشمسية، والثاني (Acetabularia Crenulata) التي ينقسم تاجها على بتلتين. وهذه الطحالب قادرة على تجديد تاجها إذا كسرت أعناقها. وقد نجح هامرلنج في تطعيم قطع من عنق أحد النوعين على قواعد مفصلة من النوع الآخر. وهكذا استطاع إنتاج نوعين من الهجين بدون تاج، لكل منهما قاعدة (بها نواة) من نوع، وعنق من نوع آخر. ولكن التيجان التي ظهرت لهذين الهجينين، على الرغم من أنها نمت فوق قمم الأعناق، بل أنها عكست طبيعة النواة في القاعدة: فنويات النوع الثاني أنتجت تيجانه المميزة ونويات النوع الأول أنتجت تيجانه بغض النظر عن طبيعة العنق.



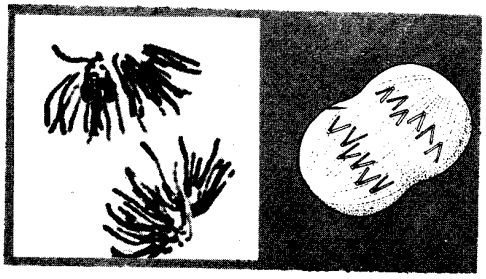
(الشكل ٧ ــ ١) : الطحلب ذو الخلية الواحدة *Acetabularia mediterranea* وهو يوجد في مياه البحر الدافئة . يطفو الجزء الشبيه بالقبعة بالقرب من سطح الماء ، بحيث يلتقط الضوء لكي تتمكن النبتة من القيام بالتمثيل الضوئي .

فالتكاثر اذا يعتمد على طريقة لتوزيع خطط الخلية الرئيسية بحيث يستلم كل كائن جديد كل المعلومات الحيوية . فبهذه الطريقة فقط يمكن المحافظة على

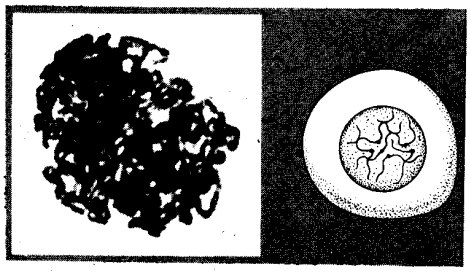
فالتكاثر إذاً يعتمد على طريقة لتوزيع خطط الخلية الرئيسية بحيث يستلم كل كائن جديد كل المعلومات الحيوية. فبهذه الطريقة فقط يمكن المحافظة على الاستمرارية الوراثية من أجل



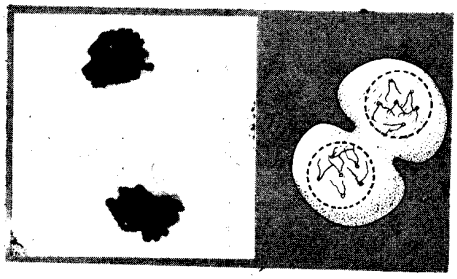
الطور البيني ــ لا تقـــوم الخلية في هذا الطور باية عملية انقسام على الاطلاق .



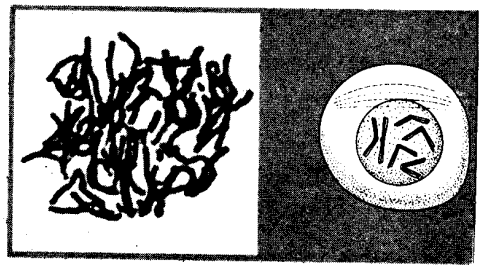
الطور الانفصالي ــ ترحل الكروموسومات الوليدة باتجاه كل قطب مغزلي .



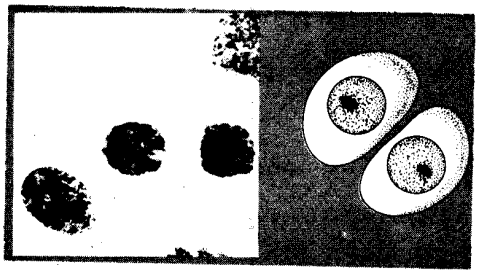
الطور التمهيدي المبكر ــ تبـــــدو الكروموسومات واضحة كخيوط داخل النواة .



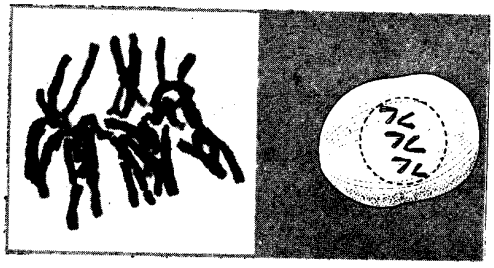
الطور النهائي ــ عند الاقطاب المغزليـة المتواجهة تنحل الكروموسومات ويعاد تكويـن الغشاء النووي .



الطور التمهيدي المتوسط ــ يبدأ تكويـن المغزل ، ويختفي الغشاء النووي .



خلايا وليدة ــ لكل من الخليتين الجديدتين نفس عدد الكروموسومات الموجود في الخليـة الام .



الطور الاستوائي ــ تنتظم الكروموسومات على خط الاستواء ، وتتصل الخيوط المغزليـة بالسنترومیرات .

الشكل (٧ ــ ٢) في هذه المجموعة مـــن الصور ، ثبتت الخلايا التي تقـــــوم بالانقسام الخلـــوي في الكحول وحمض الخليك . وتزيل هـذه العملية الكثير مـــن السيتوبلازم ، بحيـث تجعل الاغشية اكثـــر بروزا .

جيل لآخر. وجوهر الانقسام الخلوي هو تسلسل معقد ومنتظم لأحداث تؤمن التوزيع المناسب لهذه المادة الوراثية للخلايا الناتجة.

الانقسام الخلوي المباشر Mitotic cell division

تسمى العملية التي يتم بواسطتها إنتاج خليتين متطابقتين من خلية أم، بالانقسام الخلوي المباشر. ويتم التكاثر اللاجنسي للكائنات المكونة من خلية واحدة عن طريق الانقسام المباشر. وهذه العملية ضرورية للنمو والتجديد في النباتات والحيوانات المتعددة الخلايا. وتنمو الأجنة من بويضة مخصبة بواسطة الانقسام الخلوي. وعندما تهرم وتموت خلايا الأنسجة في الكائن الناضج فإنه يستعاض عنها بانقسام مباشر لخلايا أخرى.

الانقسام المباشر Mitosis

يشمل الانقسام الخلوي عمليتين: انقسام سيتوبلازم الخلية لخلق خليتين جديدتين، ويسمى هذا بانقسام السيتوبلازم (Cytokinesis). أما لب الانقسام الخلوي فهو خلق نواتين جديدتين متطابقتين لهاتين الخليتين، للتأكد من أن لكل منهما نفس المعلومات الوراثية الموجودة في الخلية الأم. وحملة هذه المعلومات بداخل النواة هي الكر وموسومات. وحتى الخلايا الأولية التي تفتقد نويات واضحة فإنها تحمل مادتها الوراثية على كروموسوم مستدير، وتتضاعف الكر وموسومات نفسها قبل البدء بالانقسام، بحيث تكون مجموعة كاملة جاهزة لكل من الخليتين الناتجتين. وبهذا يكون الانقسام المباشر مجموعة من الخطوات تتم فيها تصنيف الكر وموسومات، وفصلها، ثم توزيعها على النواتين الجديدتين.

الكروموسومات: (Chromosomes)

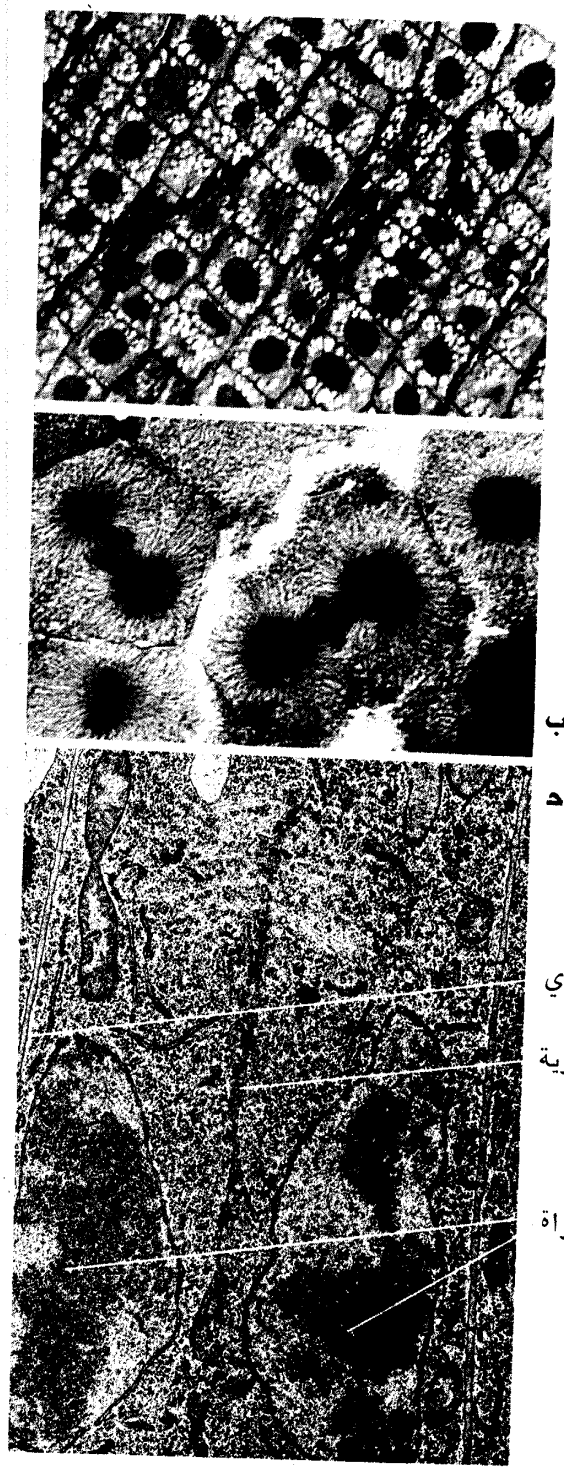
لا ترى الكر وموسومات كأجسام واضحة تحت المجهر الضوئي، الا عند الانقسام ، ولكن بمساعدة بعض الأصباغ يمكن للمشاهد أن يرى خيوط داكنة تدعى كروماتين (Chromatin) تعطي للنواة مظهراً حبيباً. وتتكون هذه الكر وموسومات شبه الخيطية إلى حد كبير من حمض (DNA) الجزيء الطويل الذي يحتوي على رموز المعلومات الوراثية الحقيقية للخلية، تبدأ خيوط الكروماتين بالتكيف عند بدء الانقسام، ثم تلتف وترتد

مثل شريط مستقبل الهاتف وتكون الكروموسومات لا تزال طويلة ونحيفة عندما تبدأ بالظهور في مراحل الانقسام الأولى. ولكنها قد قصرت إلى حد يكفي لأن تظهر كأنها شرائط منفصلة. وباستمرار عملية الانقسام تصبح الكروموسومات أقصر وأكثر كثافة. وفي هذه المرحلة تظهر تحت قوة تكبير عالية. أن كل كروموسوم يتكون من شريطين، متصلين ببعضهما بجزء أصغر يسمى سنترومير (Centromere) له مكان محدد على كل كروموسوم، أحياناً قرب الوسط، ولكن غالباً قرب أحد الطرفين. ويسمى الشريطان كروماتيدين (Chromatids) وهما متطابقان لأنهما نتيجة عملية المضاعفة التي حدثت قبل بدء الانقسام. وهذه الكروماتيدات هي التي يجب أن تنفصل لتكون كروموسومات النويات الجديدة.

ومن أجل سهولة الوصف قسمت عملية الانقسام إلى أربع مراحل، تتصل بأحداث معينة تحدث بداخل النواة. وأسماء هذه المراحل هي التي أعطاها العالم فلمنج (Flemming) الذي درس عملية الانقسام بالتفصيل خلال الجزء الأخير من القرن التاسع عشر، وهي الطور التمهيدي (Prophase) والطور الاستوائي (Metaphase) والطور الانفصالي (Anaphase) والطور النهائي (Telophase) ولكن يجب أن نذكر أن العملية متصلة، بدون أية حدود واضحة بين هذه الأطوار.

الطور التمهيدي: Prophase

يبدأ الطور الأول من الانقسام بظهور الكروموسومات كخيوط واضحة تحت المجهر. وتقصر الكروموسومات تدريجياً من الطور التمهيدي إلى الطور الاستوائي حيث يبلغ الانقباض ذروته. وبنفس الوقت، تحدث تغيرات أخرى داخل الخلية، ففي خلايا الحيوانات والنباتات الدنيا، يتحرك السنتريولان إلى الأطراف المضادة للنواة، حيث تعمل كأقطاب للجهاز الانقسامي عند ابتداء تكوينه. ويتكون هذا الجهاز من شبكة من خيوط الأنابيب الدقيقة. فتصل خيوط متصلة بين السنتريولين لتكون المغزل (Spindle) وأخيراً تتكون خيوط كروموسومية ، لتربط بين سنترومير الكروموسوم والسنتريولات. (تفتقد خلايا النباتات العليا وبعض اللافقاريات السنتريولات ولكنها تكون خيوطاً مغزلية). وتختفي النويات خلال مراحل الطور التميهدي المتأخرة. وينتهي هذا الطور بأنهيار الغشاء النويي، وبذلك لا تكون الكروموسومات معزولة عن السيتوبلازم.



الشكل (٧ ــ ٢) : تظهر الصورة العليا شريحة من نسيج جذر بصل ، خلاياه في مراحل مختلفة من الانقسام الخلوي .

وتظهر الصورة الوسطى خلايا جنين سمك ، وتبدو فيها الصفيحة الاستوائية والخيوط المغزليه واضحة .

وتظهر الصورة السفلى نوعا اخر من خلية جذر نباتية في اخر انقسام . وتبدو النواتان منفصلتين كليا ، ويوجد غشاء نووي متكامل حول كل منهما . والخلية الان في عملية انقسام سيتوبلازم الخلية الاصلية بين النواتين الوليدتين . وخلال عملية انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية تبدأ صفيحة خلوية واضحة بالتكوين ، لتفصل الخلويتين الوليدتين . ويبدو بان الصفيحة الخلوية تتكون عندما تبدأ حويصلات صغيرة داخل السيتوبلازم بالانقسام .

وفي الصورة ، يمكن رؤية حويصلات مبعثرة على كلا طرفي الصفيحة الخلوية . وتصبح الصفيحة الخلوية الطبقة الوسطية . وانقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية اكثر بساطة ويشتمل على تخصر الغشاء البلازمي

الطور الاستوائي (Metaphase)

تتحرك الكروموسومات في هذا الطور باتجاه المنطقة الوسطى من الخلية وتصبح منتظمة على خط الاستواء. ويبين منظر رأسي لخلية حيوانية الكروموسومات في شكل شعاعي، بحيث تكون السنتروميرات متجهة للداخل، وأذرع الكروموسومات إلى الخارج. وخلال هذه المرحلة تتصل خيوط الكروموسومات من كل قطب بالسنتروميرات. وفي نهاية هذا الطور تنقسم السنتروميرات، وتصبح الكروماتيدات كروموسومات منفصلة.

الطور الانفصالي Anaphase

خلال هذا الطور تتحرك مجموعة من الكروموسومات الجديدة باتجاه كل قطب للمغزل. ويبدو أن الكروموسومات تسحب باتجاه القطبين كلما قصرت الخيوط الكروموسومية. هذا وأن عملية التقصير لا زالت غير معروفة. وإذا كسر كروموسوم، فإن الجزء بدون سنترومير لا يتحرك باتجاه القطب.

الطور النهائي: Telophase

يبدأ هذا الطور بوصول الكروموسومات إلى أقطاب المغزل المتواجهة، حيث ستبدأ النويات الجديدة بأخذ شكلها. والعمليات التي تتم هي عكس التغيرات التي تتم خلال الطور التمهيدي. وتصبح الكروموسومات مفككة وتتكون أغشية نووية جديدة، وتظهر النويات من جديد ت وتتضاعف السنتريولات ت وتختفي خيوط جهاز الانقسام ن ويعتبر الطوران النهائي والانفصالي أطول مراحل الانقسام إذ أنهما سوياً يكونان حوالي ٨٠% من العملية. أما الطور الاستوائي فإنه أقصر طور في الدورة ت ويأخذ ٥%- ١٠% منها.

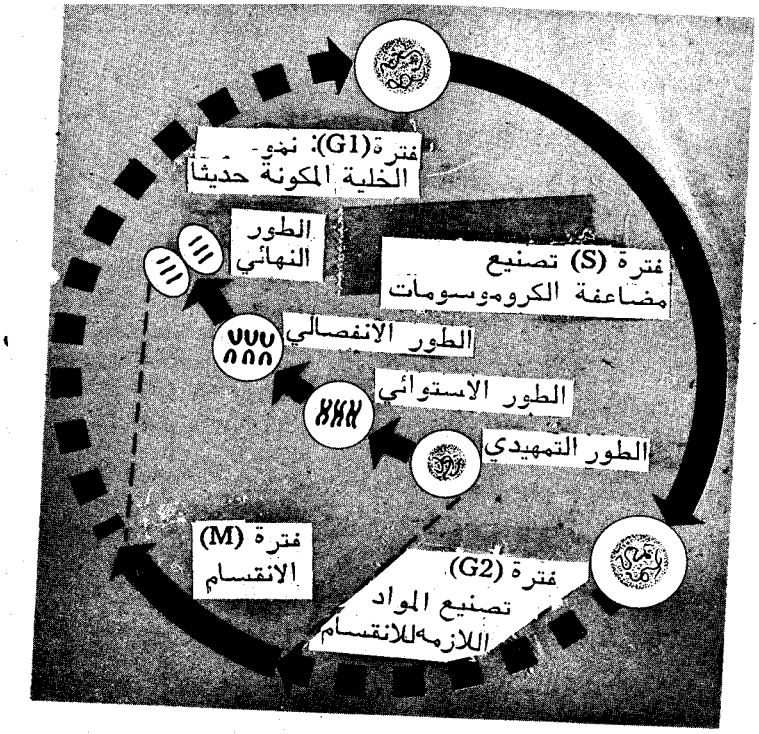
انقسام السيتوبلازم Cytokinesis

يمكن أن يبدأ انقسام السيتوبلازم خلال الطور الانفصالي أو النهائي ولكنه يكتمل خلال الطور النهائي . يضيق الغشاء البلازمي ، في خلايا الحيوان إلى الداخل إلى أن

ينقسم السيتوبلازم كلياً . وفي النباتات يبدأ حاجز مضاعف من الغشاء البلازمي في التكوين في وسط الخلية ثم يستمر هذا الغشاء بالنمو باتجاه الخارج ليتم انتهاء عملية الانقسام . وعند هذا يبدأ بتصنيع الجدار الخلوي في الحيز الموجود بين الغشاءين المتوازيين.

الدورة الخلوية The Cell Cycle

تتم احداث الانقسام الخلوي ضمن اطار أكبر يدعى الدورة الخلوية . فالخلية التي تكونت حديثاً بالانقسام ، تنمو وتحضر للانقسام ثم تنقسم بدورها . وبعض الخلايا تنمو إلى أن تبلغ ضعفي حجمها الأصلي قبل أن تنقسم ثانية ، ليكون لها حجم الخلية الأم عند انقسامها. ويتغير طول هذه الدورة من كائن لآخر، ومن نسيج لآخر، ويمكن أن لآخر،



الشكل (٧ ــ ٤) : يبين هذا الشكل الدورة الخلوية . تسمى المرحلة الاولى من الدورة ذات الاربعة اجزاء والتي تمر بها كل الخلايا الحقيقية بفترة النمو الاولى(G1) . وخلال هذه الفترة تنمو الخلايا الوليدة لتبلغ الحجم المتكامل . ثم يتبع ذلك مرحلة التصنيع (S) ، حيث يضع الحمض النووي DNA والبروتينات الكروموسومية . وخلال المرحلة التالية (G2) تصنع جزيئات خاصة لازمة في انقسام الخلية . وبعد ذلك تدخل الخلية المرحلة التالية (M) ،

ويمكن أن يتأثر بعوامل خارجية مثل درجة الحرارة فهنالك بعض الكائنات أحادية الخلايا التي تضاعف عددها كل بضع ساعات . وتحتاج الخلايا الأولية وقتاً أقل لدورتها . فبعض البكتيريا ، مثلاً ، تنقسم كل ٢٠ دقيقة تحت ظروف ملائمة ، وتنقسم خلايا جنينية لبعض الكائنات ثلاث مرات في الساعة خلال مراحل النمو المبكر .

ومن ناحية أخرى ، تحتاج الخلايا العضلية المخططة في الإنسان إلى يومين أو ثلاثة بين الانقسامين ، وتنقسمخلايا بعض النباتات مرة في الأسبوع . وهنالك خلايا متخصصة في كائنات متعددة الخلايا تستمر في العمل خلال حياة الكائن دون أن تتكاثر بالمرة . فخلايا الجهاز العصبي المركزي في افنسان ، مثلاً ، لا تنقسم بعد نضجها ، ولكن هذه الحالات غير مثالية ، إذ أن معظم الخلايا تنقسم ، ويتراوح طول الدورة لمتوسط الخلايا بين ١٠ و ٢٤ ساعة .

الطور البيني Interphase

تسمى المرحلة التي لا تنقسم فيها الخلية بالطور البيني Interphase وهي أطول من مرحلة الانقسام نفسه التي تتراوح بين ساعة وساعتين ، وبهذا فهي لا تتعدى نسبة ٥% إلى ١٠% من الدورة الخلوية . ويشار إلى الطور البيني أحياناً بحالة (الراحة). ولكن هذه عبارة غير مناسبة . إذ أنه خلال هذا الطور تقوم الخلية ليس فقط بنشاطاتها الاستقلابية العادية بل تنمو وتحضر للانقسام أيضاً.

ويمكن تقسم الطور البيني إلى ثلاث مراحل: واحدة تلي ولادة الخلية الجديدة مباشرة ويشار إليها بحرف (G١) يلي ذلك مرحلة يتم فيها مضاعفة كروموسومات الخلية . ولا يمكن رؤية أي شيء من هذه العملية تحت المجهر ، ولكن يمكن مشاهدة تقدمها بوسائل كيميائية . ويستمر النمو خلال هذه المرحلة التي يشار إليها بحرف (S) وتصنع جزيئات البروتينات في السيتوبلازم والحمض النووي (DNA) في النواة لتكوين كروموسومات جديدة . ثم يتبع ذلك مرحلة أقصر يشار إليها رحف (G٢) . ولا تكبر الخلية خلال هذه المرحلة لأنها بلغت حجمها الكامل ، ولكن تصنيع بعض الجزيئات اللازمة لعمليات التكاثر يستمر . وبانتهاء مرحلة (G٢) تنتهي عملية الانقسام الخلوي (M) لينتج عن ذلك خليتات وليدتان . وتبدأ الدورة من جديد.

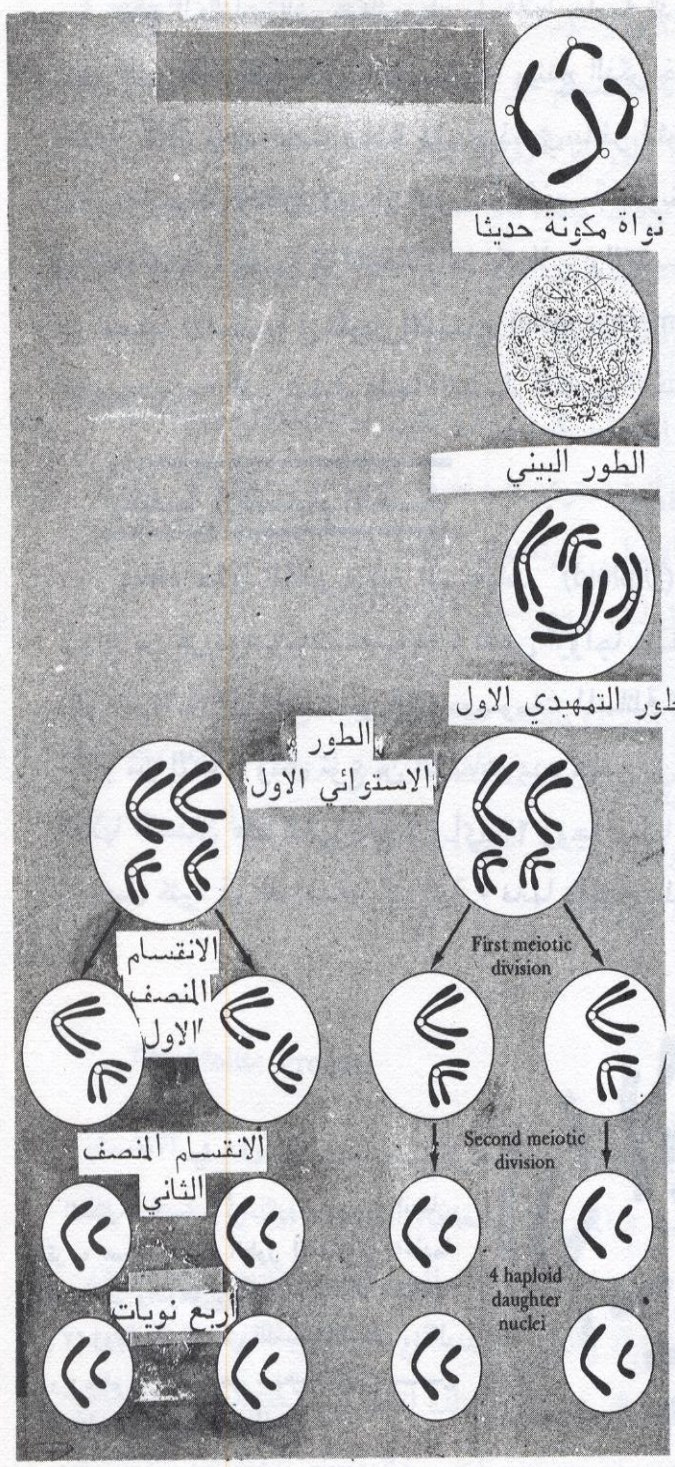
وتختلف فترات مراحل دورة الخلية كثيراً ، باختلاف أنواع الخلايا . فالمرحلة الأقصر هي (M) بينما (S) و (G١) هما الأطول ومدة ٦-٨ ساعات أي ٣٠-٤٠% من الدورة مثالية لكل منهما . أما الفترة (G٢) فإنها تتراوح بين ١٥ و ٢٠% من الدورة . وتحتوي بعض أنسجة الكائنات متعددة الخلايا على احتياطي من الخلايا في مرحلة (G٢). وتكون هذه الخلايا التي ضاعفت كروموسوماتها جاهزة للانقسام بسرعة عند تعرض الكائن للأذى ، منتجة بذلك خلايا طازجة لتعوض أو تصلح أنسجة تالفة . أن الخلايا التجديدة في حبوب اللقاح لكثير من النباتات ، وبذور بعض الفطريات لها مراحل (G٢) مطولة . وتتوقف هذه الخلايا عن الانقسام إلى أن تصبح في بيئة مناسبة لنمو الكائن.

وتعتبر مرحلة (G١) أكثر المراحل الثلاث تغيراً وأهمية ، ولكن أكثرها غموضاً ، وذلك لأنه خلال هذه المرحلة يتقرر مصير الخلية بوسائل لا يعرف عنها إلا القليل . وتتخلق خلايا أنسجة الكائنات ، متعددة الخلايا خلال مرحلة (G١) والخلايا التي لن تنقسم فإنها تقضي معظم الوقت الزائد في مرحلة (G١) . وعلى الرغم من أن عملية الانقسام نفسها تلحق بمرحلة (G٢) إلا أنها تبدأ خلالا (G١)، وذلك نظراً لأنه خلال نقطة من مرحلة (G١) يعطي المؤشر الكيميائي ليعلم الخلية ببدء مضاعفة كروموسوماتها . وحال ابتداء العملية ودخول الخلية مرحلة (S) فلا عودة بعد ذلك ، إذ على الخلية الانقسام . وبالعكس من ذلك ، إذا لم يعط مؤشر لتكوين جزيء (DNA) جديد خلال يومين فإن الخلية لن تنقسم . ولذلك يبدو واضحاً بأن فهماً أتم وأشمل لتوقيت وعمليات الضبط للخلايا في مرحلة (G١) يمكن أن يلقي ضوءاً على مناطق عديدة من البحث البيولوجي ، بما في ذلك النمو الجنيني ، والتخلق والشيخوخة والسرطان.

الانقسام الخلوي الاختزالي (المنصف) Meoitic cell division

على الرغم من وجود عدد من طرق التكاثر من الكائنات ، إلا أنه يمكن تقسيمها إلى مجموعتين رئيسيتين : جنسية (Sexual) ولا جنسية (Asexual) . وفي التكاثر اللاجنسي ينتج كائن واحد آخر أو أكثر بخواص مطابقة لتلك الموجودة في الكائن الأصل

الشكل (٧ ــ ٥ أ)
الانقسام المتساوي



الشكل (٧ ــ ٥ ب) الانقسام المنصف .

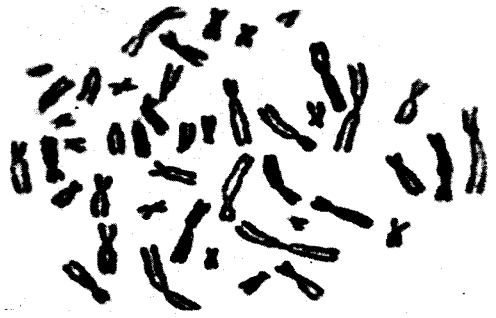
ويشتمل التكاثر اللاجنسي على الانقسام الخلوي . ولكن هذا الانقسام ليس هو الوحيد الذي تقوم به الخلايا .

ففي التكاثر الجنسي في الكائنات هناك نوع آخر من الانقسام الخلوي يدعى الانقسام الخلوي الاختزالي (Meiotic Cell Diviision).

تنتج الكائنات التي تتكاثر جنسياً خلال خاصة تدعى أمشاجاً (Gametes) فأنثى الحيوانات تنتج خلايا البويضات ، وينتج الذكر خلايا الحيوانات المنوية . ويتكون كائن جديد عندما يختلط مشيج ذكري بآخر أنثوي لتخلق خلية جديدة تدعى زايجوت (Zygote) أو البويضة المخصبة . ويقنسم الزايجوت ليكون في البدء جنيناً ، يصبح في النهاية كائناً مكتملاً . والانقسام الاختزالي (المنصف) هو العملية الأساسية في تكوين الأمشاج (Gametogenesis) وتدعى المعاملات الكروموسومية التي يشتمل عليها الانقسام الخلوي الاختزالي بالانقسام المنصف.

وظيفة الانقسام المنصف The Function of meioosis

معظم خلايا الكائن ثنائية الصبغيات (Diploid) أي أنها تحتوي على أزواج من كروموسومات متشابهة ، تدعى أزواجاً متماثلة Homologous Pairs يجيء فرد من كل زوج (من الكروموسومات المتماثلة) من الأم ويجيء الفرد الآخر من الأب . ولكل نوع من الكائنات عدد خاص من الكروموسومات . فمثلاً لخلايا الإنسان عدد ثنائي يبلغ ٤٦ أي ٢٣ زوجاً . أما خلايا ذبابة الفاكة التى تستعمل كثيراً فى الدراسات الوراثية ، فإنها



الشكل (٧ ــ ٦) : كروموسومات انسان ذكر ، صورت خلال الطور الاستوائي ،عندما كانت اكثر وضوحا . ويمكن بعد ذلك تجميعها في ٢٣ زوجا على أساس التشابه الشكلي .واكل زوج حجم وتركيب خاص ، بحيث يكون من السهل ايجاد الاشياء الغريبة .

والكلب ٧٨ ، وللسمكة الذهبية ٩٤، ويوجد هذا العدد في جميع خلايا الكائن بواسطة الانقسام الخلوي غير المباشر. فكل خلية تضاعف كروموسوماتها خلال مرحلة (s) ، لتعطي كل خلية وليدة خلال عملية الانقسام مجموعة ثنائية كاملة.

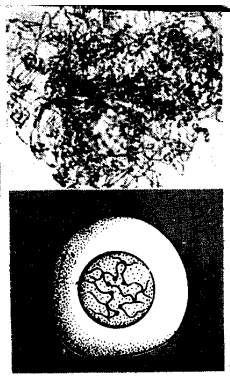
ولو أن الأمشاج كونت بالانقسام غير المباشر لكان الزايجوت يستلم مجموعتين ثنائيتين من الكروموسومات عند الاخصاب . ولأن كل الخلايا في الكائن المكمل تتكون نتيجة الانقسام غير المباشر للزايجوت ، فإن خلايا طفل الإنسان المكونة ستحتوي على ٩٢ كروموسوماً ، وهكذا يتضاعف عدد الكروموسومات مرات ومرات في الأجيال المتلاحقة . والسبب الذي يمنع حدوذ ذلك هو أن الأمشاج تكونت نتيجة الانقسام المنصف وليس نتيجة الانقسام غير المباشر.

أن جوهر الانقسام المنصف يكمن في أنه يكون أمشاجاً لها مجموعة واحدة من الكروموسومات ، أي أنها تحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلايا الأم في الكان الأصلي . وتحتوي الخلايا ذات المجموعة الواحدة من الكروموسومات على ممثل لكل كروموسوم بدلاً من اثنين.

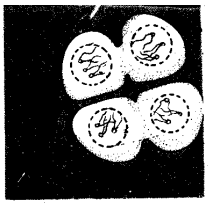
ونظراً لأن الانقسام المنصف ينصف عدد الكروموسومات ، فإنه يشار إليه أحياناً بالانقسام الاختزالي . وعندما يتحد مشيجان فإن الزيجوت الناتج يحتوي على مجموعتين من الكروموسومات ، اثنين من كل نوع ، وهكذا يبقى عدد الكروموسومات ثابتاً من جيل لآخر .

عملية الانقسام المنصف The Meltic Process

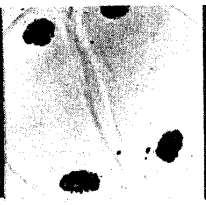
يتشابه كثير من حوادث الانقسام الاختزالي مع تلك الموجودة في الانقسام غير المباشر . فبروز واختفاء "المغزل" والغشاء النووي ، والنوية ، مثلاً متشابهان في كلا العمليتين . ولهذا السبب فإن نفس التسميات– (الطور التمهيدي ، والطور الاستوائي ، والطور الانفصالي ، والطور النهائي) تستعمل لوصف مراحل الانقسام الاختزالي . ولكن يختلف الانقسام الاختزالي عن الانقسام غير المباشر في حركة توزيع الكروموسومات . فالانقسام الاختزالي كالانقسام المتساوي يسبقه مضاعفة الكروموسومات ، ولكن يتبع هذه المضاعة انقسامان خلويان بدلاً من انقسام واحد .

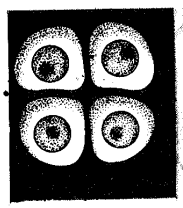


الطور الابتدائي الاول المبكر
الكروموسومات ليست قصيرة بعد ، وكذلك فهي ليست غليظة كفاية حتى يمكن رؤيتها فرادي .



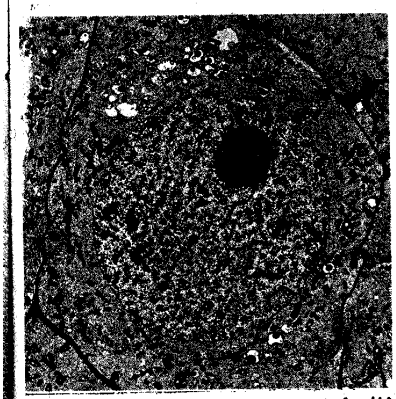
الخلايا الوليدة ـ تتكون أربع خلايا أثنائية الكروموسومات بواسطة الانقسام المنصف لخلية ثنائية واحدة .



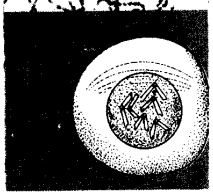


الطور النهائي الثاني ـ يبدأ تكوين انوية جديدة عندما تفقد الكروماتيدات وضوحها .

الشكل (٧ ـ ٧) على الرغم من أن كثيرا من مراحل الانقسام المنصف توازي تلك في الانقسام المتساوي ، فانه يوجد فرق جوهري . ففي الانقسام المتساوي تكون الخلايا ثنائية الكروموسومات ، بحيث يوجد كروموسومان من كل نوع ، أما في الانقسام المنصف ، فان الخلايا تكون احادية الكروموسومات ، بحيث يوجد كروموسوم من كل نوع .



الشكل (٧ ـ ٨) : في هذه الصورة للخلية الجرثومية الصغيرة للزنبق ، لا تبدو الكروموسومات واضحة بعد في النواة ، ولاتزال النوية واضحة جدا ، ولكن شكل الغشاء النووي بادىء في عدم الوضوح .

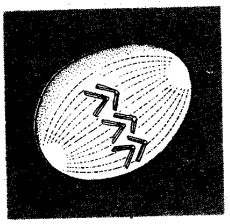


الطور الابتدائي الاول الوسطي بمزيد من الالتفاف ، تصبح الكروموسومات واضحة

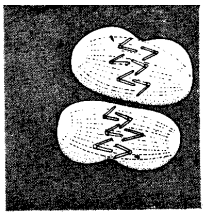
خلويان بدلا من انقسام واحد . وينتج عن ذلك أربع خلايا وليدة تقتسم مجموعتين من الكروموسومات . وبهذا يكون لكل خلية وليدة مجموعة من الكروموسومات، أي أن لها نصف عدد الكروموسومات الموجودة في خلايا أخرى من الكائن .

اما مسلسل الحوادث التي تؤدي الى هذه النتيجة فبسيط . فخلال الانقسام المنصف الاول لا تنفصل الكروماتيدات المتصلة وهي نسخ متطابقة بعضها مع بعض ـ كما يحدث في الانقسام المتساوي ، ولكنها تبقى مرتبطة بواسطة السنترومبرات . بل ان الكروموسومات المتجانسة تتزاوج اولا ثم

الطور الابتدائي الاول المتاخر ـ تقع الكروماتيدات الاربع لكل زوج جنبا الى جنب، مع بعض التقاطع .



الطور الاستوائي الاول ـ تصطف الكروموسومات المتجانسة والمتزاوجة على الصفيحة الاستوائية .



الطور الانفصالي الثاني ــ تبدأ الكروماتيدات المتآخية التي انفصلت بالارتحال للقطبين المتقابلين .

تنفصل بحيث يذهب عضو من كل زوج لخلية وليدة . ولان هذه الكروموسومات غير متطابقة ، فان الخليتين الوليدتين تستلمان مواد وراثية مختلفة . أما الانقسام المنصف الثاني فانه شبيه جدا بالانقسام المتساوي . ففي كل خلية وليدة ، يكون كل كروموسوم مكونا من كروماتيدين متصلين وهذان ينفصلان ليتكون اربع خلايا وليدة لكل منها مجموعة كروموسومات واحدة .

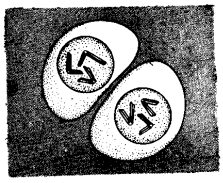
الطور التمهيدي الاول Prophase

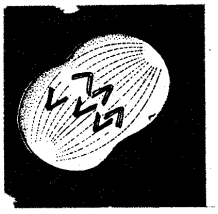
يتم عدد من الحوادث خلال هذه المرحلة المطولة المهمة . انها تبدأ عندما تظهر الكروموسومات للعين كخيوط منفصلة . وهنا لا يمكن رؤية الكروماتيدات التوأم . وعندما تصبح الكروموسومات أقصر واغلظ ، تتزاوج الكروموسومات المتجانسة ، لتصبح متوازية على كل طولها وتسمى عملية التزاوج هذه بالاقتران (Synapsis) . وبمرور الوقت تصبح الكروماتيدات واضحة ، ويظهر الزوج المتجانس المسمى بالرابوع (Tetrad) من اربعة كروماتيدات .

وفي الوقت الذي تكون فيه الكروماتيدات الاربعة لكل رابوع جنبا الى جنب ، تحدث عملية هامة تسمى العبور (Crossing Over) . وفي بعض الاحيان تحدث كسور في الكروماتيدات ولكن غالبا ماتتصل القطع المكسورة فتلتحم ليتكون الكروماتيد الاصلي ثانية . ولكن اذا حدثت الكسور بنفس النقطة في كروماتيدات لا متآخية تقع جنبا الى جنب في رابوع ما ، فان الاجزاء المكسورة ،

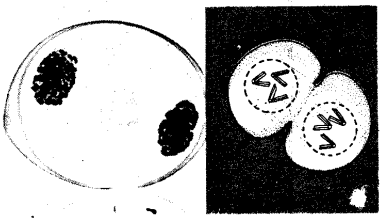
الطور الاستوائي الثاني ــ يكون الخط الاستوائي الجديد على زاوية قائمة بالنسبة للخط الاول .

الطور التمهيدي الثاني بعد برهة توقف ، يبدأ الانقسام ثانية . (تلتف الكروموسومات ثانية تحضيرا للانقسام الثاني) .





الطور الانفصالي الاول ــ تنفصل الكروموسومات المتزاوجة ويرتحل كل منها الى قطب مختلف .



الطور النهائي الاول ــ عند وصول الثنائيات الى القطبين ، فان انوية جديدة تتكون .

تتبادل قبل ان يتم تصليح الكسر . وبهذا تحتوي الكروموسومات المعادة التكوين على جينات كانت أصلاً في كروماتيدات لا متآخية ، وينتج عن ذلك اتحاد (Recombination) للمادة الوراثية ، وتسمى الكروماتيدات التي تتبادل أجزاء منها بكروماتيدات العبور ن أما الكروموماتيدات التي تحتفظ بالتسلسل الأصلي للجينات فإنها كروماتيدات أبوية.

وبانفصال كروموسومات كل رابوع خلال المراحل التالية من الطور الابتدائي تت فإنه يمكن رؤية نقاط التماس والتقاطع بينهما ، المسماة chiasmata بواسطة المجهر الضوئي . أما العبور فلم يشاهد بشكل مباشر ، ولكن يعتقد أن نقاط التقاطع هي نتائج مرئية لعملية العبور .

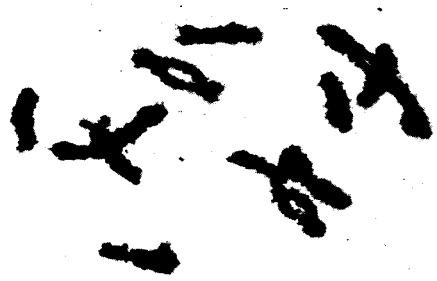
ولمعظم رابواعات الخلايا النباتية والحيوانية نقطة تقاطع واحدة على الأقل ، بينما تحتوي الرابوعات الطويلة على كثير من هذه النقاط . أننقاط التقاطع تربط بين الكروماتيدات الأربع لكل رابوع، ولكن بابتعاد هذه الكروماتيدات عن بعضها عن بعض ، فإن نقاط التقاطع هذه تتحرك باتجاه أطراف الكروماتيدات . وخلال هذه المرحلة تختفي النوية ، ويبدأ الغشاء الخلوي بالتفكك ثم يتكون المغزل . وتصبح خيوط المغزل متصلة بالسنترومیرات .

الطور الاستوائي الأول (Metaphase ١)

تنتظم الكروموسومات على خط الخلية الاستوائي ، وتقف الكروموسومات جنباً إلى جنب ، بحيث يكون أحد الزوجين قريباً من قطب خلية ، والآخر قريباً من القطب الثاني . وبينما يكون كل كروموسوم خلال الانقسام المتساوي متصلاً بكلا القطبين ، فإن الوضع في الانقسام المنصف يكون بحيث يتصل الكروموسوم بالقطب الأقرب منه ، وبهذا يكون الكروموسومان المتجانسان متصلين بالقطبين المتضادين .

الطور الانفصالي الأول (Anaphase ١)

ينفصل الكروموسومان المتزاوجان ، بحيث يتحرك كل واحد باتجاه القطب الذي يتصل به . وهنا ، لا تنقسم السنترومیرات ، ولا يزال كل كروموسوم (يسمى الآن الثنائي (Dyad) مكوناً من كروماتيدين متصلين . وبسبب عملية العبور ، فإن هذه الكروماتيدات المتآخية يمكن أن لا تحتوي على معلومات وراثية متطابقة .



الشكل (٧ ــ ٩) : خلال الطورالتمهيدي تبدأ كروموسومات كل رابوع في الانفصال ، ولكن تبقى نقط الاتصال ، التي تكون النتائج الواضحة لعملية العبور التي تؤدد ازيادة كبيرة في التغير في النسل المتكاثر جنسيا .

الطور النهائي الأول (Telophase ١)

عندما تصل الثنائيات (Dyad) إلى الأقطاب المضادة ، تبدأ نواتان جديدتان بالتكون ، كما يظهر غشاء نووي جديد ، وتبدأ الكروموسومات بالتفكك ، وخلال هذه المرحلة يبدأ انقسام السيتوبلازم ، وينتج عن ذلك خليتان وليدتان . وربما يتبع ذلك توقف قصير في عملية الانقسام المنصف . ونظراً لأن الكروموسومات لا زالت مكونة من خيطين مضاعفين فإنها تكون جاهزة للانقسام ثانية ، ليبدأ الانقسام المنصف الثاني.

الانقسام المنصف الثاني (Second Meoitic Division)

يشبه الانقسام الثاني الانقسام المتساوي إلى حد بعيد . فخلال الطور التمهيدي الثاني تنكشف الكروموسومات ، ويتكون المغزل ، ويختفي الغشاء النووي . أما في الطور الاستوائي الثاني ، فإن الكروموسومات تنتظم بخط على المستوى الاستوائي ، ويتصل كل منها بواسطة خيوط المغزل بكلا القطبين . أما السنترميرات ، فإنها تتضاعف وتنفصل بعضها عن بعض ، وأخيراً تنفصل الكروماتيدات المتآخية . وفي الطور الانفصالي الثاني تتحرك هذه الكروماتيدات إلى الأقطاب المضادة ، وفي الطور النهائي الثاني ، فإن النويات تتكون ثانية بحيث تحتوي كل واحدة على مجموعة من الكروموسومات . ويحدث الانقسام السيتوبلازمي خلال هذاا لطور وينتج عن ذلك اربع خلايا وليدة من الانقسام المنصف لخلية واحدة فيها مجموعتان من الكروموسومات .

دورات الحياة Life Cycles

نظراً لأن التكاثر اللاجنسي يشتمل على انقسام خلوي بسيط فإنه يحدث بسرعة وبفعالية . ولكن التكاثر الجنسي يعتمد على الفرص بشكل كبير . إذ أنه يتوجب على خليتين من كائنين مختلفين أن تلتقيا وتلتحما قبل أن يحدث أي أنقسام خلوي . وعلى الرغم من عنصر المخاطرة هذا ، فإن اغلبية الكائنات على وجه البسيطة تتكاثر جنسياً .

فلماذا يسود التكاثر الجنسي عندما تستطيع الأفراد الازدياد بسرعة أكثر لا جنسياً؟. أن النجاح الهائل للكائنات التي تتكاثر جنسيا يعود قدرتها الكبيرة على التكيف.

أن كل وليد ناتج عن العملية الجنسية يمتلك خصائص كائنين اتصلا بالصدفة . فاختلاط الكروموسومات في الانقسام المنصف ، ثم امتزاج المادة الوراثية الناتج عن عملية العبو ، تؤمن أن الكائن الجديد سمتلك أكيداً من جينات والديه . يستطيع الإنسان ، مثلاً ، أن ينتج أكثر من ٨ ملايين من الاتحادات الكروموسومية المختلفة في أمشاجه ، ويستطيع كل منها أن يتحد مع عدد مشابه من أمشاج الجنس الآخر . وهكذا ، فإن عملية تزواج واحد يمكن أن تنتج أياً من أكثر من ٧٠ ترليون من الاجيال المختلفة وراثياً – بدون أخذ نتائج العبور بعين الاعتبار .

وبالمقابل ، فإن الكائنات التي تتكاثر لا جنسياً تطابق والدها الوحيد . وهكذا يوجد تنوع أكثر بين نسل الكائنات التي تتكاثر جنسياً . وكلما كان التغير أكثر في كائنات نوع ما ، فإن احتمال أن يعيش كائنات ذلك النوع في ظروف مختلفة أكبر .

وإذا تغيرت البيئة ، فإن بعض كائنات هذا النوع تتحمل هذا التغير وتبقى . ويعتبر هذا النوع من الكائنات أكثر قدرة على تحمل تذبذبات البيئة . ولذلك ، فإنه على مدى التغير الطويل ، فإن الكائنات التي تتكاثر لا جنسياً هي اقل قدرة على التكيف وأكثر تعرضاً للانقراض ، على الرغم من قدرتها التكاثرية . أن القدرة التناسلية العالية لا معنى لها إذا كان الكائنن غير قادر على العيش لبلوغ مرحلة النضج التكاثري .

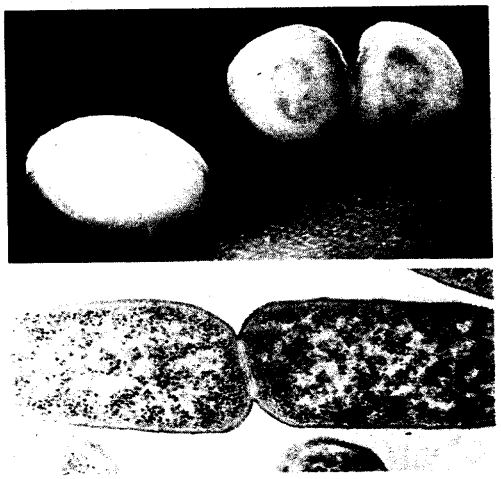
التكاثر اللاجنسي Asexual Reproduction

هناك طرق مختلفة للتكاثر اللاجنسي في الكائنات يعتمد على ذلك على درجة تعقديها . فالكائنات أحادية الخلايا ، تتكاثر بواسطة الأنقسام الخلوي البسيط والمسمى بالانشطار (Fission) . ونظراً لأن الكائنات الأولية ليس لها نواة واضحة فأنها لا تستطيع القيام بالانقسام المتساوي ، ألا أنها تضاعف كروموسوماتها الوحيدة عندما تنقسم.

كروموساماتها الوحيدة عندما تنقسم ن

وتبقة النشاطات الاستقلالية للخلايا الأولية ثابتة خـــلال جميـــع مراحـــل حياتهـــا، فالبكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة تستمر في نموها أثناء أنقسامها. وتنقسم البكتيريا عرضياً . وكذلك فالكائنات الحقيقية مثل الأوليات تنقسم أيضاص بواسطة الانشطار وهو يكون عرضياً كما في الأوليات التي تندفع بواسطة أهدابها، أو طولياً في الأوليات التي لها أسواط .

وهناك طريقة أخرى للتكاثر اللاجنسي في بعض الكائنات أحادية الخلايا وبعـــض متعددة الخلايا وهي التبرع (Budding) . وبهذه الطريقة يبدأ كائن جديد بالنمو كفـــرع من الكائن الأب . وأخيراً ، ينمو هذا الكائن ليبلغ حجماً كاملاً ، وقد يبقـــى متصـــلاً بالأب ، وقد ينفصل عنه . وتتكاثر الخميرة (Yeast) وهي فطر وحيـــد الخليـــة ، بالتبرعم ، كما تتكاثر الهيدرا متعددة الخلايا .



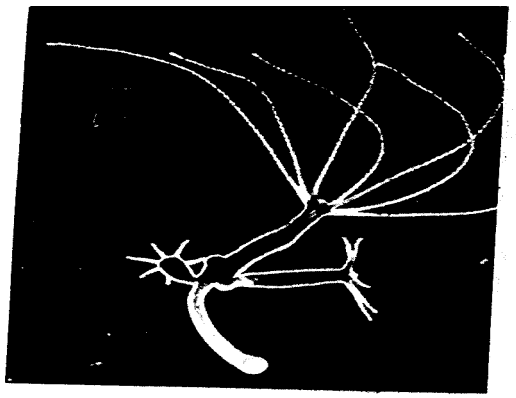
الشكل (٧ ــ ١٠) : تتكاثر البكتيريا لا جنسيا بواسطة الانشطار . تبين الصـــورة العليا ، الماخوذة بالمجهر الالكتروني الماســـح خلية بكتيرية تنقسم . والجزء الداكن في كـــل نصف ليس نواة ، بل كروموســـــوم واحد . أسفل : تقوم الخلية البكتيرية : بالانشطار . والمناطق البيضاء في الخلية هـــي الاحماض النووية المبعثرة . أما النقاط الداكنة فهي الريبوسومات . ويبقى أبيض الخليـــــة البكتيرية ثابتا خلال عملية الإنشطار .

ويتكاثر الكثير من النباتات والفطر لا جنسياً بالتجرثم (Sporulation) ، أي أنها تكون جراثيم (Spores) ، وهي خلايا وحيدة لها القدرة على تكوين كائنـــات متعـــددة الخلايا بدون أخصاب . وتستطيع هذه الجراثيم أن تبقى حية لآجال طويلة إلى حين أن تصبح الظروف البيئية مناسبة لنمو الكائن . ونظراً لطبيعة حجمها وتركيبها ، فأنهـــا أكثر حركة من الكائنات ذات الجذور التي تكونها . وبانتاج كميات كبيرة من خلايا كهذه متحركة وذات مقاومة ، فأن النباتات والفطريات

تحقيق استمرارية أنواعها على مدى واسع وبعيد . وإذا وجدت الجراثيم الظروف مناسبة فإنها تستعمر مناطق جديدة .

وهناك طريقة أخرى تتكاثر النباتات بواسطتها لا جنسياً ، هي التكاثر الخضري (Vegetative Propagation) وهذا ما يحدث عندما تنمو قطع من سيقان نباتات مثل البيوجونياواللبلاب لتكون نباتات كاملة من الجذور المتفرعة . وفي نباتات أخرى ، تمتلك أعضاء أخرى مثل درن البطاطا القدرة على تكوين كائنات جديدة.

وبعض الحيوانات وخاصة بعض انواع الحشرات تتكاثر لا جنسياً بالتوالد العذري Parthenogensis الذي يعني تكوين كائن متعدد الخلايا من بويضة غير مخصبة . ويتكون النمل والنحل العامل بهذه الطريقة . وهذه الكائنات لها مجموعة واحدة من الكروموسومات . وبهذا يعمل المشيج وكأنه جرثومة . ويمكن أن يحدث التوالد العذري طبيعياً ، كما هي الحال في بعض مجتمعات الحشرات، أو استجابة لمواد كيماوية أو صدمة [illegible]



الشكل (٧ ــ ١١) : نوع اخر من التكاثر اللاجنسي يحدث في الهيدرا متعدد الخلايا . تتكون براعم صغيرة على الهيدرا الام، وحين يكون هذا البرعم فما ومجموعة من الاذرع فانه ينفصل ويبدأ بوجود مستقل .

أو استجابة لمواد كيميائية أو صدمة كهربائية ..

التزاوج: (Conjugation)

تظهر بعض الكائنات أحادية الخلايا وحتى البكتيريا ، سلوكاً شبه جنسي يدعى التزاوج Conjugation . وخلال هذه العملية تتلاصق خليتان من سلالتين مختلفين (ولكن من نفس النوع) ، بحيث تتصلان في الأماكن التي يتلامس فيها سطحاهما. ويمكن لهذا الاتصال أن يستمر وقتاً كافياً . بحيث تتمكن الخليتان من تبادل المادة الوراثية .

ونظراً لأن هذه العملية تشتمل على الاقتران بين كائنين من سلالتين وعلىخلط جيناتها ، فإنها تشبه التكاثر الجنسي . ولكن ليست أساساً عملية جنسية ، إذ أن الخليتين المتزاوجتين لا تندمجان لتكونا خلية تناسلية واحدة ، بل أنهما تنفصلان ، ثم تتكاثر كل منهما مستقلة بالانشطار . ويمكن أن تحتوي الخلايا الوليدة على جينات من الكائنين المتزاوجين . ولذلك فإن هذه العملية تمكن الكائنات ووحيدة الخلية الحصول على مادة وراثية من كائنين ووضعها في كائن واحد . وبإيجاز، فإن هذه الكائنات البسيطة يمكن أن تظهر القدرة الجنسية ولكنها تتكاثر لا جنسياً.

التكاثر الجنسي (Sexual Reproduction)

يتضمن التكاثر الجنسي الحقيقي أخصاب خليةالبويضة التي تنتنجها الأنثى بواسطة مشيج ذكري يكونه ذكر من نفس النوع . وفي جميع الكائنات متعددة الخلايا يكون التكاثر الجنسي واحداً على المستوى الخلوي: يندمج حيوان منوي ببويضة ليتكون زايجوت فيه مجموعتان من الكروموسومات . ولكن ، طريقة التكاثر الجنسي الحيواني بشكل عام تختلف جوهرياً عنها في النباتات والفطريات . ولأن الحوادث الخلوية تتشابه فإن هذه الاختلاف يكمن في معظم الأحيان في الطريقة التي فيها يقع التكاثر ضمن دورات الحياة لهذه الكائنات . ودورة حياة كائن ماهي تسلسل الحوادث من وقت تكوينه من خلال التكاثر إلى حين بلوغه القدرة على التكاثر بطريقة متشابهة . وبهذا ، فإن دورة حياة كائن يتكاثر جنسياً تشتمل على تاريخ حياته من لحظة الاخصاب إلى حين اندماج الامشاج . ونظراً لأن البويضات المخصبة لها مجموعتان من الكروموسومات وللأمشاج مجموعة واحدة ، فإن عمليةالانقسام المنصف يجب أن تحدث في مرحلة ما من دورة الحياة هذه . ويتم الانقسام المنصف في الحيوانات خلال عملية تكوين الأمشاج وهنا تقوم خلايا خاصة بالانقسام المنصف لتكون حيوانات منوية أو بويضات . وبهذا تكون الأمشاج ذات مجموعة كروموسومية واحدة .

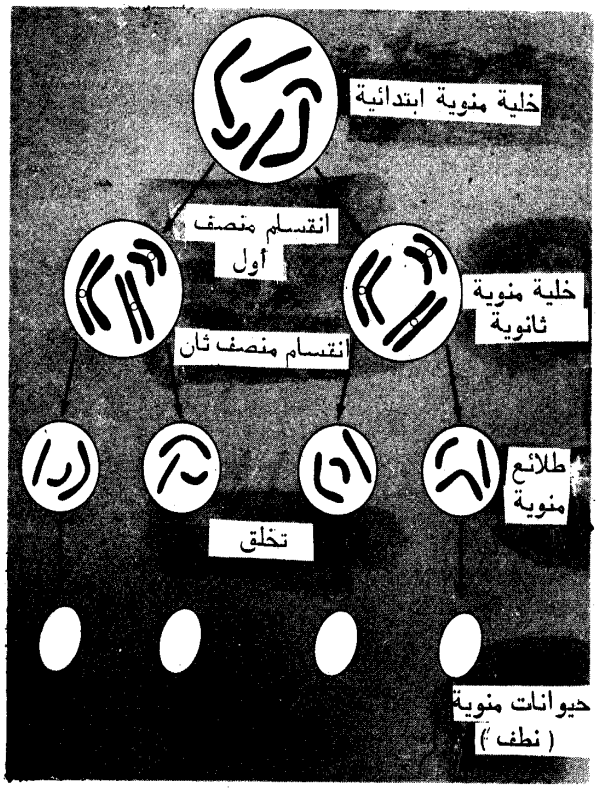
التكاثر في الحيوان:

خلايا معظم الكائنات متعددة الخلايا لها مجموعتان من الكروموسومات ، وتوجد الخلايا ذات المجموعة الواحدة في الأعضاء التي تكون الأمشاج . وتتكون الحيوانات المنوية

في عضو يدعى الخصية (Testis) . أما البويضات فإنها تتكون في عضو يدعى المبيض (Ovary) . ولهذين العضوين خلاياخاصة تقوم بعملية الانقسام المنصف لتكون الأمشاج .

والخصية هي عشو شبيه بالكيس ، يوجد بداخله عدد كبير من الأنابيب المنوية (Seminiferous Tubules) الملتوية . وتفرغ هذه الأنابيب (الحيوانات المنوية) بداخل جامع أكبر يدعى البريخ (Epididymis). وتظهر هذه الأنابيب في مقاطع عرضية بواسطة المجهر ، وهي مكونة من حلقاتمتراكزة من أنواع مختلفة من الخلايا . وتقوم الطبقةالداخلية المكونة من خلايا تسمى الخلاياالمنوية الابتدائية (Primary Spermatocytes) بالانقسام المنصف ، لتكون أربع خلايا متساوية الأحجام ، تدعى طلائع منوية (Spermatids) وهذه تتحول إلى حيوانات منوية لها اسواط ، بعد ان تفقد معظم سيتوبلازمها . وبعد ذلك ترتحل هذه الحيوانات خلال الأنابيب المنوية إلى ان تصل على البريخ حيث تخزن على حين إخراجها فيما بعد . وتتكون خلايا مولدة جديدة عندما تنقسم الخلايا المنوية الابتدائية . ولذلك ، فإن عملية تكوين الحيوانات المنوية (Spermatogenesis) تستمر خلال حياة الكائن الذكر .

وفي مبيض الأنثى ، تحاط كل خلية بيضية أولية (Primary Ocyte) بخلايا تكون ما يسمى الجريب (Follicle) . وتقوم الخلية البيضية الأولية بالانقسام المنصف الأول لتكون خليتين مختلفتين حجماً ، واحدة كبيرة وتسمى الخلية البيضية الثانية ، وأخرى أصغر وتسمى الخلية القطبية الأولى (First Polar Body) . وتدخل الخلية البيضية الثانية عملية الانقسامم المنصف الثاني لتكون خليتين مختلفتين حجماً ، أيضاً ، كبيرة وتسمى الطليعة البيضية ، (öotid) وصغيرة وتسمى الخلية القطبية الثانية (Second Polar Body) ويمكن للخلية القطبية الأولى أن تنقسم لتكون خليتين قطبيتين جديدتين . ويمكن أن ينتج عن الانقسام المنصف للخلية البيضية الأولى أربع خلايا ذات مجموعة كروموسومية واحدة ، ولكن الطليعة البيضية فقط تنمو لتكون بويضة ناضجة (OVUM) وهذه تختزن معظم سيتوبلازم الخلية البيضية الأولى . ونظراً لعدم وجود سيتوبلازم في الحيوان المنوي ، فإن البويضة المخصبة . والخلايا البيضية الأولى لا تعوض بعد نضج البويضة . ولهذا ، فإن الأنثى تقدر على إنتاج البويضات ما دام تزويدها بالخلايا المولدة مستمراً.



الشكل (٧ ــ ١٢) : ان تكوين الحيوانات المنوية (النطف) هي الانقسام المنصف لخلية منوية ابتدائية ثنائية لتكوين أربع نطف احادية . ويكون كل انقسام اتحادين مختلفين من الكروموسومات. ويبلغ العدد الكلي للاتحادات الممكنة ٢ أو ٨ر٣٨٨ر٦٠٨ . ونظرا لان عملية قذف واحدة للسائل المنوي تحتوي حوالي ربع بليون نطفة ، فان الفرص تكون جيدة بحيث تستقل خلية انثوية (بويضة) على الاقل نطفة واحدة من كل اتحاد ممكن . وهكذا ، فانه حتى نسل نفس الابوين يمكن أن يتغير كثيرا. ويعتقد بان هذا التنوع يعطي حسنة تطورية للنوع ، بحيث يسمح بالتكيف للبيئات الجديدة .

الشكل (٧ ــ ١٣) : تنتظم الخلايا المنوية داخل الانابيب المنوية بدوائر متراكزة . وتقع الخلايا المنوية الابتدائية (التي يبين واحد منها في مرحلة انقسام منصف منوية ثانوية ، التي ستنقسم ثانية لتكون طلائع منوية . أما الطبقة الداخلية ، فانها تتكون من خلايا لها نوى صغيرة جدا ، وهذه الخلايا هي النطف الناضجة.

في النباتات:

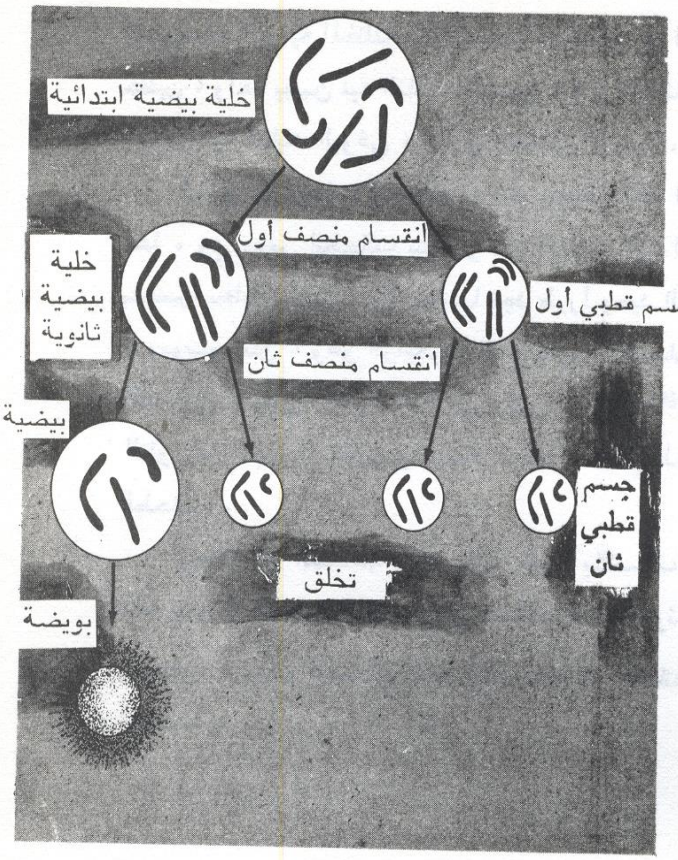
يوجد نماذج مختلفة من التكاثر الجنسي في دورات حياة النباتات والفطريات . وتختلف دورات الحياة في نباتات كثيرة عنها في الحيوانات ، نظراً لأن النباتات لها مظهران متعددا الخلايا: الول فيه مجموعتا كروموسومات ، والثاني فيه مجموعة واحدة . وفيما يلي وصف للخصائص العامة لدورة الحياة هذه ، ولكن يجب ان نذكر أنها لا تنطبق على بعض النباتات وتنطبق على البض الآخر مع تعديلات .

بشكل عام ، تقوم النبتة التي لها مجموعتا كروموسومات بالانقسام المنصف لتكون خلايا تناسلية ذات مجموعة كروموسمات واحدة . وهذه الخلايا هي جراثيم وليست أمشاجاً ، وذلك لأنها ستعطي كائنات متعددة الخلايا ولكن بمجموعة كروموسومية واحدة ، تنتج بدون اخصاب . وفي هذا الجزء من دورة الحياة يكون التكاثر لا جنسياً . ولكن ، عند نضج هذه الكائنات ، فإنها تكون أعضاء تناسلية ذكرية وأنثوية ، تكون الامشاج . ونظراً لأن هذه الكائنات ذات مجموعات كروموسومية واحدة ، فإن عملية تكوين الأمشاج تحدث بواسطة الانقسام المتساوي وليس بواسطة الانقسام المنصف .

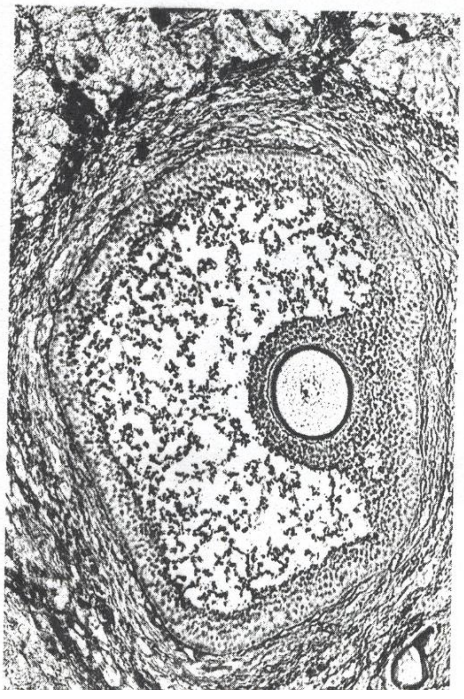
وتنتهي الدورة عندما تختلط الامشاج لتكون نبتة ذات مجموعتين من الكروموسومات وتسمى هذه النبتة التي تنتج الجراثيم بالنابتا لبوغي (Sporophyte) ، أما النبة ذات المجموعة الكروموسومية الواحدة والتي تكون الامشاج فتدعى بالنابتت المشيجي (Gametuphte).

لذلك ، فإن دورة حياة النبتة غالباً ما تحتوي على جيلين متعددي الخلايا : النابت المشيجي والنابت البوغي . وتسمى هذه الطريقة من التكاثر – بتعاقب الأجيال altermation of generations بهذه الطريقة تستفيد النباتات من حسنات التكاثرين الجنسي واللاجنسي . وهناك تنوع كبير في المملكة النباتية بالنسبة لأهمية كلجيل ، من حيث الحجم والأجل ففي بعض النباتات يكون الشكلين غير بارز بالنسبة لحجمه ، ولهذا فإننا نعرف النبتة فقط بشكلها الرئيسي . وفي نباتات كثيرة يكون أحد الشكلين صغير الحجم والتعقيد إلى الحد الذي لا يستطيع فيه الابتعاد عن حماية الشكل الاخر . فمثلاً ، في النباتات المزهرة يتكون الجيل المشيجي من انقسامات متساوية قليلة للخلايا ذات المجموعات الكروموسومية الواحدة بداخل أزهار النابت البوغي .

والأهمية النسبية لكل جيل تعطي دليلاً تقريبياً للعلاقات التطورية بين المجموعات



الشكل (٧ ــ ١٤) : ينتج الانقسام المنصف الاول للخلية البيضية الابتدائية خلية كبيرة تدعى الخلية البيضية الثانوية ، وخلية أخرى أصغر ، تدعى الجسم القطبي الاول . وفي المرحلة التالية من تكوين البويضات ، فان الجسم القطبي الاول ينقسم ثانية ليكون جسمين اخرين . وتنقسم الخلية البيضية الثانوية لتكون جسما قطبيا اخر ، وخلية اكبر تدعى البيضية . ثم تمر البيضية بمرحلة تخلق لتكون بويضة ناضجة ، بينما تنهار الاجسام القطبية . وعند الولادة ، فان مبيضي انثى الانسان يحتويان على حوالي ٤٠٠,٠٠٠ خلية بيضية ابتدائية ، التي تبقى كلها في الطور الابتدائي الاول للانقسام المنصف ، الى أن تحفز الهرمونات متابعة الانقسام المنصف عند سن البلوغ .



الشكل (٧ ــ ١٥) : تبين هذه الصورة كرة من الخلايا ، تدعى حويصلة جراف ، التي هي بمثابة موقع عملية تكوين البويضات . بداخل الطبقة الخارجية الكثيفة يوجد منطقة تحتوي على سائل الحويصلة . أما الخلية الكبيرة المستديرة فانها البويضة والخط الداكن الذي يحيط بالبويضة هو الغشاء المحي . وعندما تكون البويضة ناضجة فانها تطلق من الحويصلة وتشق طريقها في قناة فالوب .

المختلفة . ولقد ظهر أن التطور في المملكة النباتية يسير في أحد خطين ، واحد يهيمن فيه النابت المشيجي كما في الاشنات وحشائش الكبد ، وآخر يسيطر فيه النابت البوغي ، كما في النباتات المزهرة .

أما في مجموعات الطحالب ، فقد يسيطر أحد الجيلين وقد يوجد الجيلان معاً . وفي بعض الطحالب يسيطر أحد الجيلين إلى الحد الذي يكون فيه الآخر منحصراً بخلية واحدة ، وفي بعضها تجد طوراً وحيد الخلية فيه مجموعتان كروموسوميتان ، وهو الزايجوت الذي يقوم بالانقسام المنصف وليس بالانقسام المتساوي . ودورة الحياة هذه هي عكس دورة الحياة في الحيوان الذي يكون فيه الطور ذو المجموعة الكروموسومية الواحدة احادي الخلايا . يظهر هذا في بعض الطحالب .

ويعتقد أن الطحالب ذات علاقة كبيرة بالاسلاف النباتية الأصلية ، ولهذا فإنه يبدو أن الخطين التطوريين في النباتات العليا تكونا من خطين مختلفين من الطحالب . ويبدو أيضاً أن الخط الذي أدى إلى النباتات الزهرية كان أكثر نجاحاً.

ملخص الفصل السابع

تنشأ كل الكائنات من كائنات موجودة أصلاً ، وكذلك تنشأ كل الخلايا من خلايا موجودة أصلاً . تتكاثر الخلايا بانقسامها لتكون خليتين وليدتين ، ويسمى هذا الانقسام المتساوي . وجوهر العملية هو انقسام نواة الخلية التي تؤمن بأن كل خلية جديدة تتوارث مجموعة كاملة من الكروموسومات ، مطابقة لتلك الموجودة في الخلية الأم . وهذا مهم للمحافظة على الاستمراريةة الوراثية ، نظراً لأن الكروموسومات تحمل المخططات الكيميائية التي تتحكم بشكل كل خلية حية ووظائفها .

وتقسم عملية الانقسام لأربعة أطوار: التمهيدي ، والاستوائي والانفصالي ، والنهائي – ويعتمد ذلك على أساس ظهور حركة الكرومسومات أثناء انقسام النواة ، ويمكن لمشاهد يستعمل المجهر الضوئي أن يرى داخل نواة خلية لا تنقسم مادة حبيبية تدعى كروماتين .

أن الكروموسومات نفسها طويلة ونحيفة ومتشابكة جداً بحيث لا ترى كأجسام واضحة . وعندما يبدأ الانقسام ، تتكثف الكروموسومات ، وتثنى لتصبح أقصر وأغلظ . وقبل البدء في الانقسام تكون المادة الوراثية مضاعفة ، بحيث يتكون كل كروموسوم من خطين متطابقين يسميان كروماتيدين . وخلال عملية الانقسام ينفصل الكروماتيدان ليصبحا كروموسومين لخليتين وليدتين ، أما أنقسام سيتوبلازم الخلية لتكوين خليتين جديدتين فإنه يسمى الانقسام السيتوبلازمي .

وتستغرق عملية الانقسام حوالي ٦٠ إلى ٩٠ دقيقة ، ويستهلك معظم هذا الوقت في الطور التمهيدي والطور النهائي . ويسمى الوقت بين الانقسامين بالطور البيني ، وهو يختلف كثيراً من خلية لأخرى ، ويمكن أن يتأثر بعوامل خارجية . وطول دورة الخلية

المتوسطة حوالي ٢٠ ساعة . ينقسم الطور البيني نفسه إلى ثلاثة أجزاء: (G١) وهي مرحلة النمو ، و(S) التي يتتم خلالها تكوين (DNA) جديد ومضاعفة الكروموسومات ، ومرحلة قصيرة هي (G٢) يتم خلالها تصينع مواد ضرورية للانقسام . وفي خلال مرحلة (G١) يبدأ مؤشر كيميائي مضاعفة الكروموسومات ، وإذا حدث هذا فإن على الخلية أن تنقسم ثانية .

أن الانقسام ضروري للنمو وتجديد الأنسجة في الكائنات متعددة الخلايا وهي أيضاً الطريقة التي يتكاثر بها معظم الكائنات أحادية الخلايا . (لا تستطيع الكائنات الأولية الانقسام لأنه ليس لها نواة ، ولكن تضاعف كرومسوماتها الوحيدة وتنقسم لتتكاثر) . أما الكائنات التي تتكاثر جنسياً ، فإنها تستفيد من نوع آخر من الانقسام وهو المنصف . أن وظيفة الانقسام المنصف هو تكوين خلايا خاصة تدعى الامشاج التي تحقق تكوين كائن جديد.

يندمج مشيج ذكري أنثوي لتكوين الزايجوت ، الذي ينقسم ليكون الكائن الناضج وتتكون الحيوانات المنوية ، وهي الأمشاج الذكرية بواسطة الانقسام المنصف والتخلق في الخصية . أما الأمشاج الأنثوية ، وهي البويضات ، فإنها تتكون بطريقة مشابهة في المبيض .

ولو تكونت الأمشاج بواسطة الانقسام المتساوي لكان لكل منها مجموعة كروموسوماتها كاملة ولكان للزايجوت الذي يتكون نتيجة اندماج المشيجين مجموعتان كاملتان . وسيتضاعف العدد في كل جيل . وللحفاظ على عدد كروموسومي ثابت ، فإنه يتوجب تكوين الزايجوت من مشيجين في كل منهما نصف العدد الكامل للكروموسومات ، غذ أن لها كروموسوماً واحداً من كل نوع موجود في الأبوين . أما خلايا الجسم ففيها مجموعة كاملة من الكروموسومات: أثنان من كل نوع ، والانقسام المنصف هوا لعملية التي تتكون بواسطتها الامشاج– هو طريقة لتخفيض عدد الكروموسومات من مجموعتين لمجموعة واحدة.

أن تسلسل الحوادث النووية التي تتم بواسطتها عملية الانقسام المنصف بسيطة في خطواتها العريضة ، على الرغم من أنها معقدة في التفاصيل . فقبل بدء الانقسام المنصف تتضاعف الكروموسومات ، بحيث يتكون كل واحد من كروماتيدين متطابقين . ثم يتبع ذلك انقسامان نوويان ، لا انقسام واحد كما في الانقسام المتساوي . في الانقسام الأول تتجمع

الكروموسومات المتجانسة ويوزع من كل فرد زوج لكل نواة وليدة . وهذه الكروموسومات ما زالت مضاعفة ، وتنفصل الكروماتيدات المتآخية خلال الانقسام المنصف الثاني . وهذه الكروماتيدات لا تبقى متطابقة وذلك نتجية عملية العبور الكروموسومي "الذي يتم خلال تبادل مقاطع من كروماتيدات غير متآخية . ويحدث هذا عندما تتزاوج الكروموسومات المتجانسة خلال الانقسام المنصف الأول .

ومن المهم أن نعرف أنه ليس من الضروري أن تحتوي نواة وليدة في الانقسام المنصف الأول على كل الكروموسومات التي أتت أصلاً من أم الكائن ، بينما تحتوي النواة الأخرى على الكروموسومات الآتية من الأب وبدلاً من ذلك ، فإن الكروموسومات ، يستطيع أن يكون $٢^{٢٣}$ ، أو أكثر من ٨ مليون من الأمشاج المختلفة وراثياً . أضف إلى ذلك الاتحادات التي تنشأ عن عملية العبور . لهذا فإن نسل الكائنات التي تتكاثر لا جنسياً مطابقة لأبويها . ويعتقد بأن هذا التنوع يزيد من قدرة النوع على التكيف مع التغيرات البيئية ، وهذا ما يزيد فرصها للبقاء . أنه لمن المرجح ان يفسر هذا الوضع الحقيقة القائلة بأنه على الرغم من أن التكاثر الجنسي أكثر تعقيداً وصعوبة وخطورة من التكاثر اللاجنسي ، فإن معظم المخلوقات على اليابسة تستعمل هذا النوع من التكاثر (الجنسي).

وهناك تنوع كبير في وسائل التكاثر ودورات الحياة للكائنات التي تتكاثر جنسياً ولا جنسياً . وتستخدم النباتات بشكل خاص نماذج جنسية معقدة تشتمل على تبادل الأجيال واستراتيجيات تناسلية لا جنسية مثل الجرثمة والتكاثر الخضري . وتتكاثر حيوانات كثيرة لا جنسياً ، ليس فقط بواسطة الانشطار ، بل أيضاً عن طريق التبرعم والتوالد العذري .

نظرة فاحصة

تربية الحياة في المختبر

Cloning Life in the Lab

يتطلع علماء علم الحياة إلى مستقل غير بعيد يتمكن فيه الإنسان من خلق نسخات كربون عن نفسه . أن عواقب انجاز كهذا ستكون هائلة ، أنها ستكون بارزة جداً علمياً ، ومخيفة اجتماعياً . أن هذا يعني أن العلماء العظماء ، ورجال الدول ، والفنانين وغيرهم يمكن أن يتكاثروا باعداد كبيرة من خلايا وحيدة تؤخذ من أجسامهم .

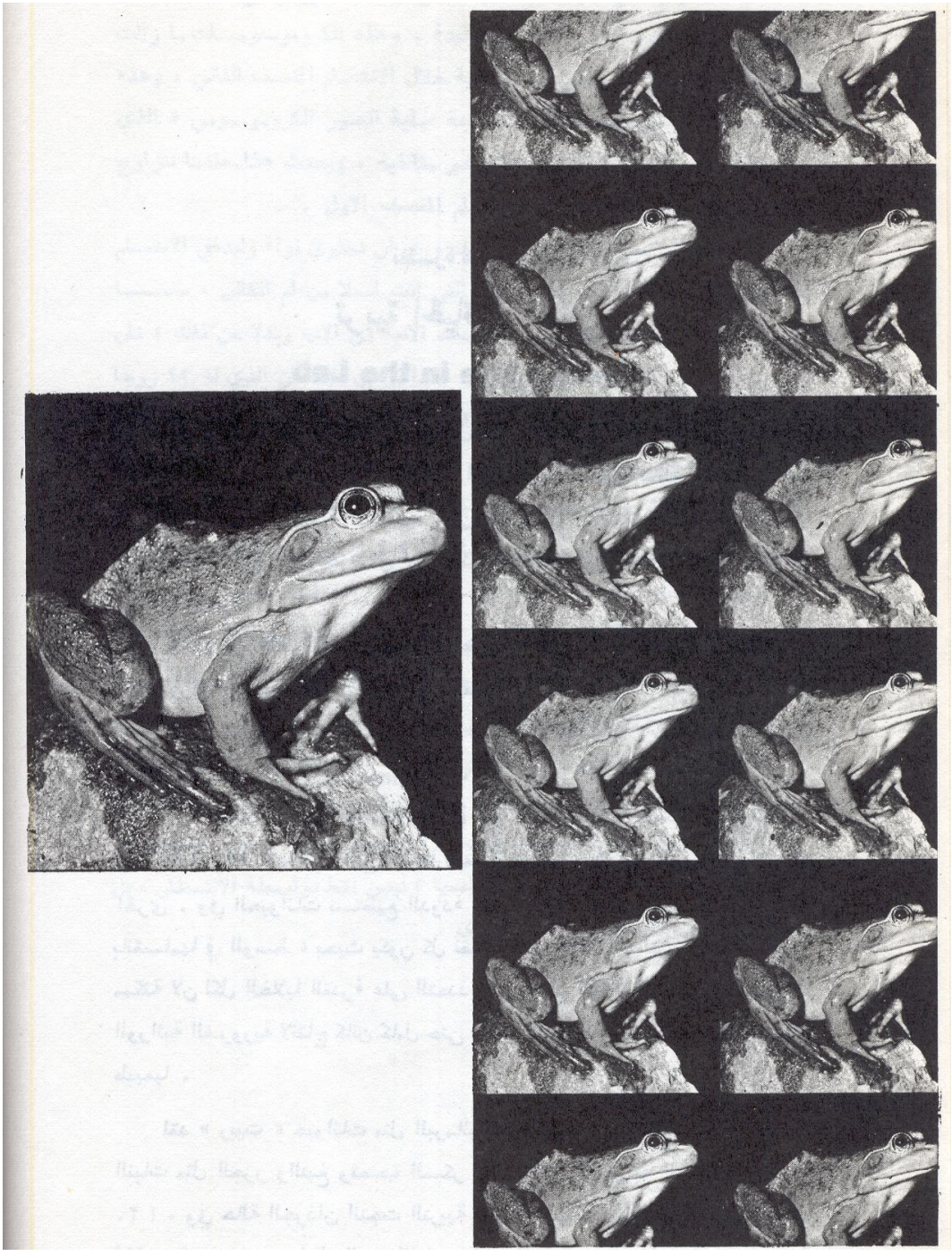
وهذه هي الفكرة الأساسية وراء عملية "التربية" ، التي بواسطتها تنتج نسخ وراثية دقيقة لخلايا منفردة أو كائنات متكاملة لا جنسية . ومن ناحية تقنية تدعى مجموعة الكائنات التي نسخت لا جنسياً من كائن ما ، جيل المختبر أو الجيل المنسوخ (Clone).

أن التربية موجودة في الطبيعة في كثير من النباتات وبعض الحيوانات . فحشيشة

الكبد ، مثلاً ، تنتج نسخاً منها لا جنسياً بواسطة التبرعم أو وسائل أخرى . وفي الحيوانات تستطيع الدودة المسطحة أن تتكاثر لا جنسياً ، وذلك بانقسامها في الوسط ، بحيث يكون كل نصف كائناً كاملاً . والتربيةة لنسخ الحياة ممكنة لأن لكل الخلايا القدرة على التعدد ، من حيث أنها تحتوي على المعلومات الوراثية الضرورية لإنتاج كائن كامل حتى بعد أن نضجت – وأصبحت لا تنقسم طبيعياً.

لقد "ربيت" حيوانات مثل البرمائيات والجرذان . وكذلك أنواع من النبات مثل الجزر والتبغ وقصب السكر (وسنتكلم عن تربية النبات في الفصل ٢٠) . وفي حالة الجرذان أنتجت التربية أفراداً متطابقة للجنين الذي أخذت منه . ففي مراحل النمو الأولى تكون خلية البيوضة المخصبة مجموعة خلايا متخلفة تدعى البلاستولة (Blastula) ويستطيع العلماء

باستعمال آلات دقيقة جداً فصل خلايا البلاستولة ، وجعلها تعيش على انفراد ثم زرعها في رحم انثى . ونظراً لأن كـــلا من هذه الخلايا جنينية ، فإن كـــلا منها يستطيع ، مثـــل



البويضة المخصبة تكوين كائن كامل . أما الاعتراض على هذا النوع من التربية فهو عدم معرفة التركيب الوراثي للزايجوت الذي تكونت منه البلاستولة ، نظراً لأنه يحتوي على مواد وراثية مختلفة من كلا الأبوين .

ولتحاشي هذا الاعتراض ، طور نوع آخر من التربية يدعى التنويه أوأعادة وضع النواة (Renucleation) . وفي هذه الطريقة تنزع نواة بويضة ويستعاض عنها بنواة من خلية أخرى يعرف تركيبها الوراثي . وبهذا يستطيع العلماء ، إنتاج عدة أفراد متطابقين وراثياً بالنسبة لبعض الصفات . وتمت هذه العملية أول مرة في أواسط الستينات في جامعة أكسفورد على يد العالم جون جوردن (John Gurdan) وزملائه الذين عملوا على بويضات الضفدع .

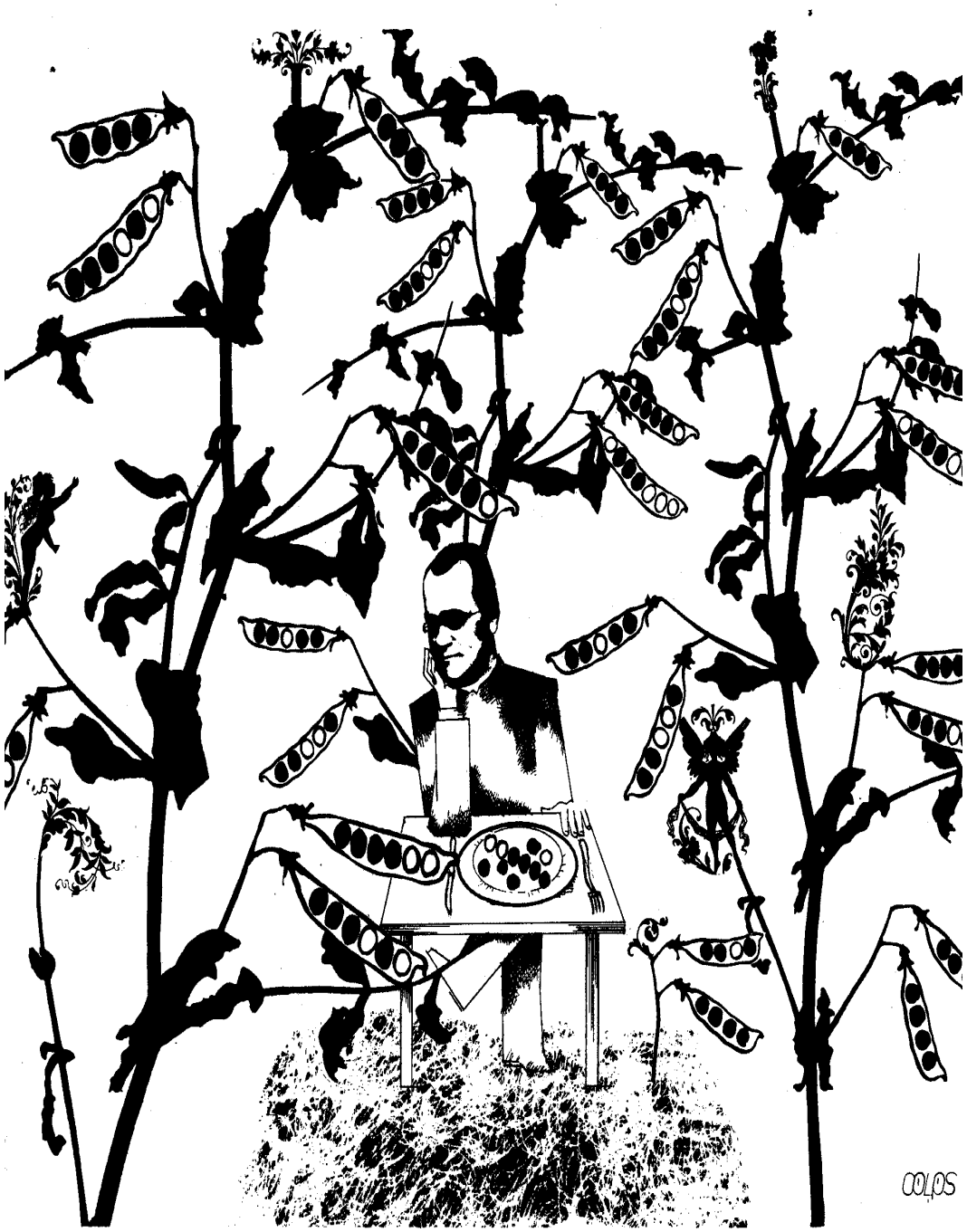
كانت الخطوة الأولى أن دمر العالم جوردن نواة البويضة الناضجة غير المخصبة بواسطة الاشعاع ، تاركاً بقية الخلية دون أذى . بعد ذلك ، أدخل نواة مأخوذة من خلية أخرى بداخل خلية البويضة . ثم وضع البويضة في وسط مغذ شبيه بما في جنين الضفدع . لقد نمت الخلية لتكون جنيناً ، ومن ثم فرخ ضفدع تحول أخيراً إلى ضفدعة مطابقة وراثياً للضفدعة التي أخذت منها النواة . ولقد استعمل جوردن خلايا الأمعاء لفرخ ضفدع ، ويعتقد بأن أية خلية في الجسم لها القدرة على ذلك .

أما حسنات تربية النباتات والحيوانات فهي متعددة . إذ يمكن اختيار أنواع نباتات ذات إنتاج رفيع من الغذاء مثل القمح والذرة والأرز ، لتنتج بوفرة . والتربية على نطاق واسع يرحب بها أولئك الذين يربون الحيوانات ويعتمدون الآن على الصدف في محاولاتهم لإنتاج نوعيات ممتازة ذات مواد وراثية مختارة . أن التربية تعطي هؤلاء المربين وسيلة لإنتاج الحيوانات المرغوبة فيها – مثل خلق ١٠٠٠ نسخة من العجول المختارة والأبقار اللبونة للمساعدة في تغذية المجتمعات النامية . وكذلك يمكن انقاذ الأنواع المهددة بالمخاطر بواسطة تربيةنسخ كثيرة لأحسن الأفراد القليلة المتبقية .

إلا أنهناك مساوئ لهذه العملية أهمها فقدان التغير الوراثي . ان التكاثر الجنسي يؤمن خلط المواد الوراثية التي تنتقل من الأبوين لنسلهما . فإن الاتحاد والانفصال العضوي لجزيء (DNA) ينتج أفراداً "أدنى من أبويهما" وأفراداً يتفوقون عليهما . أما التربية فتستبعد فرصة إنتاج كائنات متفوقة ، وبذلك تضعف فرص البقاء لأنواع الكائنات.

وعلى الرغم من ان "تربية" الكائنات البشريةلم تصبح حقيقة بعد ، فإن معظم الباحثين متفقون على أنها قضية وقت لا بد أن يتم بعده انجازها . ولكن تبقى "تربية" إنسان المختبر مشكلة ويعود ذلك جزئياً للحجم الصغير لبويضة الإنسان، مما يجعلها صعبة المعالجة. ثم أن العلم لم يطور بعد طرقاً ناجحة لزرع البويضة أو الخلية في الرحم* .على أنه قد توجد طريقة أخرى لمعالجة بويضة الإنسان وحيواناته المنوية في المختبر ، لإنتاج أجنة . وستبحث هذه الطريقة في الفصل ٢١.

* تجدر الإشارة هنا بأن ذلك تحقق أخيراً، في صيف ١٩٧٨ (المترجم).



الفصل الثامن

إنماط التوارث

Patterns of Inheritance

باستثناء التوائم المتشابهة ، فإن كل إنسان في العالم فريد في صفاته الوجه والشعر والعينين ولون البشرة يجعل كلا منا مختلفا كلياً عن الآخر . هذا بالإضافة إلى الصفات الأخرى غير المنظورة مثل كيماوية الدم والصفات العقليةة والفيزيائية والقابلية للأصابة بالأمراض وصفات أخرى تشارك في جعل كل منا مختلفاً عن الآخرين .

ومع كل هذه الاختلافات فهناك صفات مشتركة تربط الجنس البشري . فلا يمكن لإنسان عاقل أن يخلط بين الإنسان والكلب أو نبات الأرض شوكي . فما هي الآلية المسؤولةة عن هذا التشابة بين الجنس البشري مع وجود هذه الاختلافات الظاهريةة بين أفراده؟ وكيف تنقل هذه الصفات من جيل إلى آخر؟ كان العلماء قديماً يعتقدون أن المولود يحمل صفات الأبوين والأجداد وذلك باختلاط دم الأبوين (أو سوائل أخرى) عند عملية الاتحاد الجنسي ، وبذلك تخلط هذه الصفات وتظهر بالمولود . وقد رفضت حديثاً فكرة التوارث السائلي ، ولكن لسان الإنسان العادي ظل يلج بهذه الفكرة فيتحدث عن "خطوط الدم" أو "الدم الفاسد" أو الدم المخلوط".

يعرف العلماء الآن أن نفس الوحدة الأساسية التي تنتج لنا الصفات المميزة للنوع هي نفسها المسؤولة عن اختلافاتنا الفردية ، وهي المسؤولة أيضاً عن التشابه في النوع الواحد والاختلافات الفردية بين الأحياء . وهذه الوحدة الأساسية الوراثيةهي الجين (Gene) (وجاءت هذه الكلمة عن كلمة يونانية معناها ميلاد). لقد ولد علم الوراثة ، العلم الذي يختص بتركيب وتصرف الجين في الثلث الأخير من القرن التاسع عشر ، وذلك عندما قام الراهب والعالم جرجيور مندل ببعض التجارب البسيطة على نبات البازيلاء .

القواعد المندلية: Mendelian Principles

لقد سبق مندل العصر الذي عاشر فيه جيلاً كاملاً وذلك عندما قام في عام ١٨٦٥م ، بوصف العوامل الوراثية التي نسميها الآن جينات . لقد زاوج مندل خليطاً من نباتات بازيلاء تحمل صفات مختلفة ، بعضها مع بعض ، وأخذ يحصى عدد الأحفاد التي تحمل كل صفة معينة . وقد وجد مندل نمطاً ثابتاً واستطاع أن يقدم تفسير لنقل الصفات من جيل لآخر . ولسوء الحظ لم يفهم من عاصره تحليله الرياضي لتجاربه ، ولذلك فغن مساهمته في هذاالعلم ظلت كامنة حتى عام ١٩٠٠ عندما قام ثلاثة علماء كل على حدة باستنتاج نفس النتائج واكتشفوا من جديد بحثه المنشور . ويعتبر مندل الآن أبا علم الوراثةة الحديث لأنه كان أول من وضع مفهوم العوامل الوراثية التي تحدد توارث الصفات في الكائن الحي .

قواعد التوزيع Principles of Segregation

لقد خطط لتجارب مندل الواسعة بحرص ونفذت على مدى ثماني سنوات. وقد اختار لتجاربه نبات البازيلاء (pisum Sativum) وذلك لأن تركيب زهرة هذه النبتة مناسب لتجارب التقليح ولا يحصل التلقيح الذاتي وذلك لأن كلا من العضوين الجنسيين مغطى في نفس الزهرة ومنفصل عن الآخر ، ولكن التلقيح الصناعي في هذه النبتة سهل . وقد تم اختبار كل من الأربعة والثلاثين صنفاً من البازيلاء (بواسطة التلقيح الذاتي المصطنع) للتأكد من أنها منتظمة وراثياً . أي استعمال الأصناف التي إذا تزاوجت أنتجت احفاداً مشابهة للآباء المتزاوجة . فعند استعمال سلالة كالأب الذكر (حبة لقاح) وسلالة أخرى كأحد الأبوين الأنثى (البويضة) تنتج الهجائن . وعند عكس عملية التلقيح أي اسعمال البويضة

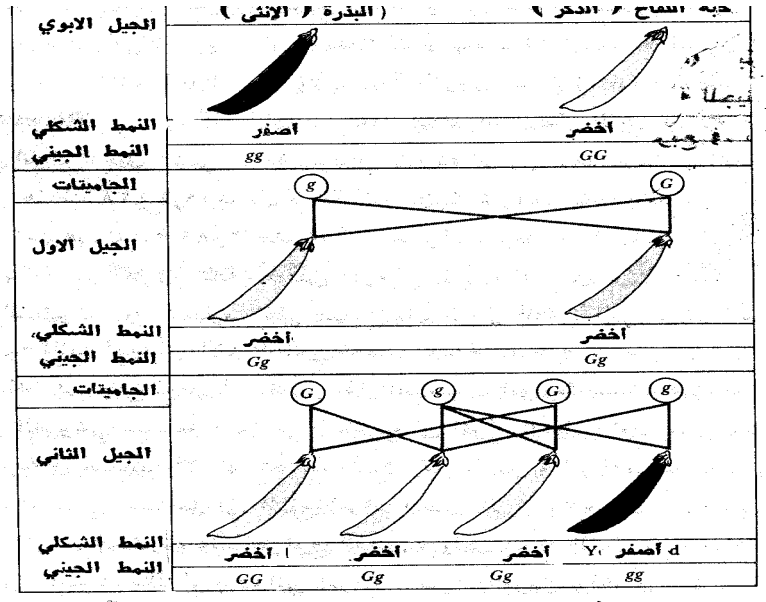
من السلالة الأولى وحبة اللقاح من السلالة الثانية (التـــزواج العكســـي) تنـــتج نفـــس الهجائن. فتظهر نتظائج التزاوج العكسي أن الأباء الذكور والأباء الأناث تســـاهم بالتســـاوي للأبناء . وكذلك فالهجائن الناتجة خصيبة –= وهذا عامل مهم إذا أريد توارث الخصـــائص لعدة أجيال . وقد اشتغل مندل على سبعة أزواج من الصفات الثابتة من جيل إلى جيل لهذه النبتة منها لون القرون وطول النبتة وشكل البذرة وغيرها من الصفات وتجنب الصفاتت غير المميزة المتغيرة . وهكذا كانت البذرة وغيرها من الصفات وتجنب الصفات غير المميـــزة المتغيرة . وهكذا كانت نتائجه واضحة سهلة التفسير ، وأهم من ذلك أعطى سجلاً مفصلاً بعدد الأفراد التي تحمل كل صفة من هذه الصفات .

وكمثال على أول سلسلة من تجارب مندل (سنأخذ تجاربه على صفة لون القـــرون . ففي التجارب زواج مندل نباتين أحدهما يحمل صفة القرون الخضراء بصورة نقيـــة وآخـــر يحمل صفة القرون الصفراء بصورة نقية ، وقد نتج أفراد الجيل حاملـــة صـــفة القـــرون الخضراء . وعندما أجرى تلقيح ذاتي لأفراد هذا الجيل نتج الجيل الثاني وكان بعض أفراد هذا الجيل يحمل صفة القرون الصفراء والبض الآخر صفة القرون الخضراء . وحيـــث أن صفة القرون الصفراء لم تظهر في أي فرد من أفراد الجيل الأول ، فقد أشار مندل إلى أن صفة القرون الخضراء صفة سائدة (Dominant) ، وأن صفة القـــرون الصـــفراء صـــفة منتحية (Recessive) وذلك لأنها لم تظهر في أفراد الجيل الأول ولكنها ظهرت في بعـــض أفراد الجيل الثاني . لقد وجد في تجاربه أنه من ٥٨٠ فرداً من أفراد الجيل الصفراء هناك ٤٢٨ خضراء: ١ صفراء . وقد حصل مندل على نتائج مشابهة عندما أجرى تجارب على الأزواج الستة الأخرى من الصفات . وفي هذه السلسلة من التجارب كان عدد أفراد الجيـــل الثاني التي تحمل الصفة السائدة ثلاثة أضعاف الأفراد التي تحمل الصفة المتنحية .

لقد استطاع مندل أن يفسر هذا النمط من التوارث كمياً وكيفياً بواسطة بعض الفروض البسيطة كما يلي : –مع أن أفراد الجيل الأول تظهر وكأنها متساوية في صـــفاتها إلا أنهـــا تختلف بشكل غير ظاهر ، أن الأب ذو صفة القرون الخضراء الذي استعمل في إنتاج إفراد

الجيل الأول ينتج نباتات جميعها تحمل صفة القرون الخضراء عند التزاوج الذاتي ، ولكن أفرا الجيل الأول ذات القرون الخضراء أنتجت بالتزواج الذاتي أفراداً خضراء القرون وأخرى صفراء القرون . ومع أن هذه الأفراد (الجيل الأول) تحمل جميعها صفة القرون الخضراء ظاهرياً ، إلا أنها تختلف فيما بينها بالتركيب الجيني لهذه الصفة . وقد فرض مندل أن كل صفة تنتج عن مشاركة جينين أحدهما يأتي من الجانب الأنثوي أو البويضة والآخر عن الجاميت الذكري أو حبة اللقاح ، وقد رأى أن كل صفة قد تحملها جينات مختلفة تعبر عنها تعبيرات مختلفة ، فقد يكون لفرد واحد جينان اثنان متطابقان يحملان صفة معينة أو جينان مختلفان قد يختلفان في تعبيرهما عن هذه الصفة . وبهذا قد يكون الجينان اللذان يظهران الصفة متشابهين أو قد يكونان مختلفين ، وفي هذه الحالة الأخيرة يكون أحد الجينين سائداً على الآخر فيظهر الفرد الحامل لهذين الجينين صفة الجين السائد . (والعلماء اليوم يعبرون رمزياً عن الجين السائد بحرف كبير وعن الجين التنحي بحرف صغير).

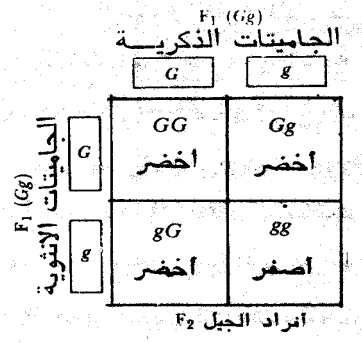
لقد استنتج مندل من هذه التجربة أن الأبوين النقيين لصفة ما يكونان متماثلي الجينات ، وبذلك يكون الأب الحامل لصفة القرون الخضراء ذا تركيب جيني (GG) والأب الذي يحمل صفة القرون الصفراء ذا تركيب جيني (gg). وقد افترض مندل بأنه عن طريق الجاميتات يشارك كل من الأبوين بالتركيب الجيني لتكوين صفة معينة للفرد. وحيث أن الأبوين



الشكل (٨ ــ ١) : لون وتوزيع والتركيب الجيني لأفراد الجيل الاول والثاني الناتج عن تزاوج نبات أصفر البذور مع آخر أخضر البذور .

النقيين يحمل كل واحد منهما نوعاً من الجينات لصفة معينة فإن الأب ذا القرون الخضـــراء يمكن أن يعطي فقد جاميتات تحمل الجين (G) والأب ذو القرون الصـــفراء يعطـــي فقـــط جاميتات تحمل الجين (g) . وعند تزواوج هذين الأبوين فإن الفرد الناتج يحمـــل التركيـــب الجيني (Gg). والفرد غير متماثل الجينات لزمرة واحدة من الجينات يدعى وحيد الهجـــين ، والتزاوج بين أبوين من هذا النوع يدعى تزاوج وحيد التهجين .

ومن الأهمية بمكان أنه أثناء تكوين الجاميتات يتوزع الجينان إلى نواتين منتفصـــلتين وبذلك فإنه أثناء التزواج ينتج كل من الأبوين جاميتات نصفها تحمل أحد الجينين والنصـــف الآخر يحمل الجين الثاني ، وبذلك فإن نصف الجاميتات الأنثويةة تحمل الجين ذات صـــفة القرون الخضراء ونصفها الآخر يحمل ذات القرون الصفراء . وأيضاً فإن نصف الجاميتات الذكرية تحمل الجين ذات صفة القرون الخضراء ونصفها ذا صفة القرون الصـــفراء . وإذا اتحد الجاميت الذكري مع الجاميت الأنثوي عشوائياً فإن الناتج سيكون بنسبة (gg١: Gg٢: GG١) وبذلك تكون نسبة الصفة الظاهرية هي ٣ سائدة (خضـــراء القـــرون): ١ متنحيـــة (صفراء القرون) . والتراكيب الجينية والصفات الظاهرة لأفراد الجيـــل يمكـــنن أن تبيـــنن بواسطة مخطط يسمى مربع بنيت (Punnett Square) باسم العالم البيولوجي روبرت بنيت. وهذا المربع يبين التكوينات الممكنة للجينين المتحكمين بصفة معينة والناتجين عن مشـــاركة كل من الأبوين وكل مربع في هذا الشكل يبين الزيجـــوت النـــاتج عـــن هـــذه الاتحاجـــات للجاميتات.



الشكل (٨ ــ ٢) : مربع بنيت الـذي يمثل الدراسة على قرون البازيلاء .

وهذا الرسم يبين نسبة التركيبات الجينية المتوقعة . لاحظ أنه على الرغم من اختلاف التراكيب الجينية لبعض الزيجوتات فإنه من الممكن أن تظهر فيها نفس الصفة . وبذلك فإن الفرد الذي يحتوي على جينين أحدهما الجين السائـــد (G)

يظهر صفة اللون الأخضر . أما صفة اللون الأصفر فلا تظهر إلا في الأفراد ذات التركيب الجيني (gg) وقد فحص مندل نباتات الجيل الثاني فوجد أن ٣/١ أفراده تقريباً تحمل الصفة بصورة نقية ، وبذلك تكون نسبة التراكيب الجينية لهذه الأفراد هي (GG١ :Gg٢) وحيث أن النسبة الملاحظة تتفق إلى حد كبير مع هذه النسبة المتوقعة فقد توصل مندل إلى فرضية يمكن وضعها كالتالي: تتوزع جينات الصفة الواحدة عند عملية تكوين الجينات وتتحد ثانية عشوائياً عند التقلقيح . وقد كان هناك بعض التساؤلات عن التقارب الكبير لنتائج مندل مع النتائج الموقعة ، خاصة بالنظر إلى الأعداد الصغيرة للنباتات المستعملة ، وكالنسب الأخرى المتركزة عى حوادث عشوائية فأن نسب التراكيب الجينية الملاحظة عادة لا تكون مطابقة تماماً لنسب المتوقعة .

ومربع بنيت يمثل الاحتمالات الاحصائية بأن الزيجوت المتكون من الفردين يبين طرز شكلية وطرز جينية محددة لهذا ، إذا تزاوج نباتا البازيالاء المبنان في الشكل ، فأنه منالمحتمل فقط – وليس من المؤكد– أنهما سينتجان زيجوتات ذات صفات بالنسب المبينة– أي ثلاثة خضراء إلى واحد أصفر . ولكن إذا تزاوج عدد كبير من نبات البازيلاء مثل ٤٠٠٠ ، فأننا نستطيع نستنتج بدقة بأن حوالي ٣٠٠٠ من الأبناء سيعطون قروناً خضراء و... سيعطون قروناً صفراء .

قانون التوزيع الحر: Principle of Independent Assortment

كانت الخطوة الثانية لندل هي بحث التوارث لصفتين معاً وذلك لدراسة كيفية توارث زمرة جينات بالنسبة لزمرة أخرى . لذلك فقد أجرىمندل تزاوج أبوين يختلفان بصفتين وهما شكل البذرة ولون البذرة . وقد زاوج سلالة نقية ذات بذور صفراء اللون ملساء (RRYY) مع سلالة نقية أخرى ذات بذور خضراء مجعدة (RrYy) فكانت جميع أفراد الجيل الأول صفراء وملساء البذور– الصفتين سائدتين– مما يدل على أن وراثة أي من الصتين لا تؤثر في الأخرى ، ومن التراكيب الجينية المحتملة في الجيل الأول: ١/٤ الأفراد غير متماثلة الجينات للصفتين RrYy أي ثنائي التهجين ، وقد انتج التلقيح الذاتي لهذه الأفراد غير متماثلة الجينات للصفتين ٥٥٦ بذرة في الجيل الثاني من الأنواع التالية:

الطراز الشكلي للبذرة	العدد	النسبة التقريبية
صفراء ملساء	٣١٥	١٦/٩
صفراء مجعدة	١٠١	١٦/٣
خضراء ملساء	١٠٨	١٦/٣
خضراء مجعدة	٣٢	١٦/١

الشكل (٨-٣)

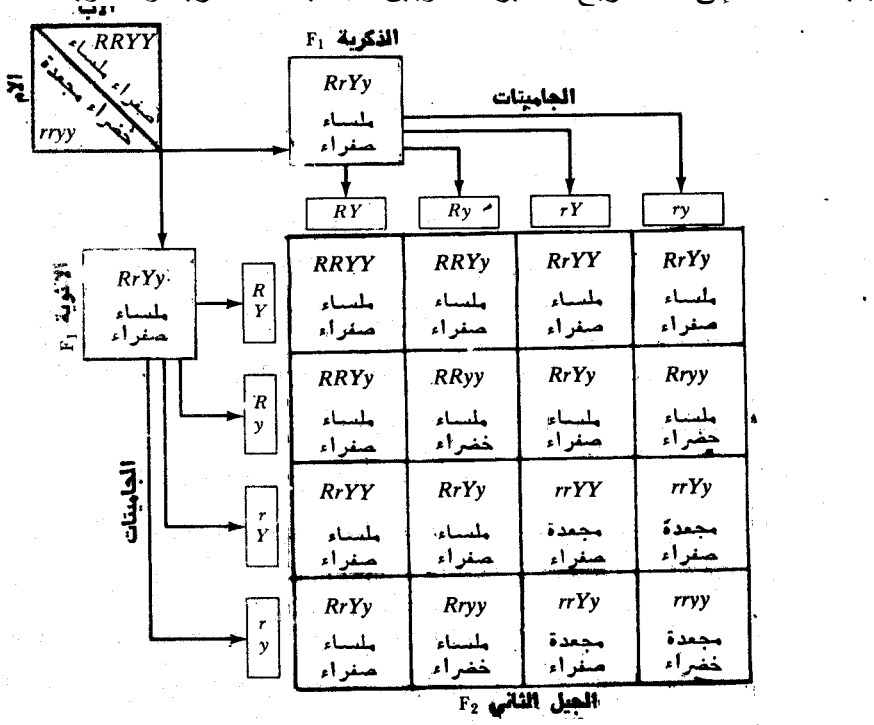
أن إنتاج بذور في الجيل الثاني لها صفات تختلف عن كل من الأبوين أو عن الأجداد (بذور صفراء مجعدة وبذور خضراء مجعدة) يدل على أن الجينات لهاتين الصفتين تتوزع بشكل حر كل عن الأخرى . ونسب الطرز الشكلية الملاحظة هي تقريباً تلك المتوقعة لو فرضنا التجمع العشوائي للجينات عن تكوين حبوب اللقاح والبويضات في نبات ثنائي الهجين وكذلك الأخصاب العشوائي خلال التزاوج الذاتي . وقد استنتج مندل تبعاً لذلك أن زوج جينات الصفة الواحدة ينتقلان إلى الجاميتات بدون التأثير بزوج جينات الصفة الأخرى . وهذا يعرف الآن بمبدأ اتوزيع الحر . واعتماداً على هذا القانون يجب أن يوجد في نفس الجاميت مع الجين الذي يحمل صفة البذور الملساء أو البذور المجعدة . وهكذا فان الأربعة تجمعات للجينات يجب أن توجد في الجاميتات بتردد متساو وكل يجب أن يمثل ¼ العدد الكلي للبويضات أو حبوب اللقاح . فأذا اتحدت الجاميتات المذكرة والمؤنثة عشوائياً ، فأن تردد الطرز الجينية والطر الشكلية يمكن أن تحسب للنسل (أي التزاوج لصفتين) والنسب المتنبأ بها للطرز الشكلية هي ١٦/٩ بذور صفراء ملساء: ١٦/٣ مجعدة صفراء: ١٦/٣ ملساء خراء: ١٦/١ مجعدة خضراء أو بنسبة ٩: ٣، ٣:١ ، وهذه النتائج الحسابية قريبة جداً من النتائج الملاحظة . أن دقة وكمال العالم مندل تظهر في أجزاء اختباراته التي حددت أن الطرز الجينية التسعة من الجيل الثاني وجدت بنسبة ١٦/١ RrYy

RRYy ١٦/٢	RrYY ٢/١٦	Rryy ٢/١٦	RrYy ١٦/٤
Rryy ١٦/٢	Rryy ١/١٦	rrYy ١٦/٢	rryy ١٦/١

وهذه النسب تتفق مع النسب التي يمكن التنبؤ بها باستعمال مربع بنيت .

وقد أثبت مندل نتائجه بتجارب تزاوج أفراد ثناية التهجين وأخرى ثلاثية التهجين . كلما زاد عدد أزواج الجينات زاد عدد التجمعات الممكنة . جرب التمرين التالي لتقرر

صفات الأفراد الناتجة عن تزاوج فـردين كـل منهمـا ثلاثـي التهجـين (Trihybrid) .
أرسم مربع بنيت مقسماً إلى ٦٤ مربع صغير ، وبين الجاميتات الذكرية والأنثوية



الشكل (٨ ــ ٤) : تأثير التفوق لجين المهاقة على لون الشعر .

بالأحرف التالية:ryz, ryZ, rYz, Ryz, Ryz, Ryz, RYZ, Ryz وستكون النتيجة كالتالي: ٢٧ طراز جيني مختلف و٨ طرز شكلية مختلفة . وعندما يأخـذ الشـخص بالاعتبـار أن الإنسان يحمل ليس فقط ثلاثة أزواج من الجينات ، بل ١٠,٠٠٠ زوج من الجينات ، فإنـه من السهل رؤية لماذا لا يكون هناك شخصان متماثلان فيما عدا التوأمين المتماثلين.

الكروموسومات وتوارث الجينات: Chromosomes and gene inheritance

أن تجارب مندل على نبات البازيلاء أعطت دليلاً جيداً لتأييد فكرة أن كل كائن يحمل جينين ليقررا كل صفة ، وأن كل جاميت يحمل جين واحد لكل صفة . ومضى أكثر مـن عشرون عاماً حتى أكتشف ان مقدارا كافياً قد عرف عن عملية تكاثر الخلية لتفسير علاقتـه بالوراثة .

وحتى في أيام مندل كان هناك دليل على أن الدقة في انقسام الخليةة حيوي للوراثـة ، حيث أن الجاميتات وحدها تعبر الفجوة بين الأجيال في عملية التزاوج الجنسي ، فإنه عليهما أن تحمل الجينات . وقد بين مندل وآخرون أن التزاوج المتبادل يعطي نفس النتائج الجينية .

وهكذا فإن البويضة والحيوان المنوي يجب أن يعطيا نفس المساهمة الجينية . والنواة هي العضية الرئيسية المشتركة الوجود بين الحيوان المنوي والبويضة . وفي الحقيقة ، فإن النواة هي الجزء الأعظم في خلية الحيوان المنوي . وتبين الدلائل الآن أن الجينات واقعة على الكروموسومات في النواة . ولذلك فإن تصرف الكروموسومات أثناء انقسام الخلية هو عامل أساسي في عملية نقل نماذج الوراثة.

حركة الكروموسوم والتهجين: Chromoscme movment and hybridization

أن الطرز الشكلية للأرنب الأليف تختلف بين السلالاتت الوراثية بالنسبة لصفات كلون الفلاء وطول شعر الفراء . والتزاوج داخل سلالات أرانب سوداء يعطي دائماً ذرية سوداء وبالمثل فإن التزاوج بين اران بنية اللون تنتج أرانب بنية دائماً . وعندما يتزاوج أرنب من سلالة سوداء مع أرنب من سلالة بنية اللون فإن الأرانب الناتجة جميعها تكون سوداء . فإذا جرى تزاوج بين أراد الجيل الأول (F١) السوداء هذه فإن أفراد الجيل الثاني الناتجة تكون بنسبة ٣ سوداء: ١ بنية . وفي هذه الحالة فإن جين اللون الأسود سائد وجين اللون البني متنح ، وكل جين له مكانة المحدد على كروموسوم محدد . وجيناً اللونان الأسود والبني هما جينان متقابلان (Alleles) لأنهما يسببان تعابير مختلفة للصفة الواحدة ، ويوجدان في نفس الموقع على الكروموسومينن المتماثلين . ويبين الرسم كيف أن هذه الجينات تنقل من جيل إلى الجيل التالي بواسطة الكروموسومات . والأب الأسود النقي يكون متماثل الجينات بحيث أن كل جاميتاته الأحادية تحمل كروموسوماً يقع عليه الجين الذي يقرر اللون الأسود للفراء . وبالمثل فإن جاميتات الأم البنية اللون النقية تحمل كروموسوماً حاملاً للجين الذي يعبر عن اللون البني للفراء . والاتحاد بين هذين الجاميتين أثناء الأخصاب ينتج فرداً مزدوجاً وغير متماثل أو أحادي التهجين والطراز الشكلي هنا أسود أي اللون الذي يحدده الجين السائد . وعندما ينتج هذا الفرد المدوج وغير المتماثل جاميتات أحادية بواسطة انقسام الخلية الاختزالي ، فإن الجينين المتقابلين سوف يتوزعان عندما يصطف الكروموسومانن كزوج ويتحركان إلى القطبين المتعاكسين والنتيجة هي أن ١/٢ الجاميتات تحمل الكروموسوم ذا الجين المحدد لصفة الفراء الأسود والنصف الآخر يحمل الكروموسوم ذا الجين المحدد لصفة الفراء البني . وعندما تتحد هذه الجاميتات لفردين أحاديي التهجين عشوائياً ، فإن احتمال تلقيح حيوان منوي يحمل كروموسوماً ذا جين لصفة الفراء البني

لبويضة تحمل كروموسوماً ذا جين لصفة الفراء البني يساوي احتمال تلقيحه لبويضة تحمل كروموسوماً ذات جين لصفة اللون الأسود . وبالمثل فإن احتمال أياً من جيني اللونين متساو ولهذا فإن توزيع الجينات وتكوين تراكيب جينية جديدة يتأثر بتوزيع الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي الذي يتبعه اتحادات عشوائية للجاميتات المذكرة والمؤنثة أثناء الاخصاب . ونماذج الوراثة التي تتضمن زمرتين من الجينات المتقابلة تنتج كذلك مباشرة من تصرف الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي إذا كانت هاتان الزمرتان من جينات متقابلة موجودة على أزواج مختلفة من الكروموسومات المتماثلة . وهذا هو الشرط الذي يقوم عليه مبدأ مندل للتوزيع الحر . كل زوج من الكروموسومات يتصرف دون الاعتماد على غيره من الأزواج ، فإن زمرة من جينات متقابلة محمولة على زوج واحد من الكروموسومات تتوزع دون الاعتماد على زمرة أخرى محمولة على زوج مختلف من الكروموسومات .

التزاوج الاختباري Test Cross

بما أن الأفراد الحاملة للصفة السائدة بشكل غير نقي تظهر نفس الطرز الشكلية كأشقائها الحاملة للصفة السائدة بشكل نقي فإن علماء الوراثة وغيرهم من المهتمين بالسلالات والمربين أوجدوا وسائل لتحديد الطرز الجينية لهذه الأفراد ، وهذا يتم بواسطة التزاوج الاختباري للأفراد الحاملين للصفة السائدة مع فرد أو أكثر من الأفراد الحاملين للصفة المتنحية بين الذرية فإن الفرد الحامل للصفة السائدة يجب أن يحتوي على الجين المتنحي . وإذا كان جميع أفراد الجيل يحملون الصفة السائدة ، فمعنى ذلك أن الفرد المختبر والحامل للصفة السائدة متشابه الجينين لهذه الصفة . ومثال على ذلك ، فإن صفة المهاقة (Albanism)- وهي صفة متنحية- بين سلالات القطط السيامية غير مرغوب فيها . فالتزاوج الاختباري للقطط السامية العادية مع القطط البيضاء يمكن أن تستعمل من قبل العلماء لمعرفة أي من القطط السيامية يحمل صفة المهاقة . أن إنتاج أي القطط المهقاء يعني أن الأب يحمل صفة المهاقة ، وبذلك فإن القط السيامي غير نقي التركيب الجيني يمكن أن يستثنى من التزاوج ، حتى يمكن التخلص من الجين غير المرغوب من سبق . فلقد اخذنا بالاعتبار حتى الآن الصفات التي يتحكم بتوارثها جينين ، أحدهما سائد والآخر متنح ،

ولكن لا تتوارث جميع الصفات بهذا النمط . فحيث أن الجينات تحمل بواسطة الكروموسومات ، وحيث أن الكروموسومات نموذج معين من التصرف أثناء الانقسام غير المباشر والاختزالي للخلية ، فإن المباديء المندلية للتوزيع والتجميع الاحر مستندة على هذا النموج وتعطي في الوقع وصفاً لتناقل الجينات على كروموسومات مختلفة . غير أن الجينات تبين درجات مختلفة ممن التحكم بالصفات التي تقررها . لذلك ، فإن نماذج أخرى للتوارث يمكن أن تلاحظ وهي لا تبدو دائماً مطابقة لما نعرف من نماذج عامة لحركة الجينات . ولفهم كيف أنها تطابق في الحقيقة النموذج ، فإن عوامل أخرى مثل قوة الجين وتفاعل الجينات وأماكن وجود الجينات على الكروموسوم يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار .

التوارث المتوسط: Intermediate inheritance

تحدد كثير من الصفات بواسطة أزواج من الجينات بحيث لا يكون أحد الجينين سائداً على الآخر . وهذا النقص في السيادة يمثل في الزيجوتات غير المتماثلة والتي يحمل أفرادها طرزاً شكلية تختلف عن كل من الأم والأب الحاملين لطرز جينية نقية . وفي العادة فإن الطرز الشكلية غير نقية التركيب الجيني تكون وسطاً بين هذين الطرازين الجينين النقيين . مثال على ذلك تزاوج نبات فم السمكة أحمر اللون (RR) نقي مع آخر أبيض اللون نقي (R' R') ينتج أفراداً تحمل صفة اللون الزهري والتزاوج الذاتي للهجين الزهري ينتج أفراد الجيل الثاني (F٢) مكوناً من الأنواع التالية: ١/٤ أحمر (RR) و ٢/٤ زهري (R R') و١/٤ أبيض (R' R') . وحيث أن كل تركيب جيني يمثل طرازاً شكلياً معيناً فإن نسب الطرز الشكلية تساوي نسب التراكيب الجينية .

الجينات المتعددة: Multiple Alleles

يتحكم ببعض الصفات أكثر من جين مقابل . أن أي فرد يحمل جينين فقط أما متشابهين أو متقابلين للصفة الواحدة ولكن أفراداً أخرى في المجموعة قد تحمل جينات مختلفة تماماً . وهكذا فإن مجموعة لأفراد يتزاوجون فيما بينهم يمكن أن تحتوي على نماذج وراثية يقررها ثلاث جينات متقابلة أو أكثر لصفة ما. وحين توجد عدة جينات متقابلة في

المجموعة ، فإن هناك تنوعاً أكبر لطرز شكلية وطرز جينية معقولة للأفراد . مثلاً أنـــواع الدم في الإنسان من سلسلة ABO تحدد بثلاث جينات متقابلة . وأن نوع الدم يحدد بواسطة وجود أو عدم وجود الانتجين (A) أو (B) على السطح الخارجي للكرة الدموية الحمـــراء . أن الجين السائد (IA) يسبب تكوين الانتجين (A) . وبالمثل فالانتجين (B) يتكـــون عنـــد وجود الجين (IB) ، والجين المتنحي لا يسبب تكوين أي من الانتجينات . وبذلك فإن الفرد الذي يحمل التركيب الجيني (ii) لا يحتوي على انتجينات على كريات الدم الحمراء وتكـــون مجموعة دمه (O) . والفرد الذي مجموعه دمه انتجدين B . وحيث أن A سائد علـــى (i) فإن مجموعة الدم A يمكن أن يسبب تركيبها الجيني I^AI^A أو I^Ai ومجموعة الدم B تنـــتج عن تركيبها الجيني I^Bi أو I^BI^B. ومجموعة الدم AB ذات التركيب الجيني Ii^Ai^B يمكن أن تنتج النوعين من الانتجينات . وبما أن I^B و I^A سائدين على (i) ولا سيادة لأحدهما علـــى الآخر فانهما يسميان متساويي السيادة (Codominant) ولهذا فإن ثلاث جينات متقابلة لهذا الموقع تنتج أربعة طرز شكلية مختلفة . وبذلك فإن تزاوج أبوين حاملين للتركيب الجينـــي I^Ai و I^Bi يمكن أن ينتج أفراداً يحملون جميع الأنواع من مجموعات الـــدم حســـب سلســـلة ABO ومجموعات أخرى لا تستطيع إنتاج طرز شكلية معينة . ويمكن استعمال مجموعات الدم لتوضيح حالات الأبوة المشكوك بها – ليس لإثبات أن الطفل ينتمي لزوج محـــدد مـــن الوالدين ، ولكن على الأقل– وفي حالات عديدة ليبين إذا كانت العلاقة معقولة أو لا.

الجينات القاتلة: Lathal alleles

يمكن لتراكيب جينية معينة أن تسبب نواقصاً قاتلة في التشكل أو البناء في الجســـم . فإذا كان هذا التركيب الجيني قاتلاً جداً بحيث أن الفرد الحامل له لا يتشكل أبداً ، فإن هـــذا العامل القاتل لا يمكن أن يلاحظ حتى أن نسبة طرز شكلية غير عادية لا يمكن أن تلاحظ . و مثال على ذلك التزاوج بين الفئران الصفراء الذي ينتج فئراناً صفراء وأخـــرى رماديـــة بنسبة ٢: ١ وحيث أن هذه النسبة لا تتلاءم مع قانون مندل ، فإنه يظن بأن مجموعة مـــن الذرية فقدت . وأظهرت الدراسات ١/٤ العدد الكلي للجيل الناتج ماتت في الرحم وتحللـــت قبل أن يولد الآخرون ، وكان هؤلاء يحملون جين اللون الأصفر بصورة نقية بينما الفئران

الصفراء التي عاشت كانت غير نقية بالنسبة للجين . والأثر الجيني القاتل لمعظم الصفات الموروثة ، ينطبق ومبدأ مندل للتوزيع الحر .

تفاعل الجينات: Gene interaction

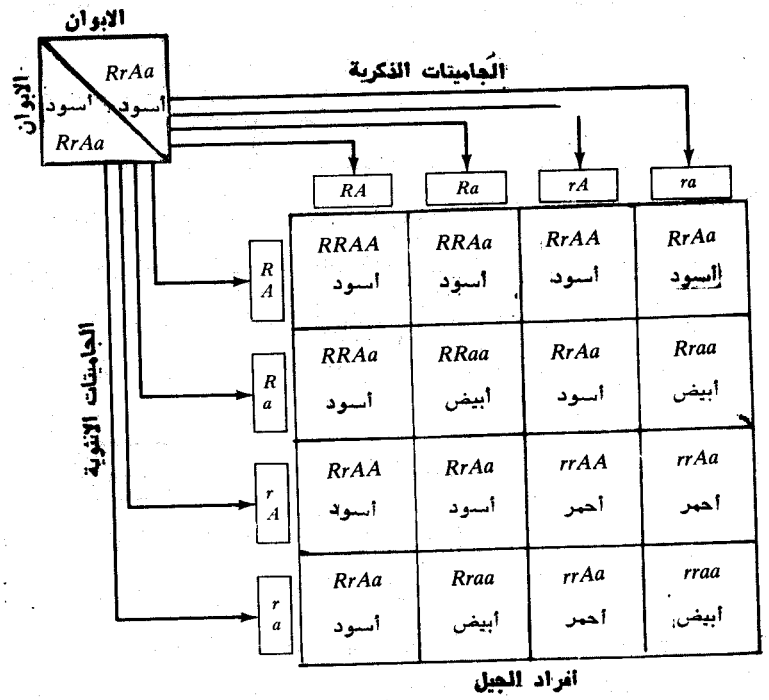
أن كثيراً من الطرز ا لشكلية تنتج عن تفاعل مجموعتين أو أكثر من الجينات المتقابلة . وهذه المجموعات الموجودة على أماكن مختلفة من الكروموسومات ، تؤثر في نفس الصفة ولكن بطريقة مختلفة . والجينات الموجودة على موقع واحد قد ، ؤثر في تعبير الجينات المتقابلة في المواقع الأخرى . ونسب الطرز الشكلية الملاحظة قد تختلف إذن عن تلك المتوقعة لأزواج الجينات غير المتفاعلة .

التفوق Epistasis

يمكن لبعض أزواج من الجينات أن تغطي كلياً التعبير عن جينات موجودة على مراكز أخرى من الكروموسوم . وأمثلة على هذا التفاعل والذي يدعى بالتفوق ما يحدث من صفات الصبغة مثل لون الشعر في الإنسان . فاللون الأحمر للشعر يتسبب في التركيب الجيني (rr) حيث أن الجين متنح ، بينما تعتمد الألوان الأخرى للشعر على وجود الجين السائد (R) . ويتحكم بالدرجات المختلفة للون الشعر غير الأحمر عوامل أخرى لا نريد أن نبحثها الآن ولكن يوجد مجموعة أخرى من الجينات المتقابلة تحتوي على الجين السائد (A) الضروري لإنتاج صبغة الميلانين ، وهي الصبغة الداكنة في الشعر والجلد والعينين . فالأفراد الحاملون للجينن المتنحي (a) بشكل نقي والذي يمنع تكوين الصبغة ، يكونون بدون لون أو همق ويتبين ذلك بشعرهم الأبيض ولون جلدهم الشاحب والبؤبؤ الزهري . وبما أن صبغة الميلانين ضرورية للتعبير عن الشعر الأحمر أو الغامق فإن شخصاً غير قادر على إنتاج الميلانين سيكون أمهق بغض النظر عن الجينات التي يحملها للون الشعر .

فإذا تزاوج أبوان كلاهما ذو شعر أسود وذو تركيب جيني (RrAa) فإن الطرز الشكلية المحتملة بين الأبناء تكون كما يلي : ١٦/٩ من الأبناء يكون ذوي شعر داكن و١٦/٣ ذوي شعر أحمر والباقي ١٦/٤ يكون أمهق وذلك بغض النظر عن أي جين أحمر أو غير أحمر يحملون . ولأن الطراز الجيني النقي للهماقة تمنع التعبير عن الجين الأحمر وغير

الأحمر فيقال أنه تفوق عليهما . غير أن نسبة ٩: ٣: ٤ لصفة الهماقة ليست مميزة لجميع أنواع التفوق . وأنواع أخرى لها نسب مختلفة للطرز الشكلية للتزاوج ثنائي التهجين.



الشكل (٨ ــ ٥) : الطرز الجينية والطرز الشكلية لافراد الجيل الثاني .

التوارث :

أن الطرز الشكلية يمكن أن تحدد بالتأثير الكمي المتراكم لفريق من مجموعات جينية متعددة والتي لها تعبير متشابه أو متقارب ولا يكون أحد من هذه الجينات سائداً ولهذا فلا أحداً منها يتحكم وحده بالتعبير عن الصفة . على العكس ففي كل مجموعة جين مساهم وجين مقابل غير مساهم . وحيث أن الجينات المشاركة في كل المجموعات لها تأثير مشابه وتراكمي بدون سيادة . فالعدد الكلي للجينات المشاركة في الطراز الجيني يحدد التعبير عن الطراز الشكلي . والنتيجة هي توارث كمي يتدرج من نهاية إلى أخرى . ومثال على ذلك الحجم في الإنسان ولون العينين وصبغة الجلد وهي صفات يتحكم بها جينات عديدة . خذ مثالاً على ذلك لون الجلد ، فإن غياب أو وجود الميلانين يحدد بواسطة مجموعة الجينات المتقابلة A و a ، ولكن كمية صبغة الميلانين في جلد الإنسان تبدو ثابتة للتوارث المتعدد . فلو شاركت مجموعتان من الجينات المتقابلة ، فإن لون الجلد الأسود يكون نتيجة لأربع جينات مساهمة والتي يمكن تسميتها (BBCC) ، والجلد الأبيض يكون نتيجة لأربع جينات مساهمة (bbcc) ، واللون المتوسط يكون (BbCc) ومن بين تجمعات التزاوج العديدة

المحتملة ، فإن أبناء والدين من ذوي اللون المتوسط يبينان تبايناً كبيراً من الصبغات . ويكون التركيب الجيني والطرز الشكلية للأطفال الناتجين أياً من الآتي: (BBCC) أسود و(BbCc) أو (BBCC) داكناً و(BbCc) (bbcc) متوسطاً و (BbCc) أو (bbcc) باهتاً و(bbcc) أبيض.

ولكن ملاحظات العائلات من هذا النوع واختلافات لونية أخرى لمجموعات مخلوطة كتلك الموجودة في جامايكا وبيرومودا تبين أن درجات أخرى عديدة للألوان يمكن تميزها . ولذلك ، يعتقد علماء الوراثة عامة أنه لا يحدد كمية الميلانين في الجسم زوج واحد بل على الأقل أربعة أزواج من الجينات المتقابلة تحدد كمية الميلانين في الجلد.

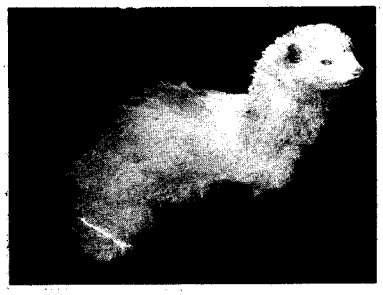
التعان: Collaboration

وظاهرة أخرى تتضمن تفاعل أزواج الجينات للتأثير على نفس الصفة وتعرف بالتعاون . وكما يدل الاسم ، فإن الجينات المشتركة تعمل معاً لإنتاج طرز شكلية لا يستطيع زوج واحد منها أن يظهرها لوحده . مثال على ذلك ، هناك مجموعتان من الجينات المتقابلة تتحكم بشكل عرق الدجاج . العرف الوردي ينتج عن جين مقابل سائد (R) بينما العرف المفرد ينتجه جين مقابل متنح (r) والزوج الآخر من الجينات المتقابلة (p) و (p) ينتجان العرف الباسلائي والمفرد . غير أن تفاعل الجين (p) مع (R) ينتج العرف الجوزي الذي لا يظهر بأي من الزوجين على حدة .

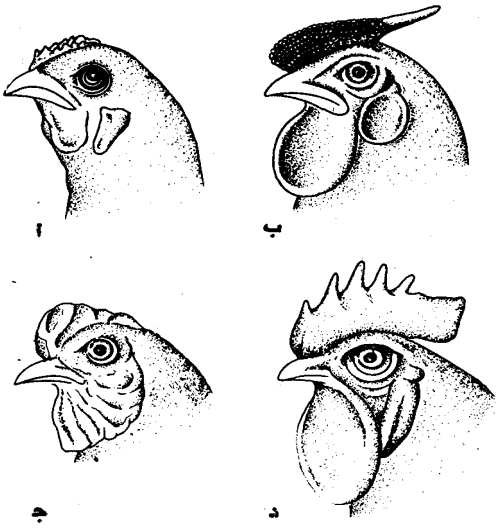
الارتباط Linkage

حتى الآن ، أخذنا بالاعتبار التزواج الثنائي الذي ترى توارثه نسباً للطرز الشكلية ذات العامل الزوجي (٨ و ١٦ وهكذا...) وهذا ما هو متوقع عندما تتوزع مجموعات الجينات المتقابلة المختلفة توزيعاً حراً . غير أن مراكز الجينات المسؤولة عن صفات عديدة تكون على نفس الكروموسوم وبذلك لا يمكن أن تتوزع دون الاعتماد المتبادل فيما بينها . بمعنى آخر ، هذه الجينات مرتبطة وتنقل أثارها كوحدة واحدة . ويشار لهذه الجينات في بعض الأحيان بالمجموعة المرتبطة . وقد اكتشفت ظاهرة الارتباط للمرة الأولى من قبل عالم الوراثة الأميريكي مورجان ، وقد وصل هو وطلابه دراسات وأبحاثاً عميقة في جامعة كولومبيا على ذبابة الخل **الدروسوفيلا ميلانوجاستر** ، وهذه الحشرة مناسبة جداً لدراسة

مشاكل الوراثة ، فهي صغيرة الحجم وتتكاثر بسرعة في الظروف المخبرية وتعطي جيلاً جديداً كل ١٠-١٤ يوماً . وتفقس الأناث قبل الذكور وبذلك يمكن فصل الجنسين قبل حدوث التزواج العشوائي . وتحمل خلايا هذه الذبابة عادة أربع أزواج من الكروموسومات . وفي بعض خلايا الجسم تكون الكروموسومات جيدة بشكل استثنائي . وبسبب هذه الصفات لتزكية



الشكل (٨ ــ ٦) : هذا ليس قاقوم بل ابن مقرض مهق وهو قريب مدجن للنمس وابن عرس الاسود . ابن مقرض يستعمل في اوروبا واسيا لجر الجردان وحيوانات اخرى من مخابئها وذلك لقتلها .



الشكل (٨ ــ ٧) : انواع الاعراف الناتجة عن التعاون الجيني
ا ــ باسلائي ب ــ وردى
ج ــ جوزى د ــ مفرد

هذه الحشرة ، فإنها استعملت لأبحاث أكثر من مشاكل الوراثة من أي كائن آخر . لنأخذ أحد أنماط التوارث غير العادية في هذه الذبابة والتي وجدها مورجان ومساعدوه . أن لون عيون الذبابة البرية حمراء وأجنحتها طويلة ولكن بعض السلالات لها عيون بنفسجية و/أو لها أجنية صغيرة جداً . ففي أحدى التجارب وجد مورجان أن التزاوج بين ذبابة ذكر بنفسجية العينين وطويلة الجناحين مع أنثى حمراء العنيني قصيرة الجناحين تنتج أفراد جيل أول جميعها عادية ، وبذلك يظهر أن الأجنحة القصيرة والعيون البنفسجية صفات متنحية . ولكن التزواج بين ذكر عادي وأنثى بنفسجية العينين قصيرة الأجنحة لا ينتج أفراداً ذات أعداد متساوية بالنسبة للأربع صفات المظهرية ، كما يتوقع من التوزيع الحر . ولكنها تنتج ٥٠% ذبابات بنفسجية العينين طويلة الأجنحة و٥٠% حمراء العينين قصيرة الأجنحة . ونتائج مماثلة ظهرت في كل مرة أعيدت فيها هذه التجربة . وبعينة كبيرة كهذه فإن عدم ظهور أفراد ذوي عيون حمراء وأجنحة طويلة وأفراد ذوي عيون بنفسجية وأجنحة قصيرة

هو برهان قوي على أن هاتين المجموعتين من الجينات المتقابلة لا تتوزع عشوائياً ، فمن المحتمل أذن أنها مرتبطة وأنها محمولة على نفس الكروموسوم .

عملية العبور Crpssomg- over

في تجربة أخرى ، زاوج مورجان حشرة برية ممن أفراد الجيل الأول في التجربة السابقة مع ذكر بنفجسي العينين قصير الأجنحة وحصل على النتائج التالية:

عيون بنفسيجة وأجنحة طويلة	٤٤%
عيون حمراء وأجنحة قصيرة	٤٤%
عيون حمراء وأجنحة طويلة	٦%
عيون بنفجسية وأجنحة قصيرة	٦%

ولو أن هذه الجينات تتوزع عشوائياً ، فإن نسبة كل من هذه الأنواع الأربعة يجب أن تكون متساوية . ولكن سيطرة الصفات الأبوية تؤيد الاعتقاد أن هذه الجينات مرتبطة . ولكن ماذا عن ال ١٢% من الأفراد غير المشابهين للأبوين؟ أن التوزيعين الجديدين متساويان تقريباً بنسبة التردد . هل تبادلت الجينات أماكنها في هذه الأفراد فكونت مجموعات مرتبطة جديدة؟ لقد اقترح مورجان أن ذلك حصل وأن اعادة التجميع لجينات مرتبطة نتجت عن انكسار المجموعات المرتبطة في الأبوين ولحقها تبادل والتحام جيني لتكوين مجموعات مرتبطة جديدة . ويمكن أن يحدث هذا أثناء الظاهرة المسماة بعملية العبورد التي شرحت في الفصل السابق . في الحقيقة أن مبدأ عملية العبور كان يرتكز أساساً فقط على بيانات احصائية من النوع المشاهد في التجربة السابقة .

خريطة الجينات: Chromosomal mapping

أن اكتشاف كون الكروموسومات يمكن أن تتبادل الجينات بواسطة عملية العبور ، قاد مورجان ومساعديه للتساؤل أي من الجينات قابلة لعملية العبور أكثر وكيف يمكن تحديد أماكنها على الكروموسوم . وحتى عام ١٩١٠ وجد مورجان ٤٠ سلالة جينية مختلفة من ذبابة الدروسوفيلا غير أن كل هذه الجينات التي درست يمكن تعيينها بأربع مجموعات ا رتباطية واضحة احصائياً . وحيث أن العدد الفردي للكروموسومات في هذا الصنف هو ٤،

فقد كان منطقياً أن يستنتج أن كل مجموعة مرتبطة تمثل جينات كروموسوم واحد . وقد لاحظ مورجان أيضاً أن تردد العبور يختلف عندما تقارن مجموعات الجينات المتقابلة المختلفة . أي أن بعض الصفات يعاد تجميعها أكثر من غيرها وبذلك استنتج أن نسبة حدوث العبور هو قياس للمسافة بين الجينات على نفس الكروموسوم ، فإن حدثت عملية العبور عشوائياً فإنها تحدث بتردد أكبر بين جينين بعيدن أحدهما عن الآخر على الكروموسوم أكثر مما يحدث بين جين والجين المجاور له . واستعمل مورجان بيانات اعادة الاتحاد Recombination لتحديد مواقع المجموعات المرتبطة ، مبيناً الترتيب المحتمل للجينات على الكروموسوم .

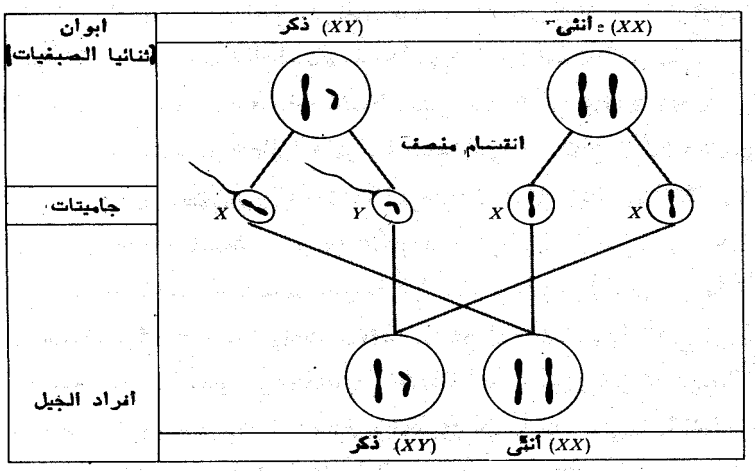
الجنس والوراثة: Sex and genetics

إلى جانب تكوين مجموعات مرتبطة جديدة بعملية العبور ، فإن أهم طريقة لتكوين التراكيب الجينية الجديدة هي التكاثر الجنسي لأنه يمكن الذرية وراثة عدد لا متناه من التغيرات من صفات الأباء . والجنس نفسه يحدد بواسطة الجينات . ولأن جين الجنس يحمل على الكروموسوم مع جينات أخرى ، فإنه يكون أيضاً قسماً من مجموعة مرتبطة ، والذي يسبب ما يعرف بالصفات المرتبطة والصفات المتأثرة بالجنس.

تحديد الجنس: Sex determination

في أشكال الحياة حيث الأفراد يكونون من جنس أو آخر ، فإن الجنس يحدد بواسطة زوج واحد من الكروموسومات التي تختلف بعضها عن بعض . وهذان الكروموسومان يعرفان بكروموسومات الجنس ، والكروموسومات الأخرى تسمى الكروموسومات الجسمية.

تحتوي كروموسومات الدروسوفيلا على نوعين من الكروموسومات الجنسية تسمى x وy ، بالإضافة إلى ثلاثة أزواج من الكروموسومات الجسمية . والكروموسوم x مستقيم والكروموسوم y على شكل J . وتحمل الأناث ٣ أزاوج من الكروموسومات الجسمية مع كروموسومين X . وتحمل X الذكور ٣ أزواج من الكروموسومات الجسمية بالإضافة إلى واحد X وواحد Y . وهذا التوزيع يسمى تحديد الجنس YX-XX.



الشكل (٨ ــ ٨) : تحديد الجنس

ينتج الذكر في الحشرة أعداداً متساوية من الحيوانات المنوية واحداً يحمل كروموسوم X، والآخر كروموسوم Y بالإضافة إلى ثلاثة أزواج من الكروموسومات الجسمية . فالذكر أذن هو الجنس مختلف الجاميتات . أما الأنثى فتنتج نوعاً واحداً من البويضات لكونها متماثلة الجاميتات . والذرية الأنثوية تنتج عن الاخصاب بحيوان منوي يحمل كروموسوم X، والذكرية من الاخصاب بحيوان منوي يحمل كروموسوم Y. غير أن حيوانات منوية غير عادية تحتوي فقط الكروموسومات الجسمية ولا تحتوي على كروموسوم X أو Y ، وتنتج عند اخصاب البويضات ذكوراً عقيمة . ودراسات على متممات كروموسومات غير عادية أخرى بينت أنه في الدروسوفيلا ، حيث أن جين الأنوثة يُحمل على كروموسوم X ، تُحمل جينات الذكرية على الكروموسومات الجسمية فيكون الكروموسوم الجنسي X غير نشيط وراثياً.

في الإنسان يحدد الجنس أيضاً حسب النوع XY-XX حيث أن الذكر هو الجنس المختلف الجاميتات ، ولكنه يختلف عن الحالة في الدروسوفيلا بأن كروموسوم X هو الكبير وكروموسوم Y هو الصغير وهما العاملان الأساسيان لتحديد الجنس ، أما الكروموسومات الجسمية الـ٢٢ الأخرى فلها تأثير صغير جداً . وكذلك فإن الصفات الذكرية تحدد بواسطة الكروموسوم Y فقط حتى ولو كان هناك عدد زائد من الكروموسومات X . هل يعني ذلك أن الذكرية في الإنسان أقوى من الأنثوية؟

أن الدراسات على الخلايا الجسمية تقترح تفسيراً آخر . والاختلافات الجنسية واضحة في الخلايا الجسمية للإنسان . أن الخلايا من بطانة الخد للأناث تظهر جسماً كروماتينياً ذا

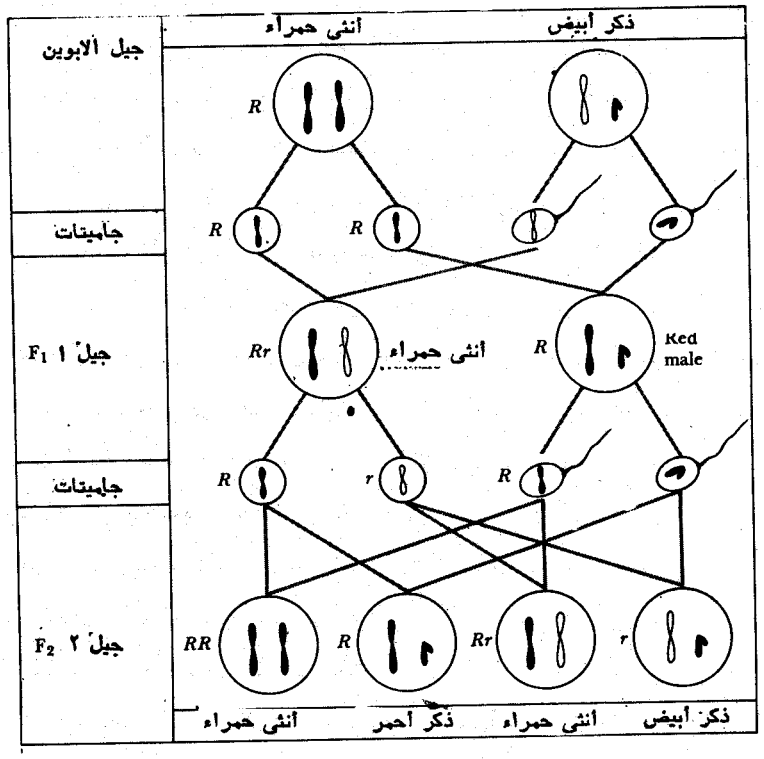
صبغة ثقاتمة يسمى جسم بار Barr body . وفي الأناث الطبيعيات يوجد "عصاة طبل" مرتبطة مع النواة لبعض الخلايا الدموية البيضاء . الذكور الطبيعيون والأناث اللواتي لهن كروموسوم X واحد ، يفتقرون إلى هذه الأجسام . ولكن الأفراد الذين لهم كروموسوم X أضافي يوجد في خلاياهم هذه الأجسام . وبما أن عدد أجسام بار أقل بواحد من عدد كروموسومات X للفرد الواحد ، فقد استنتج أن أجسام بار هي كروموسومات X خاملة . وهذا يعني أن الذكور والأناث الطبيعيين وغير الطبيعيين تحتوي خلاياهم على كروموسوم X عامل واحد في كل خلية . وبذلك يكون التوازن الوظيفي بين الكروموسومات X والكروموسومات الجسمية الأخرى متساوياً في الجنسين ، وبذلك يكون من السهل فهم كيف أن الكروموسوم X قد توجد .

أن بعض الحشرات (الجراد وبعض البق وغيرها) غير عادية لأن ا لجنسين يحتويان على عددين زوجيين مختلفين من الكروموسومات . فمثلاً ، أن خلايا ذكور البق (Protenor Belfragei) لها ستة أزواج من الكروموسومات بالإضافة إلى كروموسوم X واحد . أما الأناث فتحتوي على سبعة أزواج من الكروموسومات منها زوج من الكروموسومات X. ينتج الذكور نوعين من الحيوانات المنوية نصفها يحتوي على ستة كروموسومات عادية فقط ، بينما النصف الآخر يحتوي على هذه بالإضافة إلى كروموسوم X . وجميع البويضات تحتوي على سبعة كروموسومات بما في ذلك كروموسوم X واحد . وتنتج الحشرة المؤنثة في البق عندما يلقح حيوان منوي يحمل كروموسوم X بويضة . وإذا لم يحتو الحيوان المنوي على الكروموسومات X فينتج الزيجوت ذرية ذكرية . وهذا يسمى النوع XO-XX لتحديد الجنس .

هناك أصناف عديدة من النباتات تحدد كالأنسان بواسطة XY-XX وعلى العكس من ذلك فإن الطيور والفراش والعث وبعض الأسماك تحدد بواسطة XX-XY حيث الأنثى هنا هي الجنس مختلف الجاميتات والذكر هو الجنس متشابه الجاميتات.

الارتباط بالجنس: Sex Linkage

ان الجينات التي توجد على الكروموسومات الجنسية تكون مرتبطة بالجنس رغم أنه قد لا يكون لها تأثير على الصفات الجنسية . في الإنسان والدروسوفيلا توجد معظم الجينات المرتبطة بالجنس على الكروموسوم X. أما الكروموسوم Y فيظهر أنه يحمل عدداً قليلاً من الجينات ويظهر أنها لا تزدوج مع الجينات الموجودة على الكروموسوم Y . يحتوي الذكر الطبيعي على كروموسوم X واحد مأخوذ من الأم وعلى كروموسوم Y واحد مأخوذ من الأب. وهذه الحقائق لها نتيجتان مهمتان للوراثة : أولاً، أن الذكر يرث جميع الصفات المرتبطة بالجنس من الأم ، ثانياً ، بما أن الذكر يحتوي على كروموسوم X واحد ت فإنه يحتوي على جين واحد لكل مجموعة جينات متقابلة alleles مرتبطة بكروموسوم x. وبذلك ففي الذكر فإن كل جين واحد يعبر عنه بغض النظر عن كونه سائداً أو متنحياً . أما في الأنثى حيث يوجد كروموسوما جنس متشابهان فالعلاقة بين السيادة والتنحي تبقى فعالة . ولهذا فإن نموذج الوراثة للجينات المرتبطة مع X قد تختلف من جنس لآخر ، والتزاوج قد يعطي نتائج مختلفة . لقد اكتشف العالم مورجان واحداً من أول الجينات المرتبطة بالكروموسوم X في الدروسوفيلا . لقد وجد أن حشرة مذكرة بيضاء العيون مميزة ظهرت بين أفراد الجيل الأول F١ جميعها حمراء العيون . والتزاوج بين أفراد الجيل الأول أنتج ٣٤٧٠ حشرة حمراء العيون و ٧٨٢ حشرة بيضاء العيون . أن ظهور الحشرات بيضاء العيون في الجيل الثاني F٢ يبين أن هذه الصفة هي نتيجة لتغير جيني ثابت أي طفرة . أن جين العيون الحمراء تغير بالطفرة إلى جين عيون بيضاء . وأظهرت البيانات أن العيون البيضاء متنحية بالنسبة للحمراء . ولكن هناك جزيئين صغيرين من البيانات لم يطابقا هذا النمط التقليدي : أن النسبة بين العيون الحمراء إلى العيون البيضاء أعلى من ٣: ١ وأن جميع الـ ٧٨٢ حشرة بيضاء العيون هم ذكور . وأنه بين الحشرات حمراء العيون ، وجد أن ٢٤٥١ حشرة مؤنثة و ١٠١١ حشرة مذكرة . بدل أن يكونا متساويين في العدد . وعندما زوج الذكر ذو العيون البيضاء الأصلي مع بناته من الجيل الأول F١ نتج ١٣٢ حشرة حمراء العيون ذكرية و ١٢٩ حشرة حمراء العيون أنثوية و ٨٦ حشرة بيضاء العيون ذكرية و ٨٨ حشرة بيضاء العيون أنثوية . وهذا يظهر أن الأناث ممكن أن يكن ذوات عيون بيضاء أيضاً.



الشكل (٨ ــ ٩) : وراثة الصفات المتعلقة بالجنس ، لون العيـــون البيضاء المتعلق بالجنس في حشرة ذبابة الخل .

لقد اقترح مورجان أن الجينات التي تحمل صفة العيون البيضاء يكون موقعها علـــى الكروموسوم X وهي متنحية بالنسبة للجين المقابل للعيون الحمراء . أن الذكر الأصلي حمل جين العيون البيضاء الناتج من الطفرة على الكروموسوم X الوحيد وأظهر بذلك صفة العيون البيضاء المتنحية . وقد نقل هذا الكروموسوم X من هذا الأب إلى ابنته ولكن حيث أن هذه البنات تحمل كروموسوم X عليه جين العيون الحمراء السائد من الأم ، فقد أظهرتت هـــذه الأناث صفة العيون الحمراء . أما بالنسبة للذكور فإن الكروموسوم X لا يحمل أيـــاً مـــن الجينات للون العيون وبذلك فإن الذكور من ذريته تكون عيونها حمراء بسبب جين العيـــون الحمراء المرتبط مع كروموسوم X القادم من الأم . أن أناث الجيـــل الأول ذات التركيـــب الجيني غير المتماثل ، نقلت جين العيون البيضاء المحمول على أحد الكروموسومات X إلى نصف ذرية الذكور تقريباً ، وجين العيون الحمراء إلى النصف الثاني . وجميع أناث الجيل الثاني كانت حمراء العيون لأن كلا منها أخذ كروموسوم X عليه الجـــين الســـائد للعيـــون الحمراء دون اعتبار أي من الجيناتت أخذ من الأم . وأناث الجيـــل الأول غيـــر متماثلـــة

الجيناتت أعطت جين صفة العيون البيضاء على كروموسوم X واحد لنصف الذرية الذكرية وجين صفة العيون الحمراء على كروموسوم X الثاني للنصف الآخر . وكل أناث الجيل الثاني كانت حمراء العيون لأن كلا منها أخذت كروموسوم X مع العيون الحمراء السائدة بغض النظر عن أي كروموسوم أخذت من أمها . وفي الاخصاب بين أناث الجيل الأول F١ أو أبائها الذكور ، كلا الأبوين يجب أن يحلم كروموسوم X على جين صفة العيون البيضاء حتى تنتج ذرية أنثوية متماثلة الجينات متنحية .

من بين ال٦٠ صفة تقريباً التي تتحكم بها جينات مرتبطة بكروموسوم X، هناك عمى الألوان ، ونزف الدم وبعض العاهات الجنسية ، وضعف العضلات وضعف الدم ، وإنتاج بعض الانتيجنات الدموية في الإنسان ، أن الأناث غير متماثلة الجينات والحاملات للجينات المتنحية المرتبطة بالكروموسوم X، لا يظهرن الصفة المتنحية ولكنهن ينقلن هذا الجين المتقابل المتنحي إلى أبنائهن الذين يبينون الصفة المتنحية . ولكن هؤلاء الأبناء لا يستطيعون نقل الجينات المرتبطة بالكروموسوم X إلى أبنائهم الذكور لأنهم لا يعطون هؤلاء الأبناء كروموسوم X. أن الجينات المرتبطة بالكروموسوم X تنقل من الأجداد الأناث إلى الأحفاد عن طريق الأم . وبذلك فإن صفة متنحية مرتبطة بالكروموسوم X قد تعتبر جيلاً قبل أن تظهر في الذرية . والصفات المرتبطة بالكروموسوم X تظهر في الذكور أكثر من الأناث وذلك لأن الجين المقابل السائد يكون على الكروموسوم X الآخر في الأناث . ومثال على ذلك فإنه في الإنسان يكون عمى الألوان في الذكور أكثر ٢٠ مرة عما هو في الأناث . ومع ذلك فإن من الممكن لابنه من أم غير متماثلة الجينات وأب يحمل الصفة المتنحية أن تأخذ هذه الصفة عن كلا الأبوين وتظهرها عندئذ . ومن الجينات القليلة المحمولة على الكروموسوم في الإنسان هي صفة وجود الشعر على الاذنين . وهذه الظاهرة موجودة بين سكان الهند . وهذه الصفة المرتبطة بكروموسوم Y تنقل من الأب إلى الأبن ولا تظهر في الأناث .

الصفات المتأثرة بالجنس: Sex- influenced traits

أن الصلع هو صفة في الإنسان تظهر عادة بين الرجال وفي حالات قليلة جداً بين النساء . غير أن الحقيقة بظهور هذه الصفة بين النساء هي دليل أن الجين ليس مرتبطاً بكروموسوم Y. أن نقل الصفة من الأب إلى الأبن ينفي احتمال ارتباط هذا الجين

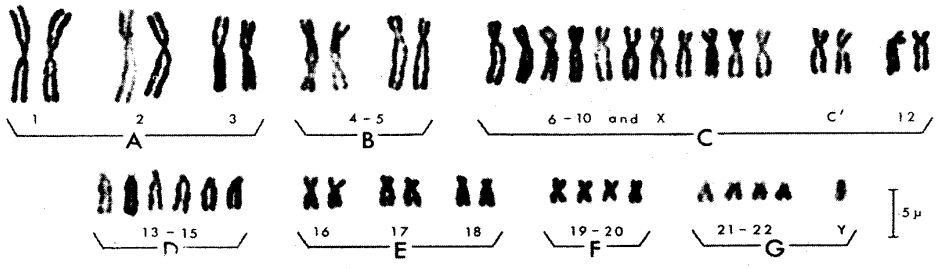
بالكروموسوم X. ولذلك فإن جينات الصلع يجب أن تنقل بواسطة الجينات الجسمية . وتبدو الصفة سائدة في الرجال متنحية في النساء وقد سميت **بالصفة المتأثرة بالجنس** أن مستوى الهرمونات الذكرية (الاندروجينات هي العامل الأساسي المسبب للصلع في هؤلاء الذين يحملون جينات الصلع . أن التركيز المرتفع للاندروجينات يسمح بظهور الصلع في معظم الرجال الحاملين لجينات الصلع بصورة نقية أو غير نقية . أن النساء الحاملا لجين الصلع بصورة غير نقية لا تظهر عليهم الصفة ع ادة إلا إذا عوملوا بهرمون الاندروجين . والنساء الحاملات لهذه الصفة بصورة نقية نادراً ما يحملن معدلاً مرتفعاً من الاندروجينات لتسبب لهن الصلع . أن الجينات المتأثرة بالجنس تؤثر على الطرز الشكلية لجنس واحد فقط . فمثلاً بين الماشية يحمل كل من الجنسين الجينات لإنتاج الحليب ، ولكن هذه الصفة لا تظهر إلا في الأناث . والعاهات الجنسية المحدودة وراثياً للأعضاء التناسلية هي محددة بالجنس لأن هذه الأعضاء موجودة في جنس واحد فقط .

اختلالات الكروموسومات Chromosomal Abnormalities

أن لكل صنف أو فرد مجموعة محددة من الكروموسومات خاص بخلايا جسده . ففي الإنسان يوجد ٤٦ كروموسوماً يمكن أن تصنف إلى ٧ مجموعات حسب الحجم . في أنثى الإنسان يوجد نموذجياً ٢٢ زوجاً من الكروموسومات الجسمية بالإضافة إلى زوج من كروموسومات X . واحد وكروموسوم Y واحد . أن الحجم والشكل المميزين للكروموسوم Y يميزان بسهولة كروموسومات الذكر عن الأنثى . وكل نوع من الكروموسومات الجسمية مميزة بعضها عن بعض الآخر بسبب الاختلافات بالحجم وموضع السنترومير وعوامل أخرى . ولهذا فإن ضياع الكروموسومم أو التغيرات الواضحة في التركيب يمكن أن تنسب بدقة إلى كروموسوم معين . أن عدداً معيناً من العاهات في الطرز الشكلية قد ربط بعدد غير عادي من الكروموسومات .

العدد غير العادي للكروموسومات :

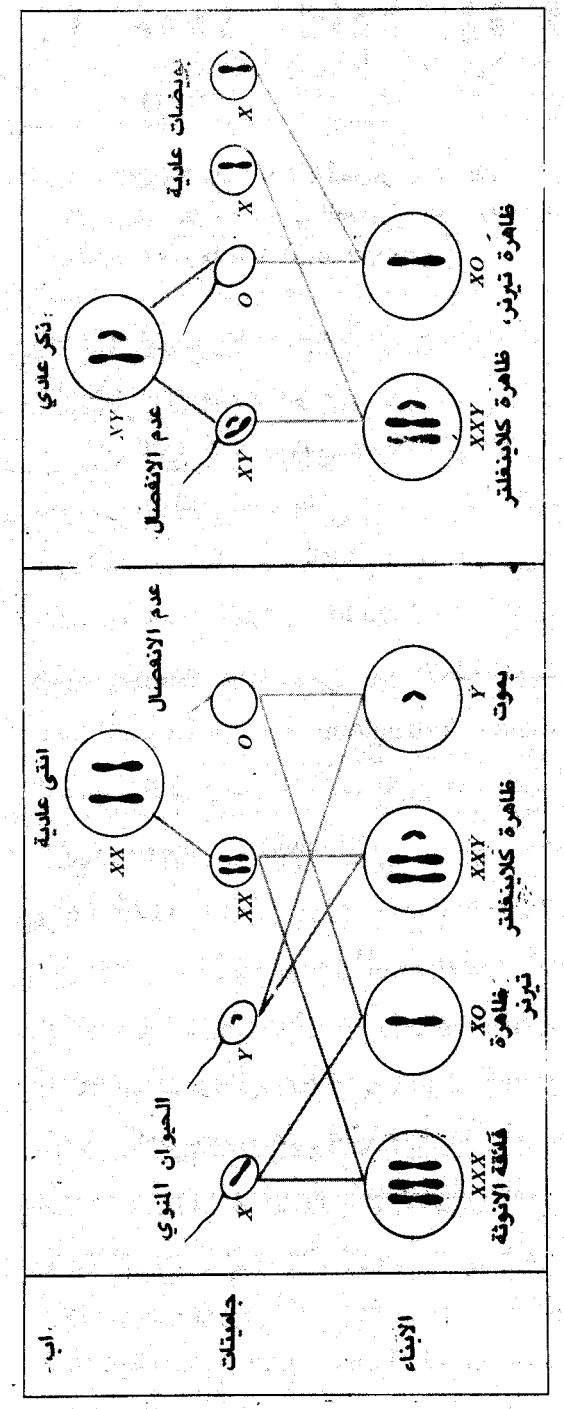
أن التغير في عدد الكروموسومات ينتج عادة أفراداً غير طبيعين ، وهذا التغير ممكن



الشكل (٨ ــ ١٠) : الكروموسومات الجسمية في ذكر الانسان . صورة مخلوطة للكروموسوم مثل الذي مر في الفصل السابع ، وقد صنفت الكروموسومات حسب شكلها وحجمها (بيت كارولينا للتزويد البيولوجي)

أن يحدث أثناء الانقسام الاختزالي ، أو عندما تلقح بويضة واحدة بواسطة حيوانين منويين .

أن الفرد الذي تحتوي خلاياه على ثلاثة او أكثر من العدد المفرد للكروموسومات Haploid يسمى **عديد الكروموسومات** Polyploid. ففي الإنسان ، الضعف الثلاثي للعدد Tripoloid (٣ مجموعات من مجموعة الأحادية للكروموسومات) كثير بين الأجنة المجهضة تلقائياً في الإنسان . والكائنات ذات المجموعة الرباعية Tetraploid تحدث أيضاً . ولكن ليس في جميع الأصناف الأخرى من الكائنات تكون هذه الحالة مميتة . فالنباتات متعددة الكروموسومات Polyploid تعيش وهي عادة أكبر من النباتات العادية ثنائية الكروموسومات من الصنف الواحد . وحيث أن الكائنات عديدة الخلايا تنتج عادة من الانقسام غير المباشر للخلية الواحدة فإن جميع خلايا جسم هذا الكائن متشابهة من حيث الكروموسومات . ولكن يحدث أحياناً خطأ أثناء الانقسام غير المباشر وبذلك لا تتوزع الكروموسمات كلياً أو بالتساوي ، أن الأفراد الذين يحتوون على خلايا ذات عدد غير متساو من الكروموسومات يسمون بالفسيفسائيين ، والإنسان الفيسفسائي الذي له خلايا ثنائية وعددية الكروموسومات له فرصة أفضل للبقاء ، حتى الولادة أو بعدها بقليل ، من الفرد ذي الكروموسومات المتعددة ولكن يكون فيه كثيراً من النواقص . وحالة استثنائية لذلك في الكبد: فكثيراً ما توجد خلايا كبدية عديدة الكروموسومات Polyploid في فرد ذي عدد زوجي للكروموسومات Diploid . وبين الأفراد الذين يولدون أحياء ، معظم الأعداد غير الطبيعية تكون متكررة الكروموسومات Anenploid أي أن واحداً أو أكثر من الكروموسومات مكرر في الخلية من غيره ومن هذه فقدان أحد الكروموسومات Monosomic و٣ أضعاف العدد من الكروموسومات Trisomic وهي هي الأكثر شيوعاً



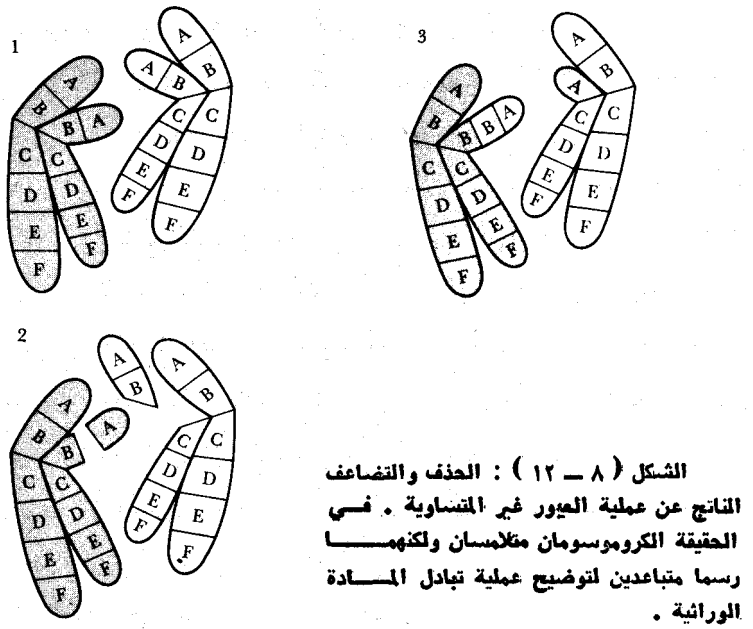
الشكل (٨ــ١١) : التراكيب غير الطبيعية الميكنةللكروموسوم والناتجة عن عدم الانفصال خلال تكوين الجاميتات من احد الابوين .

وتركيب كروموسوم الجنس غير العادي يصل ١/٢ الحالات غير الطبيعية لعدد الكروموسومات . فهنالك مرض في الإنسان يتسبب عن وجود كروموسوم X اضافي في الذكر XXY وهذا الذكر يكون طويلاً جداً عقيم ذا ثديين كبيرين وذا خلل عقلي حاد ويسمى هذا المرض كلاينفلتر Klinefeters Syndrome أما الأنثى التي ينقصها كروموسوم (Xo)X فتكون قصيرة ولا تظهر فيها الصفات الجنسية الثانوية وممكن أن تكون متخلفة عقلياً وتسمى هذه الحالة بمرض (ترنر) Trners Synfrome أن بعض الأناث ذوات التركيب الجيني XXX يكن طبيعيات وخصبات ولكن البعض الآخر يكن عقيمات ومتخلفات عقلياً . والذكور الذين تركيبهم الجيني XYY يكونون أطول من المعدل وبعضهم يكونون عدائيين أكثر من الذكور الطبيعيين . وفي الأفراد الذين يحتوون على ثلاث كروموسومات جنسية ، من المحتمل أن يكون اثنان من الكروموسومات مزودين من أحد الأبوين ، وهذا يحدث من فشل الكروموسومين في الانفصال أحدهما عن الآخر . وعندما يحدث من فشل الكروموسومين في الانفصال أحادهما عن الآخر . وعندما يحدث ذلك يذهب الكروموسومين في الانفصال أحدهما عن الآخر . وعندما يحدث ذلك يذهب الكروموسومين لخلية واحدة أما الخلية الثانية فتكون بدون كروموسومات . وبذلك فإنه يمكن لبويضة أن يكون فيها كروموسومان X ثم تلقح بحيوان منوي يحتوي على كروموسوم Y وبذلك ينتج فرد يحتوي على XXY أو أن تلقح بحيوان منوي يحتوي على كروموسوم X وبذلك ينتج فرد تركيبه الجيني XXX لاحظ أن الطرز الشكلية غير الطبيعية هي مرتبطة عادة بهذه الأعداد الكروموسومية رغم أنها تختلف عن العدد الكروموسومي الطبيعي بكروموسوم واحد فقط . ويبدو أن العدد الطبيعي للكروموسومات متزن بدقة بحيث أنه ينتج خلل بسبب نقص أو زيادة في كروموسوم واحد .

كذلك تحدث زيادة في عدد الكروموسومات في الخلايا الجسمية أيضاً فمثلاً حالة المنغوليا والداون Down و Mongolism تكون بسبب كروموسوم رقم ٢١ اضافي وهو من أصغرها . وهذه الحالة تتميز بنقص عقلي شديد ووجود أغطية عيون مرتخية وظواهر أخرى . وهو شائع في الأطفال المولودين لأمهات كبار في السن مما يعني أن عدم الانفصال في الكروموسومات يحدث عندما تهرم الخلايا الجنسية . وفي حالة مرض داون Down تكون نسبة الوفيات كبيرة مع أن الطب الحديث يستطيع أن يطيل أعمار هؤلاء الضحايا.

تكسر الكروموسومات: Chromosomal abnormalities

أن الخلل في عدد الكروموسومات ممكن أن يحدث أيضاً بسبب تغير في الكروموسومات ذاتها وليس العدد غير الطبيعي لها . وهذا التغير المسمى بتكسر الكروموسومات Chr. Aberration يحدث بسبب تكسر مادة الكروموسومات في نقطة ما أثناء الانقسام . وعملية العبور هي مثال لهذا التكسر ، ولكن هذا غير مؤذ ما دام الكسر يحصل في نفس الموضع على كلا الكروموسومين بحيث أن الكروموسومين الجديدين المكونين بواسطة عملية العبور لهما نفس العدد من الجينات للصفات الصحيحة . ولكن عندما يفقد أحد أجزاء الكروموسوم أو يغير مكانه أو يلتصق بكروموسوم آخر فإن المشاكل تبدأ . فمثلاً ليس جميع الأفراد المصابين بحالة داون لديهم كروموسوم رقم ٢١ زائد . أن بعضهم لديه العدد الطبيعى للكرموسومات ال ٤٦ ولكن فى بعض الفحوصات تبين



الشكل (٨ ــ ١٢) : الحذف والتضاعف الناتج عن عملية العبور غير المتساوية . في الحقيقة الكروموسومان متلامسان ولكنهما رسما متباعدين لتوضيح عملية تبادل المادة الوراثية .

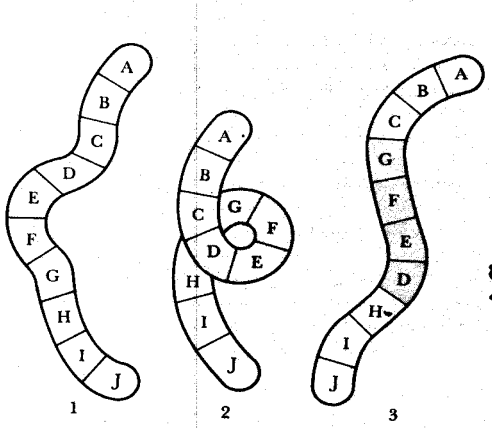
ن قطعة

رئيسية من كروموسوم رقم ٢١ التصقت إلى الكروموسوم غير المماثل وهذا النوع من تكسر الكروموسوم رقم ٢١ التصقت إلى الكروموسوم غير المماثل وهذا النوع من تكسر الكروموسومات يدعى بالازاحة Translocation والفرد الحامل للكروموسوم متغير المكان – رقم ٢١ مع كروموسومين عاديين رقم ٢١ هو وظيفياً ثلاثي الكروموسومات Trisomic لهذا الكروموسوم وسيطور ظاهرة داون .

وأمثلة أخرى لنفس ظاهرة الازاحة وصفت في الإنسان وعادة لا يكون لها أثـــر واضـــح . والنوع الآخر من الخلل في الكروموسومات يسمى الحذف Deletion أي نقص جزء مـــن الكروموسوم . أن نقص الكروموسوم معروف ولكن لا يتسبب عنه ضرر كبير ربما لأنـــه يحمل قليلاً من المادة النشطة وراثياً كنقطة بداية والعكـــس مـــن الحـــذف Deletion هـــو التضاعف Duplication . حيث أن جزءاً من الكروموسوم يكون مكرراً كنتيجة للعبـــور غير المتساوي بين كروموسومين غير أخوين . وحذف صغير قد يكـــون قـــاتلاً ، ولكـــن تضاعف صغير لا يكون قاتلاً كهذا .

الانعكاس Inversion

هو نوع من اعادة الاتحاد حيث أن جزءاً من الكروموسوم يصبح على شـــكل حلقـــة مسببة انعكاساً في ترتيب الجينات . وهذا التغير في المكان قد يؤثر في الأساليب التي تعبر عنها الجينات . وكلا التضاعف والانعكاس يصعب التعرف عليهمـــا فـــي كروموســـومات الإنسان . أن التغيرات في عدد الكروموسومات قد تحدث تلقائياً بدون سبب ظاهر ، ولكن هناك العديد من العوامل التي تسببه .



الشكل (٨ ــ ١٣) : الانعكاس ، يصبح الكروموسوم معكوفا ثم ينكسر ثم يصلح نفسه ويستقيم ولكن حاملا الجينات بترتيب جديد .

فمثلاً: مادة الكولشيسين Colchicin التي تستعمل لوقف حركة الكروموسومات أثناء انقسام الخلية ، قد تسبب تضاعف في عدد الكروموسومات . ومواد كيماوية وفيروســـات معينـــة تستطيع أن تسبب تكرر الكروموسومات بين الخلايا وأحياناً تؤدي إلـــى نمـــو ســـرطاني . وتكسر الكروموسومات قد يتسبب عن الاشعاع (مثلا الأشعة السينية) أو مواد كيماويـــة أو فيروسات .

ملخص الفصل الثامن

كان جريجور مندل أول من طور فكرة الجينات التي تحدد أنماط الوراثة . وباستعماله أصناف نقية من نباتات البازيلا الخضراء والصفراء ، بين أن كلا من الوالدين (الذكر والأنثى) يساهمان بالتساوي للذريةة ، وقد بين أن اللون الأخضر في البازيلا هو الصفة السائدة بينما الأصفر صفة متنحية . وبالإضافة إلى ذلك ، على الرغم من الطرز الشلكية كانت متشابهة لبعض أفراد الذرية ، فإن التراكيب الجينية ممكن أن تختلف لكل نبات . وقد فرض مندل أن كل صفة تحدد بواسطة زوج من الجينات المتقابلة واحد من الجاميت المذكر والآخر من الجاميت المؤنث . والصفة التي يقررها جينان متماثلان هي متماثلة الجينات . وأن اختلفا كانت الصفة غير متماثلة الجينات . والصفات غير متماثلة الجينات تكون عادة سائدة . والفرد الناتج هو متشابه الجينات . والتزاوج بين فردين أحاديي التهجين هو تزاوج مفرد والجين لكل صفة قد توزع الجيامتيات منفصلة في كل من الوالدين وقد افترض مندل مبدأ التوزيع الحر الذي يقول أن الجينات لزوج جينات متقابلة تنفصل في عملية تكوين الجاميتات ثم تتحد ثانية عشوائياً عند التلقيح .

استنتج مندل عندما أجرى تجارب تتعلق بتزاوج صفتين أن جينات أزواج جينات متقابلة للصفة الواحدة تنتقل للجاميتات بشكل لا يعتمد على جينات الأزواج الأخرى- مبدأ التوزيع الحر . أن الإمكانيات الاحصائية لتراكيب الصفات غير محدودة في الإنسان وتصل إلى حوالي ١٠,٠٠٠ زوج من الجينات .

أن تجارب مندل بينت أن هناك جينين لكل صفة وأن كل جاميت يحمل جيناً واحداً من الاثنين ويساهم بتساو للصفات الجينية . ولكل جين موضع محدد على كروموسوم حدد في النواة . أن توزيع واعادة اتحاد الجاميتات يتأثران بتوزيع الكرومسومات أثناء الانقسام

الاختزالي والاتحاد العشوائي في أثناء الاخصاب . أن توزع الجينات المتقابلةة هو نتيجة التصرف الحر للكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي والاخصاب .

أن الفرق بين فرد يحمل الصفة بصورة نقية والذي يحملها بصورة غير نقية لنفس الطراز الشكلي يمكن التأكد منه باجراء تزاوج اختباري بين فرد يحمل الصفة السائدة مع فرد يحمل الصفة المتنحية بشكل نقي . والذري ذات الصفة السائدة ، عني أن الأب ذو صفة سائدة نقية ، أما الذرية ذات الصفة المتنحية ، فتعني أن الأب يحمل الصفة بشكل غير نقي.

أن كثيراً من الصفات تحدد بجينات لا تظهر أية سيادة . فمثلاً الأزهار الحمراء والبيضاء تنتج ذرية أزهار زهرية . وكذلك فإنه من الممكن لأزواج مختلفة من الجينات المتقابلة أن تحدد نفس الصفة وبذلك تعطي طرزاً جينية وطرزاً شكلية عديدة . وهناك حالات السيادة المتحدة حيث يكون فيها جينان سائدان على جين ثالث كما في جينات مجموعات الدم . وهذا ينتج مجموعة من الطرز الشكلية . كما وتتفاعل عدة مجموعات للجينات لإنتاج طرز شكلية مع اختلاف في الصفات لأن كلا يؤثر على الصفة بشكل مختلف.

ويحدث التفوق عندما يكون هنك جين يحجب الصفة تماماً . فجين المهق مثلاً، يحجب تماماً أي جين للون الشعر . والصفات متعددة الجينات هي تلك التي تنتج عن التأثير الكلي لمجموعة من الجينات المساهمة التي تكون غير سائدة . وهذا يؤدي إلى تدرج كمي للصفة ، كما هو الحال في لون الجلد ، أن التفاعل المتعاولن لأزواج الجينات تؤدي إلى طرز شكلية لا يمكن للزوج بمفرده أن ينتجها . أن الجينات لكثير من الصفات تكون متقاربة علىنفس الكروموسوم وهذه لا يمكن لها أن تتوزع بشكل حر وبذلك تعتبر مجموعات مرتبطة . يتم تحديد الجنس بواسطة كروموسومات الجنس . أما الكروموسومات الأخرى فتسمى جسمية . أن الذكر هو ذو الجينات المختلفة لأنه يحمل كروموسومات الجنسين . والأنثى هي المتشابهة الجينات لأنها تحمل كروموسومات الأنثى فقط . الجينات الموجودة على الكروموسوم الجنسي مسؤولة عن الصفات المرتبطة بالجنس . بما أن كروموسوم (الذكر) يحمل قليلاً من الجينات ، فإن جميع الصفات المرتبطة بالجنس تحمل إلى الأبن عن طريق أمه . وبما أن جاميت الأنثى يحمل كروموسومي جنس متماثلين ، فالتزاوج العكسي قد يعطي نتائج مختلفة . أن عمى الألوان والنزف الدموي مثلاثن تقليديان للصفات المرتبطة بالجنس والتي تظهر بشكل شامل تقريباً في الذكور.

أن بعض الصفات تكون متأثرة بالجنس ، فالجينات التي تتحكم بالصفة تكون محمولة على الكروموسومات الجسمية وتكون الصفة سائدة في جنس ومتنحية في الآخر ، والصلع مثال على ذلك .

لكل صنف عدد محدد من الكروموسومات ويكون مميزاً له . ففي الإنسان العدد هو ٤٦ ، ويمكن تمييز الكروموسومات الذكري عن الأنثوية بواسطة حجم وشكل كروموسوم Y والكروموسومات الجسمية لها صفات مميزة . أن الاختلالات في عدد الكروموسومات تسبب عادة اختلالات في الأفراد ، وهذه الاختلالات تنتج عادة أثناء عملية الانقسام الاختزالي . أن العدد الزائد للكروموسومات يسمى تعدد الكروموسومات وتكون هذه الحالة في الإنسان مميتة . بينما في النباتات فلا يكون لها أثر ضار . وعندما تكون خلايا الفرد ذات أعداد مختلفة من الكروموسومات –فيسفسائية– فتنتج نقائض متعددة . في الأنسان ، تكون معظم أعداد الكروموسومامت غير الطبيعية ناتجة عن تغير في عدد كرومسومات الجنس . فمثلاً: الذكور الحاملين للكرومسوم X زائد أو أنثى ينقصها كرومسوم x أو الأناث xxx أو الذكور xyy.

أن عدد الكروموسومات متزن بدقة لدرجة أن التغير بعدد واحد من الكروموسومات يمكن أن يؤدي إلى نقص: فظاهرة المنغوليا هي نتيجة زيادة واحد من الكروموسومات رقم ٢١ . وتكسر الكرموسومات ذاتها يؤدي إلى أعداد غير طبيعية للكروموسومات .

نظرة فاحصة

النحل القاتل

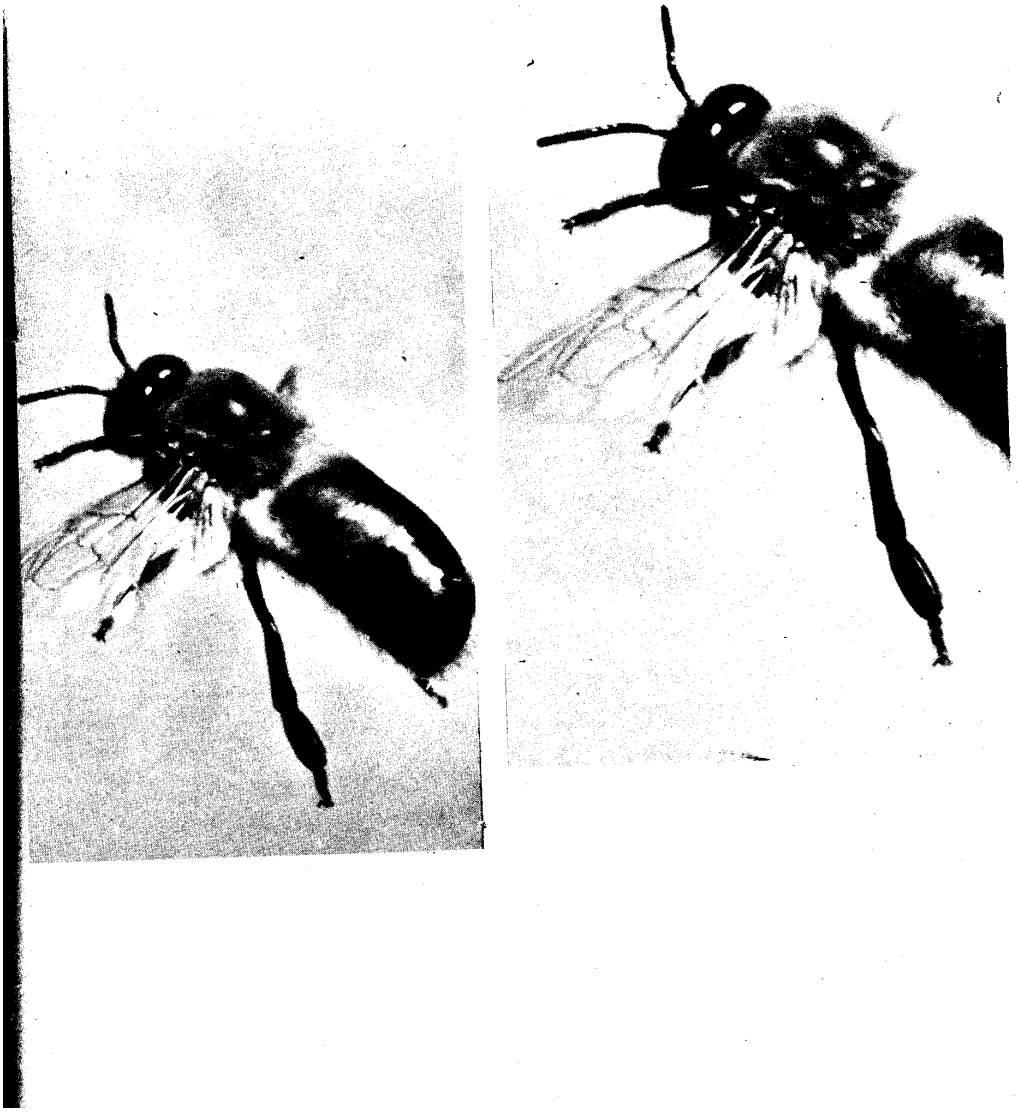
Killer Bees

ظهر مثال حديث يعتبر دليلاً على خطورة تحكم الأنسان بعملية التنوع . في هذا المثال ينتج نوع من النحل القاتل في أمريكيا الجنوبية . في هذه لحالة فأن التهجين المخبري الذي قام به الأنسان أنتجة آفة . وهذه الآفة يمكن أو لا يمكن التحكم بها بواسطة تهاجين أخرى .

في عام ١٩٥٦ قام عالم الوراثة ووريك كيد- بتهجين نحلة عسل مثالية . وكان هدفه أن يدجن نحلة أفريقية تعمل بنشاط ولكنها عدائية وتحب المهاجرة ، وذلك بتهجينها مع نحلة أوروبية كسولة ولا تحب الهجرة توجد في البرازيل . فنقل هذا العالم ٤٧ ملكة نحل أفريقية من تانزيانيا وبريتوريا ، وفي عام ١٩٥٧ أنتجت في ساوبولو في جنوب البرازيل عدداً كبيراً من دبابير التجارب . ولكن لسوء الحظ وقبل أن ينتهي من تجربته هرب ٢٦ دبور مهجناً مع ملكاته . وغزت نحلات العسل البرازيلية الجديدة القارة .

أن نحلة العسل الهجينة الجديدة والتي استمرت في التزاوج والمهاجرة ، لم ترث أياً من الصفات الجيدة عن النحلة الأوروبية ، بل على العكس فقد قويت فيها الصفات العدائية التي ورثتها عن النحلة الأفريقية . ومع ذلك فأن مربي النحل تبنوا هذه النحلة حيثما هاجرت.

أن نحلة العسل البرازيلية نحلة منتجة للعسل بكشل يلفت للنظر . وهي تنتج العسل بضعفي الكميات التي تنتجها النحلو الأوروبية . أنها تعمل لأيام أطول وتحمل رحيقاً أكثر وتعمل بدرجات حرارة أقل . أما النواحي السلبية



في هذه النحلة فهي أنها تهاجر تاركة صاحب النحل فجأة بلا نحل . وفوق ذلك كله فهي خطرة ، مع أن قرصتها ليست مميتة من أي نحلة عادية ، ولكن الخطورة أنها تهاجم بقوة وتلسع الشخص مرات عديدة بالثانية الأمر الذي يكفي لقتله ، ويظهر أن أي حركة غير مستحبة في خلية هذا النحل تؤدي إلى أن يفرز النحل فرمونات تشعر الدبابير بالخطر . لقد مات على الأقل عشرة أشخاص ومئات الحيوانات بسبب هجوم هذا النحل ، ولذلك سمي بالنحل القاتل . ففي إحدى التجارب ألقيت قطعة من الجلد الأسود على خلية نحل فأصيبت هذه القطة بـ ٩٢ لسعة في خمس ثوان (٥٠ قرصة تكفي لقتل إنسان).

الخطوة الأولى في التحكم الوراثي لحل هذه المشكلة بدأت في الستينات ، وذلك عندما زود مربو النحل البرازيليين بملكات إيطالية للتهجين . ونتج عن هذا التهجين ، أنواع برازيلية – ايطالية، سهلة التعامل . ولكن وبسبب أنها أقل إنتاجاً للعسل فإن مربي النحل أتلفوها ، وبذلك استمر النحل القاتل في النمو والقتل.

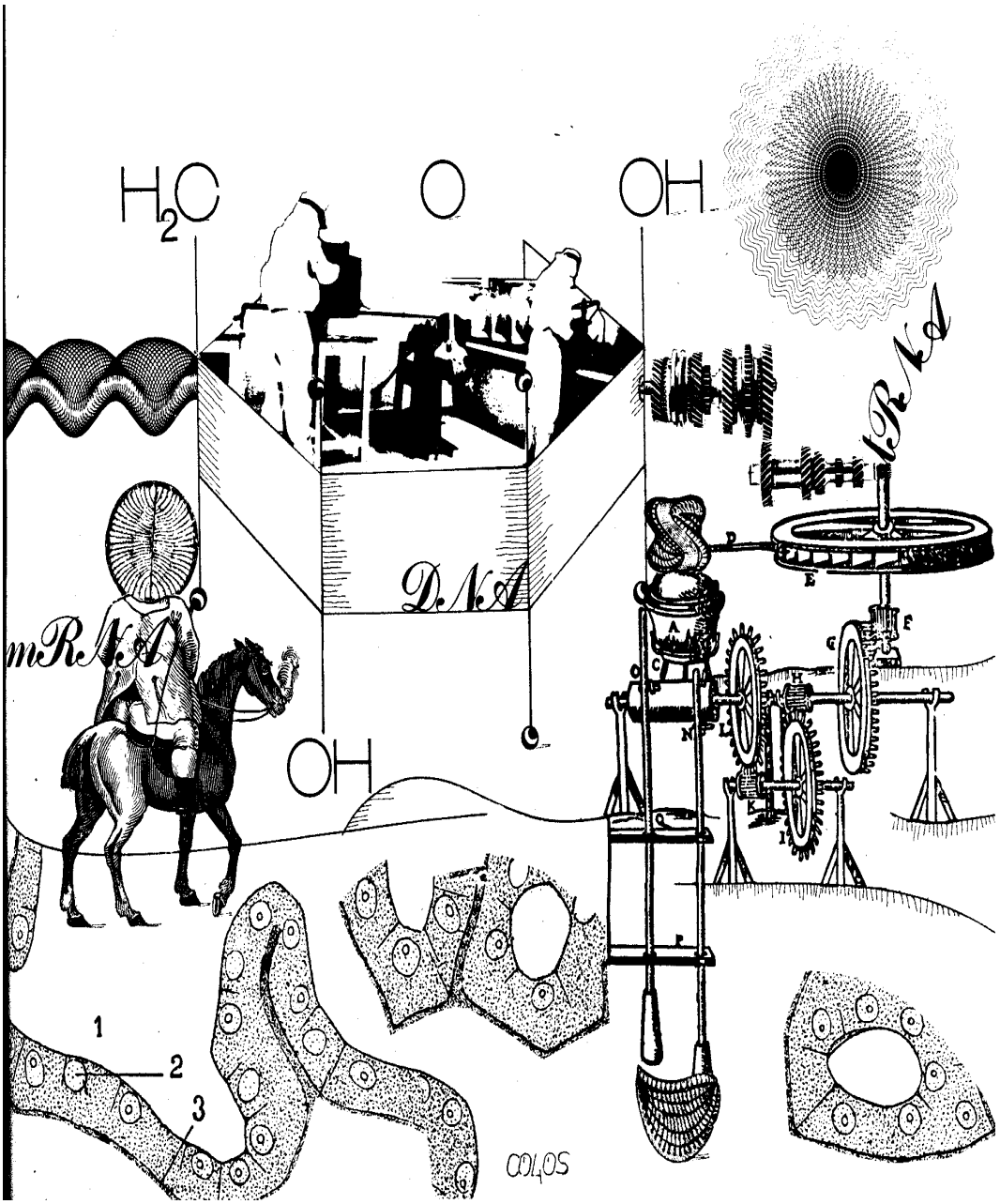
أن هجرة البرازيلي المستمرة هددت الناس والحيوانات في جميع أنحاء أميركا الجنوبية وحتى أميريكا الشمالية . أن غزو هذا النحل غطى مساحات واسعة من أميريكا الجنوبية ولكن هذه المساحات أقل عدداً للسكان . وفي منتصف السبعينات هاجر هذا النحل إلى أميريكا الوسطى وحتى بيرو في الغرب وجوانا في الشمال . أن سرعة رحيل هذا النحل تقدر بـ١٠٠ ميل/السنة وهذا يعني أنهم سيصلون إلى الجزء الجنوبي من الولايات المتحدة بمدة ١٥ سنة.

وفي عام ١٩٧٠ وشعوراً بتزايد هذه المشكلة ، ألفت الحكومة الأميركية لجنة لدراسة هذا الموضوع . وقد أوصت هذه ا للجنة في قرارها عام ١٩٧٢ ببناء عائق في أميركا الوسطى . لقد فكرت هذه اللجنة بأنه إذا صادف هذا النحل البرازيلي عدد كبير من النحل غير المهاجر فإن التزاوج الطبيعي بينهما سينتج نوعاً غير مهاجر . وبذلك يمكن دراسة الحركة في الشمال.

حديثاً، قام قسم الزراعة الأميركي بدراسات أخرى ، حيث وضع قوانين لايقاف نيات النحل البرازيلي في الرحيل . أما بالنسبة لإمكانيةة نجاح التحكم الوراثي في حل هذه المشكلة فإنه لا يزال قيد المناقشة . إذا عملت هذه التجربة ، فإننا سوف نراقب باهتمام نتائج تنوع على مجال واسع في أميركا الوسطى .

فإذا فشلت تجربة التهجين هذه فإنه من الممكن أن يحل النحل البرازيلي محل نحل أميركا الشمالية . وبذلك فإننا سوف نواجه تهديد المحصولاتت معينة وليس فقط للإنسان

والحيوان . أن مزارعي الفواكه والقطن ونباتات أخرى مثل الأزهار يعتمدون على النحل في التلقيح . فإذا كان الصنف الجديد الذي سيصلنا غير صالح للتعامل ، فإنه من الصعوبة أن نستطيع توجيه عدد كاف من النحل إلى المكان المناسب وفي الوقت المناسب . وزيادة على ذلك فإن إنتاج العسل ، وهو غذاء مهم هنا ، سوف يتأثر بشكل جدي . وبذلك يصبح نحل العسل آفة بدل من أن يكون أكثر الحشرات فائدة لنا .


H2C
O
OH
OH
D.N.A
m.R.N.A
t.R.N.A
1
2
3
COLOS

الفصل التاسع

الوراثة الجزيئية

Molecular Genetics

في أواخر القرن السابع عشر عندما كان الميكروسكوب لا يزال أداة حديثة الاختراع ، بدا لبعض علماء الطبيعة أن السائل المنوي سيكون موضوعاً ساحراً للدراسةة الميكروسكوبية . فقد عرف أن السائل المنوي يحمل البذرة التي تولد بطريقةة ما مخلوقاً جديداً . لذا كان أملهم أن يعطي الميكروسكوب مفتاح الكشف عن هذه الطريقة المحيرة . وقد كانت مكافأة حب استطلاع هؤلاء العلماء سخية لوفرة ما وجدوه من معلومات جديدة . فقد وجدوا أن بدالخ كل خلية حيوان منوي مخلوقا دقيقاً في حاجة إلى مأوي في الرحم لينمو إلى إنسان كامل .

وقد كان ذلك بمثابة دليل مباشر مرئي على كيفية ضمان استمرار الحياة وبالطبع لم يظهر الميكروسكوب وجود مخلوقات دقيقة – مما أدى إلى خيبة أمل المراقبين الذين أرادوا أن يتأكدوا من صحة هذا الزعم . فقد كان الباحثون الذين أدعوا رؤية المخلوقات الدقيقة يصفون ما يرغبون برؤيته لا ما يرونه . (كان لوينهوك ، الباحث النادر الوجود والشديد التدقيق هو أول من اكتشف مولدات الحيوان المنوية (Spermatozoa) ولكنه لم يذكر أنه رأي أية مخلوقات دقيقة بداخلها . فلم يكن بالمستطاع حل لغز الوراثة بسهولة ، ومهما يكن ذلك الشيء الذي يحمل المعلومات الوراثيةة من جيل إلى جيل فإن رؤيته ليست سهلة . والحقيقة أن حامل هذه المعلومات هو مقدار ضئيل من الجزيئات في كل خلية ربما يزن $١٠^{-١٥}$ جرام كما سنرى لاحقاً.

بقي جميع الموضوع غامضاً حتى ١٩٠٠ عندما أدى أعادة اكتشاف بحوث مندل إلى تقدم علم الوراثة . ومع نهاية العقد الأول ممن هذا القرن ، أكد علم الوراثة أن البنية الوراثية تتحدد بالأساس عن طريق الجينات المحمولةة على الكروموسومات . لقد افترض أن الجينات هي وحدات غير مرئية قابلة للانقسام بعضها ببعض لتكون الكروموسوم مثل ترتيب الخرز على خيط . أما من الناحية الكيميائية فتتكون الكروموسومات (وربما الجينات) كما عرف عنها سابقاً من بروتين نووي وهو اتحاد حامض نووي مع بروتين .

لكن أسرار تركيب الجينن ومضاعفته لنفسه وطبيعة انعكاسه على البنية الطبيعية بقيت غامضة لعدة سنوات . ويعتبر حل هذا الغموض أكبر اسهام في علم الحياة في هذا القرن .

لقد تركز البحث حول التركيب الجزيئي ووظائف الجينات والجزيئات ذات العلاقة . ولقد أصبحت الفيروسات والبتكيريا (مثل عصيات المعدة وعصيات القولون) مواد تجارب على نطاق واسع . وهذه الكائنات صغيرة وبسيطة التركيب نسبياً وتتكاثر بسرعة . وفي بعض الأحيان تنتج جيلين أو ثلاثة أجيال في كل ساعة . لهذا أصبحت الفيروسات والخلايات الكاذبة procaryotic'cells مادة ممتازة للبحث العلمي في الوراثة الجزيئية . أما الخلايا الحقيقية Eucaryotic فيوجد بها أنظمة وراثية أكثر تعقيداً وأوقات تناسل أطول قد تصل إلى عدة سنين . ولكن المادة الوراثية ووظائفها الأساسية هي نفسها في خلايا جميع الكائنات ، ويعتبر اكتشاف هذه الحقيقة من أعظم الانجازات في علم البيولوجيا الحديثة.

وتختلف الخلايا الحقيقيةة عن الخلايا غير الحقيقية في تركيب المادة الوراثية وتنظيم وظائفها.

الخصائص الكيميائية للجينات: The chemistry of genes

هناك ثلاث صفات يجب أن تمتلكها أية مادة لتكون مؤهلة لوظيفة الجين هي:

١- يجب أن يحول تركيب المادة المعلومات التي يمكن ترجمتها إلى جزيء وظيفي بمعنى أن الجينات يجب أن يكون لها وحدات صغيرة مرتبة في سلسلة ذات معنى لتوجيه تكوين هذه الجزيئات (الانزيمات والبروتين التركيبي وغيرها) اللازمة لحفظ الخلية.

٢- يجب على المادة أن تكون قادرة على أن تكاثر نفسها بدقة ، لكي تنتقل المعلومات دون تغيير فيها إلى كل من الخليتين عند انقسام الخلية .

٣- يجب على المادة أن تكون ثابتة كيماوياً لتستطيع حفظ المعلومات الوراثية ولكن يجب أن يكون لها القدرة أيضاً على التغير كما هو الحال في الجينات . وتتكون الكروموسومات في الخلايا الحقيقية من بروتين وحامض نووي (DNA) . ويشار إلى هذا البروتين النووي على أنه الصبغة (الكروماتين) لأنه يتلون بشدة بواسطة طرق صبغ معينة . ونحن نعرف هذه الأيام أن الـ(DNA) هو المكون الوراثي للصبغة (الكروماتين) وهو يحدد تركيب البروتينات وغيرها من الجزيئات الخلوية المعقدة ولكن الفرضية القائلة بأن البروتينن هو المادة الوراثية كانت شائعة سابقاً وهناك حوالي عشرين حامضاً أمينياً مختلف موجودة في البروتين وهناك عشرات منها في كل جزيء بروتين . لذا قد يبدو أن البروتين يملك قدرة عظيمة على وضع شيفرة المعلومات في صورة اتحادات وترتيبات معينة في الأحماض الامينية . أما جزيء الـ(DNA).

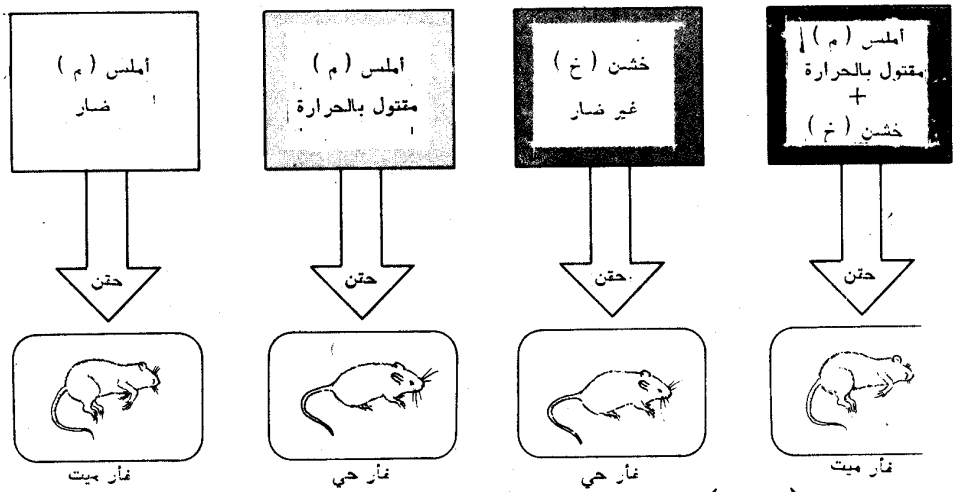
بهذه النظرة إلى مكوني الصبغة (الكروماتين) فإنه ليس من الصعب أن نرى لماذا اعتقد معظم علماء الحياة سابقاً أن البروتين هو المادة الوراثية . ولكن كان هناك بعض الدلائل المناقضة لذلك فإن بروتين الكروممووسومات غير موحد التركيب في جميع خلايا الكائن الحي ، ألا تركيب (DNA) فهو نفسه في جميع أنواع الخلايا في الفرد الواحد وأيضاً فإن كمية (DNA) في كل خلية هي كمية ثابتة في النوع الواحد (إلا الجاميتات التي تحتوي على نصف الكمية الموجودة في الخلايا الجسدية) بينما يتنوع بروتين الكروموسومات كثيراً . ونتيجة لذلك بقي السؤال بدون جواب لعدة سنوات.

تحديد المادة الوراثية:

في عام ١٩٢٨ اكتشف فردريك كرفت (Fredrick Graffith) تحول البكتيريا من نوع جيني إلى نوع آخر . لقد بحث في بكتيريا النيمونيا (Pneumococcus) التي تسبب مرض النيمونيا في الإنسان ، وعند حقن الفئران أيضاً ببيئة هذه البكتيريا المرضية فإنها تمرض وتموت . وفي بكتيريا النيمونيا توجد كبسولة من الكسر العديد (Polysaccharide)

تحيط بكل خلية مرضية ، ولكن الطفرة قد تؤدي إلى خلايا غير مرضية بـــدون كبســـولة . وعند زرع هذه على صحون آجار تكون الأنواع المرضية مستعمرات ملساء (م) والأنـــواع غير المرضية مستعمرات خشنة الملمس (خ).

لقد وجد كرفت (Griffith) أن النوع الحي من البكتيريا (م) يؤدي إلى مرض مميـــت في الفئران ولم يسبب النوع (م) المقتول بالحرارة ولا النوع (خ) من البكتيريا أي تأثير يذكر ومن الغريب أن الحقن بأنواع (م) الميت والنوع (خ) الحي أدى إلىموت الفئران ، عـــلاوة على ظهور بكتيريا النيمونيا الحية من النوع (م م) في الفئران الميتة . وأظهرت التجـــارب أنه ليس باستاعة النوع (م) المقتول بالحرارة وحده ولا النوع (خ) الحى وحده اعطاء النـــوع (م) الحي



الشكل (٩ ــ ١) : تجربة جريفت الخاصة بتحويل المادة الوراثية . النوع (خ) الحي ، والنوع (م) الميت من البكتريا ، كلاهما غير ضار بمفرده، واثبت انهما مميتان اذا حقنا معا . تم بواسطة عامل ما من النوع (م) الميت تحويل النوع (خ) الغير الضار عـــادة الـــى نـــوع (م) الضـــار .

استنتج كرفت أن المادة الوراثية من البكتيريا المقتولة بالحرارة قد اندمجت في الخلايا الحية للنوع (خ) مما أدى إلى تحويلها إلى البكتيريا المرضية (م). وبعد اجراء تعديلات على الطريقة لحدوث التحول في بيئات الكائنات الدقيقة المخبرية وفي الحيوانات الحية ، وجد أنه باستطاعة المادة اللاخلوية المستخلصة من البكتيريا أحداث التحول أيضاً.

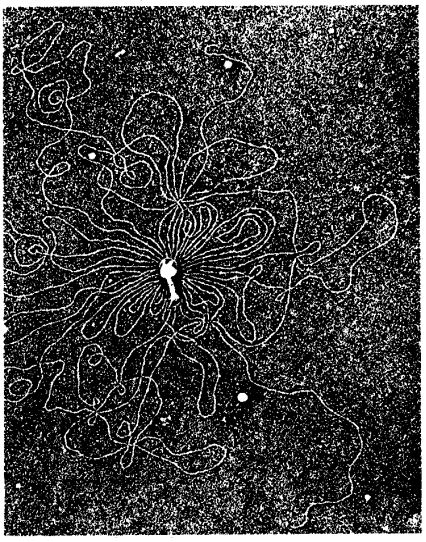
وقد بينت حقيقة تزايد عدد البكتيريا المحمولة دون تغير في النوع أن هذا التحول تغير وراثي . وقد عرفت المادة المحولة في عام ١٩٤٤ ولم تكن معروفة قبل ذلك . ففي تلـــك السنة ظهر اكتشاف أفري وماكلويد ومكارتي الذي أذهل المختبرات العلمية . فباســـتعمالهم

للمستخلصات اللاخلوية في البيئات المخبرية وجدوا أن المادة المحولة تكون فعالة للغاية بدون البروتين ولكنها تصبح غير فعالة عندما أتلف حامضها النووي . وأظهرت هذه النتائج بوضوح أن التحول قد حدث بسبب الحامض النووي (DNA) . لذلك وجب أن يكون الحامض النووي هو المادة الوراثية .

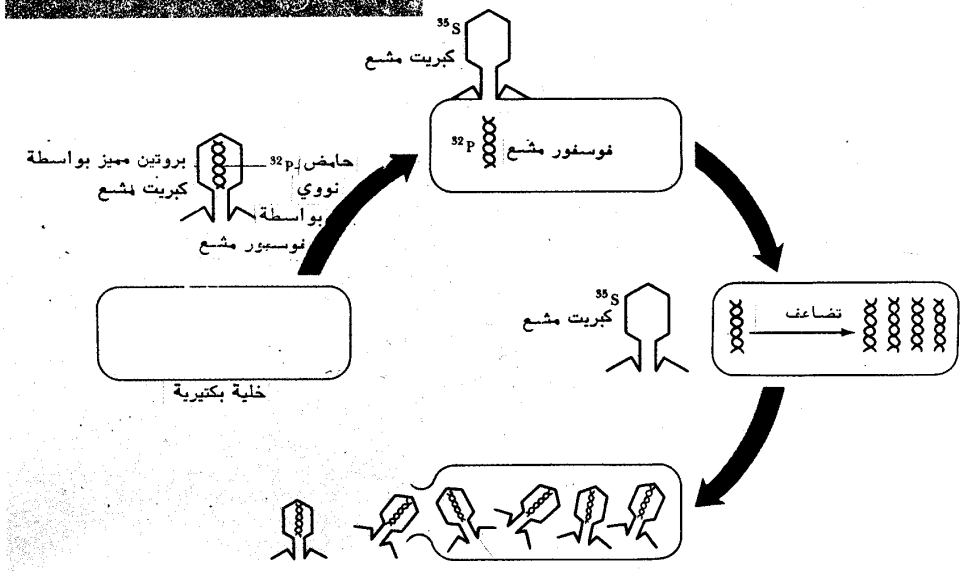
وفي بحث مواز سابق ، تابع العالمان الفرد هيرشي (Alfred D.Hershey) ومارثا تشيس (Martha Chase) في عام ١٩٥٢ عملهما على نوع من الفيروس الذي يغزو بكتيريا القولون العضوية (Eschenchia Coli) ويطلق على الفيروسات التي تتلف البكتيريا اسم آكل البكتيريا أو الآكل (Phages) للاختصار . ويحتوي هذا الفيروس ، آكل البكتيريا ، كالفيروسات الأخرى ، على جزء مركزي من الحامض النووي مغلف بمركب بروتيني معقد نسبياً . وقبل حدوث العدوى يلتصق ذيل الفيروس الاكل إلى موضع محدد عل جوار خلية البكتيريا . وبعد الالتصاق بعدة دقائق تتمزق خلية البكتيريا مطلقة مئات من الفيروسات الاكلة (phages) مطابقة للآكلات الأصلية ، ومن الواضح أن المادة الوراثية للملتهم قد دخلت خلية البكتيريا واستعملت مجموعات انزيمات التمثيل الغذائي بها لإنتاج آكلات جديدة . ووجد بمعاينة مكونات الفيروس الداخل إلى خلية البكتيريا أنه مطابق لمادته الوراثية .

ولقد استعمل هيرشي وتشيس النظائر المشعة لتمييزها وتتبع الحامض النووي والبروتيني للفيروس خلال دورة التضاعف . فقد استعمل الفوسفور (^{٣٢}P) كنظير مشع لتمييز الحامض النووي وليس البروتين لأن معظم البروتينات لا تحتوي فوسفور . وكذلك ادمج الكبريت ^{٣٥}S كنظير مشع إلى البروتين وليس إلى الحامض النووي (DNA) لأنه لا يوجد به كبريت.

لقد استعملت الفيروسات ذات البروتين والحامض النووي المميزة بالنظائر المشعة لإصابة البكتيريا التي ينقصها جزيئات مشعة مميزة . وبعد مرور وقت كاف لالتصاق الفيروسات وانتقال موادها الوراثية ثم مزج البيئة البكتيرية بواسطة خلاط لمصل البكتيريا



الشكل (٩ ــ ٢) : صورة بالمجهـــر الالكتروني تبين ال DNA وقد انطلق من الاكل ت ٢ المتمزق : توجد كمية كبيرة جدا من المادة الوراثية في الكائنات الصغيرة جدا .



الشكل (٩ ــ ٣) يتكاثر الاكل بالسيطرة على مجموعات انزيمات التمثيل الغذائي للبكتريا التي يهاجمها بحيث يجعلها تنتج مئات من الفيروسات الجديدة . لقد ميـز هيرشـــي وتشيس بروتين الاكل بواسطة كبريت مشع والحامض النووي بواسطة فوسفور مشع ، فوجد أن الاخير هو الذي يدخل البكتيريا عندما يهاجمها الاكل وهذا يبرهن على ان الحامض النووي هو المادة الوراثيـــــة .

عن مكونات الاكل التي بقيت ملتصقة بالجدار الخلوي الخارجي لهـذه البكتيريـا . ولقـد أظهرت تحاليل مواد الاكل خارج الخلايا أن الكبريت $S^{٣٥}$ موجود والفسـفور $P^{٣٢}$ موجـود بكمية قليلة فقط . ولقد وجد عكس ذلك عند تحليل البكتيريا نفسها حيث يوجد الكبريت $S^{٣٥}$ بكمية قليلة تكاد تكون معدومة ، ولكن معظم فسفور $P^{٣٢}$ كان فـي الـداخل وعليـه فـإن

الحامض النووي هو الناقل للمعلومات الوراثية ، وهو نفس الاستنتاج الذي وصل إليه آفيري O.T.Avery وزملائه .

تركيب الحامض النووي (DNA) The structure of

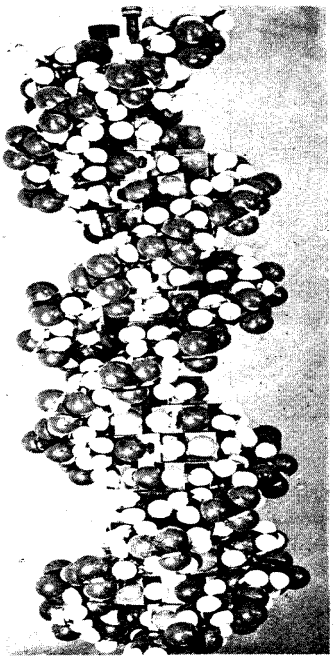
أدى إثبات أن الحامض النووي يتضمن المادة الوراثية إلى تجديد الاهتمام بتركيبه الكيميائي والفيزيائي . لقد اعتبره الباحثون أنه جزيء كبير معقد يحتوي على عدة نيوكليوتايدات (الفصل ٢). وقد وجد ايروين تشارجاف Erwin Chargaff أن الأربع نيوكليوتيدات المميزة للحامض النووي موجودة عادة بكميات متساوية ، مع وجود علاقة مهمة بينها . ومن الأربع قواعد ، وجد أن الادينين والثايمين يوجدان بكميات متساوية بينما يوجد السايتوسين بكمية مساوية للجوانيين دائماً . وفي أوائل الخمسينات قام ويلكنز Marice Wilkins وروزالين فرانكلين Rosalind Franklin ومساعدوهما في كلية كنجز في لندن بدراسة التركيب الفيزيائي للحامض النووي باستعمالهم طرق انحراف أشعة أكس . وقد أظهرت أنماط الانعكاسات المصورة للحامص النووي أنه يتكون من وحدات منتظمة ومكررة وقد أمكن تحديد ابعاد الجزيء من نمط الصورة فمثلاً البعد بين النيوكليوتايدات في الجزيء هو ٠,٣٤ نانوميتر وأما قطر الجزيء فهو ٢ نانوميتر.

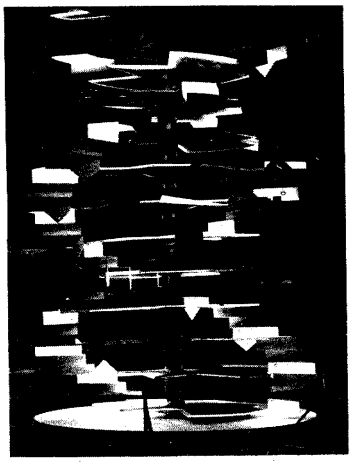
وفي سنة ١٩٥٣ تقابل العالم البيوكيميائي الأمريكي الصغير السن جيمس واطسون James Watson والعالم الفيزيوكيميائي الإنجليزي فرانسيس كريك Francis Crick في مختبر كافيندشن (Cavendish) ذي الامتيازات في جامعة كامبردج حيث كان واطسون يتابع أبحاثه . وقد اهتم الاثنان ببحث المعضلة في الكيمياء الحيوية وهي تركيب (DNA) ولعلمهما أن العالم المعروف في التركيب الكيميائي لينس بولنج Linus Pauling كان يشتغل على هذه المعضلة فقد أراد أن يسبقاه إلى الحل . وكما أظهرت النتائج فإن موهبتتهما كانت مساوية لثقتهما بنفسيهما . كما كانا يملكان ميزة لم يملكها بولنج وغيره من الباحثين في هذا الحقل وذلك ليس بحصولهما على نتائج تشارجاف (Chargaff) فقط بل أيضاً على نتائج أشعة أكس من مختبر ولكنز (Wikins) التي لم يكن قد تم نشرها بعد .

وبالاعتماد على هذه الاكتشافات والنتائج ونظرهما الثاقب في كيمياء المادة الحية . فقد صمما نموذج جزيء الـ(DNA) الذي يطابق كل المعطيات المعلومة . وبعد استكشاف عدة تصاميم محتملة لجزيء الـ(DNA) فقد استنتجا أن الـ (DNA) يتكون من عدة نيوكليوتيدات في سلسلتين متقاطعتين ملتفتين أحداهما على الأخرى مكونتين لولبا مزدوجا ومشابهتين لسلم حلزوي ، وتكون سلاسل السكر المفسفر حواف درجات السلم التي تمثل القواعد البارزة عمودياً على محور الجزيء في الفراغ بين السلاسل . وقد وجد واطسون وكريك أن طول اللفة الكاملة للولب هو ٣,٤ نانوميتر وعليه يوجد هناك عشرة أزواج من النيوكليوتايدات في اللغة الكاملة .

واقترح واطسون وكريك أيضاً ان هذه القواعد قد ترتب بشكل أزواج مكملة لبعضها بعضاً بحيث أن القواعد في احدى السلسلتين تكون متصلة بتلك الموجودة في السلسلة الأخرى بواسطة روابط هيدروجينية ، ورغم ان هذه الروابط الهيدروجينية ضعيفة نسبياً إلا أن عددها الكبير يجعل السلسلتين مثبتتن معاً بحيث يصبح الحامض النووي جزيئاً مستقراً . ولكن حجم وتركيب قواعد الحامض النووي كل على حدة قد يحدد احتمالات اتصالهما كأزواج متكاملة فيمكن فقط للادنين في سلسلة واحدة أن يزدوج مع الثايمينن في السلسلةة الأخرى وكذلك السايتوسين مع الجوانين.

وتوجد المعلومات الوراثية الفعلية في سلسلة الأزواج القاعدية . وبسبب ترتيب القواعد في أزواج . فكل واحد من أطراف جزيء الـ (DNA) يحوي نفس الرسالة تماماً مثل الصورة الفوتوغرافية السالبة التي تحوي نفس صورة الطبعة الموجبة المطبوعة عنها أو كالقالب ذي النمط المشابه لما يؤخذ عنه . وكما هو متوقع من غزارة المعلومات التي يحملها الحامض النووي فإن الحامض النووي في بكتيريا القولون العضوية مثلاً يتكون من عدة ملايين من القواعد المزدوجة وزنة الجزيئي حوالي ٣ بليون دالتون وطوله حوالي (١) ملم عندما يتم شده . ولقد قدر بالتقريب أن كل خلية في الإنسان تحوي حوالي خمسة أقدام من الحامض النووي .



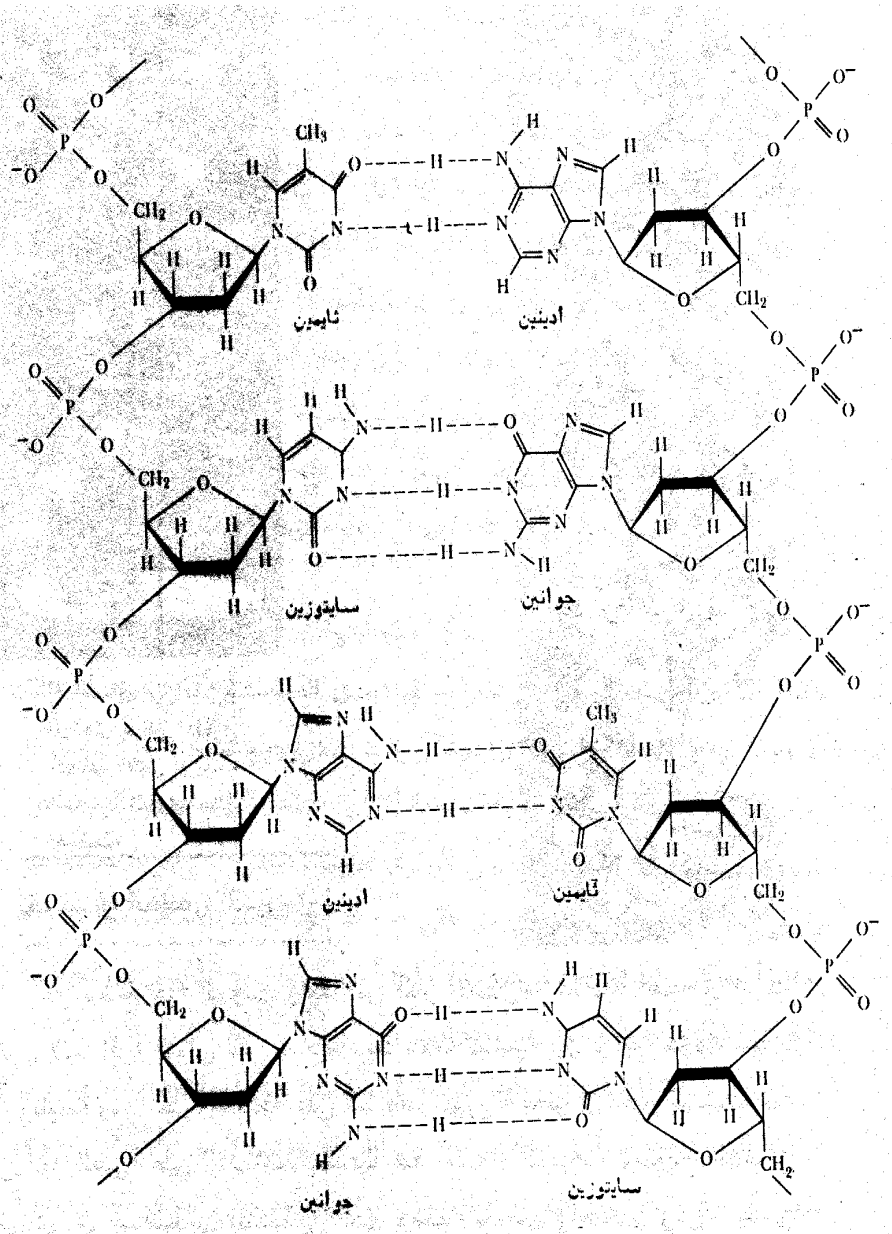


الشـــكل (٩ ــ ٤)
نموذجان بيانان الطرق المختلفة لاظهار تركيب الحامض النووي ثنائي السلسلة

تضاعـــف الحامض النـــووي :

تضاعف الحامض النووي:

كان وضع هذا النموذج واحداً من أكثر الانجازات العلمية أهمية في هذا القرن لأنهـــا المرة الأولى التي تم فيها ربط علاقة مباشرة بين تركيب جزيء حيوي مع وظيفته ومن أجل المحافظة على الصفات الموروثة يجب أن يكون للمادة الوراثية القدرة على التضاعف بنفسها عند انفسام الخلية . ونموذج الحامض النووي ذي السلسلتين المتكاملتين الذي وضعه كل من واطسون وكريك يعطي الصيغة المحتملة للتضاعف . فإن تحطم الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد يؤدي إلى انفصال السلستين احداهما عن الأخرى . كل سلسلة تملك التركيب الضروري لبناء سلسلة مكملة جديدة مطابقة للسلسلة التي انفصلت عنها سابقاً ، مســـتخدمة النيوكليوتايدات السائبة في الخلية كمادة أولية ، فمثلاً جزيء الحـــامض النـــووي الأصـــلي يحتوي على زوج من A-T حيث أن (A) في إحدى السلسلتين تتصل مع (T) القديمة تكتسب (A) في احدى السلسلتين تتصل مع (T) جديدة بينما (T) القديمة تكتسب (A) جديدة كشريك لها . وكذلك الحال مع (G) و (C) حيث تكون كل منهما زوجـــاً جديـــداً مـــع مكملهـــا . وستكون النتيجة جزيئين من (DNA) مطابقة للجزيء الأصلي وبمعنى آخر فإن ال(DNA)



الشكل (٩ ــ ٥) : التركيب الكيميائي للحامض النووي ، تتصـــل سلسلتا الجزيء بواسطة روابط هيدروجينية بين أزواج القواعد المتكاملة أدينين ــ ثايمين وسايتوزين ــ جوانين

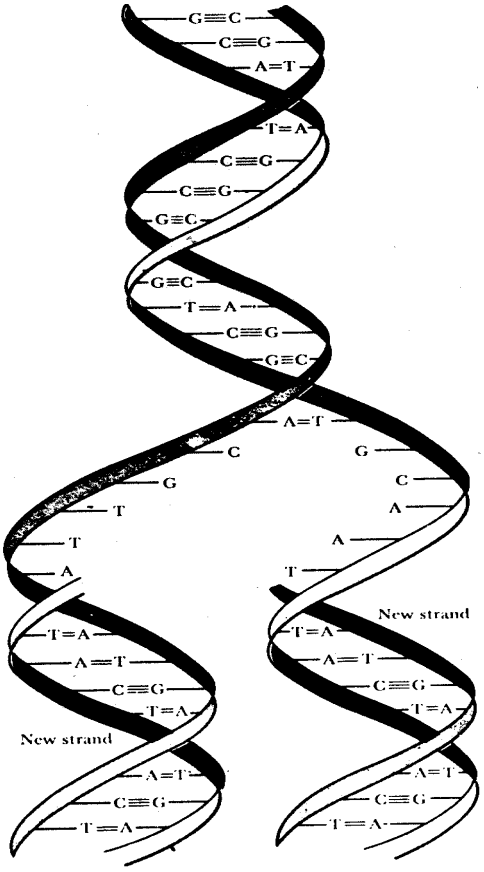
يوفر القالب (النموذج أو النمط) اللازم لمضاعفة نفسه .

ولقد تم وضع هذه الفرضية تلضاعف ال(DNA) من قبل واطسون وكريك بعد طباعة بحثهما الأول على تركيب ال(DNA) ويسمى النموذج نصف المحافظ لأن كل جزيء جديد من ال (DNA) يحتوي على سلسلة واحدة من الجزيء الأصلي وسلسلةة من الطرف الآخر الذي تكون حديثاً وهنانك احتمالان آخران كان لا بد من بحثهما . الأول هو أن السلسلتين الجديدتين للجزيء قد تنفصلان عند تكوينهما عن السلسلتين القديمتين اللتين قامتا بوظيفة القالبين ويلتقان معاً ليكونا جزيئاً كاملاً، والسلسلتين الحرية في الانظمام أيضاً . وتكون النتيجة تكوين جزيء مكون ، سلسلتين جديدتتينن وجزيء آخر مكون من السلسلتين القديمتين .

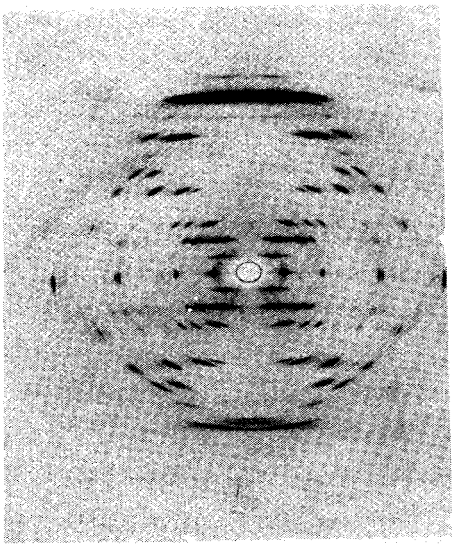
وقد عرف هذا النموذج المحافظ . ومن الممكن أيضاً أن تتكسر السلاسل القديمة والجديدة خلال عملية التضاعف إلى أجزواء تترتب عشوائياً لتنتج مزيجاً من المادة القديمة والجديدة يكون جزيئين جديدين من ال(DNA) وقد سمي هذا بالنموذج المشتت (Dispersive) .

بعد طرح النماذج الثلاثة المذكورة سابقاً كان البرهان التجريبي وحده هو الذي يستطيع أن يفاضل بينها . وفي عام ١٩٥٨ أجرى فرانكلين ستتول وماثيو ميسيلسون تجارب ساعدت في حل هذه المسألة ، فقد زرعا بكتيريا (E.Coli) في بيئة غذائيةة حيث كان نظير النيتروجين الثقيل $N^{١٣}$ هو النظير الوحيد الموجود للنيتروجين ، وبعد ظهور عدة أجيال في وسط المزرعة الغذائية كانت المركبات النيتروجينية في البكتيريا بما فيها النيوكليوتايدات وال (DNA) تحتوي فقط النيتروجين$N^{١٣}$ وبعد ذلك نقلت البكتيريا من هذه البيئة الغذائية وغسلت ثم وضعت في وسط جديد يحوي نيتروجين $N^{١٣}$ كنظير وحيد للنيتروجين . ثم أخذت عينات من هذه البيئة الغذائية خلال فترات منتظمة ثم أجرى تحليل على كثافة النيتروجين الموجود في ال (DNA) ، وقد تحقق هذا باستعمال طريقة تدرج الكثافة بالطرد ا لمركزي . حيث تم وضع ال (DNA) في أنبوب يحتوي على محلول ملحي ثم عرض للقوة الطاردة على سرعة عالية في آلة طرد مركزي . وكانت القوة الطاردة المبذولة على جزيئات الأملاح أكثر من الجاذبية الأرضية ١٠٠,٠٠٠ مرةً . بحيث تجعل الجزيئات تتحرك نحو قاع الأنبوب وهكذا تزداد كثافة المحلول الملحي تدريجياً من أعلى الأنبوب إلى القاع وتتحرك جزيئات ال(DNA) إلى الأسفل الأنبوب حتى تصل إلى مستوى تكون فيه

كثافة المحلول مساوية لكثافتها وتبقى هناك . أما جزيئات ال (DNA) ذات الكثافة المختلفة فتكون جزءاً أفقياً على مستويات مختلفة في الأنبوب.

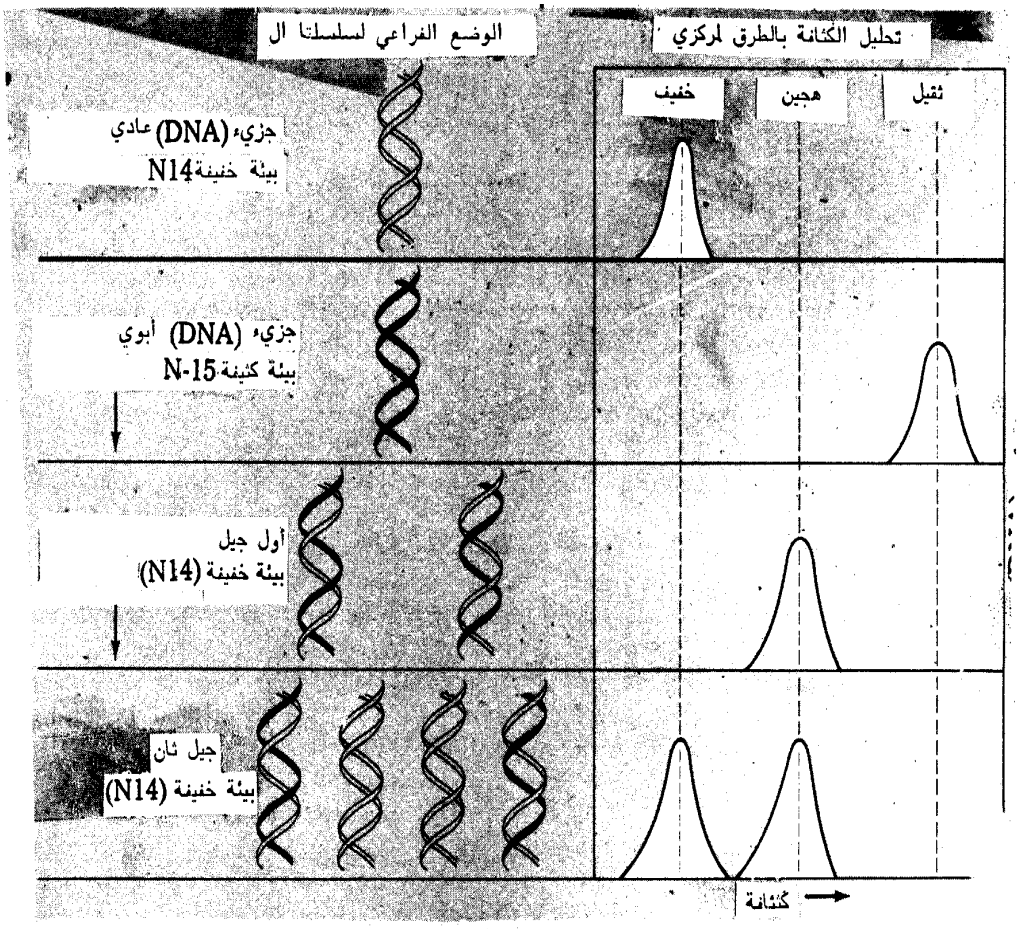


الشكل (٩ ــ ٦) : نمط انحراف اشعة اكس عن بلورة الحامض النووي . صورة كهذه زودت واطسون وكيريل بمعلومات عن تركيب جزيء الحامض النووي .



الشكل (٩ ــ ٧) : نموذج واطسون وكريك لتضاعف ال DNA . عند انفصال السلسلتين ، تعمل كل سلسلة كقالب لبناء سلسلة جديدة مكملة .

ماذا يمكن أن يجد الباحثون بعد جيل واحد من البكتيريا- أي بعد انقسام واحد للخلية وما يرافقه من تضاعف ال (DNA) ؟ إذا تضاعف (DNA) بالنمط المحافظ فإنه يكون جزأمين من ال (DNA) في الأنبوب تمثلان جزيئات مكونة من سلسلتين قديمتين (ثقيلتين) وجزيئات مكونة من سلسلتين (خفيفتين) . أما إذا تضاعف ال (DNA) حسب النموذج نصف المحافظ فسيكون حزام واحد من الكثافة المتوسطة في الأنبوب ، وكل جزيء (DNA) تضاعف حديثاً يحتوي على طرف قديم (ثقيل) وطرف جديد (خفيف) ولقد وجد أن الحالة الأخيرة هي التي تحدث في الحقيقة . وبعد نمو جيل واحد من البكتيريا كان هناك نوع واحد من ال (DNA) ولكن كان أقل كثافة من جزيء ال (DNA) الأصلي N^{15} ، وبعد الجيل الثاني وجد نوعان من ال (DNA) احدهما كان خفيفاً يحوي فقط نيتروجين N^{15} وكثافة الآخر كانت متوسطة بين ال N^{14}-DNA.



الشكل (٩ ــ ٨) : تجربة ميسيلسون وشتال التي أكدت ان فرضية واطسون وكريـك هي تضاعف شبه المحافظ .

وال $N\text{-}DNA^{14}$ وله نفس الكثافة مثل ال (DNA) الموجودة في نهايـة الجيـل الأول . وجزيء ال (DNA) الأخير كان نوعاً هجيناً يحتوي على كميات متساوي من N^{14} و N^{15} وفي الجيل الثالث والأخير بقيت كمية (DNA) الهجين ثابتة ولكن (DNA) الخفيـف ازداد مع كل جيل.

وقد جاءت جميع هذه الملاحظات مطابقة لفرضية النموذج نصف المحافظ لتضاعف ال (DNA) ، وطبقاً لهذه الفرضية فإن تضاعف ال (DNA) في جيل البكتيريا الأول يستخدم انفصال السلسلتين في ال $N\text{-}DNA^{14}$ ، وكل واحدة تعمل كطبعة لبناء سلسلة مكملة مكونة

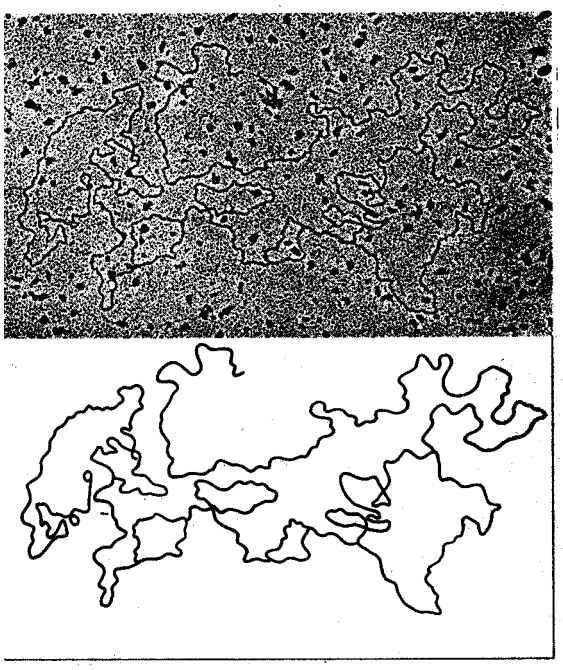
من نيوكليوتيدات ذات N^{14} والنصف الآخر من نوع N^{14} . إذن نصف ال (DNA) المكون حديثاً هو ممن نوع خفيف يحتوي على N^{14} والنصف الآخر هو من النوع الثقيل . ووجود نوع واحد من ال (DNA) الهجين في نهاية الجيل الأول وليس أنواعاً مختلفة بين الخفيف والكثيف تدل على أن السلاسل المفردة تحتفظ بكمالها ولا تتكسر ثم تعود تتجمع عشوائياً ، ويؤكد هذا بظهور نوعين من جزيئات ال (DNA) في نهاية الجيل الثاني دلالة على وجود نوعين فقط من السلاسل في جزيئات الجيل السابق . وعدم وجو ال N-DNA[١٥] يستبعد احتمال الاحتفاظ بالجزيئات الأصلية من جيل إلى آخر وهذا ينهي فرضية النموذج المحافظ.

ولقد حصل كل من تايلور (Taylor) وودز (Woods) وهفز (Hughes) في سنة ١٩٥٧ على دلائل تشير على تضاعف ال (DNA) نصف المحافظ في كروموسومات الفول Vicia faba بواسطة نظائر مشعة ثم تتبعوا ال (DNA) المشع خلال انقسامات الخلية المتتالية ثم قتلت خلايا القمة النامية للجذور ثم بسطت على شريحة ميكروسكوب بعد عدة فترات من تمييز ال (DNA) . ثم غلفت الشرائح بواسطة فيلم وتركت في الظلام ، وبما أن الفيلم لم يتعرض للضوء فغن مصدر الاشعاع الوحيد الذي سبب تعتيم الفيلم هو المادة المشعة الموجودة في (DNA) الخلايا وعندما فحص الفيلم تحت المجهر كان هناك حبيبات سوداء على الكروموسومات المميزة . وبملاحظة هذه النقاط السوداء وجد أن توزيع ال (DNA) المميز يمكن تتبعه بعد انقسام الكروموسومات الأول والثاني وما يتبعهما من انقسامات متتالية .

وقد بينت نتائجهم هذه أن الكروموسوم يوزع ال (DNA) بوقت الانقسام كأنه مكون من جزيء طويل ومتصل من ال (DNA) وتظهر عملية التضاعف بأنها تتبع النموذج نصف المحافظ تماماً كما في البكتيريا التي درستت من قبل ميسيلسون Meselson وستول Stahl.

التحكم في بناء ال (DNA): Control of DNA synthesis

كيف يمكن التحكم في عملية تضاعل ال (DNA)؟ هذه مسألة مهمة وغير محلولة لأننا نعرف أن نضاعف ال (DNA) يحدث خلال فترة قصيرة من دورة حياة معظم الخلايا . فإذا عرفنا المزيد عن تنظيم بناء ال (DNA) فإنه يمكن أن نتعلم كيف نتعامل مع الحالات التي يتوقف عندها هذا التحكم ، وتنقسم الخلايا بسرعة كما في السرطان . ويبدو أ التحكم يبدأ أساساً في وقت بدء عملية تضاعف ال (DNA) . وما زلنا لا نعرف إلا القليل عن عملية البدء ولكننا نعرف أنها تبدأ في نقطة أو نقاط محددة وقليلة على الكروموسوم ، وهذه المعلومات جاءت جزئياً من دراسات الوراثية وجزئياً من تجارب الكيمياء الحيوية ولكن معظمها جاء مباشرة من رؤية تضاعف جزيء ال (DNA) بواسطة طريقة تايلور (Taylor) باستعمال ال (DNA) المميز بالاشعاع أو بواسطة المجر الاليكتروني .



الشكل (٩ ــ ٩) : يستمر التضاعف تلقائيا في عدة مواقع على طول الجزيء (الاجزاء الباهتة) .

ويبين الشكل المرافق (٩-٩) صورة المجهر الاليكتروني الـ(DNA) المتضاعف المأخوذ من بيضة ذبابة الفاكهة . أن عملية التضاعف تبدو واضحة مستمرة في أربع مناطق على الكروموسوم (الحلقات الملونة أو "الأعين" في الشكل).

أن ال (DNA) في خذخ تلجلقتن قد تضاعف أما الباقي فهو في طريق التضـــاعف ، وأظهرت التحاليل الأكثر دقة أن تضاعف هذه المركبات يحدث باستمرار وفي الاتجاهين وفي نفس ا لوقت . وهكذا فإن التضاعف يحدث في الوسط بين زوايا الأعين وكل عـــين تمثـــل نقطة تكاثر وتكون سلاسل ال (DNA) الأبوي غير ملتفة وسلاســـل ال (DNA) الجديـــدة تزداد في الطول فـــي نفـــس الوقـــت . أن التحليـــل التفصـــيلي لتضـــاعف ال (DNA) الكروموسومي في الكائنات عديدة الخلايا صعب جداً بسبب الوزن الجزيئـــي العـــالي لـــل (DNA) الخلوي والتركيب المعقد للكروموسوم .

عمل الجينات Genes in action

إذا كان (DNA) يعمل كمادة وراثية فكيف يتكون الشـــكل أو المظهـــر مـــن هـــذه المعلومات المنقولة بواسطة الجينات؟ يتفق الرأي العلمي الحالي على أن كـــل جـــين يحـــدد التركيب الخاص لبروتين معين هوغالباً انزيم – وهذا يؤثر في الشكل .

ويظهر أثر الأنزيم الوظيفي بوضوح عند فحص التأثير الناتج عن غياب هذا الانزيم . فإذا كان الانزيم لا يعمل فإن المادة التي يعمل عليها ستتراكم وبالتالي فإن نتيجة التفاعل لا تتكون .

ومع ذلك ، فالانزيمات لا تعمل مستقلة بعضها عن بعـــض ، بـــل أن مجموعـــات الانزيمات تترتب في متواليات حسب وظائفها وهذه المتواليات تشكل مـــا يســـمى "بمســـالك التفاعل الحيوي" metabolid pathways بحيث تكون المادة الناتجة من تفاعل انزيم معين هي المادة التي يعمل عليها الانزيم الآخر . والقدرة على تخليق جزيء معين تعتمـــد علـــى مدى اتمام بعض الخطوات بنجاح خلال الطريق الذي يسلكه التفاعل . وعند غياب أحـــد الانزيمات عن طريق التفاعل فإن هذا التفاعل يتوقف وجميع الجزيئات في هذا الطريـــق لا تتكون . فإذا كان مثل هذا التوقف الحيوي يمنع تكوين مركب مطلوب فإنه يجـــب تزويـــد الكائنن به وإلا فإنه يموت .

الجينات والانزيمات: Genes and enzymes

لقد بين اركيبالد جارود Archibald Garrod في عـــام ١٩٠٩ أن بعـــض العيـــب الانزيمية في الإنسان موروثة ، واقترح أن الجينات هي المسؤولة عن تخليق الانزيم ، وفي ذلك الوقت كان علم الوراثة الجزيئية غير موجود ولم تكن الكيمياء الحيوية في مرحلة مـــن

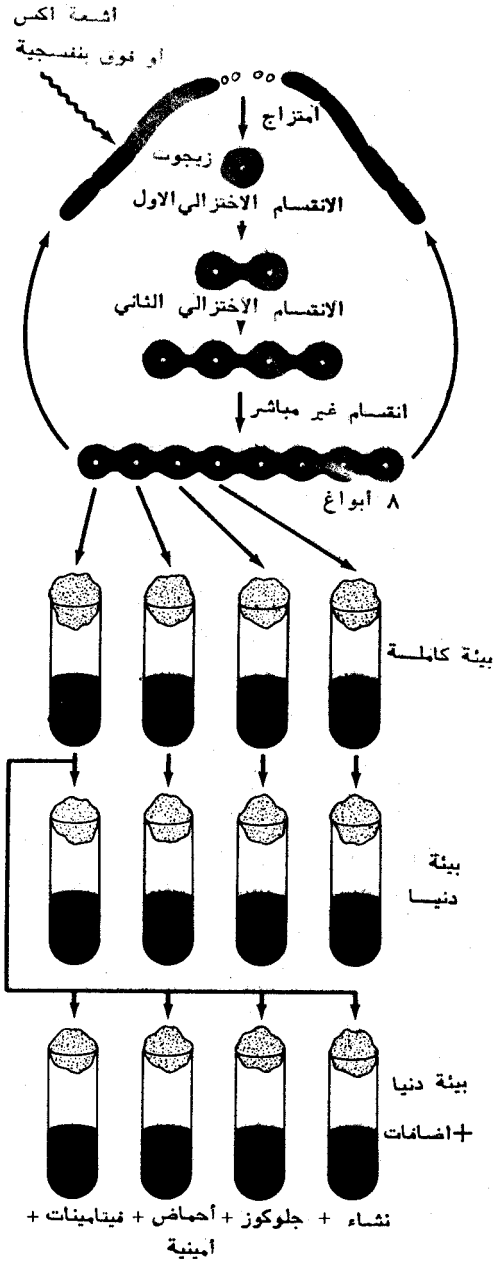
التقدم كافية لتتبع عمل جارود . وفي السنوات الأخيرة ، فإن الدراسات البيوكيماوية دلت على أن كثيراً من الخلل الانزيمي يحدث صفات موروثة ناتجة عن الاختلاف في تركيب الجين الواحد . ولأن الأجيال البشرية تتميز بطول فترتها فإن كثيراً من معرفتنا في هذا المجال تجمعت من الدراسات الغذائية التي تمت على كائنات صغيرة تتميز بفترة جيل قصيرة تجعل منها مادة تجريبية سهلة وعملية .

وبعد ثلاثين عاماً من تقرير جارود Garrod اختار جورج بيدل وتاتوم عفن الخبز الأحمر Neurospora crassa للتأكد من فرضية أن الجينات تتحكم في تكوين بروتين الانزيماتت . ويتميز هذا العفن بتركيبه السهل وقصر دورة حياته (١٠ أيام) كما أن له عدة فوائد كمادة تجريبية بيوكيماوية ، كما أنه في معم دورة حياته يحتوي على العدد الفردي من الكروموسومات . بما أن كل خلية فيها جين واحد ممن كل مجموعة من الصفات الاليلية alleles فإن هذا الجين يظهر نفسه ولا يمكن لأي صفة اليلية سائدة أن تحجبه ، كما أنه يمكن تتبع تأثير أي جين بدون تخل صفات اليلية أخرى .

ومع أن هذا العفن Neurospora بسيط نسبياً فإن خلاياه ذات نواة حقيقية وله دورة حياة جنسية كما في النباتات والحيوانات العليا . أن العفن الذي يتميز بدوره حياة تكاثرية معاكسة تمتزج خلاياه لتنتج خلية تحتوي العدد الزوجي من الكروموسومات التي تشبه الزيجوت الذي ينتج عن امتزاج البويضة والحيوان المنوي عند الإنسان أما في Neurospora فكل خلية تحتوي على العدد الزوجي من الكروموسومات تنقسم انقسامين اختزاليين لتعطي أربع خلايا في كل واحدة العدد الفردي من الكروموسومات ، في صف مرتب داخل الكيس البوغي وبعد ذلك تنقسم الخلايا الأربع انقساماً غير مباشر لتعطي ثماني خلايا من ابواغ جنسية وبعد نمو البوغ الجنسي فإن العفن الجديد ينتج أبواغاً لا جنسية متطابقة وراثياً ، ويمكن فحص كل واحدة لدراسة صفة وراثية معينة .

ربما يكون أهم شيء للدراسات البيوكيماوية أن النيوروسبورا Newrospora العادي ينمو على وسط قليل من المركبات غير العضوية ، وفيتامين بيوتين (biotin) وسكر . وبما أنه يحتاج على بعض المركبات العضوية في غذائه فلا بد أنه يحتوي على الانزيمات وطرق التخليق الحيوي لبناء جميع المواد الحيوية الضرورية ويمكن الكشف عن النقص في طرق التحول وذلك بزرع ابواغ على وسط كامل يتألف من الوسط الناقص ومصدر للفيتامينات ومواد غذائية أخرى . وبعد ذلك ينقل جزء من المزرعة إلى الوسط الناقص ،

فإذا لم يتم نموه على الوسط الناقص فهذا يعني نقصاً في انزيم أو أكثر يؤثر في واحد أو أكثر من أو أكثر من طرق التحول .



الشكل (٩ ــ ١٠) : لقد استعمل عفن النيوروسبورا اساسا للتاكد من فرضية جين واحد ــ انزيم واحد . يستطيع النيوروسبورا العادي النمو في البيئة الدنيا .

وبزيادة الدراسة والاختبار على مزارع العفن فإنه يمكن تحديد موضع النقص . فإذا نقلت أجزاء نقلت أجزاء من المزرعة إلى أنابيب تحتوي على الوسط الناقص المزود بالأحماض الامينية ، أو الفيتامينات ، أو مواد غذائية أخرى ، وإذا تكاثر العفن على

الوسط المزود بالأحماض الامينية فإننا نستطيع القول بأن العفن ينقصه حامض أميني واحد أو أكثر نن وبعد ذلك ، نقولم بنقل المزرعة إلى أنابيب اختبار ذات وسط ناقص ، ومزود كل أنبوب اختبار بحامض أميني معين لتحديد أي طريق من طرق التحول لا تعمل ، وبعد ذلك فإن التحاليل البيوكيماوية أو المزيد من دراسات التغذية تحدد الانزيم الناقص .

لقد احتاج بيدل وتاتوم في تجاربهما إلى سلالات من النيوروسبورا فيها طفرات للتأكد من الفرضية التي تقول أن كل جين يتحكم بتكوين أنزيم . أن الطفرات التي تحدث تلقائياً نادرة الحدوث ولكن التجارب التي أجريت استفادت من تأثير اشعة أكس وتركت لتمر في المرحلة الجنسية من دورة الحياة ، ثم أنبتت الأبواغ الجنسية مستقلة على وسط كامل ، ثم نقل جزء من كل عفن إلى انبوب يحتوي الوسط الأدنى للنمو ، وبعد ذلك أجريت تجارب على العفن الذي لم ينم على الوسط الأدنى لتحديد أي مادة غذائية كانت مطلوبة للنمو وعندما لم ينم احدها على الوسط الأدنى تكاثر على وسط أدنى مضاف إليه فيتامين "ب" وحامض النيكوتين . أن هذه النتائج تدل على أن العفن فقد القدرة على إنتاج حامض النيكوتين .

وبعد ذلك ، أجرى تزاوج بين العفن الذي فيه نقص مع العفن العادي لإنتاج أبواغ جنسية ذات كروممووسومات مفردة . ثم زرعت الأبواغ الثمانيةة من كل كيس بوغي على وسط أدنى مضاف إليه حامض النيكوتين فوجد أن أربعاً من كل مجموعة تكاثرت على الوسط الأدنى بدون حامض النيكوتين ، فعدم القدرة على تكوين حامض النيكوتينن انتقل إلى الجيل التالي مؤكداً الصفة الموروثة للضعف . أن نصف الأبواغ من كل كيس بوغي أنتجت عفناً يشبه أحد الأبوين والنصف الآخر انتج عفناً يشبه الأب الآخر هذا يدل على أن زوجاً واحداً من الجينات قد استخدم ، أحدهما لإنتاج حامض النيكوتين والآخر ليمنع انتاجه ، فإذا كان هناك زوج أو أكثر من الجينات المتجانسبة والمستقلة مطلوبة لمنع إنتاج حامض النيكوتين فإن الربع او أقل من الأبواغ الجنسية سينتج عفناً غير قادر على بناء حامض النيكوتين . وأن اعادة هذا النوع من التجارب مرات عديدة أظهرت علاقة جين واحد – أنزيم واحد في النيوروسبورا وغيرها من الكائنات .

ويمكن الاعتماد على دراسات جارود وغيره كأمثلة على نقص الانزيمات في الإنسان أن الكابتون يوريا Alkaptonuria هي حالة غريبة تنتج بسبب فقدان انزيم يمنع تحول

الكابتون alkapton وهو حامض عضوي – إلى ثاني أكسيد الكربون وماء . ويتم إفراز المواد المشتركة من الكابتون ، فبول الأشخاص المصابين يتحول إلى اللون الأسود حال اتصاله بالجو لأن الكابتون يتأكسد في الهواء الجوي معطياً مادة سوداء . ولقد بين جارود بأن الكاننتون يوريا هي صفة متنحية موروثة .

وهناك حالة اضطراب وراثي أخرى في الإنسان وهي الفنيل كيتون يوريا (PKU) ففي هذه الحالة فإن تحول الفينيل الانين إلى تايروسينن يوقف بسبب نقص وراثي في انزيم ، فيتحول الفينيل الانيين إلى فينيل حامض البيروفيك ويؤدي تراكم فينيل حامض البيروفيك إلى تسمم الخلايا العصبية قبل خروجه مع البول وتكون النتيجة التخلف العقلي . ويمكن التغلب على هذه المشكلة بواسطة تحديد كمية الفينيل الانين في الوجبات الغذائية للأشخاص المصابينن ، وفي الوقت الحالي يتم فحص الأطفال حال ولادتهم .

أن الكابتون يوريا والفنيل كيتون يوريا هي أمثلة على اضطرابات وراثية في العمليات الحيوية تتميز بتراكم في المواد يؤدي إلى توقف في النشاط الحيوي يسبق تكون فيتامين الميلانين لذلك فإن عدم وجود الفتيامين هو صفة مميزة لهذه الحالة . وهذه الحالات الثلاث وغيرها ترتبط بأجزاء مختلفة من مسلك واحد .

جين واحد – عديد الببتيد واحد: One gene-one polypeptide

في بعض الحالات يبدو أن عدة جينات ضرورية لإنتاج انزيم واحد ، كما دلت دراسات أخرى على أن بعض الانزيمات والبروتينات المحددة (اليهموجلوبين تتكون من سلسلتين أوأكثر من عديد الببتيد وكل سلسلة محددة بجين واحد وعند معرفة هذا الشيء أعيد صياغة جين واحد – انزيم واحد إلى جين واحد . عديد الببتيد واحد . وفي حالاتت أخرى وجد أن للجين الواحد تأثيرات متعددة فكيف يمكن حدوث هذا إذا كان جين مسؤولاً عن تكوين سلسلة من عديد الببتيد؟

للاجابة عن هذا السؤال فإن مرض فقر الدم في الإنسان (الانيميا المنجلية) يستعمل كمثال للتوضيح . لقد أظهر العلماء أنه بسبب مجموعة من الآليات المتشابهة فإن هناك عدة تأثيرات مثل تكتل خلايا الدم الحمراء وسرعة تحطيم كرات الدم الحمراء ، وتلف في الجهاز الدموي ، والدماغ ، والرئتين والكلى ، والضعف ، والروماتيزم وغيرها . لقد دلت

الدراسات على أن السبب في حدوث كل هذه الآثار هو تبديل أميني في أحد سلاسل عديد الببتيد في جزيء الهيموجلوبين .

أن هيموجلوبين الخلية المنجلية المعروف بهيموجلوبين s يجعل خلايا الدم الحمراء ذات الشكل المشوه (شكل منجلي) أن تتكتل معاً وتتحطم بسرعة والأثر الأخير هو اغلاق الأوعية الدموية والتوقف عن تزويد الدم مما يؤدي إلى تلف أعضاء أخرى . وهكذا فإن التغير في جين واحد ، عندما ينتج عديد ببتيد واحد يسبب تغييرات شكلية كثيرة .

بناء البروتين: Protein Synthesis

كيف يتحكم الجين بتكوين سلاسل عديد الببتيد؟

اننا نعرف أن الرايبوسومات الموجودة في السيتوبلازم تقوم بصنع البروتين ويقوم الحامض النووي الرايبوزي (RNA) بتمرير المعلومات اللازمة من الكروموسومات إلى الرايبوسومات . وهناك ثلاثة أنواع من (RNA) موجودة في الخلايا وكل نوع يلعب دوراً يختلف عن الآخر في عملية بناء البروتين .

النسخ: Transcription

أن الخطوة الأولى في عملية النسخ هي تكوين جزيء Mrna من سلسلة واحدة من جزيء (DNA) التي تستخدم كقالب لعملية النسخ . وأن جزيئات الرايبونيوكيلوتيد الثلاثية الفوسفات الحرة تكون الأزواج المتممة لسلسلة (DNA) المستخدمة كقالب ، كما هو الحال في التضاعف ، باستثناء أن القاعدة النيتروجينية اليوارسايل تقترن مع الادينين وليس الثايمين .

ويقوم انزيم RNA polymerase بتنشيط بلمرة الرايبونيوكليوتيدات الثلاثية الفوسفات لتكوين جزيء من RNA . وحال تكونه فإن جزيء Mrna الذي يتكون من سلسلة واحدة تحتوي على جميع المعلومات الوراثية الموجودة في جزيء DNA ينفصل عن سلسلة DNA التي تعمل كقالب ثم يخترق النواة ويذهب إلى السيتوبلازم ، حيث يعمل كقالب لعملية صنع البروتين .

ويفهم من هذا الوصف أن عملية الطبع (النسخ) هي عمليـــة مشـــابهة للتضـــاعف ، والاختلاف من الناحيـــة الكيميائيـــة يعـــود علـــى أن المـــواد التـــي يعمـــل عليهـــا هـــي الرايبونيوكليوتيدات وليس الرايبونيوكليوتيدات اللاكسجينية وأن اليوراسيل يحل محل الثيامين.

الشكل (٩ ــ ١١) : تصوير اليكتروني يظهر نسخ جزئيات RNA من DNA. السلاسل الطويلة هي DNA مغلـــف ببروتين ، الخيوط القصيرة الريشية هـــي جزئيات RNA, متكونة . حوالـــي ١٠٠ جزيء تتكون من كل جين وفي نفس الوقت يبدا النسخ في نهاية الجين ثم تزيد الياف RNA في الطول مع استمرار العملية توجد مناطـق من الـ DNA بين الجينات تظهـــر وكانهـــا غير نشطة وراثيا .

وكذلك عمليه التضاعف تتم على السلسلتين بينما يتم تضاعف سلسله واحدة من (DNA) في عملية النسخ . وأكثر من ذلك فإن التضاعف يتم على جميع أجزاء الكروموســـوم الداخليـــة بينما في عملية النسخ فإن هناك نقاط بدء وانتهاء محددة ، وهي مطابقة لنهايـــات الجينـــات وتسلسلها . ومن هذا يمكن أن نعتبر الجين بأنه المنطقة على جزيء (DNA) التي تحتوي التعليمات لبناء سلسلة من عديد الببتيد . وغالباً ما يتم نسخ عدة جينات مع بعضها كوحـــدة واحدة ، وهذا ينتج جزيئاً طويلاً من Mrna يمكن أن يستعمل كقالب لتكوين عدة سلاسل من البروتين .

وبالإضافة لتسلسل النيوكليوتيد الذي يحدد تسلسل الحامض الأميني فإن (DNA) لا بد ان يحتوي على تراتيب معينة للتحكم والترقيم . فبالنسبة للترقيم فإن RNA polymersase لا بد له أن يعرف نقطة ارتباطه مع (DNA) وأين يبدا النسخ في النقطة المطابقـــة لبدايـــة الجين وأن يتوقف عندما يصل إلى نهاية ذلك الجين ، وإذا تم نسخ مجموعة مـــن الجينـــات كوحدة واحدة ، فإن Mrna التسلسل في جزيء Mrna يجب أن يحتوي على ترقيم إضافي يحدد تسلسل النيوكليوتيد المطابق لنهاية أحد البروتينات وبداية الآخر . ويجب أن تبنى هذه المعلومات وتوجد في ترتيب القواعد النيتروجينية لجزيء ال (DNA) الأصلي.

الشيفرة الوراثية: The genetic code

تحمل المعلومات من جزيء (DNA) إلى جزيئين جديدين خلال التضاعف ، وتمر نفس هذه المعلومات رأسا من ال (DNA) إلى (m RNA) خلال عملية النسخ ، وأخيراً تترجم إلى شكل آخر (تسلسل أحماض أمينية) عند بناء سلسلة عديد الببتيد .

وقبل وصف العملية النهائية فإنه من الضروري النظر في طبيعة الشيفرة الكيميائية التي تنقل بواسطتها المعلومات . أن وصف الشيفرة الوراثية يعتبر من أعظم الإنجازات التي جاء بها علم الحياة في العقود القليلة الماضية .

وقبل أن تقوم التجارب بتحليل الشيفرة استطاع العلماء أن ينتخبوا أحد الملامح المهمة لها وهي أنها شيفرة ثلاثية بتسلسل ثلاث قواعد على جزيء (DNA) أو (RNA) لتمثل كل حامض أميني .

تحتوي جزيئات الحامض النووي على أربع وحدات مختلفة : قواعد نيتروجنية للادينين وجوانين ، وسايتوسين وثايمين في (DNA) أو يوراسيل في (RNA) . فإذا كان كل واحد يمثل حامضاً أمينياً واحداً فإنه يمكن تحديد أربعة أحماض امينية فقط . وإذا كان تسلسل قاعدتين هو الشيفرة فإنه يستكون ستة عشر زوجاً محتملاً وهذه لا تزال غير كافية لتدوين عشرين حامضاً أمينياً أساسياً موجودة في البروتينات ، ولكن شيفرة ثلاثية بكلمات مكونة من ثلاث قواعد نيتروجينية متجاورة تمثل أربعة وستين حامضاً أمينياً مختلفاً.

ولقد أثبتت صحة هذه الفرضية بعدة تجارب ، وبما أن هناك أربعاً وستين قاعدة نيتروجينية ثلاثية محتملة وتسمى الكودونات وهي تمثل عشرين حامضاً أمينياً فإن الشيفرة فيها زيادة وأن معظم الأحماض الامينية يمكن أن تمثل بأكثر من كودون ، فمثلاً يمكن كتابة الحامض الأميني الاردينين بست طرق وتسلسل النيوكليتيد (CGC) ، (CGU) ، (CGA) ، (CGC) ، (AGA) ، (AGG) وكل واحدة من هذه تستطيع أن توجه صيغ الارجينين في سلسلة عديد الببتيد .

ولقد تم وضع الشيفرة اللازمة في الستينات من خلال تجارب تدل على العبقرية كما يلاحظ في الجدول التالي:

الحرف الأول	الحرف الثاني U	الحرف الثاني C	الحرف الثاني A	الحرف الثاني G	الحرف الثالث
U	UUU phe UUC UUA leu UUG	UCU ser UCC UCA UCG	UAU tyr UAC UAA Stop UAG Stop	UGU cyc UGC UGA Stop UGG trp	U C A G
C	CUU leu CUC CUA CUG	CCU pro CCC CCA CCG	CAU his CAC CAA gln CAG	CGU arg CGC CGA CGG	U C A G
A	AUU ile AUC AUA AUG met	ACU thr ACC ACA ACG	AAU asn AAC AAA lys AAG	AGU ser AGC AGA arg AGG	U C A G
G	GUU val GUC GUA GUG	GCU ala GCC GCA GCG	GAU asp GAC GAA glu GAG	GGU gly GGC GGA GGG	U C A G

الشكل (٩ ــ ١٢) : الشيفرة الوراثية

الأميني أما الثلاثة الباقية وهي (UAG) (UAA) (UGA) فلا معنى لها لأنها تساعد في إضافة أي حامض أميني إلى سلسلة عديد الببتيد ولكنها تستعمل كجزء من الترقيم للرسالة الوراثية لتمثل الوقت الذي يدل على نهاية السلسلة ، أن الكودون (AUG) يدل على النقطة التي يبدأ عندها التفاعل لتكوين عديد الببتيد ، وفي نفس الوقت إذا جاءت (GUA) في وسط السلسلة فإنها تمثل الحامض الأميني الميثونين .

كيف يتم تمييز هذين المعنيين في عملية صنع البروتين؟ أن هذا غير معروف بعد . وأنه من الممتع أن نعلم بأن الفيروسات والبكتيريا ، والنباتات والحيوانات تستعمل نفس الشيفرة الوراثية ، وهي أن الترتيب الثلاثي للقواعد النيتروجينية الذي يدون حامضاً أمينياً معيناً يتم تدوينه في جميع أشكال الحياة ، فمثلاً كودون (GGG) يأمر بربط الجلايسين في سيتوبلازم أي خلية . أن المعنى والفائدة الطبية لهذا الكودون العام سيزدادان أهمية وبدون شك في الأعوام القليلة القادمة .

الترجمة: Translation

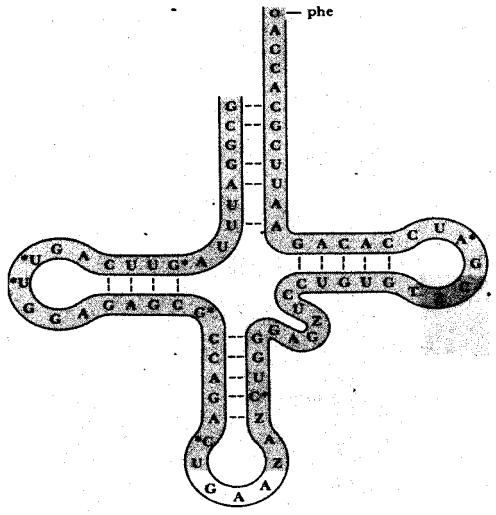
أن بناء سلسلة من الأحماض الأمينية من المعلومات المدونة في جـزيء (m RNA) يدعى بالترجمة ويحدث هذا على الرايبوسومات . يتميز الرايبوسوم بتركيب معقد يحتـوي في ضمنه على مواضع يتصل بها (m RNA) ومن الظاهر أن جـزيء (Mrna) الطويـل الذي يحمل الرسالة المنسوخة عن (DNA) الخلية يتحرك على طول أو خلال الرايبوسـوم كما يتحرك الشريط المغناطيسي على آلة التسجيل ، وكما تتحول السمة المغناطيسية المدونة علـى الشـريط عنـد مرورهـا علـى جهـاز اعـادة البـث إلـى أصـوات فـإن (mRNA) يحمل في ترتيب قواعده النيتروجينية رسالة كيماوية يتم ترجمتها إلى سلسلة من الأحماض الامينية لتكون عديد الببتيد عند مرورها على الرايبوسوم . فالرايبوسوم كما فـي آلة اعادة البث في المسجل يساعد في تحقيق الترجمة ، وهناك نوعان آخران من (RNA) يستعملان في عملية الترجمة هما (t RNA) و (r RNA).

أن الوظيفية الحقيقة لـ (r RNA) غير معروفة تماماً مع أنـه مهـم فـي تركيـب الرايبوسوم وبناء البروتين ، أما (t RNA) فإننا نعرف الشيء الكثير عن عمله الذي يتميز بوظيفته الثنائية ، إذ يقوم (t RNA) بالتقاط جزيئات الأحماض الأمينية الحرة الموجـودة داخل السيتوبلازم وحملها إلى الرايبوسومات ووضعها ليتم اتصالها معاً طبقـاً للمعلومـات المدونة على (m RNA) لتكون سلسلة عديد الببتيد . وعلى كل حال فجزيئات (t RNA) تقوم جزيئات الأحماض الأمينية الحرة الموجودة داخل السيتوبلازم وحملها إلى الرايبوسومات ووضعها ليتم اتصالها معاً طبقاً للمعلومات المدونة على (m RNA) لتكون سلسـلة عديـد الببتيد . وعلى كل حال فجزيئات (t RNA) تقوم بحل شيفرة الرسالة وتحمل هذه المعلومات ، إذ تقوم جزيئات (t RNA) بقراءة الكودونات الموجودة على (m RNA) وتقوم بترجمة هذه الرسالة إلى ترتيب معين للأحماض الأمينية .

وخلافاً لجزيئات (m RNA) وجزيئات (r RNA) فإن جزيئات (t RNA) صـغيرة نسبياً إذ يبلغ طولها حوالي ٧٥-٨٠ نيوكليوتيد . وهي تشبه الأنواع الأخرى مـن (RNA) في أنها تتكون من سلسلة واحدة ولكن هذه السلسلة مثنية وملتفة لتكون تركيباً معقداً ، يتألف من عدة مناطق حيث يتم ربط القواعد المتممة بروابط هيدروجينية كما في جزيء (DNA) الذي يتكون من سلسلتين ، وهناك عدة أصناف من (t RNA) كل واحد منها مخصص لأحد الأحماض الامينية العشرين التي تكون البروتينن ، فمثلاً تنقل بعض جزيئـات (t RNA)

الحامض الاميني –الانين– وتقوم جزيئات أخرى بحمل الجلايسين وغيرها ليوسين وهكذا ، وكل جزيء من (r RNA) يتلقط جزيء حامضي أميني خاص وينقله إلى مراكـــز الـــربط المخصصة على الرايبوسوم حيث تتم عملية ترجمة (m RNA) باستمرار .

أن التسلسل الدقيق الذي تضاف فيه الأحماض الامينية إلى سلسلة عديد الببتيد ، هـــذا التسلسل يحدده المشابهة بين كودونات (m RNA) مع الكودونات المضادة في (t RNA) ، وهذه عبارة عن تسلسل في ثلاث قواعد موجودة على نقطة محددة في ترتيب كل جزيء من (t RNA) ، ولذلك فإنه من الضروري أن يحتوي الكودون والكودون المضاد على القواعد المتممة من أجل أن تقترنن مع بعضها .



الشكل (٩ ــ ١٣) : ترتيب جـــزيء tRNA الذي يحمل الحامض الاميني فينيل الانين المعزول من خلايا الخميرة . اشارة (x) تدل على نيوكليوتيدات غـــير النيوكليوتيدات المادية A ، G ، T ، C وهي النيوكليوتيدات المتحورة المشـــار اليها بالنجم . تكون الثلاث نيوكليوتيدات في الصندوق الابيض الشيفرة المضادة التـــي تزدوج مع شيفرة mRNA خلال تجميع السلسلة العديدة الببتيدات . لقد وجدان أنواع كثيرة مختلفة من tRNA لها اشكـــال مشابهة لورقة البقوليات .

موضع الارتباط على الرايبوسوم ، فإن جزيء (t RNA) الوحيد الذي يتابع القابلة مع هذا الكودون هو الذي يحمول الدودون المضاد (GUA).

وبما أن (CAU) هو أحد الكودونات الاثنين اللذين حددان الحامض الاميني الهستدين وأن جزيء (t RNA) الذي يحمل الكودون المضاد (GUA) هو الذي ينقل الهستدين ، لذا فإننا نستطيع القول بأن جزيء (t RNA) هو نوع من الرابط أو المهيء بين النيوكليوتيدات (لغة m RNA وبين الحامض الأميني (لغة البروتين) ولكل كودون في (m RNA) يوجـــد جزيء (t RNA) مقابل يحمل حامضاً أمينياً معيناً.

وخلال حركة جزيء (m RNA) على طول الرايبوسوم ، فإن كل كودون يقترن مع جزيء (t RNA) المناسب ، لذلك فإن الأحماض الأمينية المحمولةة قد تـــم وضـــعها فـــي

مكانها المناسب لترتبط مع سلسلة عديدة الببتيد النامية ، وكل حامض أميني يضاف بكل رابطة ببتيدية مع الحامض الأميني الذي يسبقه ، وعندما يحدث هذا فإن جزيء (t RNA) يغادر كلا من الحامض الأميني الذي يحمله وقواعد الكودون التي ارتبط بها ويصبح حراً ليكتسب وينقل جزيء حامضي أميني آخر .

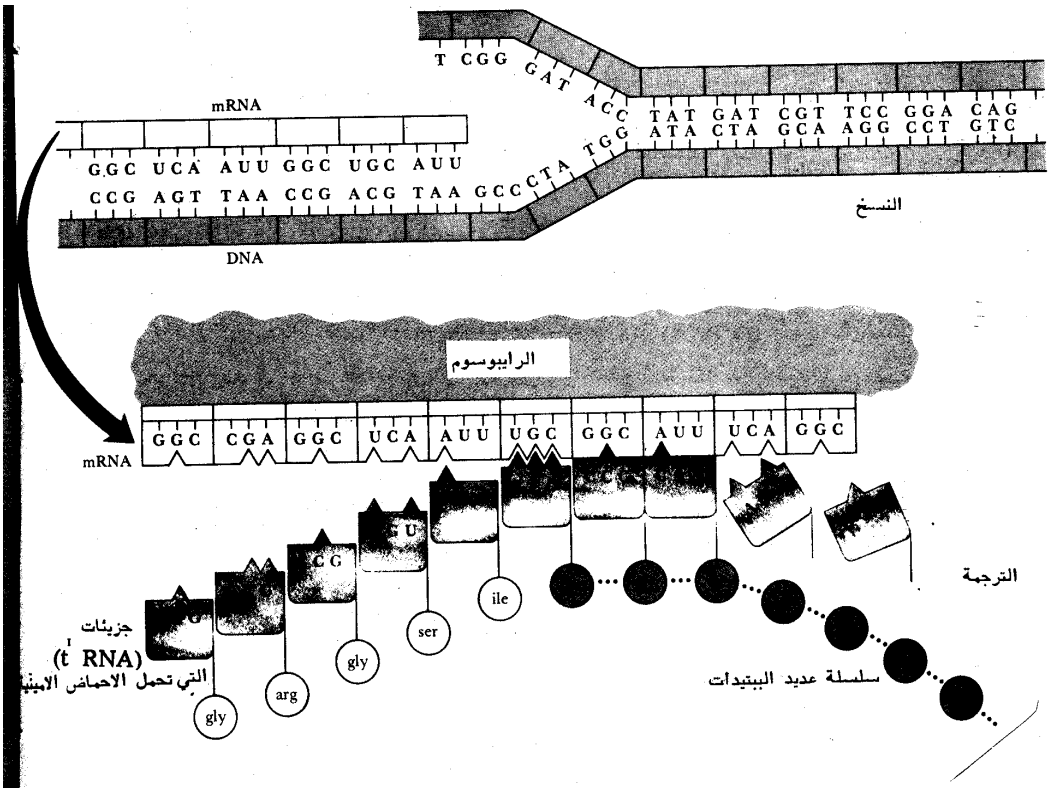
لذلك فإن الأحماض الأمينية تضاف إلى سلسلة عديد الببتيد الواحد تلو الآخر حتى تكتل السلسلة ثم ينطلق جزيء (m RNA) ليرتبط مع رايبوسوم آخر وهكذا يعيد الدورة ، وقد يحدث أن يتحد جزيء (m RNA) مع أكثر من رايبيوسوم في نفس الوقت وعولى كل رايبوسوم تنتج سلسلة من عديد الببتيد ويدعى هذا النوع من الربط عديد الرايبوسومات أو عديد السومات (Polysomes).

الطفرات الجينية: Gene mutations

لحسن الحظ ، ولاستمرارية الحياة فإن جزيء (DNA) يتصف بالثبات وعدم التغير وأن الرسالة الوراثية التي يحملها تنتقل إلى عدة أجيال دون تغير ، لكن تحد أحياناً تغييرات تلقائية في الجينات وتسمى هذه التغييرات المفاجئة "الطفرات".

ومثل هذه الطفرات تحدث تغيراً مهماً في شكل الكائن الحي وهذه التغيرات موروثة لأن المادة الوراثية حدث فيها تغير .

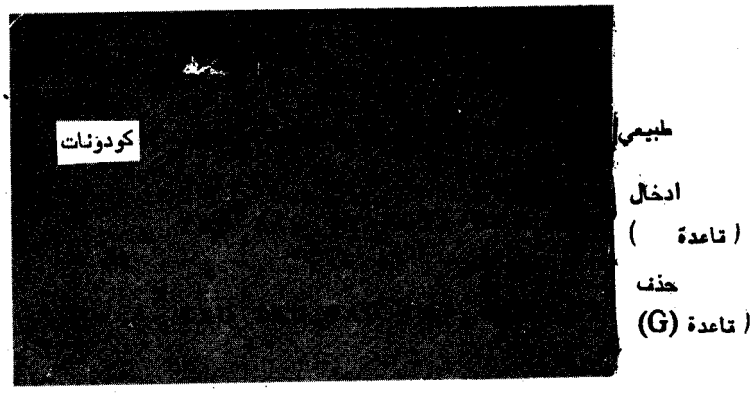
تتميز الجينات بأنها ليست متساوية في الثبات ، فبضعها يحدث فيه تغير أكثر من غيره بمئة أو ألف مرة . ولكن المعدل العام لحدوث الطفرات منخفض جداً فهي للإنسان حوالي ١٠×٤^{-٥} وهذا يعني أنه من بين مئات الالاف من الجاميتات نتوقع حدوث طفرات في جينات أربع من هذه الجاميتات إلى الصفات الوراثية المرادفة لها (اليلاتها) وفي أية مجموعة من الاليلات فإن الجين الأكثر وجوداً يعتبر اليلا عادياً أما بقية الاليلات فتعتبر الاليلاتت التي فها الطفرة . ويمكن تحول الاليلات التي تحتوي الطفرة إلى الاليلات العادية ولكن نسبة هذا التحول أقل بكثير من تحول الجينات العادية إلى الجينات التي تحتوي الطفرة . ويمكن زيادة حدوث الطفرات بواسطة طرق اصطناعية فمن الممكنن انتاج طفرات بواسطة أشعة أكس أو بالأشعة فوق البنفسجية أو بواسطة مواد كيميائية ، وكما في الطفرات



الشكل (٩ ــ ١٤) عملية بناء البروتين . في الاعلى سلسلة mRNA تنسخ من موقع ما في جزيء DNA . وفي الاسفل يتصل mRNA مع الرايبوسوم . ثم تحضر الاحماض الامينية الى الرايبوسوم بواسطة جزئيات tRNA حيث ان كل واحد منها يحتوي على الكودون المضاد المطابق للحامض الاميني الذي يحمله . يتصل الكودون المضاد مع الكودون المناسب على سلسلة mRNA . وهكذا تترتب الاحماض الامينية في تسلسل صحيح وتبقى متماسكة لترتبط مع بعضها مكونة سلسلة عديد الببتيدات .

التلقائية فإن الطفرات الصناعية تحدث بشكل عشوائي وليس من الممكن معرفة أي جين سيتأثر أو كيف يتغير .

أما على المستوى الجزيئي فإن التحول يمثل تغييرات في تسلسل النيوكليوتويدات في جزيء (DNA) ، وهذه التغيرات تشتمل على اضافة أو حذف أو قلب أو استبدال نيكليوتيدات على طول جزيء ، فمثل هذه التغييرات لا تنتج آثاراً على الشكل ، إذا تم نسخ الكودون على الجينن الذي يحتوي الطفرات وحدث أن اعطى هذا الكودون نفس الحامض الأميني كما يحدث عندما يتم نسخة عن الجين الطبيعي . وعندما تحدث اختلافات في ترتيب النيوكليوتيد بحيث تسبب تكوين سلسلة مختلفة من عديد الببتيد فإن هناك إمكانية تغير في شكل الكائن الحي .



الشكل (٩ ــ ١٥) : ان حذف او اضافة نيوكليوتيد واحد في أي موضع على جزيء DNA قد يغير جميع الرسالة ابتداء من تلك النقطة وللامام لتخلق جين طافرة .

وكمثال على هذا يمكن التحدث عن هيموجلوبين (S) فلقد وجد أن سلسلتين من سلاسل الهيموجلوبين (S) تحمل "فألين" في نقطة معينة بدل حامض الجلوماتيك في سلاسل الهيموجلوبين العادي . أن كودون (m RNA) للفالين له قاعدة يوراسيل بينما لحامض الجلوماتيك قاعدة ادينين وبما أن تسلسل النيوكليوتيدات للجين متمم لذلك الموجود في (Mrna) فإن التحول يكون بسبب إدخال ادينين بدل ثايمين في نقطة واحدة على جزيء (DNA) أن هذا التبديل البسيط في موضع واحد للجين قد ادى إلى إنتاج هيموجلوبين (S) وعدة عيوب أخرى . وليست كل الطفرات أو التحولات لها تأثير خطر كتلك التي في جين الخلية المنجلية ولكن عدة تحولات تعتبر ضارة للكائن الحي الذي يحملها .

ان اضافة أو حذف نيوكليوتيد واحد قد يؤدي إلى تأثيرات خطرة على الجين المتأثر ، ففقدان أو كسب أي نيوكليوتيد يعني أن المنسوخ من ذلك الجين المعين سيؤدي إلى تسلسل مختلف تماماً للكودون عند نقطة التغيير ، فإذا نتج تغير في جزء مهم من عديد الببتيد فإنه لن يؤدي وظيفته العادية ، فإذا كان التحول سبباً في نسخ كودون ينتهي بـ(UAA) و(UAG) في الجزء الأول من جزيء (Mrna) فإنه لن يتكون عديد الببتيد أبداً . أن الطبيعة المتنحية للجينات المتحولة تعود إلى عدم قدرتها على تكوين عديد الببتيد وليس إنتاج بروتينات غير عادية .

السيسترون: The cistron

يجدر بنا في هذا المقام أن نعيد النظر في التعريف الكلاسيكي للجين في ضوء معرفتنا الحالية للوراثة الجزيئية ، فعندما تم ادخال مفهوم الجينن في بداية هذا القرن فقد كان التفكير بأن الجين هو الوحدة الوراثية الأساسية بكل معنى الكلمة ، فهو أصغر وحدة في الاتحاد الوراثي ، واصغر وحدة وظيفية (اصغر وحدة تسهم في شكل الكائن) وهو أصغر وحدة يمكن ان تتأثر بالطفرة والتحول.

بروتين		mRNA نيوكليوتيدات		DNA
أحماض أمينية سلسلة عديد الببتيدات	ترجمة	U,A,C,G RNA codon AUG,AGG Mrna strand …/AUG/AGG/ CAU/CGA	نسخ	حروف Nucleotides A, T, G,C كلمات DNA codon TAC,TCC جمل Cistron …/TAC/TCC/GTA/GCT/

الشكل (٩-١٦): لغة الوراثة الجزيئية

نحن ندرك الآن بأن هناك تسلسلاً هرمياً في الوحدات الوراثية ، أصغرها النيوكليوتيد في سلسلة (DNA) أو (RNA) . والنيوكليوتيد المفرد باستطاعته الاتحاد في أي تسلسل وأن هناك طفرات تؤثر عليه . والنيوكليوتيد يجب اعتباره الوحدة الأساسية في التحول والاتحاد ثانية .

والوحدة الأكبر بعد ذلك هي الكودون وأن ثلاثة نيوكليوتيدات هي التي تملي وضع حامض أميني معين في البروتين . وأخيراً فهناك منطقة في جزيء (DNA) عدة مئات إلى عدة ألوف من النيوكليوتيدات في الطول – هي التي تحدد التركيب الداخلي في سلسلة عديد الببتيد . وهذه هي الووحدة الوراثية الوظيفية التي أشرنا إليها في الجين خلال هذا الفصل ولتجنب المزج مع التعبير القديم غير الواضح للجين فإن الوراثة الجزيئية استعملت تعبير السيسترون بديلاً عنه .

تنظيم النشاط الجيني: Regulation of gene activity

ترجع الاختلافات في الشكل الخارجي إلى الاختلافات في الاليلات ، أو إلى اختلاط بين مجموعات من الاليلات التي تحدد تركيب البروتين . أن هذه الجينات تدعى بالجينات التركيبية لأنها تحدد تركيب البروتينات التي تكون الخلية والتي تقوم بوظائف الخلية . ولقد دلت المشاهدات التي جمعت في السنوات القليلة الماضية على أن بعض الصفات الخارجية تتأثر بالجينات وجزيئات أخرى تقوم بتنشيط أو تثبط عمل الجينات التركيبية Structural genes .

وفي بعض الكائنات الحية فإن آلية الجين المنظمة تعمل كمفتاح المحول غذ يوقف الجين عن العمل أو يشغله .

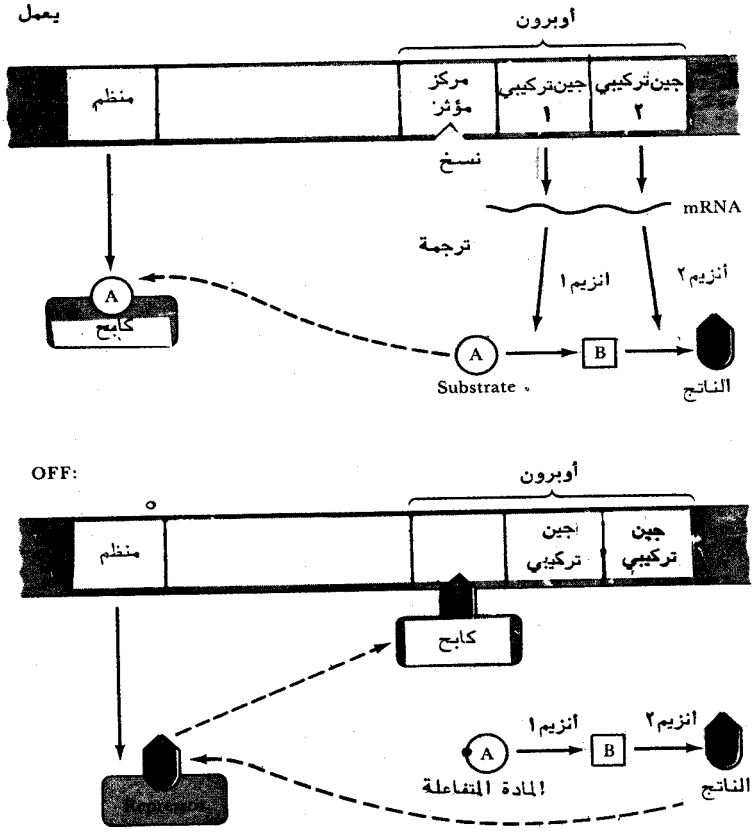
ويمكن أن يتم فهم آلية تنظيم الجينات في البكتيريا أكثر من الكائنات ذات الأنوية الحقيقية . فالتحكم في عمليات اللاكتوز الحيوية في نوع البكتيريا (E.Coli) قد تم دراستها وبحثها أكثر من أية عملية تنظيمية وراثية في أية أنظمة أخرى .

وتقوم البكتيريا (E.Coli) المزروعة أو امالوجودة في أمعاء الإنسان (بيئتها الأصلية) بالحصول على كميات كافية من الجلوكوز من أجل دعم عملياتها الحيوية . كما أن لهذه البكتيريا (E.Coli) القدرة على استخدام اللاكتوز كمصدر للطاقة . ولذا تم زراعة (E.Coli) في وسط ينقصه اللاكتوز فإنها لا تستطيع إنتاج إنزيم لعمليات اللاكتوز الحيوية . وعند نقل خلايا البكتيريا غير القادرة على إنتاج هذا الأنزيم إلى وسط فيه لاكتوز فإن هذه البكتيريا تنشط لإنتاج الأنزيم اللازم لعلميات اللاكتوز الحيوية وتقوم بإنتاج أنزيم يحطم ا للاكتوز إلى جلوكوز وجلاكتوز وأنزيم آخر يزيد من نفاذية الخلايا اللاكتوزية . أن نقل البكتيريا من وسط لاكتوزي إلى وسط لا يحتوي على اللاكتوز يؤدي على منع إنتاج الانزيمات اللازم لعمليات اللاكتوز الحيوية . ويظهر من هذا أن اللاكتوز يعمل كاشارة تساعد على البدء في إنتاج الإنزيمات اللازم لعملياته الحيوية وفي حالة غيابه فإن هذه الأنزيمات لا تتكون . ولكن كيف يحدث هذا ؟ لقد وجد أن هناك أنواعاً من (E.Coli) فيها طفرات بحيث تملك القدرة على إنتاج الانزيمات اللازم لعمليات اللاكتوز في وجو ده أو غيابه . ولقد أظهرت التجارب أن خلط البكتيريا العادية مع التي تملك الطفرة يؤدي على جعل البكتيريا العادية قادرة على

إنتاد مواد كيماوية تقوم بتثبيط ومنع إنتاج انزيمات اللاكتوز . وقد وجد أن هذه المادة المثبطة ما هي إلا بروتين ينتج بواسطة جين منظم . أن السلالات التي تحتوي على الطفرة لا تقدر على إنتاج هذا البروتين المثبط بسبب طفرة أو تغير في الجين المنظم .

أن النظرية الحالية تفسر هذا النوع من التنظيم الجيني كما يلي:

يبني البروتين المثبط بفعل الجين المنظم ويرتبط مع المركز المؤثر وهو قطعة من (DNA) مجاور لجين تركيبي واحد أو أكثر لتمنع نسخ الجين التركيبي . وتتكون الوحدة من مركز مؤثر ويدعى الجين التريبي المرتبط معها بالاوبرون . ويدعى المركز المؤثر والجينات التركيبية التي تقوم بإنتاج الانزيمات اللازمة في عمليات اللاكتوز باللاك أوبرون Iac operon ويرتبط الاكتوز مع المثبط للاك أوبرون ليمنعه من الارتباط بالمركز المؤثر.



الشكل (٩ ــ ١٧) : رسم توضيحي لنموذج Jacob-Monod للابرون ، أن تراكم المادة المتفاعلة A ينشط الكابح سامحا للمركز المؤثر ان يعطي اشارة العمل الى الجينات التركيبية التي توجه بدورها بناء الانزيمات اللازمة لمجموعة التفاعلات التي تحول A الى المادة الناتجة C . ينشط تراكم المادة C الكابح ليقدر على الارتباط مع المركز المؤثر وعليه لا يستطيع المركز المؤثر اعطاء اشارة العمل الى الجينات التركيبية وبذلك يتوقف بناء الانزيمات .

وهكذا ففي بكتيريا (E.Coli) العادية ينسخ اللاك أوبرون بوجود اللاكتوز فقط .

لقد رأينا كيف يتم تثبيت الجينات . فهناك بعض العوامل التي تعمل على بدء عمليـــة النسخ . فالشكل الحلقي للادينوسين احادي الفوسفات CAMP فـــه فـــإن (Camp) ينشـــط مراكز التعزيز وهي نقاط على سلسلة DNA حيث يرتبط بها انزيم RNA polymerase وحال ارتباطه فإنه يبدأ نسخ Mrna من اللاك أوبرون إلا إذا توقف بسبب مثبط اللاك مـــع المركز المؤثر .

ملخص الفصل التاسع

يتوجب على الجين أن يقوم بتحويل المعلومات المترجمة إلى جزيء وظيفي كما يتوجب عليه أن يكون قادراً على التكاثر الذاتي بدقة حتى يتمكن من تمرير المعلومات خلال انقسام الخلية . كما أن عليه ان يكون ثابتاً كيماوياً وقادراً على حدوث الطفرات . لقد كان الاعتقاد الامينية وليس (DNA) الذي يتركب من أربع قواعد نيتروجينية (ادينين ، جوانين ، سايتوسين والثايمين) وبقي هذا الاعتقاد سائداً حتى سنة ١٩٤٤ عندما أثبت (Avery) ومساعدوه بأن (DNA) هو المادة الوراثية وهي المسؤولة عن انتقال المعلومات الوراثية .

وجد الباحثون أن جزيء (DNA) هو جزيء كبير ومعقد يحتوي على عدة نيوكليوتيدات وأن من القواعد الأربع التي تكون (DNA) فإن الادينين والثايمينن موجودان بكميات متساوية وكذلك السايتوسين يساوي في كميته الجوانين . ولقد بقي تركيب جزيء (DNA) غامضاً حتى استطاع العالمانن (Watson) سلسلتين من عديد النيوكليوتيد وهانان السلسلتان متقاطعتان ومتلفتان معاً وتكوناين لولبا ثنائياً كما أن القواعد مرتبة في أزواج متممة بعضها لبعض حيث أن القواعد في سلسلة ترتبط مع القواعد في السلسلة الأخرى بواسطة روابط هيدروجينية وتحمل المعلومات الوراثية في هذا التسلسل من أزواج القواعد النيتورجنية .

وحتى يتم الاحتفاظ بالمعلومات الوراثية فإن المادة الوراثية لها القدرة على التضاعف بنفسها عند انقسام الخلايا . أن السلسلتين المتتامتين في نموذج واطسون وكريك لجزيء (DNA) تطرحان افتراضاً لكيفية حدوث عملية التضاعف . فإذا تحطمت الروابط

الهيدورجينية بين أزواج القواعد النيتروجينية- فإن كل سلسلة تنحل وتنفصل عن مقابلتها- وكل سلسلة تملك التركيب الضرورية لتوجيه بناء سلسلة جديدة متممة ومطابقة للسلسلة التي انفصلت عنها مستعملة النيوكليوتيدات الحرة داخل الخلية كمادة أساسية انفصلت عنها مستعملة النيوكليوتيدات الحرة داخل الخلية كمادة أساسية للتصنيع وبمعنى آخر فإن (DNA) يعطي القالب لتضاعفه .

وإذا كان (DNA) يعمل كمادة وراثية فكيف يشتق المظهر من معلومات تحمل بواسطة الجينات؟.

يعتقد ان كل جين يحدد تركيباً بروتينياً معيناً - غالباً ما يكون انزيماً له علاقة بالمظهر ، وفي عام ١٩٠٩ أظهر جارود أن نقص بعض الأنزيمات في الإنسان يكون موروثاً . واقترح كذلك أن الجينات مسؤولة عن بناء الأنزيم . وبدراسة بعض الكائنات الدقيقة التي دورة حياتها قصيرة وجد أن عدة انزيمات ضعيفة تظهر نموذجاً موروثاً مميزاً باختلاف جين واحد وبذلك تثبت فرضية جين واحد – انزيم واحد .

ولقد أظهرت دراسات أخرى أن بعض الانزيمات والبروتينات (مثل الهيموجلوبين) تتكون من سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد تحدد كل منها بجين واحد . لذلك فقد تم تبديل فرضية جين واحد – أنزيم واحد بفرضية جين واحد- عديد الببتيد واحد .

يبدأ بناء البروتين بعملية النسخ وهي تكوين (mRNA) ، يحتوي على كل المعلومات الوراثية لطبعة (DNA) . وتتحول المعلومات الوراثية إلى نيوكليوتيد ثلاثي يدعى كودون . ويتألف من اقتران البدائل الأربعة للقواعد النيتروجينية مع كل وحدة ثلاثية لتكوين حامض أميني مختلف .

أن بناء سلسلة أحماض أمينية من معلومات مدونة في جزيء (mRNA) يدعى بعملية الترجمة وهي تحدث مع الرايبوسومات . أن جزيءات (tRNA) تحمل أحماضاً أمينية حرة من السيتوبلازم إلى الرايبوسومات حيث ترتبط معاً طبقاً للتعليمات المدونة في (mRNA) لتكون سلسلة عديد الببتيد . ويتم اضافة الأحماض الأمينية إلى السلسلة في ترتيب دقيق باقتران كودون (mRNA) مع الكودون المضاد والمتمم الذي يوجود على (tRNA).

ويتم وضع الحوامض الأمينية المتتالية في مواضع ذات طول يكفي هـذه الأحمـاض لتكون رابطة ببتدية مع الحامض الأميني الذي يسبقه . وعندما يتـتم هـذا فـإن جـزيء (tRNA) يصبح حراً فيذهب لينقل أحماضاً أمينية أخرى مضيفاً اياها إلى سلسلة عديد الببتيد واحداً حتى تنتهي السلسلة . وبعد ذلك تنطلق السلسلة المكتملة ويرتبط جـزيء (mRNA) المنطلق مع رايبوسوم آخر ليعيد الدورة .

ومن الممكن أن يرتبط (mRNA) مع عدة رايبوسومات في آن واحد ليكون سلسـلة عديد الببتيد على كل رايبوسوم . ويدعى ارتباج جزيء (mRNA) مع عدة رايبوسومات بعديد الرايبوسومات أو عديد السومات .

ويتصف جزيء (DNA) بأنه مادة ثابتة . وأن الرسالة الوراثية التي يحملها تمر ع ادة بدون تغيير من جيل على جيل . ويحدث أحياناً أن يحصل تغيير تلقائي فـي الجينـات يدعى بالطفرة . ان حدوث طفرة جينية يمكن أن يحدث تغييراً موروثاً في مظهـر الكـائن الحي الذي يحصل فيه . ويمكن حث تكوين الطفرات بواسطة التعريض للأشعة أو للمـواد الكيماوية . وتحصل الطفرات الصناعية مثل الطفرات التلقائية بشكل عشوائي . كما أنه من المستحيل معروفة الجين المتاثر أوكيفية التأثر .

تحدث الطفرات بالإضافة ، أو الحذف ، أو الانقلاب أو الاسـتبدال للنيوكليوتيـدات على طول جزيء (DNA) . ومثل هذا التغير قد يؤدي على تغير في مظهر الكائني الحي إذا تم تغيير النيوكليوتيدات بحيث يتكون سلاسل مختلفة من عديد الببتيـد . أن فقـدان أو كسب نيوكليوتيد واحد يعني أن جزيء (mRNA) المنسوخ من ذلك الجين المحدد سيكون له تسلسل مختلف من الكودونات من نقطة التغيير وما يليها .

أن هناك تسلسلاً هرمياً في الوحدات الوراثية : فإصغرها هو النيوكليوتيد المنفردة في سلسلة (DNA) أو (RNA) وهو الوحدة الأساسية في الطفرة والاتحاد . ثم يليها في الكبر الكودوون وهو الترتيب الثلاثي للنيوكليوتيد الذي يملي بوضع حامض أمينـي معـين فـي البروتين .

وأخيراً هناك منطقة في جزيء (DNA) تحدد التركيب الداخلي لسلسلة عديد الببتيد . وتدعى الوحدة الوظيفية الوراثية التي يشير إليها علمـاء الوراثـة الجزيئيـة بالسيسـترون (Cistron).

نظرة فاحصة

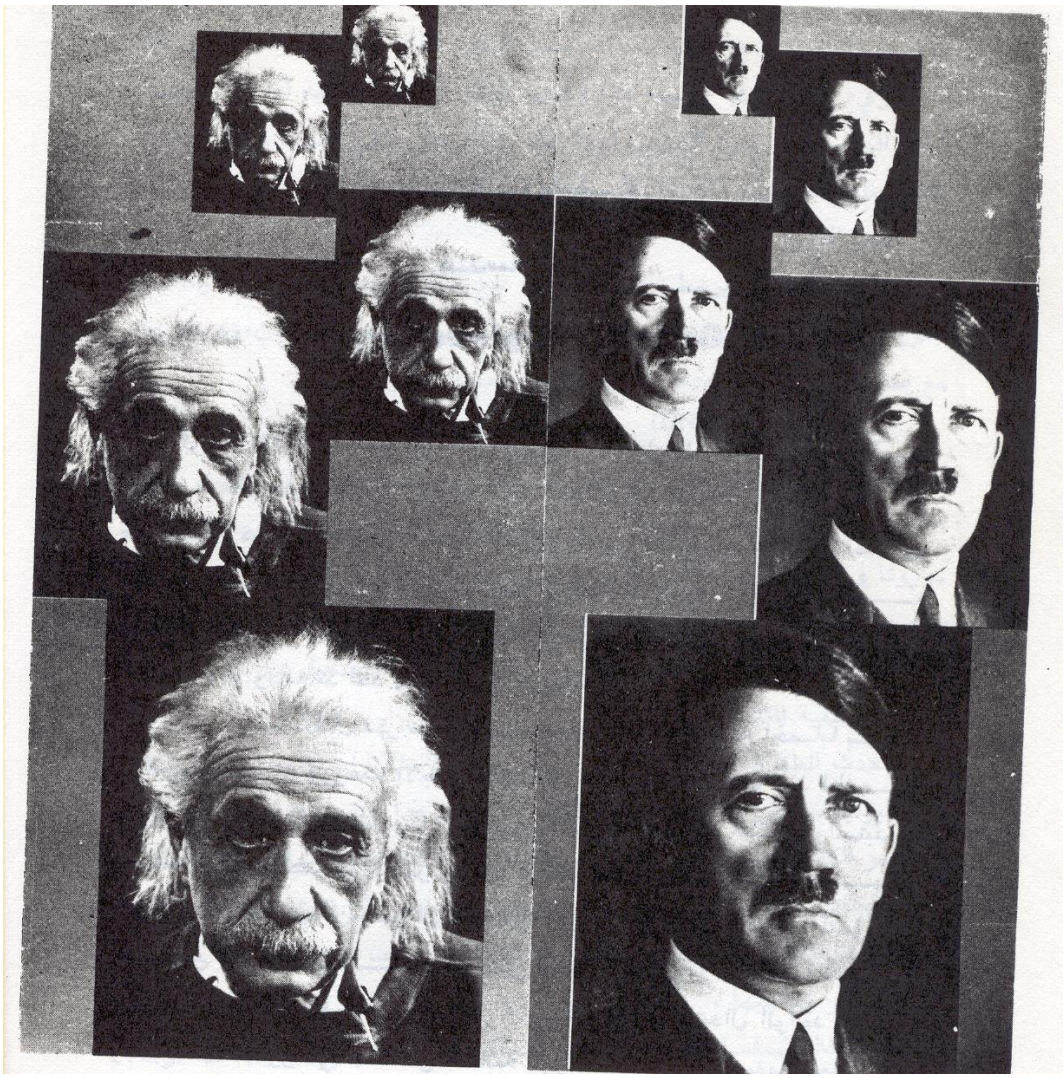
هندسة الوراثة

Genetic Engineering

في عام ١٩٣٢ ، كتب المؤلف الإنجلزي Aldous Huxley تحت عنوان "عالم جديد شجاع" رواية تدور أحداثها في المستقبل ، وذكر فيها أن مجموعة من العلماء قاموا بإنتاج أطفال في أنابيب اختبار حيث اختبرت صفاتهم العقلية والنفسية والفيزيائية حسب خطة رئيسية مدروسة . وقد وضع سينارو الرواية حوالي عام ٢٤٣٠ بعد الميلاد ، ولكن بعض البحث العلمي الحديث يبدو وكأنه قد أخذ مباشرة من الرواية .

وعلى سبيل المثال ذكر طبيب نساء بريطاني أنه أتم بنجاح اخصاباً بشرياً في أنبوبة اختبار ، وزرعت الأجنية المتكونة في نساء وضعت فيما بعد أطفالاً عاديين . ولقد بشرت البحوث البيوكيماوية بإزالة الجينات الضارة واستبدالها بجينات عادية أنتجت في المختبر وهناك أبحاث أخرى تتضمن تطوير مواد كيميائية باستطاعتها أن تغير ال (DNA) في الخلية لتبطل الطفرة المسؤولة عن الجين الضار والتحكم في جنس الجنين المتكون بواسطة فصل الكروموسومات المسؤولة عن الجنس (س ، ص) واستبدال الواحد بالأخر ، وجميع هذه الأمور هي أمثلة عن هندسة الوراثة التي يمكن تعريفها بأنها معالجة مخبرية للمواد الوراثية .

ويتوقع أن يكون لهندسة الوراثة فوائد كثيرة عند اكتمال تطورها ، فتغيير التكوين الوراثية بالمعمالجة يجعل الجنس البشري أكثر صحة وملاءمة . أن جميع جهود الأبحاث مركزة في الوقت الحاضر على دراسة الأمراض المتوارثة والتي تمثل في الإنسان حوالي ١٥٠٠ مرض ، وبواسطة اصلاح أو توبديل الجين الضار فإن العلماء باستطاعتهم التغلب على أمراض عدة كالسكري والقزمة والعملقة وغيرها من الاضطرابات والوراثية .



ومن الممكن أن ينتج الاخصاب في أبابيب الاختبار أفراداً موهوبين ، وقد يؤدي الاخصاب بواسطة أنبوب الاختبار إلى أن يتاح للنساء العواقر أن يصبح لهن أطفال وتنطوي هندسة الوراثة على احتمالات كبيرة للمزارعين والمهتمين بتربية الحيوانات فباستطاعتهم إنتاج سلالات ممتازة من الحيوانات والمحاصيل ، وتجنبهم عمليات التجربة والخطأ في الإنتاج الطبيعي ، وفي الوقاع فقد تم إنتاج سلالات ممتازة من البقر اللاحم وماشية اللبنن والرز والذرة والقمح .

ولكن سمعت حديثاً أصوات عديدة مناهضة للهندسة الوراثية بالنسبة للإنسان وذلك لأسباب بيولوجية واجتماعية ، كاستعمال الإنسان كحيوان للتجارب كالخنازير الغيتية ،

واحتمال سوء الاستعمال ثم لا بد أن تقع أخطاء ينتج عنها أشباه أشخاص . فعند أي حد يعد أمثال هؤلاء من البشر ، ومن ثم لا ينبغي أهمالهم بل العناية بهم على نحو ما .

وهناك خطر تكوين كائنات حية لها تركيب وراثي جديد له المناعة ضد العقاقير المستعملة في مقاومة الأمراض .

وهناك عدة معان ضمنية اجتماعية للهندسة الوراثية ، ففي مفهوم إنتاج أطفال أنابيب الاختبار مثلاً فإن هناك كثيراً من العلماء لا يجدون أن هذه الطريقة مقنعة في إنجاب الأطفال لأن العالم يعاني من مشكلة زيادة عدد السكان .

وهناك احتمال إنتاج نوعية خاصة من الجنود لهم صفات وراثية واحدة وتتحكم فيهم جميعاً سلطة مركزية معينة . ومع وجود القدرة على نسخ الإنسان ، فأي نوع من الناس يمكن أن ينتجهم المجتمع؟ باستطاعتنا إيجاد ألف نسخة عن راكيل ولس Raquel Welech أو شعوباً من جنود خارقين أو عظماء مثل اينشتاين ولكن يمكن خلق أشخاص مثل هتلر أيضاً ، فماذا يحدث لو استخدمت هذه الأمور حكومة دكتاتورية .

ولكن لا يزال هناك اعتقاد بأن الاستفادة من الهندسة الوراثية هو أعظم من مخاطرها ، وفي سنة ١٩٧٢ دعت الجمعية الأميركية الطبية إلى وقف جميع النشاطات في الهندسة الوراثية ، وفشلت في ذلك لأن عدداً من الباحثين اعتقدوا أن مثل هذا العمل سيضر بالتقدم القيم في عزل واحتواء بعض الجينات الضارة وكثير منهم تذكروا الأثر المشؤوم الذي نتج عن مهاجمة الحكومة السوفياتية للأبحاث العلمية بين عامي ١٩٣٥-١٩٦٥ عندما منعت الحكومة السوفياتية جميع الأبحاث التي تتعلق بالوراثة في تلك البلاد ، وكيف أثرت هذه السياسة في منع تقدم الدراسات الوراثية والزراعية أيضاً .

ومع هذا فقد اتفق العلماء على وضع بعض الأنظمة التي تتعلق بالهندسة الوراثية ، فعلى سبيل المثال قامت جميعة البيولوجيين الدولية بصياغة بعض القوانين للتحكم في الهندسة الوراثية في كل أنحاء العالم . ومع هذا فإن هذه النظم لها قوة أخلاقية لا قانونية ولهذا فإن فعاليتها محدودة . وواضح أن العالم ليس قادراً على حل هذه المشكلة بمفرده ، فلا بد من وجود حوار بين العلماء وبين المؤسسات الثقافية والاجتماعية قبل اتخاذ أية قرارات .

نجمة البحر والمرجان الانبوبي

ذبابة الماء

الجندب ذو القرون الطويلة

خطاف الغنم

ساح

سمكة راس الثور البنية

قرود سنجابية

ور غنم

التنوع:

يظهر الأشنة النموذجي ككائن منفرد يشبه الحزاز في مظهره العام . وفي الحقيقة فالاشنة هو تجمع تكافلي لكائنين مختلفين فالأرضية هي خيوط الفطر التي ينتشر فوقها عدد كبير من خلايا الطحلب . أن معظم الفطريات مثل الفطر ، ورمية التغذية ، تنمو على هضم المواد العضوية الميتة ، وهناك فطريات أخرى تتطفل في تغذيتها على الحيوانات والنباتات الحية . والفطر في الأشننة هو المستفيد من المشاركة الفعالة والحميمة . فهو يتزود بالكربوهيدرات والفيتامينات المتكونة بواسطة خلايا الطحالب التي يلتجئ إليها . ويقوم الفطر بامتصاص بخار الماء مباشرة من الهواء من أجل أن يستعمله الطحلب في عملية التمثيل الضوئي ، كما أنه يظلل الطحلب من الضوء الشديد الزائد .

وهناك تباين كبير بين أفراد الرتبة الواحدة في وسيلة الحركة وكيفية القيام بها إذ يتطلب أسلوب الحياة الساكن والمتحرك تكيفاً على درجة عالية من التقيد ، خاصة في تجميع الطعام وطريقة التكاثر . فبعض الجوفمعويات مثل قنديل البحر تقوم بعملية السباحة عن طريق قذف الماء من صدفتها . ويصيد السمك وذلك بأن يغطس ببطء باتجاه قاع المحيط ولوامسه مفرودة . وهناك جوفمعويات تكون أقل حركة مثل الحيوانات المرجانية ، وهذه عليها أن تنتظر وصول الطعام إلى لوامسها . وعندما تصبح الظروف غير مناسبة فإن المرجان المخاطي وهيكله الثابت المؤلف من كربونات الكالسيوم لا يستطيع البحث عن بيئة جديدة . أن هذه القابلية المحددة للحركة تؤثر في طريقة التكاثر فهناك طريقتان لتكاثر الحيوانات المرجانية . فالأجناس التي تعيش في مستعمرات تكون براعم تبقى متصلة مع البولب الأب وبعد ذلك تموت البوالب القديمة حال تكوين البراعيم الجديدة فوق وصولها . ويبقى هيكلها ليكون الجير البحري وتراكيب بحرية ملتوية تدعى بالمرجان . وتتكاثر البوالب المرجانية جنسياً فتكون يرقات مهدبة (متحركة) قد تسبح لعدة أسابيع قبل أن تثبت نفسها على سطح صلب مناسب لتتطور إلى بولب بالغ ، وبهذه الطريقة يستطيع المرجان أن ينشر أنواعه وأن يكون مستعمرات جديدة .

ونجم البحر (السمك النجمي) هو أحد قنفذيات الجلد يتكون من خمس أذرع تجعل تماثله شعاعياً مثل الجوفمعويات . كما أنه يمتلك تماثلاً ثنائياً جانبياً ليعطيه موضعاً عالياً في السلم التطوري كما أن نجم البحر يتملك مئات من الأقدام الأنبوبية الصغيرة على مقدمتها ماصتان تعمل وكأنها كؤوس ماصة صغيرة على كل ذراع من أذرعها لتجعلها تلتصق بقوة على

السطوح أو تزحف على طولها ولتسحب بعيداً غلاف البطلينوس وغيرها م الرخويات التي تتغذي عليها .

والدفنيا (برغوث الماء) هو أحد القشريات الصغيرة لهو ليس بلا أرجل كما يظهر في الصورة . فاقدامه محاطة بالدرع وهذا يجعلها غير مفيدة للحركة ولكنها تلعب دوراً أساسياً في جمع الطعام أن الأقدام مزودة بشعر ناعم تعمل كمصفاة لجزيئات الطعام الموجودة في الماء ولهذا فإن الدفنيا تستطيع أن تجمع وتتغدى على البكتيريا . والتركيز العالي من الطحالب الخضراء الصغيرة (مصدر غذاء للدفنيا) في الماء تمتص الضوء الأزرق ولهذا فالفضوء الواصل إلى الدفنيا الساعة هو غالباً ما يميل للحمرة . وتحت هذه الظروف فإن نشاط السباحة لهذه الكائنات يحدد بحركات عمودية متمايلة تبقيها قريبة من مصدر الطعام . أن وجود الضوء الأزرق في الماء دلالة على وجود طحالب قليلة – ويعطي هذا إشارة للدافنيا بأن ظروف التغذية أقل من العادة ولذلك فإنها تسبح أفقياً على مدى واسع بحثاً عن بيئة أكثر أملاً في الحصول على الطعام .

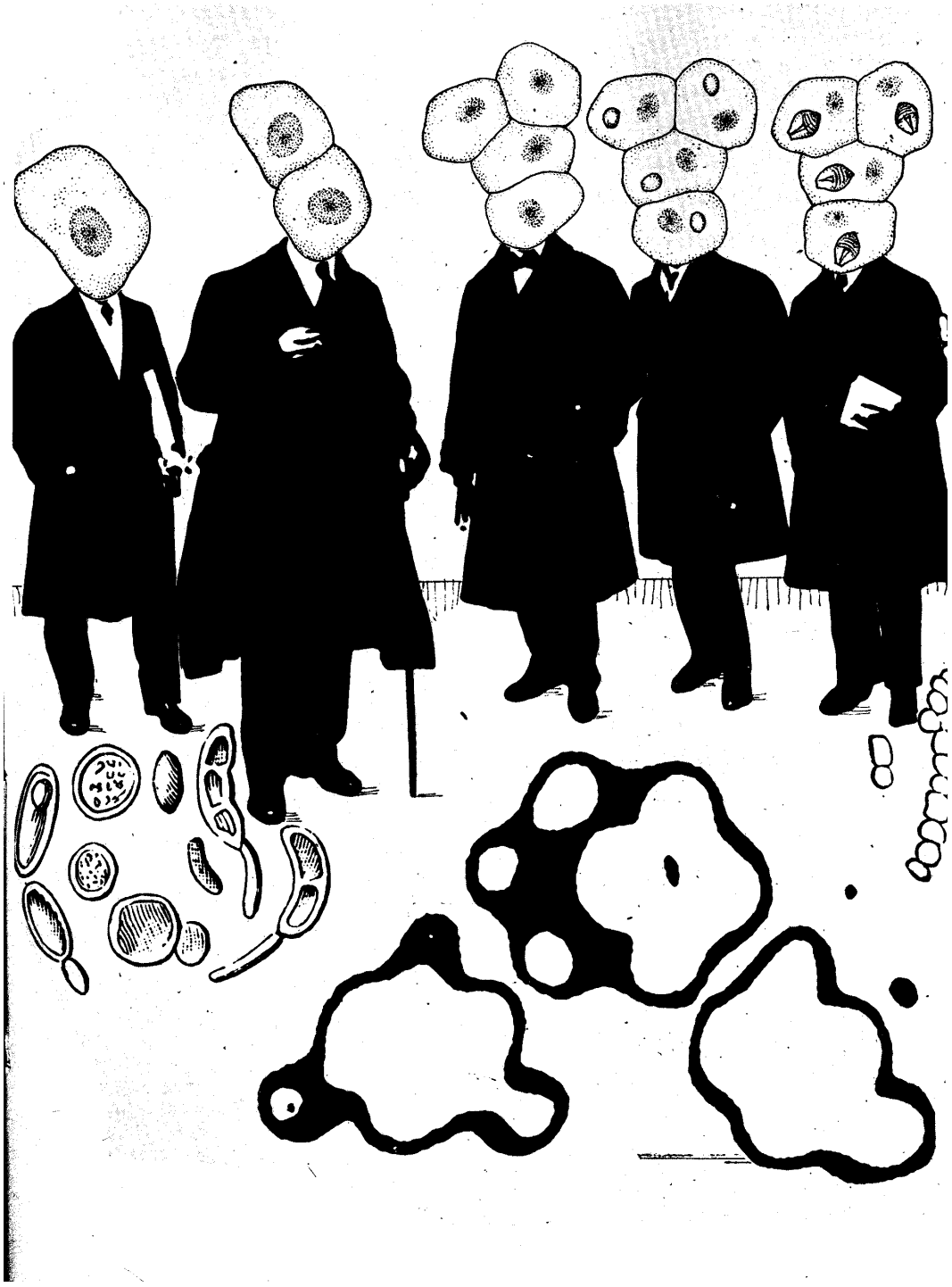
أن سمك الرأس البقري Bulhead "البلهد" والقاطور تغزو من أجل الحصول على الطعام على حدود تقع بين وسطينن وهي متكيفة تبعاً لذلك . فالبلهد كما في معظم القاطور يتغدى في القاع ويتميز بجسم منبسط ورأس مزود بزوائد طويلة يوجد في نهايتها مستقبلات حسية كيميائية (شم وذوق) وميكانيكية (لمس) تجعله قادراً على تحديد الأشياء الصالحة للأكل على الطين وقاع البحيرات والأنهار .

والقاطور حيوان زاحف يتنفس الهواء ويمضي معظم وقته في الماء ويتميز باستراتيجية صيد منفصلة إذ يستلقي تحت سطح الماء منتظراً فريسته (سمك ، طيور ، ثديات صغيرة) لذلك فغن أعضاء الحس الأساسية عديدة هي (العيون ، الأذان ، المناخير) ولذلك فهي تقع في الجزء العلوي من رأسه الطويل ولهذا فهي تبرز فوق سطح الماء . وهذه الأجزاء الثلاثة تتغطى بأغشية تحميها عند الغوص . ويبدو أن الطيور أكثر حرية وحركة فبعضها متكيف للعيش على اليابسة ، أو الهواء أو الماء وأحياناً هذه كلها .

أن الرتبة التي ينتمي إليها طير ابن الماء تتضمن مالك الحزين وا لنحام ، واللقلق ، وطائر أبو منجل . كما أن عدداً من هذه الطيور تعتبر جارحة فقطيع ابن الماء يجد طعامه

على اليابسة بمساعدة الحيوانات آكلة العشب الضخمة ، فمصدر طعامه الأساسي يتكون من حشرات متطفلة كما أنه يمكنها من التقاط الحشرات المتطفلةة الموجودة في زرائب الماشية والثديات وتجعل لنفسها بيوتاً على الأرض أو في الماء أو في الجو كالخفاش . وكما في القاطور فإن أسد البحر مزود حيوانات على اليابسة). وعلى اليابسة حيث ترتاح وتتكاثر فإن تشتيت الحرارة الزائدة يسبب مشكلة حلها ببقاء الكائنات رطبة وليسمح بالتبريد بواسطة عملية التبخر . والطريقة الأخرى هي نوم هذه الكائنات . وقد وجد أن أسد البحر النائم يقل انتاجه من حرارة التمثيل بحوالي ٢٥%.

يمتاز أسد البحر بسرعته ورشاقته في الماء ، أما على اليابسة فإنه من أكثر المخلوقات قلة في الرشاقة لعدم ملاءمة زعانفه للحركة على اليابسة وتعتبر الخراف البرية والقردة السنجابية من بين الحيوانات الرشيقة على اليابسة . فعلى الرغم من ضخامة خراف الجبال العالية فإنها تثير العجب بثبات أقدامها وهي تطوف بحثاً عن الأعشاب على طول منحدرات الجبال العالية في الاسكا وشمال كندا . وتعيش القردة السنجابية على شكل قطعان تنتقل على شكل جماعات قد يصل عددها إلى المئات ، وعموماً فإنها تتبع فرداً معيناً يقود جميع القطيع من صف منفرد واحد تلو الآخر على طول طرق معروفة على قمم الأشجار تستعمل تكراراً ، وتتشبث صغار القردة أحد آبائها وأمهاتها .



الفصل العاشر

الفيروسات والكائنات وحيدة الخلية

Viruses and Unicellular Life

يقسم العلماء البيولوجيون منذ أيام أرسطو طاليس الكائنات الحية إلى مجموعتين رئيسيتين:- الحيوانات والنباتات . وكما هو الحال بالنسبة لنظم التقسيم الأخرى لم يكن التمييز بين هاتين المجموعتين إلا تبعاً لصفات عامة فالواضح أن الحيوانات تتحرك بحثاً عن الطعام الذي تجمعه وتأكله وأما النباتات فمعظمها يتميز بالاخضرار وبأن له جذوراً . وعندما ازدادات معرفتنا عن الأشياء الحية وعن أشكالها المتنوعة وأنماط معيشتها أصبحت هناك حاجة لوضع مميزات أدق . وبهذا بدأت المحاولات لتجميع الكائنات المتشابهة في مجموعات متميزة . ولكن لم يكن هناك أي ناقض بين هذه التقسيمات وبين المنهج الأصلي الذي وصفه كارل لينيوس Carl Linnaeus عام ١٧٣٥ وفيه قسم جميع الكائنات الحية المعروفة إلى مملكتين:- المملكة النباتية والمملكة الحيوانية .

ولكن حسب المستوى الذي وصلنا إليها حالياً ، لم يعد نظام تقسيم الكائننات الحية إلى مملكتين فقط كافياً . ويعود ذلك إلى وجود كثير من الكائنات الحية التي لا نستيطع ضمها لأن من هاتين المملكتينن . فالفطريات مثلاً لا تقوم بصنع غذائها كما هو الحال بالنسبة للنباتات ولا تلتهم طعامها التهاماً كما هو الحال بالنسبة للحيوانات . ومن ناحية أخرى فإن نظم التقسيم القديمة قد أخذت بعين الاعتبار العلاقات الحالية فقط بين الكائنات وذلك حسب

مستويات التشابه بين أشكالها الخارجية من حيث الشكل الخارجي والتركيب ، ولكنها لم تأخذ بعين الاعتبار العلاقات الزمنية والسلالية (الوراثية) بين هذه الكائننات وهو ما نسميه بالتاريخ العرقي أو النشوء النوعي Phycomycetes والحقيقة أنه لم يؤخذ التاريخ العرقي للكائنـــات كأساس في التصنيف قبل عام ١٨٥٩ وهو تاريخ تأليف داروين لكتابه عن التطور .

أن النظام الذي يبدو أكثر منطقية ودقة من غيره من النظم في اتساعه لعدد أكبر مـــن الكائنات الحية وفي اتباعه للعلاقات التطورية بينها هو ذلك الذي وضعه وايتكر Whittaker وفيه قسم الكائنات الحية إلى خمسة ممالك وهذا هو النظام الذي سيتبع في هذا الكتاب علـــى الأقل بشكله العريض .

وسنتناول في هذا الفصل تقسيماً له علاقة بموضوع خاص من مواضيع العلوم الحياتية إلا وهو علم الكائنات الدقيقة microbiology ويمكن اعتبار الكائنات الدقيقة بأنها تلك التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة . ويدخل ضمن هذه المجموعة الكائنات التي يكون طول أو قطر خلاياها ١ مم أو أقل ويدرس مثل هذه الكائنات عادة متخصصون في الأحياء الدقيقـــة وهي تضم البكتيريا (المونيرا) (Monera) والطحالب وحيدة الخلية وذات النويات الحقيقية (cucaryotic) والاوليات (Protozoe) الطلائعيات (Protista) والفيروسات التي هي دقائق قد لا يوافق البعض على اعتبارها كائنات حية ولكن نظراً لصغر حجمهـــا ولأهميتهـــا فـــي دراستا لعمليات الحيوية ولدورها كمسببات لكثير من الأمراض فإنها تدخل ضمنن اهتمامات علماء الأحياء الدقيقة .

وموضوع الكائنات الدقيقة واسع حقاً ، فهو يضم اعداداً هائلة ويســـتوعب مجموعـــة متنوعة من حيث التركيب والوظيفة ولهذا فمن الضروري أن يتخصص علماء الأحياء الدقيقة في بحوثهم عادة في حقل معين مثل علم الفيروسات أو علم البكتيريا أو علم البروتوزا .

الفيروسات: Viruses

قد تعطى دراسة الفيروسات ضمن المملكة الحيوانية والنباتية فهماً خاطئاً عن هـــذه الدقائق . فالفيروسات ليست خلاا والواقع أنه ليس من المناسب أن توصف بأنها حية لأنهـــا غير قادرة على التكاثر بمعزل عن عوائلها الحية . وكما اقترحنا في الباب الأول ، ربمـــا يكون من الأفضل أن نعتبر الفيروسات كوحدات متشابهة لتلك التي من المحتمل أن تكون قد

تكونت أثناء الفترة بين التطور الكيميائي والبيولوجي أي في المرحلة الانتقالية بين اللاحياة والحياة وعلى كل تحال ومنذ ثلاثينات هذا القرن تعرف الفيروسات كمجموعة متميزة ومتنوعة من الوحدات البيولوجية .

والفيروسات من ناحية كيميائية هي أحماض نووية تنتجها الخلايا الحية . وأن جزءاً من الحامض النووي للفيروس أو كله يكون مغمطى بأغطية من البيروتين (او البروتين والدهن) على شكل وحدات تدعى كل منها وحدة فيروسية (فيريون) Virion ثم تنطلق هذه من الخلية .

ويمكن للوحدة الفيروسية (الفيريون) أو الحامض الذي تتكون منه فقط أن تدخل خلية أخرى من نفس النوع الذي خرجت منه وأن تحفز الخلية المصابة الجديدة على تكوين أفراد أخرى من نفس نوع الفيروس . وإذا كان لإنتاج الوحدات الفيروسية أثر على نشاطات التمثيل الغذائي الذي تقوم به الخلية العائل أو كان خروجها يؤدي إلى أحداث تلف بغشاء الخلية العائل فإن مثل هذه الأصابة تقتل الخلية .

لقد أدت دراسة الخلايا المصابة بالفيروسات إلى اعطائنا كثيراً من المعلومات عن كيفية ضبط عملية التمثيل الغذائي في الخلايا وسبب ذلك جزيئاً إلى أنه من السهل علينا هنا أن نتعرف على السبب والأثر في نظام متغير أكثر منه في حالة نظام متزن ثابت . فإن الدور الفعال للأحماض النووية كجزيئات منظمة يصبح واضحاً عندما نرى أن بمجرد دخول الحامض النووي الفيروسي إلى الخلية يبدا تغير واضح في العمليات التخليقية فيها .

أن الصفة العامة المستخدمة في تصنيف الفيروسات هي نوع الحامض النووي الموجود في الوحدة الفيروسية .

فكل نوع معين من الوحدات الفيروسوسية له نوع واحد من الأحماض النووية أي أما ر.ن.أ (RNA) أو د.ن. أ (DNA) وتصنف الفيروسات بعد ذلك حسب الصفات التركيبية للوحدات الفيروسية وحسب الكائنات التي تنتج الفيروسات (من المعروف أن الفيروسات تنتج من جميع الأقسام الرئيسية للكائنات الحية) وكذلك حسب نوع المرض الذي يصاحب انتاج الفيروس إذ أدى الفيروس إلى ذلك .

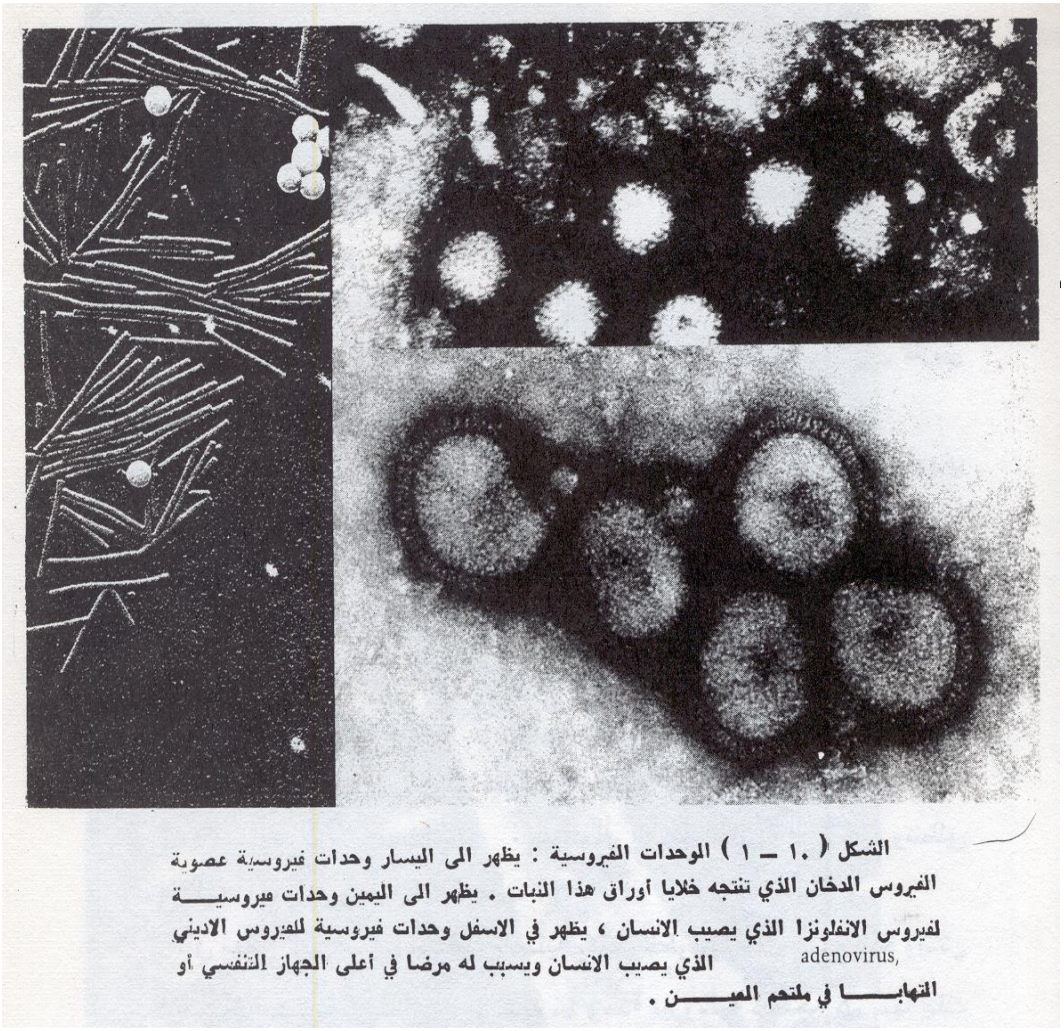
الأمراض الفيروسية Virus disease

يصعب التحري عن وجود الفيورس ما ل لم يسبب تغييرات في الخلايا المصابة وفي الحقيقة أن الفيروسات قد اكتشفت أول ما اكتشفتت كمسببات للمرض لهذا نجد أن الفيروسات ذات الأهمية الصحية والزراعية قد درست بشيء من التفصيل أكثر من غيرها .

تتضمن الأمراض الفيروسية التي تصيب الإنسان أنواعاً مختلفة من أمراض الطفولة المنتشرة في البلاد الغربية كالحصبة measles والنكاف mumps والجديري chiken pox ونفط الحمى fever blisters المزعجة والثآليل warts وحالات الشلل poliomyelitis والجدري smallpox وأمراض الكبد المعدي infectious hepatitis والأنفلونزا influenza وغيرها من الأمراض التي تنتقل عن طريق عضات الحيوانات المفترسة كداء الكلب rabies أو عن طريق لسع الحشرات كالحمى الصفراء yelow fever بالإضافة إلى مجموعة امراض الرشوحات colds ومن الممكن أن نكتشف يوماً ما أن بعض الأورام الخبيئة malignancies وأمراض الجهاز العصبي المركزي المزمنة بما فيها التصلب المركب multiple sclerosis هي أمراض تسببها الفيروسات .

وتسبب الفيروسات للمواشي والدواب والدواجن أمراضاً عديدة من بينها التهاب الدماغ encephalitis ومرض القدم والفم foot and mouth disease وطاعون الطيور fowl plague وداء نيوكاسل Newcastle disease وداء الكلب الكاذب pseudorabies وكوليرا الخنازير hot cholera وأنواع نحو مجموعة من الحيوانات كثيراً ما تضم أكثر من نوع واحد ولبعض الفيروسات التي تنتجها الحيوانات النيا القدرة على أصابة الإنسان .

ومن بين المحاصيل النباتية التي تؤدي اصابة الفيروسات لها إلى خسائر اقتصادية كبيرة البطاطس والبندورة والتبغ وفول الصويا والشمندر واللفت والفصة alfalfa وفي بعض الأحيان تؤدي الاصابة بالفيروس إلى زيادة قيمة المحصول كما هو الحال في نبات الخزامى (التيوليب– أحد نباتات الفصيلة الزنبقية حيث تتبرقش أوراقه (يشوبها عدة ألوان) نتيجة للاصابة الفيروسية). وكما هو الحال بالنسبة لمرض الحمى الصفراء الذي يصيب الإنسان والذي ينتقل عن طريق الحشرات فإن هناك كثيراً من الأمراض الفيروسية المهمة التي



الشكل (١٠ ــ ١) الوحدات الفيروسية : يظهر الى اليسار وحدات فيروسية عصوية الفيروس الدخان الذي تنتجه خلايا أوراق هذا النبات . يظهر الى اليمين وحدات فيروسية لفيروس الانفلونزا الذي يصيب الانسان ، يظهر في الاسفل وحدات فيروسية للفيروس الاديني adenovirus, الذي يصيب الانسان ويسبب له مرضا في أعلى الجهاز التنفسي أو التهابا في ملتحم العين .

تصيب النباتات وتنتقل عن طريق الحشرات.

الفيروسات البكتيرية Bacteriophages

الفيروسات البكتيرية bac teriophages هي من أكثر الفيروسات التي تعرضت للدراسة . وفي الحقيقة أن الأساسيات المتعلقة بطرق الاصابةة الفيروسية وما يتبعها من خطوات قد عرفت أول ما عرفت من خلال دراسة النظم الفيروسية- البكتيريا . وسنقدم فيما يلي نظامين هما أكثر النظم تميزاُ للفيروسات البكتيرية .

الفيروسات البكتيرية القاتلة Virulent bacteriophages

الفيروس البكتيري القاتل هو الذي يقتل كل خلية يصيبها كما يدل الاسم .

فاج T-phages المحتوي على د.ن.أ قاتل للبكتيريا التي تنتجه وهي Escherichia coli وتحصل الاصابة وتكون الوحدات الفيروسية في هذا النظام للخطوات التالية:-

١- الالتصاق Adosrption . تتلتصق الوحدة الفيروسية عن طريق ذيلها بنقطة مستقبلة receptor site على سطح خلية البكتيريا .

٢- الحقن Injection: تطلق الوحدة الفيروسية حامضها النووي د.ن.أ من خلال ذيلها ليدخل إلى سيتوبلازم الخلية العائل .

٣- التكوين Synthesis: يبدأ الحامض النووي (د.ن.أ) الفيروسي الموجو داخل الخلية بتوجيه نشاطات الخلية نحو تكوين الأجزاء التي تتكون منها الوحدات الفيروسية باعداد كثيرة موقفاً بذلك نمو الخلية العائل .

٤- التركيب Assembly: وفيه تجمع وحدات الحامض النووي الفيروسي التي تكونت حديثاً مع أغطيتها البروتينية لتكوين الوحدات الفيروسية.

٥- الانطلاق Release: تتحلل الخلية أثناء هذه الخطوة وتنطلق منها الوحدات الفيروسية الناضجة .

في بعض الفيروسات تتم هذه العملية بكامل خطواتها خلال ٣٠ دقيقة ويمكن لخلية واحدة مصابة أن تطلق ٢٠٠-٤٠٠ وحدة فيروسية ناضجة كل منها يملك القدرة على الالتصاق بخلية جديدة غير مصابة لحظة الانطلاق من الخلية المتحللة التي تكون فيها وبهذا يمكن اعادة الدورة خلال النصف ساعة لانحسار eclipse period وهي الفترة لا لا يمكن اثناءها التحري عن وجود الفيورس المصيب على سطح الخلية العائل أو في داخلها . وتطلق هذه الفترة على الوقت الذي يمر بين مرحلة انفصال الحامض النووي عن الغطاء البروتيني للوحدة الفيروسية (وهي مرحلة الحقن في فاجا T) ومرحلة نضج الوحدات الفيروسية الجديد (مرحلة التركيب).

الشكل (١٠ ــ ٢) : احدى الصور الاولى التي اخذت لفاج T4 الذي يصيب البكتيريا E. Coli اخذت بواسطة مجهر الكتروني خاص يستخدم الكترونات متناثرة ذات طاقة عالية تعمل على انتاج صورة لسطح الفيروس على درجة كبيرة من الدقة . وبوضع غلاف ذهبي على سطح الفاج (يرى على شكل كتل السطح) يمكن العمل على جعله موصلا للكهرباء ويمكن الفاج من تفريق الالكترونات الى أماكن مختلفة (الحجم الحقيقي للفاج حوالي ٢٠٠ نانومتر) .

الشكل (١٠ ـ ٣) تحلل بكتيريا E. coli بواسطة الفيروس الطافر T4

الفيروسات البكتيرية المعتدلة Temperate bacteriophages

على النقيض من البكتيريوفاجات القاتلة ، تسمح البكتيريوفاجات المعتدلة لبعض الخلايا المصابة أن تبقى حية . وتكتسب هذه الخلايا خاصتين وراثيتين نتيجة للاصابة وللبقاء حية . أما احدى هاتين الخاصتين فهي أن هذه الخلايا تكتسب مناعة ضد اية اصابة خصبة لأن وحدة فيروسية أخرى من نفس النوع . والاصابة الخصبة productive infection هي التي تؤدي إلى إنتاج وحدات فيروسية جديدة . وأما الخاصية الثانية هي انه يمكن حفز هذه الخلايا على صنع وحدات فيروسية جديدة من نوع الفيروس الذي أصابها أساساً كما سيكون واضحاً بعد قليل .

تسمى عملية الاصابة بالفاجات المعتدلة بالاندماج Iysogeny ويمثل بكتيريوفاج لمدا Jambda bacteriophage المحتوي على د.ن.أ. والذي يصيب E.coli أحد هذه الفاجات المعتدلة . وفي ظل هذا النظام تتم مراحل الاصابة كما يلي:

١- الالتصاق Adsorption كما هو الحال في الفاجات القاتلة .

٢- الحقن Injection كما هو الحال في الفاجات القاتلة .

٣- الاندماج Incorporatiop حيث تدمج الجينات المكونة للحامض النووي الفيروسي في المادة الكروموسومية بما فيها الجنيات genome للخلية العائل . ومن الظاهر أن الخلية تحتفظ بنشاطاتها المتعلقة بالتمثيل والتكاثر بشكل طبيعي . وتتم مضاعفة المادة الوراثية الفيروسية مع د.ن.أ الخلية العائل بحيث أن كلا من الخلايا الناتجة عن الانشطارات

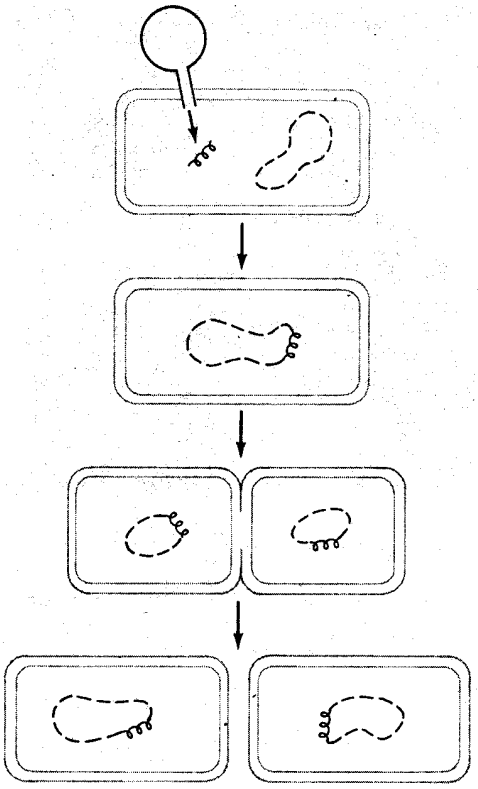
المتتالية تحتوي على الاحماض النووي لكي من البكتيريا والفيروس . ومثل مثل هذه العلاقة الثابتة مع كروموسومات البكتيريا يعرف ال د.ن.أ الفيروسي باسم الفيروس الأولي Prophage أو الفاج الأولي Provirus لكون الفيروس المصيب الخلية البكتيرية من نوع فاج . وتحت الظروف العادية ، لا تأثير للفيروس الأولي على الخلية المصابة سوى جعلها غير قادرة على استقبال أي من الفاجات التابعة لنفس النوع لأن هذه الفاجات تكون غير قادرة على الالتصاق بمثل هذه الخلايا المصابة ونتيجة لذلك تتكون عند الخلايا المصابة مناعة ضد هذه الأنواع من الفاجات بمعنى أن لديها المقاومة للاصابة الخصبة بهذه الفاجات .

مع أن هذا الارتباط البكتيريوفاج المعتدل والخلية العائل قد يستمر إلى ما شاء الله إلا أنه يمكن تغيير الخلية من الحالة الاندماجية إلى حالة التحلل الكامل . ونادراً ما يحل مثل هذا التغيير تلقائياً ، إلا أنه يمكن احداثه في بعض الأحيان إذا تم حفز الخلية عن طريق عوامل خارجية أكثرها فاعلية هو الاشعاع فوق البنفسجي .

٤- الحفز Induction في هذه الخطوة يصبح الفيروس الأولى نشطاً في توجيه التمثيل الغذائي للخلية بنفس الطريقة التي يصبح بها الفاج القاتل .

وينتج عن هذا تكوين وتكريب ثم انطلاق الوحدات الفيروسية مع ما يصحب هذا الانطلاق من تحلل للخلية العائل . والجدير بالذكر ان الوحدات الفيروسية الناتجة لا زالت من النوع المعتدل فبعضها سيؤدي إلى تحلل الاخيا التي يصيبها والبعض الآخر سيأخذ الشكل الاندماجي من الاصابة .

وقد تكون ظاهرة الاندماج في البكتيريوفاج بالظاهرة العامة الشائعة المسماة بالاصابة الكامنة للفيروس Iatent virus infection ففي مثل هذا النوع من الاصابات يصعب معرفة ما إذا كان الفيروس موجوداً ، إلا في حالة الحيوانات الفقارية التي تحتوي أجسامها على مستوى ثابت من الاجسام المضادة للفيروس فوجود هذه الأجسام المضادة بتركيز معين وثابت يشير إلى الباحث بأن هناك مؤثراً مستمر الوجود يؤدي إلى تكوين هذه الأجسام المضادة باستمرار . ولكن وكما هو الحال في الشكل الاندماجي من الاصابة الفيروسية ، عندما يتعرض الكائن المصاب لأنواع معينة من الاشعاعات أو المواد الكيميائية قد يصبح الفيروس نشطاً . ونتيجة لذلك تبدا على العائل أعراض المرض بالاضافة إلى انتاجه للفيروسات.



الشكل (١٠ ــ ٤) : الاندماج تمثـــل الخطوط المتقطعة السوداء كروموسوم البكتيريا وتمثل الحلزونات ال د. ن. أ. الفيروسي. ويري الشكل انقساما خلويا واحدا ولكن يمكن نقل ال د. ن. أ الفيروسي على مدى عددكبير من الانقسامات .

وربما يكون أحسن مثال يضرب على مثل هذا النوع من الفيروسات هو فيروس البثور الفمية herpes simplex الذي يصيب الإنسان . فعندما يصاب الإنسان بهذا الفيروس يبقى الفيروس بحالة كامنلة ولكن إذا تعرض الإنسان لحالة اجهاد فسيولوجية نتيجة لارتفاع درجة الحرارة أو التعرض الشديد لأشعة الشمس أو اقتراب موعد مقابلة أو امتحـــان مـــثلاً فـــإن الفيروس يضحى نشطاً ويبدأ بتكوين فيروسات جديدة في البثور على تظهر علـــى جوانـــب الشفتين .

الفيروسات التي تصيب الخلايا ذات النويات الحقيقة: Eucaryotic systems

أن النظام المتبع في اصابة الفيروسات للخلايا ذات الانويـــة الحقيقيـــة eucaryotic cells يشبه إلى حد كبير نظم اصابة البكتيريوفات لخلايا البكتيريا . ولكن أحد الاختلافات الأساسية بينهما هو الأماكن المتباينة داخل الخلايا ذات الانوية الحقيقية التي يمكن أن تنـــتج الفيروسات فيها كالنواة؟ السيتوبلازم أو البلاستيدات الخضراء . هذا بالاضافة إلى أنه يمكن للغشاء النووي أو الخلوي في الخلية الحيوانية (التي لا يوجد لها جدار خلوي) أن يساهم فـــي

تكوين الغلاف الخارجي للوحدة الفيروسية . وكذلك أمكن أن تدخل الوحدة الفيروسية إلى داخل الخلية عن طريق البلعمة phagocytosis كما يمكن أن تنتقل من خلية غلى أخرى مباشرة دون الحاجة إلى انطلاقها في السائل بين الخلوي . وتتم دورة الحياة الكاملة في معظم الخلايا ذات النويات الحقيقية بسرعة أبطأ منها في خلايا البكتيريا ، حيث تتطلب الدورة في الخلايا ذات النويات الحقيقية ما لا يقل عن ساعتين وفي غالب الأحيان تتطلب الدورة ١٥ ساعة أو أكثر .

النقل الجيني Transduction

أن دراسة الفيروسات من ناحية كيفية تسبيبها للأمراض ومراحلها pathogenesis فقد تكون معالجة غير كاملة للموضوع . ولربما تثبت الأيام أن الدور الرئيسي البيولوجي لبعض الفيروسات لا علاقة له بالظواهر المرضية مطلقا .

وكمثال على ما نقول نرى أن الدراسة المستفيضة لظاهرة الاندماج في النظم الفاج بكتيرية قد أظهرت أن للفيروسات أهمية خاصة بالنسبة للكائنات التي يندر فيها الجنس أو ينعدم .

والسؤال الذي يرد الآن هو : هل الخلايا ذات النويات الحقيقة قادرة على استخدام الفيروسات التي تصيبها لهذا الغرض أيضاً؟ أنه سؤال يثير الاهتمام ، ولكننا لا نجد الاجابة عنه حتى الآن .

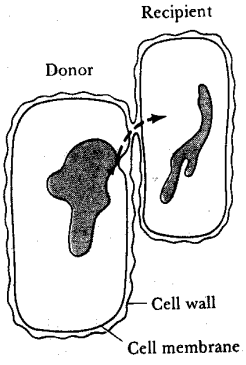
تسمى هذه الظاهرة ، ظاهرة النقل الجيني Transduction وعن طريقها يمكن نقل معلومات جينية (وراثية) فيما بين أفراد البكتيريا ا لتابعة لنفس النوع وبهذا يمكن تكوين تجمعات جديدة لصفات وراثية بمعزل عن حدوث الطفرات أو العلاقات الجنسية بين هذه الأفراد . وتنتقل مثل هذه المعلومات الوراثية عن طريق الفاجات المعتدلة . ويمكن أن يحصل النقل الجيني في احدى الطريقتين الاتتثين تبعاً لنوع الفاج الذي يقوم بعملية النقل هذه:-

١- النقل الجيني المتخصص Specific transduction

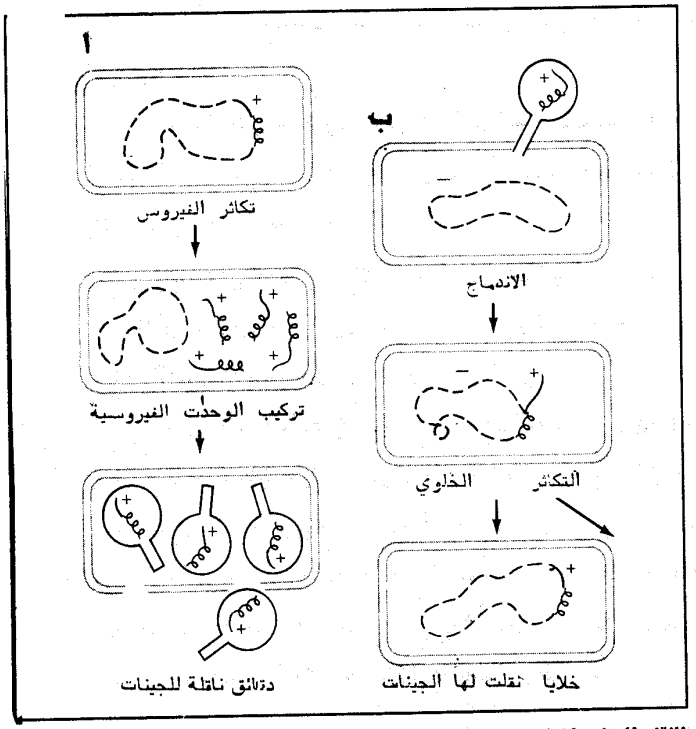
عندما يمتزج الحامض النووي الفيروسي لفاج معتدل مع المادة الجينية لخلية البكتيريا فإنه يأخذ مكاناً مكاناً مخصصاً ضمن ال د.ن.أ. للخلية ولو أن هذا الفيروس الأولى (ال

د.ن.أ. الفيروسي) قد حفز على النشاط مرة ثانية في جيل لاحق فإنه ينفصل عن كروموسوم الخلية البكتيرية وقد يحصل أحياناً أنه يأخذ معه جزءاً من مادة البكتيريا الجينية .

وعندما تتكاثر الأحماض النووية للفيروس الأولى وتتكون وحدات فيروسية جديدة فإن أجزاء البكتيريا الجينية تتكاثر معها أيضاً . وتدعى مثل هذه الوحدات الفيروسية التي تحمل مثل هذه المعلومات الاضافية بالدقائق القاتلة .



الشكل (١٠ ــ ٥) الاقتران Conjugation : وهو نظام اخر لنقل المادة الوراثية في النواة . يوضح الشكل اقتران خليتي E. coli . يتضاعف د. ن. أ. الخلية المعطية عند مكان معين على الغشاء الخلوي مبتدئا بنقطة الاصل (رأس السهم) . تنتقل نسخة واحدة من ال د.ن.أ (الخط المتقطع) الى الخلية المستقبلة .



الشكل (١٠ ــ ٦) : النقل الجيني المتخصص: تمثل الخطوط المنقطة د. ن. أ : البكتيريا الذي لا يدخل في عملية النقل الجيني . وتمثل الخطوط السوداء الجين المسؤول عن تخمر الجالاكتوز . وتشير علامة الزائد (+) الى القدرة على اتمام التخمر كما تدل اشارة السالب (ــ) على عدم القدرة على التخمر . وتمثل اللوالب د. ن. أ الفيروس الاولي لامدا . أ ــ انتاج دقائق ناقلة للجينات . ب ــ انتاج خلايا نقلت لها الجينات .

وعندما تصيب ثم تندمج الدقائق الناقلة مع خلية بكتيرية أخرى فإنها تنقل إلى نـواة الخليـة الجديدة المعلومات التي حملتها من الخلية التي اندمجت معها سابقاً . فإذا كان هناك اختلاف بين الخلية القديمة والجديدية من حيث طبيعة المعلومات المنقولة (يعنـي أنـه إذا امتلكـت الخليتات نظرين alleles مختلفين للجين المنقول) فإن الخلية الثانية قد تظهـر تغييـرا فـي طرازها الشكلي phenotype وبهذا فإن صغارها ستتميز بوجود هذا الطراز الشكلي المنقول .

٢- النقل الجيني العام Generalized transduction

عندما يترك الفاج الأولي النواة ويبدأ بالتكاثر فمن الممكن أن تتحل المادة الجينية للخلية العائل إلى أجزاء صغيرة . وعندما تبدأ الوحدات الفيروسية بالتركيب لتكون وحدات جديدة ، فقد تدخل أجزاء صغيرة من د.ن.أ. للخلية العائل في داخل الغـلاف البروتينـي للوحـدات الفيروسية ا لمتكونة . وعندما تحقن الاحماض النووية لهذه الوحدات الفيروسية فـي خليـة جديدة لم تكن مصابة فإن هذه الخلية قد تكتسب أية سمات جديدة قد تكـون هـذه الوحـدات الفيروسية قد حملتها من الخلية القديمة عن طريـق انـدماج أجـزاء ال د.ن.أ. الصـغيرة اللافيروسية في نواتها .

البدائيات Monera

لقد تعرضنا في باب آخر إلى تركيب الكائنات ذات النويات البسـيطة procaryotes عندما كنا نبحث في مجموعتين من الكائنات البسيطة إلا وهما البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة bacteria and blue-green algea أن هذا التقسيم للكائنات ذات النويات البسيطة هو تقسيم مفيد لأن الكثيرين على معرفة به حيث أن البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقـة قد اعتبرنا لعدة عقود خلت كمجوعتين منفصلتين تابعتين للملكة البدائيات Monera وقد اطلق على البكتيريا تقسيمياً اسـم Schizomycetes وأطلـق علـى الطحالـب المزرقـة اسـم Cyanophyta.

ولكن يجب مراجعة نظم التقسيم بين كل أونة وأخرى لتتسع لأية اضـافاة جديـدة أو تغييرات جوهرية . وقد ازدادات رغبة علماء الكائنات الدقيقة منذ السبعينات من هذا القرن في اعتبار الطحالب الخضراء المزرقة من ضمن البكتيريا وينبني هذا الرأي على المعلومات الجديدة المتعلقة بالتنظيم الداخلي للطحالب الخضراء المزرقة وبتركيب الجدر الخلويـة لهـا

والتي تحتوي على مادة ببتيدية مخاطية mucopeptide (وتتكون المادة الببتدية المخاطية من جزيئاتت كربوهيدراتية وأخرى بروتينية ، وتعود صلابة الجدر الخلوية لجميع أنواع البكتيريا إلى وجود طبعة تتكون أساساً من مادة مخاطية ببتيدية غير موجودة في غيرها من الكائنات الموجودة في الطبيعة) وكذلك ينبي هذا الرأي على إنتاج الطحالب الخضراء المزرقة لفيروسات تشبه فيروسات البكتيريا ولكنها تختلف عن الفيروسات التي تنتجها الخلايا ذات النويات الحقيقية eucaryotic cells.

لهذا نستنتج أن جميع الكائنات ذات النويات البسيطة تتكون من مجموعة قديمة متنوعة ومرتبطة عرقياً . ومع أن وضع مثل هذه الكائنات في مجموعة واحدة يزيد من تنوع البكتيريا إلا أنه يسهل علينا تعريف هذه المجموعة بحيث يصبح تعريف البكتيريا بأنها جميع الكائنات ذات الانوية البسيطة بما فيهاما كان يدعى بالطحالب الخضراء المزرقة .

كائنات البكتيريا Bacterial organisms

نظراً لبساطة التنظيم الداخلي النسبية للبكتيريا فإنها غير قادرة على القيام ببعض النشاطات التي تقوم بها الخلايا ذات النويات الحقيقية . ولعل أهم هذه النشاطات المتعلقة بسرعة التطور لها علاقة بالتنظيم النووي ، فالبكتيريا لا تقوم ولا تستطيع أن تقوم بالاتحاد الجنسي للنويات بكاملها . ونتيجة لذلك فجميع البكتيريا هي احادية الكروموسومات haploid (الجدير بالذكر ان حالة وجود مجموعتين من الكروموسومات Diploidy) هي ظاهرة مخبرية وهي دائماً جزئية ولا تضم في أي حال من الأحوال جميع التركيب الجيني Genome . وحيث ان البكتيريا لم تستفد من مثل هذه الظاهرة والتسارع التطوري الذي ينتج عن التزاوج الجنسي الحقيقي فقد بقيت على ما هي عليه ، أي كائنات بدائية بسيطة .

ومن ناحية أخرى هناك فوائد جمة لهذا التنظيم البسيط للبكتيريا كما هو واضح من خلال التنوع الفسيولوجي الذي لا مثيل له . ونتيجة لذلك فإن البكتيريا قادرة على المعيشة في بيئات مختلفة فمعظم الخلايا البكتيرية لا تزيد في حجومها عن حجم الميتوكوندريا Mitochondria ويجعل هذا نسبة سطوح البكتيريا إلى حجومها عالية على الدرجة التي تكون فيها معظم موادها على اتصال مباشرة مع البيئة الخارجية الأمر الذي يجعل انتقال المواد من وإلى البيئة الخارجية سهلاً عن طريق الانتشار البسيط Simple Diffusion وهذا

يجعل سرعة انتقال المواد بين السيتوبلازم والخارج أسرع بكثير مما هي عليه في الخلايا الكبيرة .

ويظهر أمتياز البكتيريا على غيرها عندما يتنافس مزيج من الكائنات الدقيقة على مصدر غذائي واحد مذاب في الوسط الذي تعيش به هذه الكائنات عندها نجد أن سرعة التمثيل الغذائي للبكتيريا هي أكبر بكثير من سرعة التمثيل الغذائي في الخلايا الكبيرة ذات الأنوية الحقيقية . ونتيجة لذلك تستطيع الخلايا البكتيرية استعمال المواد الغذائية الموجودة في الوسط الذي تعيش فيه بسرعة أكثر مما تستطيع استعماله الخلايا الكبيرة ا لتي لها نفس الوزن . وتزداد القوة التنافسية للبكتيريا بازدياد أعدادها فحتى لو افترضنا أن حجم الخلية البكتيرية يزداد بنفس النسبة التي يزداد بها حجم خلية كبيرة منافسة . فإن حجم الخلية البكتيرية الصغيرة سيتاضعف قبل الخلية الكبيرة ثم يتبع ذلك بانقسام الخلية البكتيرية وهكذا تنتشر الخلايا الناتجة في الوسط . ولهذا فإنه قبل ان تتم الخلية الكبيرة انقسامها الأول تكون محاطة بعدد من الخلايا البكتيرية الجديدة التي ستنافسها على الغذاء وقد تمنتعها من الوصول إلى الغذاء أيضاً .

أن هذه المميزات تساعدنا على تفسير السبب الذي جعل البكتيريا على بساطة تنظيمها النسبي قادرة على البقاء وتحمل جميع العقبات على مرتت عليها منذ بدا وجود المواد العضوية على سطح الأرض . وحتى عندما ظهرت الكائنات الأكثر تعقيداً من البكتيريا وكونت أنواع جديدة من المركبات العضوية فإنها كانت تقوم بذلك بوجود البكتيريا . ولهذا فإنه ليس من الغريب أن نرى أنه لا يوجد أية مادة عضوية طبيعية معروفة إلا وهناك بعض البكتيريا القادرة على تمثيلها أو استعمالها لأغراض التمثيل الغذائي .

والبكتيريا تكون مثالياً وحيدة الخلية وعصوية الشكل (فكلمة bacter تعني عصا) . ولكن بعض انواع البكتيريا لها حواف دقيقة (مغزلية الشكل fusi form) وبعضها كروية الشكل cocci أو منحنية أو ملتوية . ويطلق على الخلية التي لها انحناء واحد بأنها خلية ضمية vibrio وأما إذا كان للخلية أكثر من انحناء فإنها تكون حلزونية spirillum.

وهناك بعض أنواع البكتيريا التي تلتصق خلاياها معاً بعد الانشطار منتجة بذلك مجموعة من الخلايا مرتبة حسب مستويات التسلسل الانقسام لها . فمثلاً إذا كانت جميع

مستويات الانقسام متوازية تنتج مجموعة من الخلايا بشكل السلسلة . ولا تكون مثـل هـذه المجاميع كائنات عديدة الخلايا لأنه لا يوجد أيـة اختلافـات وظيفية لأي من هذه الخلايا ولا

الشكل (١٠ ــ ٧) : الشكل العلوي ــ عصيات بكتيريا *Bacillus macroides*
الشكل الاوسط ــ خلايا بكتيريـــا *Desulfovibrio*
تعرف هذه الخلايا الشبه حلزونية باشكالها الضمية او باسم بكتيريا الضمة . الشكل السفلي ــ خلايـــا *Arthrospira*

حسب أعمارها ولا حسب مكانها في المجموعة .

إلا أن هناك بعض الكائنات البكتيرية عديدة الخلايا فعلاً ولو أن كـلا منها يتكون في

الشكل (١٠ ــ ٧) : الشكل العلوي ــ عصيات بكتيريا *Bacillus macroides*
الشكل الاوسط ــ خلايا بكتيريا *Desulfovibrio*
تعرف هذه الخلايا الشبه حلزونية باشكالها
الضمية او باسم بكتيريا الضمة . الشكل السفلي ــ خلايا *Arthrospira*

من نوع واحد من الخلايا البكتيرية فقط – بمعنى أنها كائنات عديدة الخلايا غير متميزة . وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من الأشكال عديدة الخلايا:النوع الشعري trichomes وتكونه بكتيريا يطلق عليها أحياناً بكتيريا خيطية filamentous ويتكون هذا النوع من سلاسل من خلايا بكتيرية . والنوع الثاني هو النوع الميسيلي أو الغصيني mycelia وهو يتكون من أنابيب متفرعة طويلة تدعى هيفات (hyphae) وقد يفصل الخلايا عن بعضها جدر داخلية أو قواطع (septa) أو قد تكون هذه القواطع معدومة . أما النوع الثالث فهو ما يسمى بالمستعمرات المتبرعمة budding colonies وهي خلايا متصلة معاً مكونة شبكة من الخيوط السيتوبلازمية الرفيعة التي تنمو من الخلايا نفسها .

تنوع البكتيريا Bacterial diversity

تشبه كثير من البكتيريا الحيوانات والفطريات والبروتوزا (الأوليات) في أنها كائنات هوائية كيميائية عضوية التغذية chemoheterotrophic بمعنى أنها قادرة على الحصول على الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية التي تقوم بها عن طريق حرق المركبات العضوية

بواسطة التنفس . وأن مصادر الكربون (اللازم للنمو) والطاقة اللازمة للبكتيريا هي من نفس نوع المركبات الت تستعملها الحيوانات والبروتوزوا بالإضافة إلى مركبات أخرى لا تستطيع الحيوانات والبروتوزا تمثيلها لكونها أكثر تعقيداً وتخصصاً من البكتيريا . وتتضمن مثل هذه المركبات الإضافية الغازات الهيدروكربوينة والمركبات العضوية المعدنية والسليلوز والاجار والبكتين وامواد خشبية والمطاط والجلود وكذلك الشعر والقرون والأظافر (يتكون الشعر والقرون والأضافر من نوع واحد من أنواع البروتينات).

وهناك أيضاً أنواع كثيرة من البكتيريا عضوية التغذية تختلف عن الحيوانات وعن كثير من البروتوزوا والفطريات في كونها لا تحتاج إلى الأكسجين الهوائي لحرق المركبات العضوية وإنما تستطيع استعمال النيترات والكبريتات أو المركبات العضوية كمواد غذائية . وتشمل هذه الكائنات اللاهوائية البكتيريا المستخلصة للازوت denitifiers وهي تمثل المصدر الطبيعي الوحيد للنيتروجين الجوي وتمثل نشاطاتها على مر الملايين من السنين الطريقة التي تكون فيها غاز النيتروجين وهو المركب الرئيسي لجو الأرض الحديث . كما تشمل البكتيريا اللاهوائية البكتيريا المختزلة للكبريتات الموجودة في الطين والمواد المتعفنة والتي يمكن التحري عنها عن طريق رائحة البيض الفاسد التي تعود لمادة التي تعود لمادة كبريتيد الهيدروجين وتمثل بكتيريا التخمر نوعاً آخر من البكتيريا اللاهوائية .

يوجد في الطبيعة أنواع أخرى من البكتيريا هي البكتيريا الكيمائية – ذاتية التغذية (كيموذاتية التغذية) chemo heterotrophic ومع هذه الأنواع منتشرة بكثرة في الطبيعة إلا أن توزيعها أو تنوعها لا يصل إلى الدرجة التي عليها البكتيريا عضوية التغذية وتختلف البكتيريا الكيموذاتية التغذية عن أي نوع من النباتات أو الحيوانات أو الكائنات الدقيقة ذات النويات الحقيقية في قدرتها على النمو في الظلام في بيئة غير عضوية كلياً . وتعيش هذه البكتيريا مثالياً معيشة هوائية حيث تتنفس الهيدروجين H_2 أو المركبات غير العضوية المختزلة كالامونيا NH_3 والكبريتيد للحصول على الطاقة اللازمة للتمثيل الغذائي . أما مصدرها الكربونية اللازم فهو ثاني أكسيد الكربون .

وهناك مجموعة ثالثة ممن البكتيريا إلا وهي البكتيريا الضوئية عضوية التغذية photoautotrophic ويمثل هذه المجموعة عدد من الأنواع مختلفة في أشكالها الظاهرية

الشكل (١٠ ـ ٩) : أشكال بكتيرية عديدة الخلايا . الشكل الاعلى : بكتيريا *Sphaerotilus natans* وتتميز بها الشعيرات ذوات الاغماد كما أن هناك أغمادا فارغة . الشكل الاوسط : *Streptomyces fradiae* ويظهر في هذا النوع ميسيليوم خضري وأفرع حاملة للابواغ . الشكل السفلي : يظهر هذا الشكل مستعمرة دقيقة لبكتيريا *Rhodomicrobium*

وتستعمل المركبات العضوية كمصدر للاكترونات اللازمة لإتمام عملية التمثيل الضـــوئي . ونتيجة لذلك فإن هذه المجموعة من البكتيريا لا تنتج الأكسجين كأحد نواتج عمليـــة التمثيـــل الضوئي وإنما على العكس من ذلك نستطيع أن نعيش معيشة لا هوائية معتمدة فقـــط علـــى عملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها بمعزل عن الأكسجين . و مع أن بعض الطحالب ذات النويات الحقيقية قادرة على امتصاص المواد الغذائية العضوية عند نموها في الضوء إلا أنها تستطيع استعمال هذه المركبات في عملية التمثيل الضوئي .

كما أن هناك مجموعة رابعة من البكتيريا إلا وهي البكتيريا الضوئية ذاتيـــة التغذيـــة photoautotrophic أن بعض هذه البكتيريا الضوئية ذاتية التغذية له علاقة كيمو حيويـــة وطيدة مع بعض أنواع البكتيريا الضوء- عضوية التغذية ، وبعضها له علاقة مع الطحالب ذات النويات الحقيقية كما أن بعضها يبدو بعيداً عن أي من الكائنات التي تعتمد على عمليـــة التمثيل الضوئي . وتستعمل المجموعتان الأولى والثالثة من البكتيريا الضوء – ذاتية التغذية مركبات الكبريت غير العضوية أو الهيدروجين H_2 كمصدر للالكترونات اللازمـــة لعمليـــة التمثيل الضوئي . وهذه القدرة على أكسدة مثل هذه المركبات موجودة أيضاً في البكتيريـــا الكيميائية ذاتية التغذية وبعض البكتيريا كبيرة الحجم التي لا تظهر بأنها ذاتية التغذية بوضوح وتعتبر هذه البكتيريا الكبيرة بانها نظائر غير ملونة للكائنات الضوئية ذاتية التغذية التي لهـــا صلة بالطحالب ذات الانوية الحقيقية أي البكتيريا الخضراء المرزقة .

أن الاختلاف الرئيسي بن البكتيريا الخضراء المزرقة وغيرها من بكتيريـــا التمثيـــل الضوئي photo heterotrophic ذات النويات البسيطة يكمن في ان التمثيل الضوئي وبهذا ينطلق الاكسجين كأحد ا لنواتج من هذه العملية . ومن بين الأصباغ المستعملة في عمليـــة التمثيل الضوئي فيها ، كلوروفيل أ Chlorophyll كما هو الحال في جميع الكائنات التـــي تطلق الأكسجين نتيجة لقيامها بعملية التمثيل الضوئي .

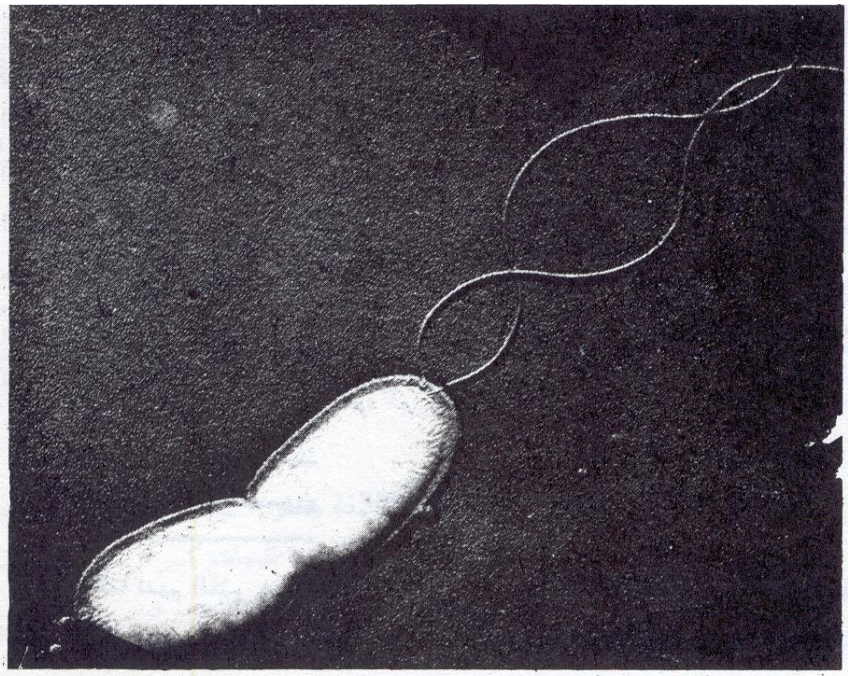
لقد كانت هذه الصبغة وهذا النوع من عملية التمثيل الضوئي هو الذي ورثته الطحالب ذات النويات الحقيقية من أسلافها ذات النويات البسيطة ومن المحتمل أن يكون ذلـــك عـــن طريق التكافل Symbiosis ومن ثم نقلت هذه الطحالب الصبغة وخاصة التمثيل الضـــوئي إلى النباتات الخضراء .

ليس التنوع هو الشيء الوحيد الذي جعل البكتيريا قادرة على الانتشار في أماكن كثيرة من هذا الكون وإنما علينا أن نأخذ بعين الاعتبار المرونة المدهشة التي تتميز بها هذه الكائنات ، فكثير من الأنواع هي اختيارية في معيشتها أي أنها قادرة على المعيشة تحت أكثر من مجموعة واحدة من الظروف البيئية واليك أمثلة على ذلك :

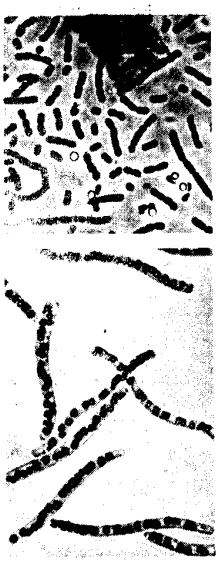
١- من بين البكتيريا الكيميائية العضوية التغذية هناك أنواع لا هوائية اختيارية . مثل هذه البكتيريا تستطيع أن تقوم بعملية التنفس الخلوي إذا وجد الأكسجين في البيئة . أما إذا انعدم الاكسجين فإنها تستخدم النيترات أو الكبريتات كمواد مختزلة أو قد تقوم بتخمير المركبات العضوية .

٢- من بين البكتيريا الكيميائية ذاتية التغذية هناك بعض الأنواع القادرة على النمو بطريقة التغذية الكيميائية العضوية إذا وجدت المواد الغذائية العضوية في الأوساط التي تعيش فيها .

٣- قلنا أنه يمكن منع معظم البكتيريا الضوئية العضوية التغذية من القيام بعملية التمثيل الضوئي بوجود الأكسجين ولكن هناك بعض الأنواع من هذه البكتيريا تستطيع



الشكل (١٠ ـ ١٠) خلية البسودوموناس *Pseudomonas fluorescens,* أثناء انقسامها . وتنتج هذه الخلية اصباغا فلورسنتية مميزة . جميع بكتيريا البسودوموناس قادرة على النمو بمعيشتها الهوائية الكيموعضوية التغذية الا ان كثيرا منها لها القدرة على المعيشة بطرق فسيولجية مغايرة .



الشكل (١٠ ــ ١١) : بكتيريا ضوء ذاتية التغذية . الشكل العلوي : خلايا الكلوروبيوم *Chlorobium thio sulfatophilum* **الخضراء وتظهر حبيبات الكبريت خارج الخلايا على شكل دوائر بيضاء. الشكل السفلي : خلايا الثيوسبيلوم** *Thiospirillum jenense* **الينفسجية وتظهر حبيبات كبريت داخل الخلايا . تنتج هذه الحبيبات من اكسدة مركبات الكبريت ثم تزول هذه الحبيبات نفسها من جراء عملية الاكسدة .**

الاستمرار في القيام بالعمليات الحيوية بوجود الاكسجين أي تصبح من نوع البكتيريا الكيميائية عضوية التغذية التي تعيش معيشة هوائية .

٤- وحتى في البكتيريا الضوئية ذاتية التغذية والتي تتميز بطريقة محدودة في التغذية والتمثيل الغذائي نجد أنها تظهر مرونة قوية في خاصية التمثيل الضوئي أكثر من الطحالب أو النباتات . فمن الملاحظ أن البكتيريا الخضراء المزرقة قادرة على تغيير نسب صبغاتها بحيث تتناسب مع طول موجة الضوء الموجودة فتمتصها وتستفيد منها في القيام بعملية التمثيل الضوئي . وينتج عن هذه الظاهرة المعروفة باسم التكيف اللوني chromatic adaptation مجموعة من الألوان لكل نوع حسب طول موجة ا لضوء التي استخدمتها كأحدث مصدر للطاقة اللازمة للقيام بعملية التمثيل الضوئي .

التكاثر والسكون Reproduction and dormancy

مع أننا نفهم الكثير عن عملية الانقسام المعقدة الخاصة بالخلايا ذات النويات الحقيقية إلا ان معلوماتنا عن الطريقة الرئيسية في تكاثر البكتيريا وهي الانشطار الثنائي binary fission محدودة وقليلة . فنحن لا نعرف أكثر من الانشطار الثنائي يحصل بانتظام وأنه يتضمن الترتيبات اللازمة لتراكيب سطح الخلية مثل جدار الخلية والغشاء الخلوي . ولعل السبب الجوهري في عدم وجود وصف دقيق لمراحل انشطار البكتيريا هو عدم وجود الكثير

من هذه المراحل أو لكونها مراحل دقيقة جداً من ناحية بيوكيميائية أو لهذين السببين معـــاً . وترى الدراسات العديدة التي استخدم فيها المجهر الالكتروني أنه لا يوجد هناك أية تغييرات محلوظة تتعلق بشكل وتوزيع المادة النووية أثناء دورة الخلية الخضرية . وبالمثل فقد دلت الدراسات البيوكيميائية والفسيولوجية أن المادة النووية تستمر في أداء وظيفتها فـــي توجيـــه نشاطات الخلية التمثيلية أثناء دورة الخلية بأكملها .

وهناك أنواع البكتيريا متميزة في أشكالها الخارجية تتكاثر بطرق مختلفة عن الانشطار الثنائي . فالتبرعم budding مثلاً هو أحد هذه الطرق الذي تتميز به مجموعات متناثرة من البكتيريا ، يختلف عن طريقة الانشاطر الثنائي في ان البرعم المتكون يكون عادة أصغرها من الخلية التي تكونه بعكس نواتج الانشطار التي تكون حجومها متساوية .

والتبـــوغ Sporulation أو التكـــاثر عـــن طريـــق الأبـــواغ يحـــدث فـــي أنـــواع ACTINOMYCETES وفي مجموعة واحدة من البكتيريا الخضـــراء المزرقـــة فقـــط . وتستطيع أبواغ الاكتينومايسيتس أن تنمو على فرد ميسيلي جديد كامل وأن تنتقل إلى مسافات بعيدة عن طريق التيارات الهوائية .

وهناك أنواع قليلة من البكتيريا القادرة على إنتاج خلايـــا متخصصـــة فـــي الســـكون dormancy في مثل هذه الحالاتت تتحول الخلية الخضرية إلى خلية ساكنة وما دامت هـــذه الخلايا الساكنة لا تنمو ولا تتكاثر لهذا فهي لا تعتبر وحدات تكـــاثيرة . وتكـــون الخلايـــا البكتيرية أما متحوصلة أو بشكل أبواغ داخلية endospores.

أما الحوصلة cyst فهي خلية كاملة متحولة متميزة بجداريها لاســـميك الـــذي يمنـــع الجفاف وبتكيف سيتوبلازمها ، وبوجد كميات كبيرة مـــن الغـــذاء المخـــزون . وتتكـــون الحوصلات في حالة البكتيريا المثبتة للنيتروجين مثل أوباكتر Azotobacter وفي البكتيريا الخضراء المزرقة حيث تعرف عندها باسم لاكتينات akinetes.

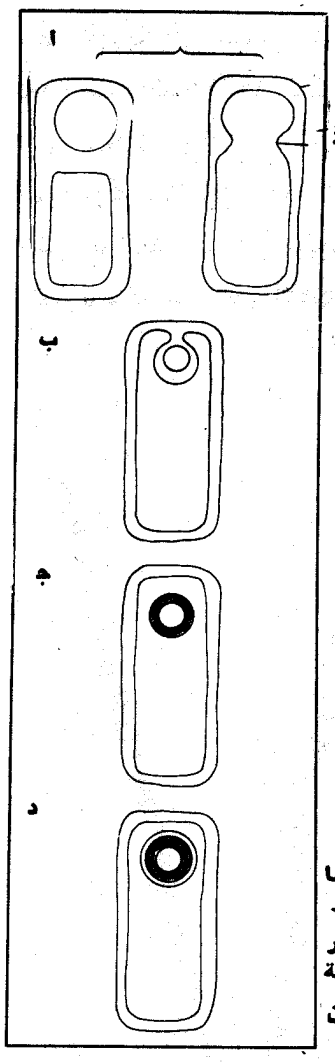
وأما البكتيريا المكونة للأبواغ الداخلية ، فبعضها هوائية والأخرى لا هوائيـــة وهـــي توجد في جميع أنواع الأتربة والمواد العضوية المتعفنة ، كما توجد أبواغها في أي مكان . ويتكون البوغ الداخلي في جزء من سيتوبلازم الخلية الخضريةة . ولكن جدار هـــذا البـــوغ

ليس جزءاً من جدار الخلية الخضرية ولكنه يتكون كتركيب خاص . وعند البلـــوغ يكـــون البوغ الداخلي هو الجزء الوحيد الذي يبقى وأما باقي الخلية يكسبه مقاومة شـــديدة للجفـــاف وضد أي مواد كيميائية فتمنعها من التسرب للداخل ، كما تعله أكثر مقاومة لتأثير الحـــرارة من أي نوعو آخر من الخلايا . فللبوغ الداخلي الجاف للكبتيريا القدرة على البقاء حياً لمـــدة ساعة أو أكثر تحت ١٨٠م . وأن هذه القدرة للأبواغ الداخلية على تحمل درجات الحـــرارة العالية هي الأساس الذي تبنى عليه معايير التعقيم والتطهيـــر الحـــرارة فـــي المستشـــفيات والمختبرات والسفن الفضائية والمعلبات .

الشكل (١٠ ــ ١٢) التبوغ في الاكتينوميسيتس : يري الشكل بكتيريا الستربتومايسس *Streptomyces roseochro mogenes* مكونة ابواغ على افرع هيفية مستقيمة . تنتج الابواغ من انقسامات عديدة لكل فرع هيفي حيث تتكون قواطع عمودية على المحور الطولي للهيفا .

ومع أن معظم البكتيريا لا تكون الحوصلات أو الأبواغ إلا أن لها القدرة على البقاء ساكنة لمدد طويلة . ولقد لقيت هذه الظاهرة اهتماماً قليلاً من الفسيولوجيين المتخصصين في البكتيريا لأن البكتيريا الساكنة لا تؤثر كثيراً في البيئة التي تعيش فيها . إلا أنه لا بد وأن حالة سكون البكتيريا هذه هي حالة شائعة عند البكتريا التي تعيش خارج أجسام الكائنات الحية ، لأن تلك البيئات تتميز بعدم ثبات كمية المواد الغذائية والحرارة والضوء والرطوبة ودرجة تركيز الهيدروجين . ولما كانت البكتيريا بحاجة إلى ظروف كيميائية وطبيعية معينة لتقوم بوظائفها على الوجه الأكمل فإنه من المعقول أن نفترض أن التقلبات في الظروف البيئية ستكون نتيجتها تبادل فترات من النمو والتكاثر مع فترات أخرى تكون فيها البكتيريا غير نشطة نسبياً .

الشكل (١٠ ــ ١٢) : التحوصل هو عملية معقدة في الثمار الميكسوباكتيريا . ويسبق هذه عملية تجمع الخلايا الخضرية في كتلة على شكل عفن . وقد تتحول كل خلية بعد ذلك الى حوصلة عند تصلب الكتلة العفنية حول الخلايا المتجمعة فتحفظ هذه الخلايا الساكنة . تسمى كتلة العفن المحتوية على خلايا الميكسوبكتيريا الساكنة جسماً مثمراً fruiting body **وتمثلها هنا بكتيريا** *Chondromyces apiculatus* **كما في الشكل . وتوجد الخلايا الساكنة داخل الاجسام الموجودة في اعلى الكتلة .**



الشكل (١٠ ــ ١٤) : تكوين بوغ داخلي وهو مميز للبكتيريا الكيموعضوية التغذية الهوائية المعروفة بالبكتيريا العضوية . يظهر في الشكل أ . انفصال البوغ عن السيتوبلازم الخضري داخل الجدار الخلوي عن طريق تخصر الغشاء الخلوي وفي ب تظهر بلعة السيتوبلازم الخضري للبوغ . وفي جـ تتكون قشرة البوغ وفي د يتكون جدار البوغ .

الطلائعيات Protista

تتكون مملكة الطلائعيات (الاسم العلمي مشتق من الكلمة اللاتينية protistos التي تعني قبل الجميع – ومن الواضح أن هذه التسمية قد كانت سابقة لما نعرفه الآن من كون هذه المملكة قد تطورت من مملكة البدائيات – Monera الأبسط منها) من كائنات ذات نويات حقيقية ومعظمها يعيش بشكل فردي كل خلية على حدة . وبعض هذه الكائنات شبيه بالنباتات

(الأوليات أو البروتوزوا) ولكن التمييز بينهما يبقى نقطة جدلية بين علماء النبات وعلماء الحيوان . وقد تطورت من الطلائعيات الممالك الثلاث الأعلى منها وتتميز كل منها بطريقة التغذية الأكثر شيوعاً بين أفرادها : فالنباتات تتميز بعملية التمثيل الضوئي وتتميز المملكة الحيوانية بالتهام غذائها كما تتميز مملكة الفطريات بامتصاص غذائها .

الطحالب: The algae

يمكن تقسيم المجموعة الشبيهة بالنباتات التابعة لمملكة الطلائعيات إلى (٥) أقسام أو قبائل رئيسية تختلف كل قبيلة عن الأخرى في التركيب العام ولكن جميعها تشترك في خواص معينة على المستوى الخلوي الأمر الذي يشير على أن جميعها قد اتخذ نفس الخط التطوري العام .

ومن الصعب وضع تقسيم محدد للطحالب اليوجلينية (Phylum Eugleno phyta) ويمكن القول أن لجميع هذه الطحالب تقريباً اسواط . ولا يوجد في بعضها أي صبغة للقيام بعملية التمثيل الضوئي لذا فهي عضوية التغذية الأمر الذي يشير إلى إمكانية اشتراك هذه المجموعة والسوطيات الحيوانية (Zooflagellates) بسلف واحد . ولبعض أفراد قبيلة الطحالب اليوجلينية بلاستيدات خضراء وبهذا فهي كالنباتات لها القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي لإنتاج المركبات العضوية والطاقة .

ولطحالب اليوجلينية تفتقد ا لجدار الخلوي بتركيبه الكامل وهي كائنات وحيدة الخلية تتكاثر بطريقة لا جنسية حيث تنقسم الخلية طولياً . ويقوم سوط يبرز من تجويف يقع في الطرف الأمامي للخلية بجر الكائن للحركة في بيئته المائية العذبة . وتشبه حركة الكائن تلك الحركة الناتجة عن حركة برغي يدور باستمرار (حركة لولبية).

ولليوجلينا Euglena وهو أحد الطحالب المتحركة تركيب منتخصص قريب من التجويف الأمامي يسمى البقعة العينية " stigma of "eyespotوتحتوي هذه البقعة على أصباغ كاروتينية carotenoid pigments ومن المحتمل أنها تؤثر على حركة اليوجلينا عند استجابته لأية اختلافات طارئة في اتجاه وشدة الضوء المعرض له .

تضم قبيلة الطحالب الذهبية المصغرة phylum Chrysophyta كلا من الطحالب الخضراء المصفرة والذهبية البنية والدياتومات diatoms وجميعها تحتوي على كميات كبيرة من الصبغة الصفراء المسماة زانثوفيل xanthophyll بالإضافة لاصباغ الكاروتينويد carotenoid وهي مادة عديدة التسكر في البلاستيدات عديمة اللون leucoplasts.

والطحالب الخضراء المصفرة xanthophytes هي في أغلبيتها كائنات مائية ولكن هناك بعض أنواعها الموجودة في التربة وبغالبا ما تحتوي أشكالها وحيدة الخلية على أسواط وهي عادة تتخذ الشلك الكروي (coccoid) أما الأشكال عديدة الخلية فغالباً ما تحتوي على خيوط نووية coencytic filaments وهي مجموعات عديدة النويات تنتج من انقسامات نووية مستمرة غير مصحوبة بانشطار في الخلية . وتتكون الجدر الخلوية للطحالب الخضراء المصفرة من البكتين والسيليكا (حبيبات الرمل) وتترتب هاتان المادتان في بعض الأنواع بحيث يظهر الكائن على شكل نصفين متدخلين . وتتكاثر هذه الطحالب عادة بطريقة لا جنسية وغالباً ما يتم ذلك بتكوين ابواغ سابحة Zoospores تتميز بأن لها أسواطاً وبأنها قادرة على الحركة .

وغالباً ما توجد الطحالب البنية المذهبة golden brown algea في البحيرات والجداول وهي وحيدة الخلية أساساً إلا أن بعض أنواعها يكون مستعمرات صغيرة . وهي تشبه ا لطحالب الخضراء المصفرة في أن جدر خلاياها تتكون من مواد عضوية وسيليكا . وقد يوجد للفراد المتحركة من هذه القبيلة سوط أو سوطان غلا أن وجود مرحلة أمبيبة أثناء دورة حياة كثير من أجناس هذه الطحالب أمر شائع . وتتكاثر هذه الطحالب بطريقة لا جنسية عن طريق الانقسام الخلوي البسيط وتكوين الأبواغ السابحة .

كما يمكن أن يتم التكاثر في مستعمرات الطحالب البنية المذهبة التي لها أسواط عن طريق التفتيت fragmentation بمعنى أن جزءاً من مستعمرة قديمة ينفصل ثم يكون مستعمرة كاملة جديدة .

وللدياتومات أهمية خاصة لأنها تكون جزءاً رئيسياً من البلانكتون النباتي (العوالق النباتية) phytoplankton (وهو جزء من البلانكتون قادر على القيام بعملية التمثيل الضوئي) الذي يكون طائشاً كحساء خفيف في الطبقات السطحية لمياه البحار والمحيطات . فالدياتومات وأنواع تابعة لقبيلة طحالب البيروفيتا phylum Pyrrophyta وخصوصاً

السوطيات الدوارة dinoflagellates التي سنعالج موضوعها فيما بعد تقوم بتكوين معظم الطعم الذي تحتاجه الحيوانات البحرية . وهي تساهم في نفس الوقت الذي تثبت فيه الكربون في إنتاج كميات من الأكسجين وأطلاقها للجو .

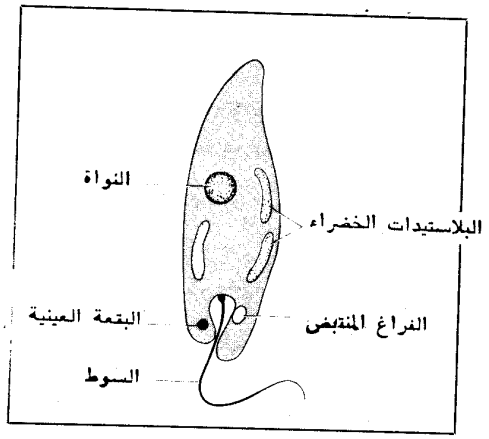
وتقوم الدياتومات باستخلاص حبيبات الرمل (السيليكا) من مياه البحر حيث تكون موجودة بتركيزات قليلة جداً وتقوم بترسيبها في جدرها الخلوية . ومن المعروف أن السليكا لا تتحلل ولهذا فعندما يموت الدياتوم فإن هيكله السيليكي يبقى على هيئته ثم ينزل إلى قاع البحر . ونتيجة لذلك فمن المحتمل أنه بمرور الاف السنين وبحدوث تغييرات في قشرة الأرض قد تجمعت رواسب سيليكية كثيرة ذات أصل دياتومي وصل سمكنها أحياناً إلى ما يزيد على ١٠٠٠ قدم ويحصل على مثل هذه الترسيبات للاستعمالاتت الصناعية خصوصاً لاستخدامها في العزل الحراري والترشيح وكمواد حاكة لتهذيب السطوح . والجدير بالذكر أنه يمكن مشاهدة آثار سطوح الدياتوم في كل هيكل دياتومي موجود في ترسبات الأرض الدياتومية .

وتوجد الدياتومات عادة بشكل منفرد . غلا أنه في بعض الأحيان تلتصق الخلايا الجديدة الناتجة بعد الانقسام معاً مكونة مستعمرة . ويتكون الدياتوم من جدار خلوي مكون من نصفين متداخلين من السيليكا يحيطان بالسيتوبلازم الذي يحتوي على بلاستيده خضراء أو أكثر بالاضافة إلى نواة واحدة . وتحتوي الخلايا كذلك على بعض الزيوت التي تساعد على جعل الدياتوم طافياً على سطح البحر للحصول على الضوء اللازم لعملية التمثيل الضوئي . ويتخلل الجدر الخلوية السيليكية عدة فتحات تسهل الاتصال مع البيئة .

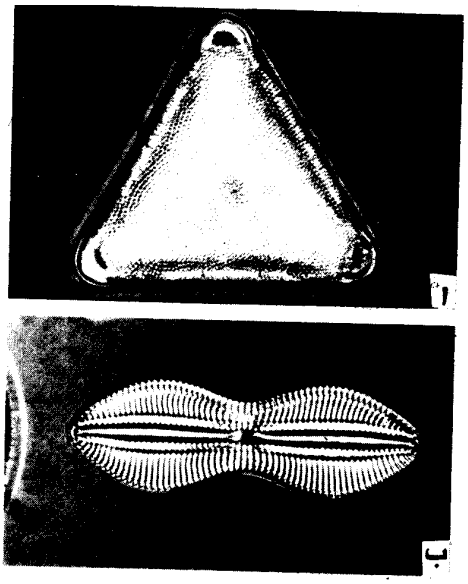
وتوجد الدياتومات في أشكال هندسية مثل الشكل المغزلي والشكل القرصي . ويتداخل النصفان المكونان للجدار السيليكي في الدياتومات القرصية auxospore بالشكل الذي يتداخل فيه النصفان المكونان لطبق بتري وأثناء عملية التكاثر اللاجنسي التي تحصل عادة بواسطة الانقسام الخلوي تأخذ كل خلية جديدة نصف جدار الخلية القديم ثم تكون نصفاً جديداً يتداخل داخل النصف الأول . ونتيجة لذلك تنتج الأجيال الجديدة أصغر وأصغر في الحجم وبهذا يمكن ملاحظة أن النوع الواحد من الدياتومات يظهر على أشكال متفاوتة في الحجم . ولتلافي خطر الانقراض نتيجة لهذا النقصان المستمر في الحجم فلبعض الدياتومات القدرة

على زيادة الحجم حيث يسلخ الدياتوم بجداره السيليكي القديم على فترات منتظمة مكوناً ما يسمى بالأبواغ النامية الحجم . ولتلافي خطر الانقراض نتيجة لهذا النقصان المستمر في الحجم فلبعض الدياتومات القدرة على زيادة الحجم حيث يسلخ الدياتوم بجداره السيليكي القديم على فترات منتظمة مكوناً ما يسمى بالابواغ النامية Auxospores التي يزداد فيها حجم السيتوبلازم ثم تتكون الانصاف المكونة لجدار الخلية الجديد بحيث تتناسب مع الحجم الجديد للدياتوم . ثم يعود الدياتوم للقيام بعملية الانقسام اللاجنسي.

وهناك بعض الأنواع التابعة طحالب البيروفيتا Pyrrophyta التي لها القدرة على التكاثر الجنسي عن طريق اندماج جاميتات أحادية الكروموسومات ولكن معظم الأنواع تتكاثر بواسطة الانقسام الخلوي البسيط أو عن طريق تكوين أبواغ سابحة . وأما أنواع قسم السوطيات الدوارة dinoflagellates التابع لهذه القبيلة فلها سوطان وتجويف مميز يمز من خلال طول الجدار الخلوي للخلية الذي يتكون غالباً من مادة السيليولوز . ويقع أحد السوطين في هذا التجويف ويمتد السوط الآخر إلى الخارج من احدى نهايتي التجويف . وتعطي البلاستيدات المحتوية على صبغة كاروتينية بنية اللون المميز لمعظم أنواع هذه



الشكل (١٠ ــ ١٥) : اليوجلينا

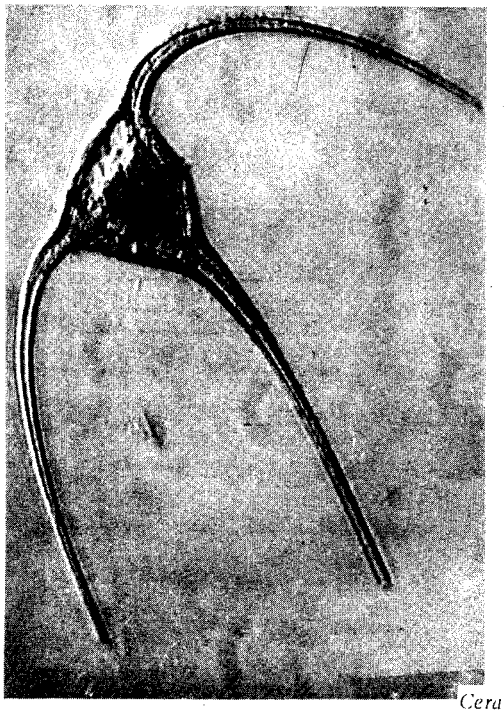


الشكل (١٠ ــ ١٦) الدياتومات
(أ) *Triceratium formosum* (ب) *ploneis crabo*

القبيلة . ويمثل النشا المصدر الغذائي المخزن في هذه الأنواع . وتتغذى السوطيات عديمة اللون (لعدم احتوائها على أي صبغة) على دقائق مكونة من مواد عضوية أو التهامها دقائق صلبة من الطعام وبهذاتشبه هذه المجموعة الحيوانات في طريقة تغذيتها .

وتنعدم الاصباغ المسؤولة عن عملية التمثيل الضوئي في الأفراد التابعة لقبيلتي طحالب الهيبوكيتريديومايكوتا Hypochytridiomy cota وطحالب البلازموديوفورومايكوتا Plasmodiophoromycota وتشكل هاتان المجموعتان مشكلة بالنسبة لوضعهما التقسيمي حيث تتضمنان كائنات على درجة كبيرة من التخصص وقد صنفتا هنا ضمن الطحالب لأنهما لا يقعان ضمن أية مجموعة أخرى بشكل أكيد . وكثيراً ما تضم الهيبوكيتريد يومايكوتا hypochytridiomycetes وهيكائنات بحرية مع الفطريات ولكن وجود بعض المميزات الخاصة بهذه المجموعة (كالقدرة على الحركة والمكان المميز لأسواطها كما هو الحال في السوطيات الدوراة) يجعلنا نضعها في قبيلة منفصلة تابعة للطحالب الطلائعية .

وتعيش بعض أفراد هذه المجموعة معيشة طفيلية parasites على الفطريات والطحالب ، كما أن بعضها يعيش معيشة رمية saprophytic متغذيا على المواد العضوية



الشكل (١٠ ــ ١٧) احد السوطيات الدوارة المعروف باسم سيراتيوم *Ceratium hirondella*

الميتة المتحللة ن وتشمل قبيلة الطحالب (البلازمود يوفورمايكوتا plasmodiophoromycetes) ما يسمى بالفطريات الغروية المتطفلة داخلياً endoparasitic slime molds حيث تعيش داخل عوائلها التي تشمل الفطريات والطحالب المائية والنباتات العليا .

وتشبه أفراد هذه القبيلة الفطريات ، الأمر الذي أدى إلى وضعها سابقاً ضمن الفطريات ، الأمر الذي أدى إلى وضعها سابقاً ضمن الفطريات الغروية الحقيقية (Myxomycets) ولكن وجود اختلافات معينة في التكاثر والتركيب والاسلاف يؤيد وضعها كمجوعتين منفصلتين .

الأوليات Protozoans

الأوليات هي طلائعيات صغيرة تتراوح أطوالها بين ١-٢ مم وهي وحيدة الخلية تعيش معيشة حرة أو طفيلية . وتقوم العضيات الموجودة في خلاياها بالوظائف الأساسية اللازمة للجسم وتقوم مثل هذه العضيات مقام الأجهزة التي تقوم بالوظائف المختلفة لأجسام الكائنات عديدة الخلايا . وتحتوي الأوليات عادة على تجويف أو عضي يقوم بالتهام دقائق الطعام المتمثلة في البكتيريا أو الطحالب أو غيرها من الكائنات الحية الدقيقة ، كما يوجد تجاويف منقبضة تقوم بتنظيم التوازن المائين بين الخلية والبيئة التي تعيش فيها وتجاويف غذائية يخزن بها الطعام ويهضم ويوجد في بعضها أهداب وأسواط للحركة . وتستجيب الأوليات التي تعيش معيشة حرة للضوء والحرارة وغيرها من المؤثرات الكيميائية الفسيولوجية . وتتكاثر الأوليات أما بطريقة لا جنسية عن طريق التفتيت أو بطريقة جنسية عن طريقة الاقتران أو الاتحاد .

الأوليات المتحركة Motile protozoans

تتضمن الأوليات مجموعة متنوعة من الكائنات التي يمكن التعرف عليها من خلال طريقة حركتها . فافراد قبيلة السوطيات الحيوانية Zooflagellates يكون لخلاياها سوط أو سوطان أو عدة أسواط . وبعض هذه الكائنات يعيش معيشة حرة ولكن معظم السوطيات تعيش معيشة تكافلية أو تعايشية او طفيلية في نباتات وحيوانات معينة .

والمصاحبة التعايشية Commensal relationship هي نوع من العلاقة يعيش فيها الكائن الأولى في داخل أو خارج عائلة من دون أن يستفيد أو يتضرر أي من الكائنين من

جراء هذه المصاحبة . والتكافل Symiosis هو المصاحبة التي تكون الفائدة فيها بالتبادل بين الكائنين أو قد تكون مصاحبة ينتج عنها فائدة لأحد الكائنين . أما التطفل parasitic association فعادة ما يكون هذا النوع في المصاحبة ضاراً بالعائل . مثلاً ، تعيش أوليات التريكونيمنا Trichonympha معيشة تكافلية أو تعايشية في أمعاء صراصير الخشيب والنمل الأبيض termites حيث تتغذى على دقائق صغيرة من الخشب أو السيليولوز فتهضمها بمساعدة الانزيمات الخاصة التي تكونها بنفسها أو عن طريق البكتيريا التي تعيش داخل أمعائها . وفي مثل هذه العلاقة يستفيد العائل من العاصرة الغذائيةالتي يصنعها الكائن الأولي . والأمر في بعض السوطيات الأخرى التي تعيش معيشة طفيلية مختلف ، ففي التريبانوسوما Trypanosoma مثلاً يتضرر العائل من هذا الكائن الأولي الذي تسبب بعض أنواعه مرض النعاس في الإنسان .

والحيوانات الأولية التابعة لقبيلة السركودينا (اللحميات Sarcodina هي كائنات متحركة أيضاً ولكن تستخدم أقدامها الكاذبة pseudopoidia للحركة وجمع الطعام بدلاً من الأسواط . يتحرك أحد هذه الكائنات الأولية من حالة جيلاتينية كثيفة إلى حالة مانعة تجري في القدم الكاذبة لهذا الكائن . وتستطيع الأقدام الكاذبة أن تحيط بخلايا طحلبية وبعض الحيوانات الصغيرة التي تندمج عندئذ في جسم الكائن الأولي داخل ما يسمى بالفراغ الغذائي food vacuole ولكائنات الراديولاريا Radio laria التي تشيع في البحار الاستوائية والهيليوزوا Heliozoa التي تعيش في المياه العذبة غالباً اقدام كاذبة دقيقة محورية filopodia or axopodia وتعيش كائنات الفورامينيفرا Foraminifera في البحار وتستخدم أقداماً كاذبة دقيقة طويلة للحركة وتجميع الطعام . وكما هو الحال في الراديولاريا تفرز الفورامينيفرا أصدافاً تحتوي على السيليكا وكربونات الكالسيوم . وتغطي هذه الأصداف الجسم جزئياً وتحتوي على فتحات تبرز منها أقدامها الكاذبة الدقيقة . لهذا فإن الأقدام الكاذبة في الفورامنيفرا والراديولاريا تختلف عن مثيلاتها في الاميبا مثلاً في أنها ثابتة في أماكن بروزها لأن الفتحات التي تبرز فيها ثابتة في أماكن معينة من الصدفة .

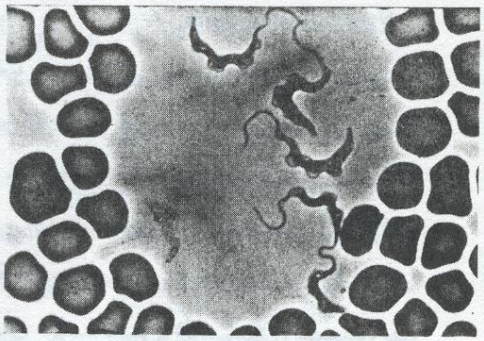
وللفورامنيفرا أهمية خاصة لتقدير التاريخ الجيولوجي ، لأن كثيراً من الصخور الكلسية قد تكونت من أصادفها . فمثلاً ، عملت أهرامات الجيزة في مصر من حجارة كلسية صنعتها كائنات النموليتس Numulites وهي احدى أنواع الفورامينفرا التي كانت سائدة في العصر الوسيط Mesozoic.

وكذلك نحت أبو الهول من بقايا كتلة كلسية لها نفس الأصل . وهناك بعض حفريات الفورامينيفرا التي تعود للعهود القديمة والتي تصل قياساتها إلى ١٠-١٢ سم والتي كونت حجارة كلسية موجودة في أنحاء مختلفة من العالم .

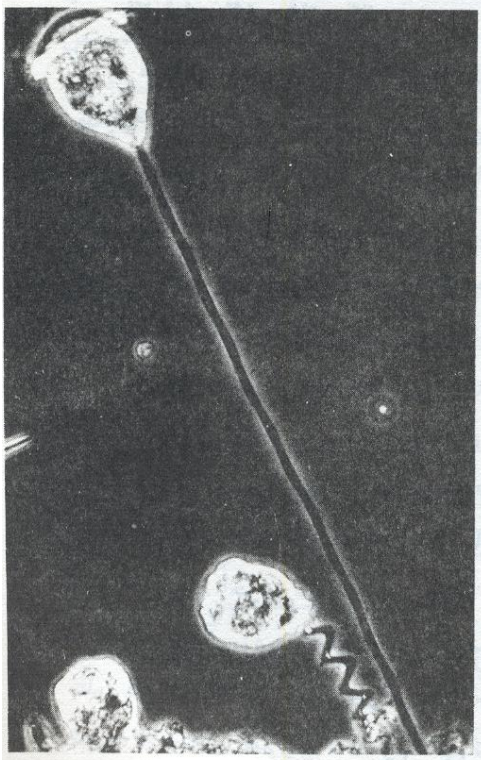
ومن أكثر الطلائعيات الحيوانية تعقيداً وتنظيماً الأوليات الهدبية Ciliophora التي تحتوي خلاياها على عدة نويات والتي تغطي الأهداب معظم سطوحها . و تشيع هذه الأوليات في بيئات المياه العذبة والبحرية على السواء وهي تتغذى على البكتيريا في الأنهار والبرك الملوثة . لهذا السبب تستخدم هذه الكائنات بكثرة في التجهيزات المعمولة للتخلص من القاذورات ومياه البواليع . وتعيش بعض الأنواع التابعة للاوليات الهدبية كالفورتسيلا vorticella معيشة ساكنة sessile بمعنى أنها غير قادرة على الحركة . وتتغذى مثل هذه الأنواع عن طريق استخدام اهدابها لاحداث تيار مستمر من الماء يمر على فتحة ا لفم الأمر الذي يمكن الكائن من الحصول على دقائق الطعام المعلقة في الماء . تلصق الفورتسيلا نفسها على القاعدة التي ترتكز عليها بالشكل الذي يمكن الاهداب المحيطية بفمها من تكوين دوامة تساعد على دخول البكتيريا وغيرها من الدقائق إلى التجويف الفمي . وهناك مجموعة مشابهة وهي طويئفة الماصات Subclass, Suctoria تفقد أهدابها عند النضج الأمر الذي يدعوها بعد ذلك إلى استخدام أهداب متحورة على شكل لوامس مفرغة تستعملها في الحصول على الطعام ومص سيتوبلازم خلايا الكائنات التي تفترسها .

وهناك كثير من الأنواع التابعة للهدبيات كالبراميسيوم Paramecium تستعمل أهدابها كجهاز لدفع دقائق الطعام المكونة من البكتيريا والطحالب وغيرها مما يعلق بالماء إلى فتحة الفم التي تؤدي إلى ما يشبه البوق ومن ثم إلى فراغات غذائية تتكون أثناء حركة الحيوان في بيئته المائيةة تن ويحتوي الجدار الغشائي Pellicle وهو الغشاء الداخلي من غلاف الكائن الغشائي على الآف العضيات التي تشبه كل منها القنينة في شكلها والتي تسمى الأكياس الخيطية Trichocysts وتطلق هذه الأكياس مادة لزجة سامة على شكل خيوط دقيقة عندما يستثار الحيوان نتيجة لاقتراب كائن مفترس أو وجود الكائن في ظروف بيئية غير مناسبة ، كما تستعمل هذه الأكياس الخيطية كمثبتات للحيوان أثناء تغذيته .

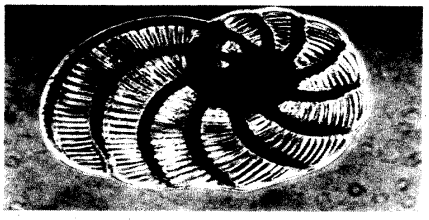
ويتم تكاثر البراميسيوم عادة عن طريق الانقسام الثنائي . كما يتكاثر أحياناً بطريقة جنسية عن طريق الاقتران Conjugation . ولسبب غير معروف يبدو كأن التكاثر الجنسي يؤدي إلى عودة البراميسيومات إلى مراحلها اليافعة . فلو منعت هذه الحيوانات تجريبياً من التكاثر بين آونة وأخرى عن طريق الاقتران لأدى إلى موتها بعد عدة مئات من الأجيـــال . أما تحت الظروف الطبيعية فإن البراميسيومات تتحول إلى التكاثر الجنســـي عنـــدما تســـوء الظروف البيئية (كما هو الحال عند زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون أو عند قلـــة الغـــذاء) . وربما يعود هذا الأمر إلى أن تبادل المواد الوراثية بين الكائنين المقترنين يســـمح بتنشـــيط الجينات من جديد الأمر الذي يؤدي إلى استعادة النشاط التمثيلي للخلايا .



الشكل (١٠ ــ ١٨) : التريبانوسوما *Trypanosoma gambiense* وهـــو طفيل أولي يسبب مرض النوم الافريقي وهـــو ينتقل للأصحاء عن طريق ذبابة تسي تسي . وتؤدي الحالات التي لا تعالج الى الموت فـــي العادة .



الشكل (١٠ ــ ١٩) : الفورتسيـــلا تلتصق *Vorticella microstoma.* هذه الكائنات التي على شكل الجرس بالسطوح التي تعيش عليها عن طريق اعناق خيطيـــة تمكنها من الانقباض في بعض الحالات مثل حالات الخطر . ويظهر الشكل كائنين احدهما ممتـــد والاخر منقبض .



الشكل (١٠ ــ ٢٠) احد حيوانات الفورامينيفرا
Peneroplis pertusus.

الشكل (١٠ ــ ٢١) يتم تكاثر البرايسومات عادة عن طريق الانقسام النصفي ولكن يري الشكل هنا ان بعض هذه الكائنات تتكاثر جنسيا بالاقتران . وتبدا هذه العملية بالتحام فردين من افراد البرايسيوم على طول التجويفين الفمين لهما .

تعيش الأنواع التابعة لقبيلة البوغيات Phylum Sporozoa معيشة طفيلية . وهي كائنات غير قادرة على الحركة وتمر في مرحلة أو عدة مراحل مكونة للأبواغ أثناء دورة حياتها الواحدة . وأحد هذه الكائنات الهامة بالنسبة للإنسان هو طفيل البلازموديوم Plasmodium الذي يسبب مرض الملاريا . ويعيش هذا الطفيلي في أمعاء وغدد بعوضة الانوفيليس Anopheles اللعابية . ويدخل الطفيلي في أمعاء وغدد بعوضة الانوفوفيليس Anopheles اللعابية . ويدخل الطفيلي إلى الجهاز الدموي للإنسان على شكل سبوروزيت Sporozoites موجود في الغدد اللعابية للبعوضة التي تلسع الإنسان . ثم يدخل السبوروزيت إلى خلية دموية حمراء حيث يتكاثر تكاثراً لا جنسياً مكوناً (١٢-٢٤) ميروزويتا merozoites . ونتيجة لذلك تنفجر الخلية الدموية الحمراء مطلقة مود سامة بالاضافة إلى الميروزيتات التي تدخل خلايا دموية حمراء أخرى لتتكاثر من جديد وبهذا تنفجر هذه الخلايا المصابة وتطلق سموماً جديدة . ومن الظاهر أن الحمى والبرودة التي يحس بها المصاب بالملاريا على فترات منتظمة (كل حوالي ٤٨ ساعة بالنسبة لأكثر أنواع الملاريا) تحصل نتيجة للانطلاق الدوري للسموم التي تخرج من ملايين الخلايا المتفجرة وقد تصبح بعض هذه الطفيليات أنماطاً جنسية ، وعند هذه المرحلة يقف نموها . وإذا انتقلت هذه الخلايا الجاميتية gemetocytes إلى بعوض الانوفيليس الأخرى عن طريق لسعها لإنسان مصاب ، فإنها تنمو لمرحلة النضج ثم يحصل اندماج الجاميتات المذكرة مع المؤنثة وتمر بمراحل عديدة حتى تتكون السبوروزوتيات التي تعيد دورة الحياة مرة أخرى .

أن دورة حياة البوغيات المعقدة كما تتضح من خلال دراستنا لدورة حياة البلازموديوم هي دورة مشتركة في خطوطها العريضة بين البوغيات والأنواع التابعة لقبيلة البوغيات

اللاسعة Conidoporidia ولكن البوغيات اللاسعة تختلف عن البوغيات التي قد تحتاج أفرادها إلى عدة عوائل وسيطة اثناء دورة حياتها في أنها عادة في عائل واحد . وأحيانا ما تسبب اصابات وبائية لكائنات لها قيمة بيئية مثل دودة القز ونحل العس والسمك .

نواحي تطبيقية لعلم الكائنات الدقيقة Applied microbiology

لقد كان تركيزنا في هذا الباب على النواحي النظرية لعلم الكائنات الدقيقة وهي تلك التي تتعلق بالبحث عن الكائنات الدقيقة ووصفها ودراسة وظائف عضياتها وطرق تكاثرها وتطورها . وسنوجه اهتمامنا الآن إلى النواحي التطبيقية والعملية لهذا العلم وهي التي تتعلق بمقاومة ومعالجة الأمراض الوبائية وكيفية القضاء على الكائنات الدقيقة الضارة بالإضافة إلى الاستفادة من النواحي المفيدة التي تتميز بها الكائنات الدقيقة .

من الأهمية بمكان أن نبين قبل البدء في هذا الموضوع أن الناحيتين النظرية والتطبيقية للكائنات الدقيقة ليستا منفصلتين تماماً . فمن الواضح أن علماء الكائنات الدقيقة في هذين الحقلين يشتركان في بعض البيانات والطرق الخاصة في البحث (معظم هذه الطرق هي تحويرات لطرق استعملت في يوم من الأيام في دراسة البكتيريا فقط) . هذا بالاضافة إلى أن علم الكائنات الدقيقة ا لتطبيقي لا يرتكز على أمر واحد لدراسة طرقه ونتائجه بشيء من التفصيل فحسب وإنما هو بحد ذاته علم واسع يتضمن حقول تخصص كثيرة مثل الزراعة والطب والصناعة . ولكننا سنحاول هنا أن نستكشف بعض الطرق التي طورها علماء الكائنات الدقيقة التطبيقيين للسيطرة على البكتيريا وغيرها من الكائنات الدقيقة . وسنحاول أن نقدم هذا الموضووع ببعض المميزات العامة للتفاعلات بين العامل والكائنات التي تسبب له المرض .

الطفيليات والكائنات المسببة للمرض وعوائلها Parasites, pathogens, and hosts

في العقد الثامن من القرن التاسع عشر تمكن روبرت كوخ Robert koch وزملاؤه من عزل ووصف الكيفية التي تسبب فيها البكتيريا الكثير من الأمراض التي تصيب الإنسان . وقد كان كوخ نفسه هو الذي وضع المميزاتت الأساسية التي يمكن عن طريقها التعرف على الميكروب المسبب للمرض Pathogen . وما زالت هذه المميزات التي تعرف

بافتراضات كوخ 'Koch's Postulates هي الأساس الذي يرشد العلماء في بحوثهم للتعرف على الأمراض المعدية ، إلا أنه يمكن تحوير هذه الافتراضات تبعاً لأنواع العوائل الموجودة القيام بالبحوث الاختبارية وتبعاً لأية قيود قد تعترضها النواحي الفنية المتعلقة ببحث ما . وعلى حسب ما تقوله هذه الافتراضات يعتبر الكائن مسبباً لمرض معين إذا :

١- كان موجوداً في جميع حالات المرض .

٢- كان من الممكن زراعته في المختبر على شكل مجموعة نقية خالية من أي كائن دقيق آخر .

٣- كان يمكن لعائل سليم أن تظهر عليه علامات ومميزات المرض إذا تعرض إلى مجموعة نقية من هذا الكائن تمت زراعتها في المختبر .

٤- أمكن تكاثر الكائن في المختبر أمكن عزله مرة ثانية من عائل أصيب به تجريبياً وظهرتت عليه العلامات المميزة للمرض .

والجدير بالذكر أن هذه الافتراضات قد ذكرت بشكل عام لتطبق على أي عائل سواء كان نباتاً أم خلية بكتيرية .

التفاعل بين العائل والكائن المسبب للمرض Host-Pathogen interactions

للعوائل التي يمكن أن تصاب بالمرض وسائط متنوعة للدفاع عن نفسها ضد الاصابات الجرثومية وما ينتج عنها من أمراض وقد ذكرنا بعض هذه الطرق عند تعرضنا لموضوع الانتيجينات antigens والاجسام المضادة . ويمكن تفصيل هذه الوسائط كما يلي: أولاً: يغطي سطوح هذه العوائل أنسجة غير نفاذة نسبياً ، ثانياً: يمكن لهذه العوائل أن تستجيب لأي أختراق جرثومية لسطوحها عن طريق تكوين أغطية أو بناء جدران اضافية حول المنطقة التي تعرضت لهذا الاختراق . وقد ، ستجيب هذه العوائل لأي اختراق جرثومية عن طريق المهاجمة الكيميائية للجراثيم (قد تحصل هذه المهاجمة خارج الخلايا) أو عن طريق المهاجمة الخلوية حيث تقوم خلايا متخصصة ببلعمة الجراثيم الداخلية للجسم . ثالثاً: تستطيع الحيوانات الفقارية تكوين برويتنات متخصصة مضادة للكائنات الدقيقة حيث تتفاعل هذه البروتينات مع خلايا الجرثومية المسببة للمرض أو مع المواد السامة التي تفرزها هذه

الخلايا أو مع الخلايا والسموم الناتجة عنها معاً الذي يؤدي إلى احباط أو منع المرض من الانتشار والوصول إلى مرحلة مرضية متطورة .

ومن ناحية أخرى ، للكائنات التي لها القدرة على احداث المرض مصادر متنوعة ومميزات خاصة تمكنها من التغلب على الوسائط الدفاعية للعائل . فلمثل هذه الكائنات القدرة على اذابة واختراق الأنسجة الحافظة (كالأغشية المخاطية للثدييات والهيل الخارجي للحشرات) والعوائق المتكونة حديثاً للعوائل . كما تستطيع هذه الكائنات أن تقاوم المواد الكيميائية المهاجمة كالمواد المضادة للميكروبات وكالانزيمات الهاضمة للخلايا المبلعمة ومع أن هذه الكائنات غير قادرة على أن تحفظ نفسها ضد الأجسام المضادة المتكونة خصيصاً نتيجة لوجودها في الجسم فإنها تستطيع التغلب على آثار هذه الأجسام المضادة عن طريق التكاثر السريع أو إنتاج مواد سامة بسرعة أكبر من السرعة التي تتكون بها الأجسام المضادة ضدها . وقد تنمو هذه الكائنات داخل خلايا العائل نفسها حيث لا تستطيع الأجسام المضادة أن تصل إليها .

أن طبيعة التفاعل بين العائل والكائن المسبب لمرضه هي أمر معقد حقاً ، ومن الممكن القول أنهناك عدة أمور تحدد من هو المنتصر في النهاية . ومن هذه الأمور ما يتعلق بالعائل من ناحية وراثته وتغذيته وصحته العامة وعمره وجنسه ووقت اصابته . ومنها ما يتعلق بعدد الميكروبات التي توجد في العائل قبل أن يبدأ بالدفاع عن نفسه ضد الاصابة . كما أن للطريق التي يدخل منها الميكروب إلى جسم العائل أثراً في تحديدالمنتصر في النهاية ، وكذلك يمكن القول أن طبيعة الطقس عند التقاء الكائن الحي الذي قد يسبب المرض والعائل الذي قد يصاب بهذا المرض قد تلعب دوراً في تحديرد من سينتصر في النهاية .

ونحن نعرف عن هذه العوامل التي تلعب دوراً في هذه التفاعلات بين العائل الكائن المسبب للمرض ما فيه الكفاية لحماية أن تصيبهم . وسندرس في الجزء التالي من هذا الباب وسائط الدفاع ضد الأمراض المعمدية التي بحث فيها علماء الكائنات الدقيقة وطوروها بمساعدة الحكومات والهيئات الصحية .

الشكل (١٠ ــ ٢٢) : الاجسام المضادة وطرق عملها ضد الخلايا الجرثومية .

الليسينات		تسبب تحلل الخلية الجرثومية
الاوبسونينات		تزيد قابلية الخلية الجرثومية للبلعمة والهضم في الخلايا المبلعمة .
المعادلات		بطريقة ما تفقد الخلية الجرثومية قدرتها على التكاثر بمنع ظهور علامات المرض . والاجسام المضادة للسموم هي من هذا النوع .
المجلطات		تسبب تجمع الخلايا الجرثومية وبهذا فهي تقلل من حركتها وتزيد من امكانية بلعمنها .
المرسبات		تسبب تحول انواع الخلايا الجرثومية من حالة قابلة للذوبان الى حالة غير قابلة للذوبان فتترسب .

طرق السيطرة على الكائنات الدقيقة Management of microoorganisms

أن أهم الطرق التي ساهمت في اطالة العمر المتوقع للإنسان هي بلا شك تقليل حالات الوفاة نتيجة للاصابة بالأمراض المعدية خصوصاً تلك التي تصيب المراحل الأولى من الحياة. وقد ، طلب هذا الانجاز التعرف على مسببات مثل هذه الأمراض أولاً وتطوير الطرق التي تمنع الاصابة بهذه الأمراض أو التي تشفي الإنسان ثانياً.

الوقاية والعلاج: Prevention and treatment

ان احدى الطرق التي تمنع اصابة إنسان ما من الإصابة بمرض معد هي عدم التعرض للكائن المسبب له . ومن الطبيعي أن هذه هي الطريقة المثالية في منع الاصابة بالمرض . ولكن أحسن ما يمكن الوصول إليه هو التقليل من فرصة التعرض للاصابة إلى أكبر حد من خلال العناية الصحية الشخصية والحفاظ على نظافة البيئة .

هناك بعض الأشياء التي تعالج بشكل مقصود لتصبح خالية من البكتيريا وتستخدم عملية التعقيم sterilization هذه في تحضير الأدوات المستعملة في حقن الأدوية وفي تحضير الأطعمة النقية . وأكثر الطرق شيوعاً هي طريقة التعقيم بالحرارة أما على شكل بخار أو على شكل هواء جاف حار . والمعقم المستخدم عادة في المستشفيات هو الفرن

sutoclave وهو حيز يدخل إليه تيار من البخار المسخن إلى درجة عالية جداً والموضـــوع تحت ضغط عال .

وكطريقة قياسية في التعقيم البخاري تبقى الأشياء الموجودة في الفرن تحت ضـــغط عال .

وكطريقة قياسية في التعقيم البخاري تبقى الأشياء الموجودة في الفرنتحت درجة ١٢١م لمدة ١٥ دقيقة . فظروف البخار والضغط والحرارة بمجموعهـــا كافيـــة لقتـــل البكتيريـــا بالاضافة إلى جميع الأبواغ الداخلية تقريباً . وبهذه الطريقة أيضاً يتم توقف نشـــاط جميـــع الخلايا الأخرى والفيروسات .

أن كثيراً من المواد كمحاليل الأدوية تتأثر بالحرارة بشدة . ولهذا فإن علينا تعقيمهـــا بطريقة أخرى كتعريضها للأشعاعات فوق البنفسجية أو عن طريق الترشيح الدقيق . ولمـــا كانت الأبواغ الداخلية مقاومة نسبياً للتعقيم عن طريق الاشعاع فإنه يمكن تعقيم المحاليل التي تتأثر بالحرارة عن طريق ترشيحها بالقوة من خلال مرشحات تحتوي على فتحات دقيقة جداً حيث تكون أقطار فتحاتها صغيرة جداً إلى درجة لا تسمح بمرور البكتيريـــا أو ابواغهـــا . ولكن لا يمكن التخلص من الفيروسات بهذه الطريقة ويمكن القول أنه من الطروري لكثير من الأغراض أننخلص الأطعمة والأدوات وغيرها من السطوح والمواد من بعض الميكروبـــات فقط . وهذا هو ما نيسميه بعملية التطهير Disinfection or antisepsis التي نقوم بهـــا عند طهو الطعام أوغسل أيدينا مثلاً . ويختلف الوقت اللازم للتطهير من الجراثيم تبعاً للكائن المراد التطهير منه كما تختلف الفترة اللازمة للتطهير ونوع الكائنات المراد التطهير منهـــا تبعاً للمادة المراد تطهيرها وحسب نوع الاستعمال وقت من الأوقات . ويمكن تقليل احتمال الاتصال بين الأشخاص المصابين والأشخاص الأصحاء بطـــريقتين: المعالجـــة Therapy والتحصين الوقائي Prophylactic immunization.

تتضمن المعالجة في العادة استعمال أجسام مضادة طبيعية أو مشتقات كيميائية مصنعة . وأن أهمية المضادات الحيوية تقع في ناحيتين : الأولى أن المريض يتعافي من المرض المعدي عندما يشفى من الاصابة بالكائن المسبب للمرض وبهذا فكلما كان شفاؤه أسرع قلت فرصة موته من المرض . والثانية هي أن تخليص المريض من الكائن المسبب للاصابة يؤدي إلى استبعاده (وجميع الأشياء التي يستعملها والهواء الذي يستنشقه ومجاري المياه المحتوية على مواده الإخراجية) كمصدر لاصابة الأخرين . صحيح أن هناك بعض المشاكل التي وجدت نتيجة لاستعمال المضادات الحيوية وخصوصاً في المعالجة ضد الأمراض الفيروسية كما ستشير ملاحظاتنا فيما بعد ، وصحيح أنه قد يكون هناك بعض الآثار الجانبية نتيجة للتفاعل بين الدواء والمريض حيث وجد أن معظم المضادات الحيوية التي اكتشفت حتى الآن ليست متخصصة مطلقاً للميكروبات بمعنى أنه قد يكون لها آثار ضارة على الخلايا السليمة للعائل ، ولكن هناك على الأقل عدد بسيط من المضادات الحيوية التي وجدت أنها مفيدة عموماً ، وأما تلك المضادات كالبنسلين الذي ثبت أنه حافز للحاسيسة (وهي إحدى التفاعلات المرضية مثل حساسية الجلد) فإن هناك بعض الأدية البديلة كالاريثرومسين erythromycin.

وللتحصين الوقائي أهمية في حياة المجاميع السكانية أكثر من أهمية لمعالجة بالنسبة للمريض . فالناس يكونون مناعة ضد المرض عند تعرضهم لخلايا ميتة أو سموم غير نشطة لكائن مسبب للمرض أو عند اصابتهم بكائن غير مرضي ولكنه قريب الصلة للكائن المسبب للمرض . وعندما يحصن جميع أفراد المجموعة السكانية ضد كائن معين يؤدي عادة للاصابة بالمرض ثم يتعرضون لهذا الكائن بعد ذلك من شخص مصاب زائر فإنه لا يجد أي سبيل للمعيشة في مثل هذه المجموعة . أما العائل الأساسي لهذا الكائن فهو أما أن يشفى (ومن المحتمل أن يكتسب مناعة ضد هذا المرض في نفس الوقت) وأما أن يموت نتيجة للاصابة . فإذا لم يتمكن هذا الكائن من الانتقال إلى عائل آخر فإنه لن يستمر وجوده في هذه المجموعة السكانية .

والتحصين هو الوسيلة الأساسية حالياً في الوقاية من أمـراض الحصـبة والحصـبة الالمانية والنكاف والانفلونزا والشلل والجدري والحمى الصفراء (وجميـع هـذه أمـراض فيروسية) والدفتيريا والسعال الديكي والكزاز (في بعض البلدان) لا بد من اتخاذها للوقاية من الأمراض كالتنظيف الصحي (كأمراض الكوليرا والحمى والتيفوئيديـة) والصـحة الفرديـة وعزل المرضى (كما هو الحال في مرض السل) والقضاء على الحشرات (هو الحـال فـي الحمى الصفراء) أو الحيوانات التي تحتفظ بالكائن المسبب للمـرض animal reservoirs (كما في داء الكلب) ولا يوجد تحصين وقائي لبعض الأمراض حتى الآن . وتضم مثل هذه الأمراض جميع الأمراض الناتجة عن الفطريات والأوليات بالاضافة إلى بعض الأمـراض البكتيريـة كالستريبتوكوكـاي streptococci والستافيلوكوكـاي staphlococci والاكتينومايستيس actinomycetes . أن التحصين والاجراءات الوقائية المذكورة الأخرى هي أكثر ما تكون أهمية بالنسبة للوقاية من الأمراض الفيروسية . فكما ذكرنا سابقاً تنـتج الفيروسات بواسطة الخلايا . فلايقاف إنتاج هذه الفيروسات وبالتالي إيقاف تطور مظـاهر المرض الناتجة عنها لا بد من ايقاف النشاطات التمثيلية الحيوية للخلايا المصابة العائلـة . ولسوء الاحظ فإن معظم المواد الكيميائية التي تعمل على ايقاف إنتاج الفيروسات لها نفـس التأثير على الخلايا السليمة غير المصابة . ولهذا فإن الهدف من أي مادة كيميائية تسـتخدم للتخلص من أي ك ائن قد يسبب مرضاً هو التأثير الانتخابي على الكائن نفسه وليس علـى الخلية العائل . وهذا ما لا يمكن الوصول إليه بالنسبة للأمراض الفيروسية . وأن أحسن ما يمكن الوصول إليه هو أن تظهر الخلايا المصابة حساسية أكثر للأدوية الكيميائية من غيرها من الخلايا وأن يكون تأثير مثل هذه الأدوية على الخلايا السليمة بشـكل أعـراض ثانويـة فحسب.

هناك مشكلة مستمرة تتعلق بالعلاج عن طريق المضادات الحيوية وبالتحصين الوقائي إلا وهي تنوع الكائنات المسببة للمرض نتيجة لاحداث الطفرات فالكائنات المسببة لأمـراض الفقاريات تعيش على الرغم من وجود طرق مناعية خاصة ضدها . ويعود سبب ذلك جزئياً إلى حدوث طفرات عشوائية لهذه الكائنات تتغير فيها صفاتها الانتيجينية لكائن معين ولكـن ليس ضدها جميعاً . وعند حدوث وافدة لمرض معين فإن مثل هذا الفرد قـد يكـون أمـا محصناً أو قابلاً للاصابة حسب السلالة المسؤولة عن مثل هذا المرض الوافد .

ومن الجدير بالذكر أن العلاج التحصين هما جـزء مـن هذه المشكلة فعند اعطاء

الشكل (١٠ ــ ٢٣) ياخذ هذا الصبي الذي تبدو عليه المقاساة سلالة .مضعفة لكائن حي مسبب للمرض أو شكل من أشكال السموم التي يفرزها هذا الكائن أو خلايا مرضية بيئة. يؤدي ذلك الى تكوين اجسام مضادة في جسمه مكسبة اياه درجة من درجات المناعة ضدالمرض

المريض مضادات حيوية أو عند تطعيم شخص باجسام مضادة للوقاية من ذلك المرض فإن هذين الأمرين يكونان وسطاً ملائماً لاحداث طفرات يصعب ضبطها .

المياه ومجاري المياه والأطعمة Water, Sewage, and foods

أن أهم الاجراءات الصحية التي يستوجبها القانون في الدول الصناعية تهدف إلى قطع أحد الطرق التي يدخل فيها الكائن المسبب للمرض إلى الجسم وهو الجهاز الهضمي . ويمكن لجميع الكائنات التي لها القدرة على احداث المرض أن تسبب مرضاً عن طريق تكاثرها في الجهاز الهمضمي أن تنتقل حسب الدورة التالية: الامعاء- البراز- الأداة الناقلة- الفم- الأمعاء وقد تتمثل الاداة الناقلة بالايدي أو الاطعمة أو أدوات الأكل أو الماء أو غيره من المشروبات .

وتعالج مصادر المياه العامة من المواد الكيميائية والنشاطات الاشعاعية وغيرها مما قد يعلق بها من قاذورات في بعض الأماكن . كما تفحص هذه المصادر بين آونة وأخرى بحثاً عن البكتيريا التي أصلها من البراز . وتتقى مصادر المياه العامة كذلك بالخطوات الآتية:

١- حملها في صهاريج كبيرة وتركها مدة كافية تسمح بترسب دقائق المواد العالقة الكبيرة وقد تترسب بعض الخلايا الجرثومية مع دقائق التربة وحطام الدقائق العضوية .

٢- الترشيح من خلال عدة طبقات من الرمل . وهنا يمكن التخلص من حوالي ٩٩% من البكتيريا الموجودة .

٣- التطهير الكيمائي . ويستخدم الكلور أو أحد مركباته لهذا الغرض في جميع أنحاء الولايات المتحدة الامريكية حيث تضاف كميات كافية من الكلور لحفظه خلال فترات تخزينه .

ويختبر الماء بعد كل من هذه الخطوات بحثاً عن وجود واعداد البكتيريا الكولونية coliform bacteria وهذا النوع من البكتيريا يعيش معيشة عضوية كيميائية في أمعاء الفقاريات ذات الدم الحار . ويجب أن يكون الماء المنقى خالياً من هذه البكتيريا ولكن الأمر غالباً ما يكون صعب المنال ، وفي مثل هذه المصادر التي يدعى أنها صالحة للشرب بوجود حد منخفض من البكتيريا الكولونية فيها .

أن أهم مصادر تلويث المصادر المائية بالبراز هو المجاري المحلية وهي أيضاً أهم مصدر للبكتيريا الكولونية . وتختلف طرق معالجة مجاري المياه في تفصيلاتها إلا أن المعالجات تتضمن خطوتين أساسيتين : الأولى هي السماح بالتحليل الجرثومي للمواد العضوية الموجودة في المجاري . فتحت الظروف المناسبة تقوم الكائنات الدقيقة اللاهوائية والهوائية الموجودة في المجاري بتحويل معظم المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون والماء والنشادر والهيدروجين الجزيئي وكبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان . وجميع هذه النواتح فيما عدا الماء هي غازات يمكن أن تتبخر من المجاري . وقد تقاوم بعض هذا التحلل وتنزل إلى القاع على شكل راسب صلب يجب فصله عن السائل ثم يمكن تجفيفه وحرقه أو بيعه على شكل سماد . أما الخطوة الثانية فهي معالجة الجزء السائل من المجاري . وكناحية مثالية يجب أن يكون هذا الجزء جاهزاً للاستعمال مرة ثانية ولكن من المتبع عادة أن يتخلص من هذا الجزء السائل من المجاري

عن طريق صبه في مصدر مائي طبيعي حيث يتم تخفيف مياه المجاري هناك وتنقيتها بطريقة طبيعية .

يعتبر توفير الماء النقي للمجتمعات في الدول الغربية مسؤولية حكومية منذ منتصف القرن التاسع عشر . وبالمثل فأن الأشراف على تحضير الأطعمة هو من مسؤولية الحكومة بكافة مستوياتها بدءاً بالمدينة وحتى مستوى الحكومة القومية . فهناك معايير مقننة لمحتويات المنتجات من كائنات دقيقة ومواد كيميائية قبل عرضها للبيع وأثناء مراحل تحضيرها .

وهناك هدفان رئيسيان للصحة الغذائية : الأول هو تفادي جعل الأطعمة وسائل لنقل الكائنات المسببة للأمراض والثاني هو منع الكائنات الدقيقة من تغيير مكونات الأطعمة أثناء نقلها أو تخزينها لأن ذلك يجعلها غير صالحة للأكل . والطريقة المثلى لتحقيق هذين الهدفين هي منع الاتصال بين الأطعمة والكائنات الدقيقة الضارة . والواقع أن لطريقة استعمال الأغذية بعناية أهمية في تقليل لفرص الاتصال بينها وبين الأشياء الملونة بالجراثيم

الشكل (١٠ ــ ٢٤) : معالجة المجاري في احد الاماكن المخصصة لذلك في السويد . يختبر الفني هنا معدل ترسيب عينة سائلة من المجاري كانت قد نقيت جزئيا .

الشكل (١٠ ــ ٢٥) : تفرز البكتيريا المسببة للتسمم الغذائي botulinum سما قاتلا خطيرا وقد ادى ذلك الى اتخاذ الاحتياطات الشديدة عند ظهور مثل هذه الحالات .ويرى في الصورة احد الفنيين يحقن فئران التجارب بمواد يشتبه بتلوثها بهذا السم كفطائر البيتـــزا (فطائر ايطالية) المعمولة مع فطر عش الغراب . وسيكون مصير الفطائر المشتبه بها الدفن في التراب على مرأى من صاحبها .

كالتربة والغبار والهواء والذباب . ولكن مع كل هذه العناية يجب تطهير معظم الأغذية أو حفظها أو تجفيفها في ثلاجات أو بشلك مجمد للأبقاء على قيمتها الغذائيـــة وعلـــى شـــكلها وللحفاظ عليها نقية غير ملوثة أثناء نقلها وتخزينها .

تتعرض الأطعمة المعلبة عادة إلى عملية تسخين كافية لقتل الأبواع الداخلية للبكتيريـــا المقاومة للحرارة مثل كلوستيريديوم بوتيولينوم Clostridum botulinum ولو حصـــل أن كائنات درجة الحرارة غير كافية

فإن أبواغ هذه البكتيريا اللاهوائية لا بد أن تنمو وتتكاثر مطلقة سماً فعالاً في الطعام المعلب . ولو أكلت كمية بسيطة جداً من هذا الطعام المسموم فإن يؤدي إلى تسمم غذائي قاتل يعرف بالتسمم البوتيلوزمي botulimum.

أن التعريض لدرجات حرارة أقل هو أمر كاف بالنسبة لكثير من الأطعمة خصوصاً إذا كان تخزينها لفترة قصيرة فقط . وتدعى هذه العملية بالبسترة Pasteurization وتختلف درجة حرارة التعريض وطول فترة التعريض حسب نوع الطعام . فمثلاً يسخن الحليب بشكل كاف لقتل بكتيريا السل .

أما الطرق الأخرى التي تعالج فيها الأطعمة فعملها تثبيط النشاطات التمثيلية للكائنات الدقيقة الموجودة في الأطعمة . والمواد الحافظة هي مركبات كيميائية قاتلة للجراثيم ويمكن أن يأكلها الناس . وقد كانت مواد الملح والسكر والخل والتوابل تستخدم لهذه الغاية قبل أن تعرف كيفية عملها لإيقاف النشاطات الجرثومية في الأطعمة . ومن الطرق القديمة في حفظ الأطعمة التجفيف الذي يتم حالياً بسرعة عن طريق استخدام أجهزة خاصة كانفاق هوائية يمر عليها الطعام فيجفف وينتج عن ذلك قتل بعض الجراثيم وابطاء نشاطات الجراثيم الأخرى عندما يكون المحتوى المائي للطعام قليلاً . أما التبريد والتجميد فهما لا يؤديان إلى تقليل اعداد الكائنات الدقيقة الحية ولكن لهما أهمية كبيرة في ابطاء وإيقاف نشاطات الجراثيم التمثيلية التي تعتمدها في اتماماها على الحرار حيث أنه كلما انخفضت درجة الحرارة قلت سرعة التمثيل الغذائي .

الاستعمالات المفيدة للميكروبات Beneficial uses of Microbes

مع أن تركيزنا في هذا الجزء من الباب يتعلق بالقضاء على الكائنات المسببة للمرض وضبط انتشارها فإنه من المهم أن نتذكر أن علماء الكائنات الدقيقة قد بحثوا أيضاً عن النواحي المفيدة للميكروبات . فمثلاً تتحسن قيمة بعض الأغذية المعينة وتصبح أكثر استساغة كما يمكن تخزينها لفترة أطول عندما يسمح لميكروبات معينة أن تنمو فيها . ثم أن زراعة الخميرة وهي الكائن الذي يلعب الدور الرئيسي في عملية التخمر الكحولي قد درست من قبل كثير من علماء الكائنات الدقيقة العمليين وهذه الزراعة هي مصدر دخل الكثير من الناس الذي يعملون في صناعة المشروبات الكحولية . كما تستعمل الكائنات القيقة في إنتاج

الزبدة والقشدة وفي صناعة مختلف أنواع الجبنة التي تعتمد أنواعها وأذواقها على ضبط العمل الانزيمي للبكتيريا وعلى قمع أي نشاط ميكروبي غير مستحب.

وتعتمد الصناعات الصيدلية في كثير من النواحي على استعمالات الكائنات الدقيقة فمثلاً تحضر الفاكسينات والسموم من فروسات وبكتيريا معينة .

أن هذه نظرة سريعة للفوائد الناتجة عن الكائنات الدقيقة . وهي تظهر بوضوح أن لهذه الكائنات آثاراً عديدة الوجوه في حياتنا . فالميكروبات تساعد على استمرارية دورة الحياة نفسها عن طريق تفتيت خلايا وأنسجة النباتات والحيوانات الميتة وبهذا فهي تجهز هذه المكونات لتكوين كائنات جديدة . وقد حصل العلماء على معلومات كثيرة قيمة تتعلق بالعمليات الحيوية من ناحية عامة من خلال دراساتهم على النشاطات التمثيلية للكائنات الدقيقة وطرق تغذيتها وتكاثرها وأنظمتها الوراثية . ويمكن أن يكون لهذه المعلومات التي توصل إليها العلماء المشتغلون في حقول متنوعة أهمية في التطبيقات العملية فيما بعد .

وعلى كل حال سواء استفدنا من هذه المعلومات أم لم نستفد فإن حياتنا ستبقى متأثرة بهذه الكائنات القديمة التي لا حدود لإعدادها من عالمنا الحي والتي تعيش في كل منا وفي كل مكان من البيئة التي نعيش فيها .

الشكل (١٠ ــ ٢٦) احد براميل التخمر حيث تحول الخميرة كثيرا من المواد الكربوهيدراتية الموجودة في الحبوب الى كحول . وبمرور الوقت ترتفع نسبة الكحول المتكون الى درجة تمنع الخميرة من القيام بعملية التخمر . ثم يقطر السائل المتكون (وهو شراب البيرة) لانتاج انواع أخرى من المشروبات الكحولية كالويسكي .

ملخص الفصل العاشر

الفيروسات هي أحماض نووية تنتجها الخلايا الحية . ويمكن للاحماض النووية الفيروسية المحاطة بغلاف بروتيني (وحدة فيروسية) أن تدخل خلية أخرى وتحفزها على إنتاج فيريوسات جديدة كثيرة كما قد تقتل الخلية المصابة أحياناً . والفيروسات مسؤولة عن أمراض عديدة تصيب النباتات والحيوانات والإنسان . وتشمل الأمراض الفيروسية التي تصيب الإنسان أمراض الحصبة والنكاف والثآليل والشلل والجدري وداء الكلب والرشح .

تسمى الفيروسات التي تصيب الخلايا البكتيرية (البكتيروفاجات). والبكتيرويوفاج القاتل Virulent bacteriophage هو ذلك الذي يسبب قتل كل خلية يصيبها . وتبدأ أصابة الخلية وإنتاج الوحدات الفيروسية عندما تلتصق الوحدة الفيروسية من طرف ذيلها بسطح الخلية البكتيرية العائل (عملية الالتصاق (adsorption) ثم تطلق حامضها النووي (DNA) إلى سيتوبلازم الخلية العائل (عملية الحقن (injection) . ثم يبدأ الحامض النووي الفيروسي بتوجيه النشاطات التمثيلية للخلية نحو تكوين مكونات فيروسية جديدة (التكوين)Synthesis) ثم يتم تركيب وحدات فيروسية جديدة من الـ د.ن.أ. والأغطية البروتينية المتكونة حديثاً (التركيب (Aassembly) وأخيراً تتحلل الخلية البكتيرية العائل وتنطلق الوحدات الفيروسية الناضجة الجديدة منها (الانطلاق (release) وهناك فترة انحسار "eclipse period" وهي الفترة المنقضية بين مرحلتي الحقن والتركيب حيث لا يمكن أثناءها التحري عن وجود الفيروس المصيب للخلية . ويختلف البكتيريوفاج المعتدل temperare bacteriophage عن البكتيريوفاج القاتل في أن بعض الخلايا التي يصيبها تبقى حية . وتسمى العملية التي تكتسب فيها الخلايا المناعة ضد أية أصابة منتجة بعملية الاندماج

lysogeny ويمكن للبكتيريا المصابة بالفاجات أن تتبادل معلومات جينية الأمر الذي يسمح بتكوين تجميعات جديدة للصفات الوراثية في نفس النوع عن طريق عملية النقل الجيني transduction.

والبكتيريا هي كائنات أحادية الكروموسومات وذات نويات بسيطة وهي تتكون مثالياً من خلايا منفردة عصوية الشكل . وتشمل كائنات البكتيريا عديدة الخلايا الأشكال الشعرية (المكونة من سلاسل من الخلايا) والسيليومية (على شكل أنابيب طويلة متفرعة) والمبرعمة (مكونة من خلايا متصل بعضها ببعض مكونة خيوطاً رفيعة) . وللبكتيريا طرق كثيرة متنوعة في التغذية والتمثيل الغذائي كما يمكن لكثير من الأنواع أن تعيش تحت ظروف بيئية متنوعة .

مع أن هناك بعض البكتيريا التي تتكاثر بالتبوغ أو بتكوين الأبواغ فإن معظمها يتكاثر عن طريق الانشطار الثنائي . وتنتج بعض الأنواع خلايا خاصة لا تنمو . وخلايا البكتيريا الساكنة تكون على شكل حوصلات (يحصل تحورات في الخلايا بكاملها حيث يزداد سمك جدرها الخلوية ويتكثف سيتوبلازمها) أو على شكل ابواغ داخلية (تحتوي على جدار خلوي خاص يمكن البوغ عن مقاومة الحرارة ومن منع دخول أية مواد كيميائية للداخل) . وتستيطع معظم البكتيريا البقاء ساكنة لفترات طويلة بدون تكوين حوصلات أو أبواغ داخلية . ويبو أن التقلبات في الظروف البيئية تؤدي إلى أحداث فترات من النمو والتكاثر تتبادل مع فترات أخرى تتميز بقلة في النشاط النسبي .

وتشمل مملكة الطلائعيات Protista كائنات وحيدة الخلية ذات نويات حقيقية تطورت فيها النباتات والحيوانات والفطريات . وتشمل القبائل الشبيهة بالنباتات التابعة لمملكة الطلائعيات الطحالب اليوجلينية والكرايسوفيتا التي تشم الطحالب الخضراء المصفرة والبنية المذهبة والدياتومات) والبيروفيتا Pyrrophyta التي تشمل السوطيات الدوارة dinoflagellates والهيوكيتريديوميكوتا والبلازموديومورفوميكوتا (التي تشمل الفطريات الفروية داخلية التطفل) . وتمثل الأوليات (البروتوزوا) الأفراد الشبيهة بالحيوانات التابعة لهذه المملكة . والأوليات هي طلائع وحيدة الخلية صغيرة تعيش معيشة حرة أو طفيلية . وتقوم عضياتها بالوظائف اللازمة التي تقوم بها الأجهزة الكاملة في الحيوانات عديدة الخلايا . وتحتوي خلية الحيوان الأولي عادة على تجويف أو جزء متخصص في التهام دقائق الطعام وعلى فراغات منقبضة للحفاظ على التوازن المائي وعلى فراغات أخرى لخزن

وهضم الطعام وقد تكون هناك في بعض الأحيان أهداب أو اسواد لتمكن الكائن من الحركة . تستجيب جميع الأوليات الحرة المعيشة للضوء والحرارة وغيرهما من المؤثرات الفسيوكيميائية . وتتكاثر الأوليات لا جنسياً عن طريق الانشطار أو جنسياً عن طريق الاقتران أو الاتحاد الجاميتي . وقد تكون هذه الكائنات قادرة على الحركة كما هو الحال بالنسبة للاميبا والبراميسيومات أو غير قادة على ذلك كما هو الحال بالنسبة للبلازموديوم وهو الطفيلي المسبب لرمض الملاريا والذي يعيش في أمعاء بعوضة الانوفليس وفي غددها اللعابية .

وعلى الكائنات الدقيقة التطبيقي هو أحد فروع العلوم الحياتية وهو يتعلق بالأمراض التي تسببها الميكروبات بالإضافة إلى كيفية الاستفادة من الكائنات الدقيقة النافعة . وعلى حسب افتراضات كوخ "Koch's Postulates" يمكن اعتبار كائن ما ككائن مسبب لمرض معين إذاً: كان موجوداً في جميع حالات المرض ، وكان يمكن زرعه في المختبر على شكل مجموعة نقية خالية من أي نوع من الكائنات الأخرى ، وكان التعرض لمثل هذه المجموعة النقية المحرة في المختبر يؤدي إلى إصابة عائل سليم بنفس المرض بأعراضه المميزة ، وكان يمكن لهذا الكائن أن يتكاثر في العائل الجديد وأن يعزل مرة أخرى من العائل الذي أصيب بالمرض بطريقة تجريبية .

تستطيع العوائل أن تدافع عن نفسها ضد الأمراض الجرثومية عن طريق تكوين أغلفة حول المنطقة المصابة أو عن طريق الهجوم الكيميائي على الجراثيم الداخلة للجسم أو عن طريق الهجوم الخلوي (البلعمة) أو عن طريق تكوين بروتينات متخصصة مضادة للميكروبات حيث تمنع هذه المواد ظهور المرض بتفاعلها مع النواتج السامة للجراثيم الوافدة للجسم . ولكن مع ذلك فإن الكائنات التي لها القدرة على احداث المرض تستطيع اختراق الأغطية الحافظة وأن تقاوم المواد الكيميائية والهجوم الخلوي . وأن تتغلب على الأجسام المضادة عن طريق التكاثر بسرعة أكبر من سرعة تكون الأجسام المضادة.

وتعتمد النتيجة الأخيرة للتفاعل بين العائل والكائن المسبب للمرض على عوامل متنوعة وعديدة مثل الصحة العامة للعائل وظروف الطقس وقت الاصابة . ففي بعض الحالاتت يقاوم الجسم بميكروب معين وفي حالاتت أخرى قد يستسلم الجسم للاصابة .

ويمكن الاقلال من فرص التعرض للميكروبات الضارة عن طريق العناية الصحية الفردية وتنظيف البيئة . ويمكن الاقلال من احتمال الاتصال بين الاشخاص المصابين

والاصحاء عن طريق علاج المرضى بالمضادات الحيوية وعن طريق التحصين الوقائي وهو تعريض الأشخاص إلى سموم الميكروب نفسه . وقد استخدم التحصين بنجاح ضد الأمراض التي تسببها الفيروسات والبكتيريا . ولكن هناك مشكلة تتعلق بالعلاج عن طريق المضادات الحيوية وبالتحصين الوقائي إلا وهي تنوع الكائنات ا لمسببة للمرض بسبب احداث طفـرات عشوائية لها وتبعاً لذلك قد يكون شخص مقاوم لمرض معين وقد لا يكون ، فالأمر يعتمـد على سلالة الكائن المسبب للمرض .

نظرة فاحصة

مبادئ التصنيف

Priciples of Classification

أن اعداد الأشياء الحية هائلة . وتقدر أعداد النباتات والحيوانات التي عرفت ودرست حتى الآن بحوالي ١,٥ مليون نبات وحيوان . ويتوقع بعض العلماء أن الاكتشافات المستقبلية لكائنات أخرى خصوصاً الدقيقة منها ستضاعف هذا العدد . ولتسهيل وسائل الاتصال بين الباحثين لا بد من تسمية وتجميع هذه الحيوانات والنباتات في مجاميع تسهل علينا بعد ذلك دراستها والتعرف عليها . ويعني هذ أنه لا بد من ترتيبها في ظل نظام تصنيفي مناسب .

أن أول الأعمال التصنيفية هو التسمية Nomenclature وهو اعطاء كل كائن حي أسماً لاتينياً . ولكن لماذا تستخدم مثل هذه اللغة القديمة لتسمية عصفور الدورية أو السلحفاة الأمريكية أو نبات الصفصاف؟ ولماذا لا نستخدم اللغة الإنجليزية أو الفرنسية أو الأسبانية أو الروسية أو غيرها لهذا الغرض؟ يعود ذلك إلى أن اللغة اللاتينية قد كانت لغة العلماء منذ الأزمان التي كانت هذه اللغة سائدة فيها . ومن ناحية أخرى عند استخدام اللغة العامة فإن نفس الكائن سيكون له اسم مختلف في كل دولة وقد يكون له عدة أسماء مختلفة في الدولة الواحدة .

فمثلاً هناك عدة أسماء لنبات عشبة الخنزير في الولايات المتحدة الأمريكية حيث يسمى أيضاً قدم البطة أو السبانخ البري أو ربع الحمل في أجزاء مختلفة من نفس الدولة نولكن عندما يعطى النبات الأسم العلمي التصنيفي وهو كينوبوديوم البوم Chenopodium album فإن أي بيولوجي متخصص في أي جزء من الولايات المتحدة أو غيرها من الدول يعرف أي كائن حي هو قيد البحث . ولهذا فلتمييز كل نوع من الكائنات الحية بشكل دقيق متجانس مفهوم لجميع الباحثين في العالم تستخدم التسمية اللاتينية لهذا الغرض .

ولكن اعطاء أسم لاتيني لكل كائن حي ليس كافياً بحد ذاته . فلا بد من وضع الكائن في مكانه المناسب بين جميع الأشياء الحية المعروفة . وعند ايجاد مثل هذا النظام يستطيع البيولوجي الذي يصادف خنفساء جديدة مثلاً أن يقارن صفاتها ومميزاتها مع جميع الخنافس الأخرى المعروفة ليحدد فيما إذا كانت هذه الخنفساء تستحق أسماً جديدة أم لا ويسمى العلم الذي يساعد العلماء على القيام بمثل هذه المهمة بعلم التصنيف Tazonomy. ويعالج هذا العلم تسمية وتبويب الكائنات الحية حسب أوجه التشابه والاختلاف فيما بينها من حيث التركيب والوظيفة والتطور .

ترجع محاولات الإنسان لإيجاد نظام تصنيفي يميز بين أشكال الحياة المختلفة إلى أيام اليونان القدامى . فقد حاول أرسطوطاليس Aristotle أن يصنف الأشياء الحية حسب طبيعتها عن طريق فحص عينات كثيرة لكائنات متشابهة محدداً الصفات المشتركة بينها ومتجاهلاً الصفات التي يبدو أنها مختلفة بينها . فقد صنف أرسطوطاليس الحيوانات حسب مكان معيشتها إلى حيوانات تعيش على اليابسة وأخرى تعيش في البحر وأخرى تعيش في الهواء . وقد قسم ، لميذه ثيوفراستس Theoprastus النباتات إلى أربع مجموعات: الأشجار والشجيرات وما تحت الشجيرات والأعشاب .

تبع العلماء الغربيون نظام أرسطوطاليس حتى منتصف القرن الثامن عشر عندما طور العالم البيولوجي كارل لينيوس Carl Linnaeus النظام التصنيفي بالشكل الذي لا زال مستعملا حتى الآن . وقد دعى لينيوس أبا لعلم ا لتصنيف الحديث لأنه ابتكر النظام الثنائي للتسمية الذي يعطى منه كل كائن اسمين لاتينيين الأول هو أسم الجنس والثاني اسم النوع . وفي هذا النظام الذي اعتمد على نظام أرسطوطاليس القديم حاول لينيوس تجميع الكائنات على شكل مجاميع طبيعية تبرز أنواع العلاقات بينها . وقد أدت هذه المحاولات إلى تكوين مجموعات طبقية ويمكن ترتيب التسلسل الطبقي من الخاص إلى العام كما يلي: نوع– جنس– عائلة– رتبة– قسم– قبيلة– مملكة. وقد جمعت الأنواع التي تحقق عدداً من المميزات المشتركة في جنس واحد . وجمعت الأجناس التي لها علاقة فيما بينها في عائلة واحدة . والعائلات المتشابهة في رتبة واحدة . وهكذا . ويمكن عند الضرورة أن يحدد كل مستوى طبقي باضافة فوق أو تحت أو باضافة مستويات طبقية – وسطية بين كل مستويين من المستويات المذكورة أعلاه . ولهذا يمكن أن يكون هناك تحت قسم أو فوق رتبة أو عصبة

cohort (بين القسم والرتبة) أو عشيرة (بين العائلة والجنس) أو غيرها من المستويات الوسطية .

وكمثال لتوضيح ما سبق يمكن اعطاء تصنيف الإنسان حسب نظام لينيوس كما يلي: المملكة الحيوانية – قبيلة الحبليات– تحت قبيلة الفقاريات– ثم الثدييات– رتبة الرئيسيات– فوق عائلة الإنسانيات– عائلة الإنسان– جنس هومو– نوع هوموسيبينس Homo sapiens.

ظهر نظام لينيوس لأول مرة عام ١٧٥٨ أي حوالي ١٠٠ سنة قبل نشر داروين لكتابه أصل الأنواع . ولما كانت عملية التطور العضوي غير معروفة عندئذ ولما كان يظن أن كل نوع من الكائنات الحية هو نتيجة للخلق الإلهي من خلال عملية ذاتية فلم يؤخذ في نظام لينيوس التصنيفي أي اعتبار للعلاقات الزمنية بين الكائنات الحية . لقد اعتمدت المستويات الطبقية التصنيفية في ذلك النظام على علاقات التشابه الظاهرية بين الكائنات الموجودة فقط .

ومنذ عام ١٨٥٩ حاولت النظم التصنيفية المقترحة أن تأخذ بعين الاعتبار علاقات التاريخ التطوري للكائنات ما أمكن الأمر الذي أدى إلى اهتمام علماء التصنيف في نصف القرن الأخير بالدراسات المتعلقة بالوراثة ووظائف الأعضاء والكيمياء الحيوية والخلية والبيئية بالاضافة إلى دراسات الشكل الخارجي والتشريح ليفهموا أشياء أكثر عن علاقات التاريخ التطوري لمجاميع الكائنات الحية .

ومن الأهمية بمكان أن نذكر أن اسم النوع هو المستوى الأساسي لجميع التصانيف الحديثة . والنوع هو وحدة تكاثر معزولة لا تتلاقح مع أي فرد من أفراد وحدات التكاثر المعزولة الأخرى . ولهذا فإنها أقل المستويات الطبقية غموضاً . وأما جميع المستويات الأعلى من النوع فهي تجميعات لكائنات يرى علماء التصنيف أوجه شبه تركيبيه ووظيفية معينة بينها .

كما أنه من المهم أن نتذكر أن التطور يحصل على مستوى الجماعات ويشمل أفراداً من هذه الجماعات (الجماعة population هي مجموعة أفراد تابعة لنفس النوع وتعيش في نفس المنطقة).

وتتطور الرتب والعائلات إذا تطورت الأجناس المتكونة منها فقط . وتتطور الأجناس إذا تطورت الأنواع فقط ، كما تتطور الأنواع إذا تغيرت جينات جماعاتها مع مرور الوقت . ولهذا فالأجناس لا تتطتور من أجناس غيرها على مستوى الجنس وبنفس الوقت لا

تتطور من أجناس غيرها على مستوى الجنس وبنفس الوقت لا تتطور العائلات ولا الرتب على مستوياتها المختلفة وإنما لا بد للتطور من أن يتم في جماعة من الأفراد .

كلما عرفنا أكثر وأكثر عن تطور الأشياء الحية تغيرت نظم التصنيف في محاولة لأن تضم جميع الكائنات . ويمكن ملاحظة هذا الأمر بوضوح عند دراستنا لتاريخ المستوى الأعلى للطبقات التصنيفية وهو المملكة .

اشتمل العالم الطبيعي في نظر ارسطوطاليس ولينيوس على قسمين رئيسيين من الأشياء هما النباتات والحيونات . فالحيوانات هي تلك التي لها القدرة على الحركة وجمع والتهام الغذاء ، وأما النباتات فهي الكائنات التي لها جذور وتقوم بصنع غذائها بنفسها . وقد بقي تقسيم الكائنات إلى هاتين المملكتين حتى أوائل القرن العشرين حيث اعتبر أكثر السبل المنطقية والمفهومة لتقسيم الحياة . ومع أن اكتشاف المجهر في القرن السابع عشر قد ابرز وجود كثير من الكائنات التي يصعب تصنيفها مع أي من الحيوانات أو النباتات إلا أن معظم العلماء قد مالوا إلى اعتبار هذه الكائنات الجديدة شاذة أو إلى تركها إلى علماء التصنيف في المستقبل لحل مشكلاتها . وقد كان من بين هذه الكائنات الطلائعيات وهي الكائنات وحيدة الخلية التي تضم أفراداً شبيهة بالنباتات وأخرى شبيهة بالحيوانات وقد يضم الفرد الواحد مميزات الاثنين معاً .

وكلما زادت المعلومات عن الطلائعيات أجبر البيولوجيون على الاعتماد بأن تصنيف الكائنات إلى مملكتين غير كاف الأمر الذي أدى إلى تكوين نظام جديد مبني على أساس أن هناك ثلاث ممالك حيث وضعت الطلائعيات في مملكة خاصة بها .

ولكن مع ذلك ، وبازدياد دقة الطرق التي تفحص بها الكائنات الحية المجهولة أصبح واضحاً أن نظام التصنيف المبني على وجود ثلاث ممالك غير كاف أيضاً ، عند دراسة البكتيري بدقة وجود أنه لا يوجد لها نفس التركيب الخلوي الذي يميز الكائنات الأخرى فخلاياها تفتقد النواة المحددة ولهذا فهي كالطحالب الخضراء المزرقة كائنات ذات نويات بسيطة procaryotic organisms لها تنظيم مختلف تماماً عن أي شكل من أشكال الحياة الأخرى . وقد أدى اكتشاف الفيروسات إلى خلق مشكلة أخرى لعلماء التصنيف . وتعيش الفيروسات في الطبيعية طفيلية فقط وتتكاثر بادخال المادة الوراثية التي قد تكون د.ن.أ. أو ر.ن.أ. إلى الخلايا النباتية أو الحيوانية . ولما كانت المواد الوراثية غير مترابطة بأي شكل

معين فإن الفيروسات أحياناً ما تسمى بالجينات العارية naked genes ولهذا الأسباب يميل كثير من البيولوجين إلى نظام تصنيفي على أسا أن هناك (٤) ممالك هي **البدائيات** وتضم البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة **والبروتستا** وتضم الطلائعيات والفطريات **والمملكة النباتية** وتضم النباتات الراقية **والمملكة الحيوانية** وتضم الحيوانات الراقية .

ولكن مكان الفطريات أبرز مشكلة جديدة بالنسبة لهذا النظام ، فالفطريات تمتص الأغذية من خلال جدرها الخلوية كالنباتات ولكنها لا تقوم بعمل غذائها بنفسها كالنباتات كما أنها لا تقوم بالتهام طعامها كالحيوانات .

لهذا السبب وضع العالم البيولوجي ويتكر whittaker نظاماً تصنيفياً مبنياً على أساس (٥) ممالك بوضعه **الفطريات** في مملكة مستقلة . ويعتمد هذا النظام على فكرة أن الكائنات المختلفة قد طورت طرقاً مختلفة للحصول على المواد الغذائية أثناء تطورها وأنه يمكن استعمال هذا الميزة كأساس للتصنيف . وطرق الحصول على الطعام هذه هي عملية التمثيل الضوئي والامتصال والالتهام . وتبعاً نلظام ويتكر الذي نوضحه هنا تخصصت **البدائيات** (المونيرا) وهي أبسط الكائنات التي تطورت منها جميع أشكال الحياة الأخرى في عمليتي التمثيل الضوئي والالتهام . ويتبع هذه المملكة في السلم التصنيفي **الطلائعيات** وهي مجموعة مشكلة تضم كائنات تعتمد على جميع الطرق الثلاثة للحصول على الطعام . ومن هذه الكائنات تطورت الممالك الثلاث الأخرى الأعلى منها وهي **النباتات الفطريات والحيوانات.**

مع أن النظام المبني على أساس أن هناك (٥) ممالك هو المفضل في هذا الكتبا إلا أنه كغيره من الأنظمة التقسيمية الأخرى من صنع العقل الأنساني ولهذا فهو محاولة لوضع حدود اعتباطية للطبيعة . ولما كانت الطبيعة تتميز بالتنوع الكبير فأن عمل تقسيمات دقيقة ومتجانسة أمر صعب أن لم يكن مستحيلاً هذا بالأضافة على أن مثل هذا العمل يحتاج إلى المراجعة باستمرار . في الحقيقة أنه لا يوجد أي تصنيف مثالي في الوقت الحاضر لأن أي تصنيف يعمل لا بد وأن تدخل به اعتبارات شخصية . فالشخص الذي يقوم بوضع التصنيف يختار مميزات يراها مشتركة بين مجموعات معينة ويتجاهل مميزات أخرى . والنظام التصنيفي المقبول لدى معظم الباحثين هو الذي يمكن استخدامه كفهرس لما نعرفه عن الحياة على سطح الأرض . وهو الذي يحث العلماء نحو التفكير الجديد في أكثر الطرق معنى في تنظيم ما نعرفه عنه الحياة .

مملكة البدائيات (ذوات الأنوية البسيطة)

قبيلة السكيزوفيتا أو السكيزووما يستس (البكتيريا)

قبيلة السيانوفيتا أو الميكروفيتا (الطحالب الخضراء المزرقة)

مملكة الطلائعيات

قبيلة السوطيات

قبيلة الطحالب الذهبية المصفرة (الطحالب والدياتومات)

قبيلة البروفيتا (السوطيات الدوارة والكربتوموناديات)

قبيلة الطحالب الخضراء المصفرة

قبيلة الهيبوكيتريديوميكوتا

قبيلة البلازموديوفورومايكوتا

قبيلة البوغيات

قبيلة البوغيات اللاسعة

قبيلة السوطيات الحيوانية

قبيلة السركودينيا (اللحميات)

قبيلة الهدبيات (الهدبيات والماصات)

المملكة النباتية

قبيلة الطحالب الحمراء

قبيلة الطحالب البنية

قبيلة الطحالب الخضراء

قبيلة الكاروفيتا (الحزازيات الحجرية)

قبيلة الحزازيات (الحزازيات المنبطحة والقائمة)

قبيلة البسيلوفاتيا

قبيلة الليكوبسيدات

قبيلة الذيلحصانيات (الذيل حصانيات)

قبيلة التديديات (السرخس)

قبيلة السايكادوفيتا (السايكاد)

قبيلة المخروطيات (المخروطيات)

قبيلة النباتات الزهرية (النباتات لزهرية)

مملكة الفطريات

قبيلة الفطريات الغروية

قبيلة الفطريات الحقيقية

المملكة الحيوانية

قبيلة الحيوانات الوسطية

قبيلة المثقبات (الأسفنج)

قبيلة الاركيسياثا (حيوانات منقرضة)

قبيلية الجوفمعويات

قبيلة المشطيات (المشطيات الهلامية)

قبيلة الديدان المسطحة

قبيلة الديدان النيميرتية

قبيلة الديدان شوكية الرأس

قبيلة الديدان الأسطوانية

قبيلة الحيوانات داخلية الأست

قبيلة الحيوانات الطحلبية

قبيلة الذراع قدميات (قناديل البحر)

قبيلة الديدان الفورنيدية (الديدان الفورنيدية)

قبيلة الرخويات

قبيلة الديدان الأنبوبية (الديادان الفستقية)

قبيلة الديدان ثعبانية الذيل (الديدان الملعقية)

قبيلة الحلقيات

قبيلة المفصليات

قبيلة الذراعيات (ديدان الخبز)

قبيلة عشرية الفم (الديدان السهمية)

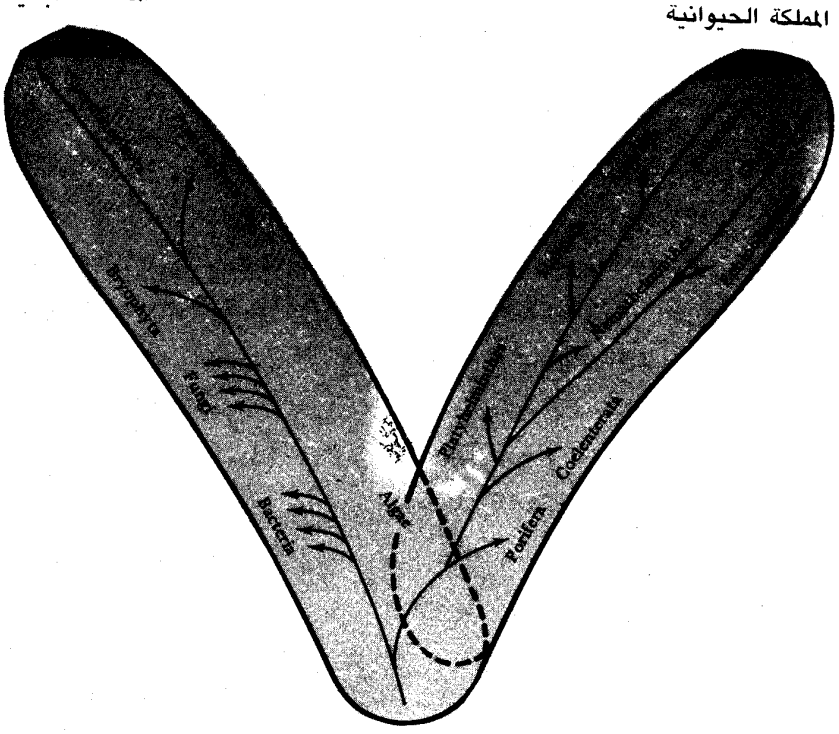
قبيلة الجلد شوكيات

قبيلة النصف حبليات (الديدان البلوطية)

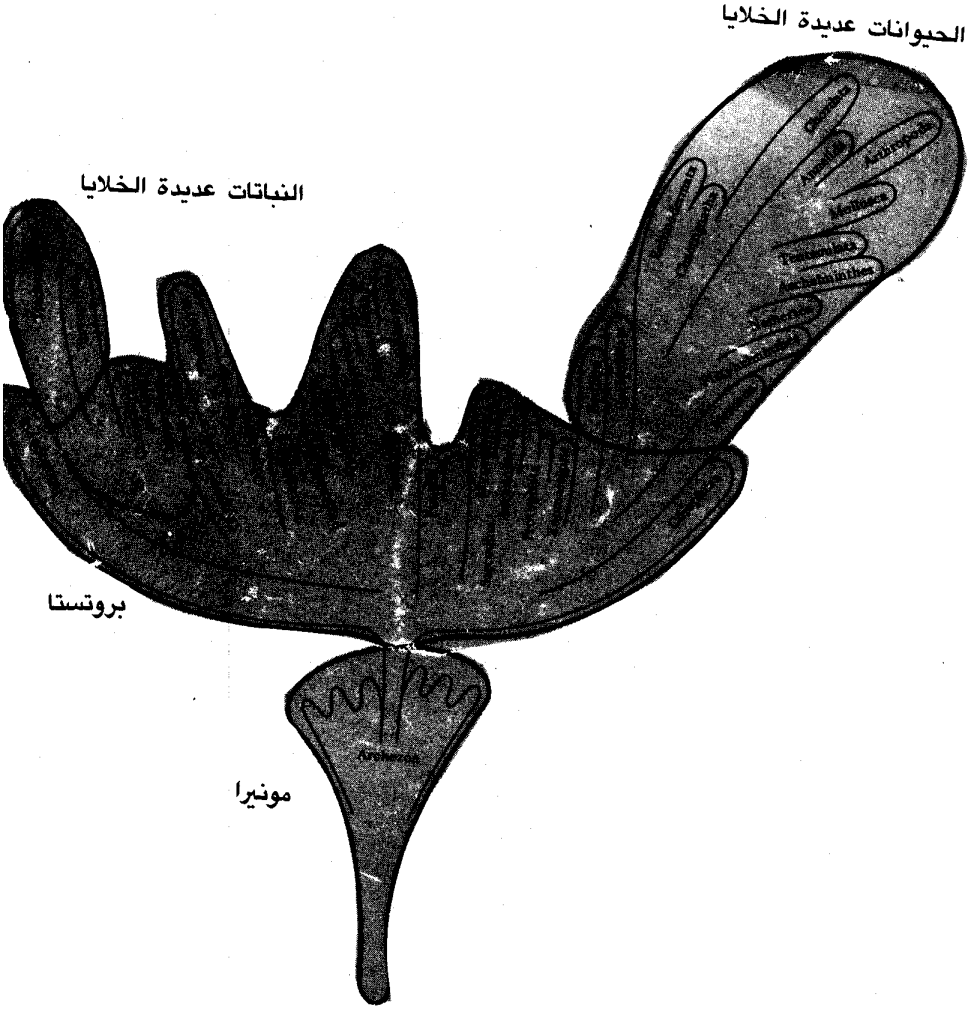
قبيلة الحبليات

المملكة النباتيه

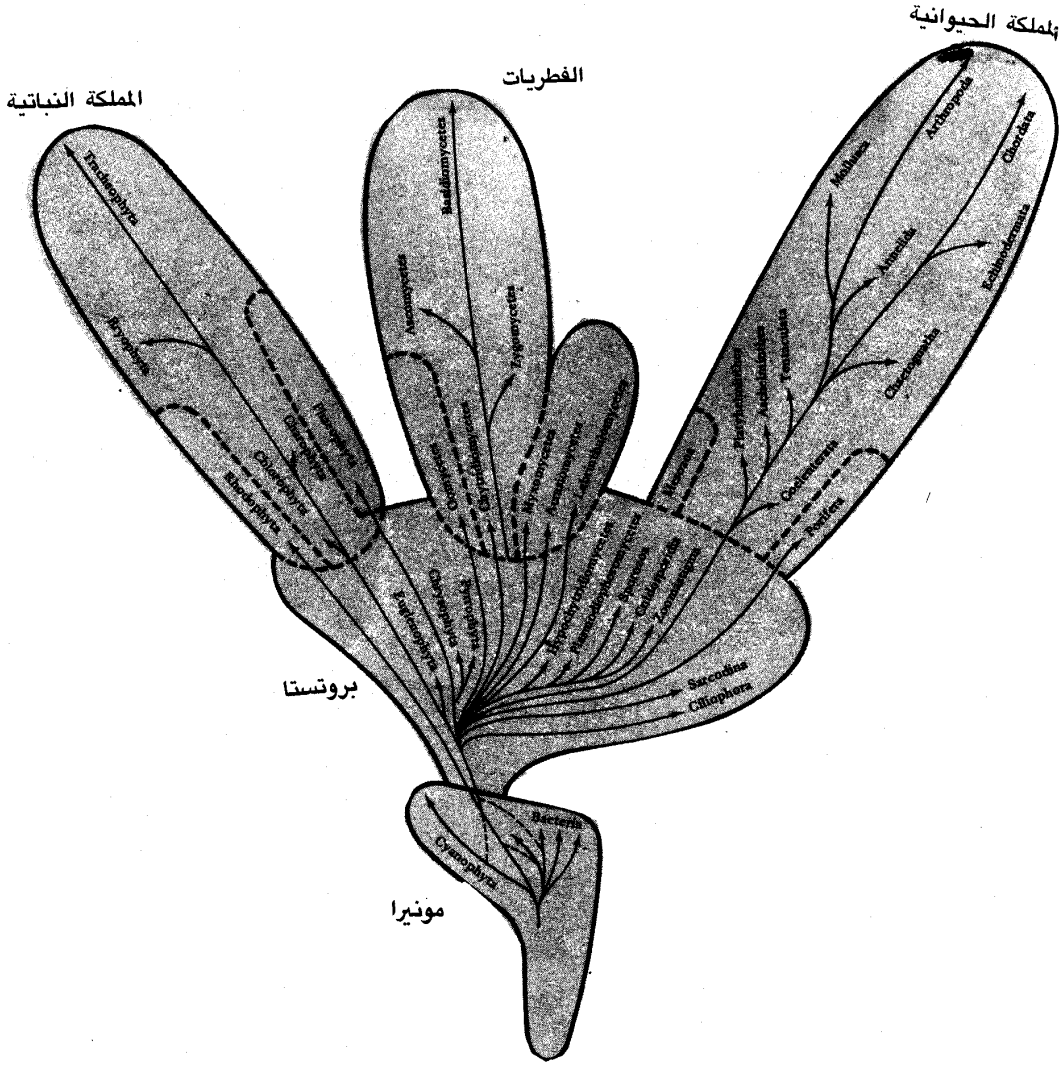
المملكة الحيوانية



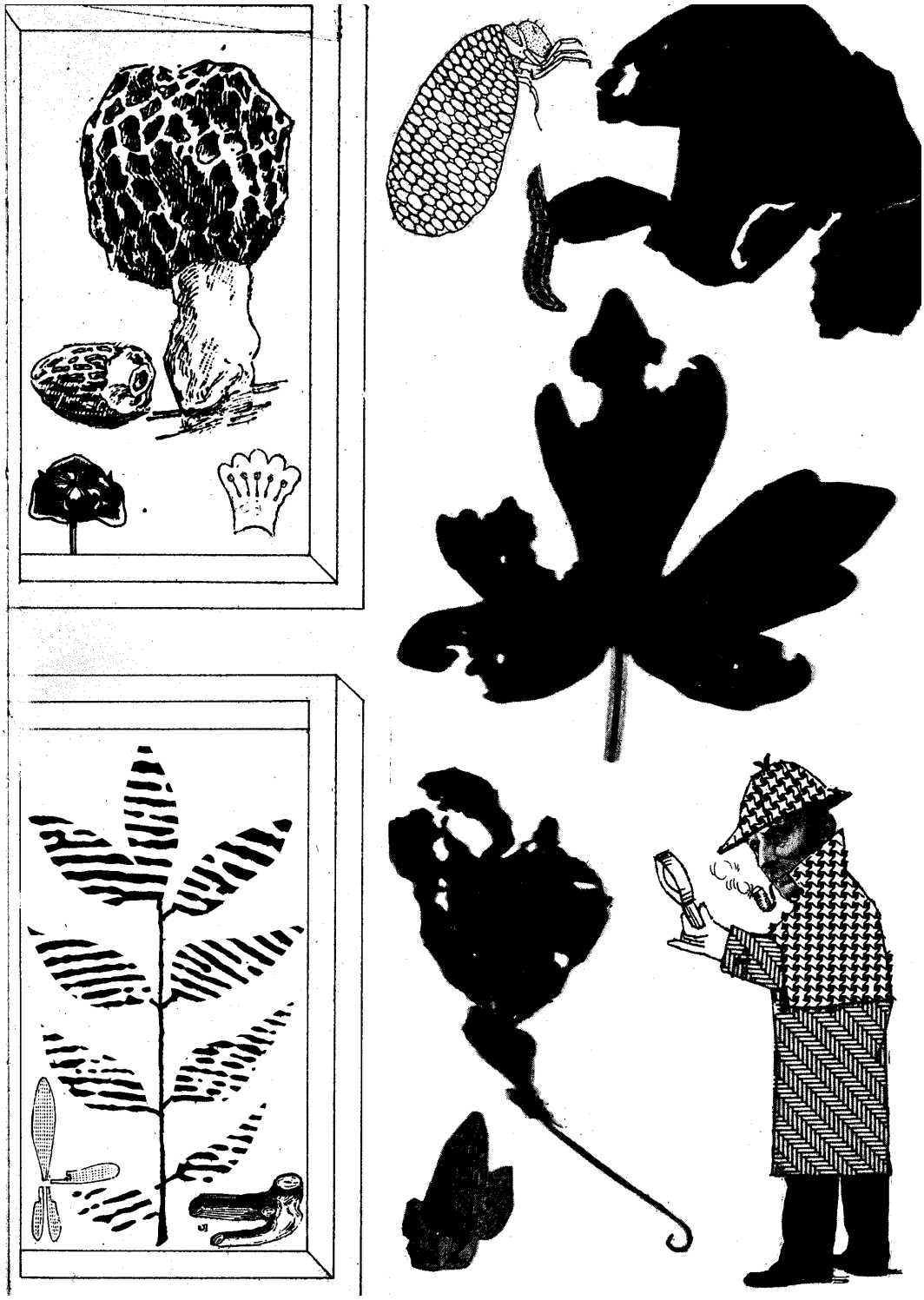
نظام التصنيف المبني على تقسيم الكائنات الحية الى مملكتين فقط



نظام التصنيف المبنى على اساس تقسيم الكائنات الحية الى ٤ ممالك .



نظام تصنيفة وايتكر المبني على اساس تقسيم الكائنات الحية الى ٥ ممالك .



الفصل الحادي عشر

الفطريات والنباتات الدنيا

Fungi and Lower Plants

عندما نفكر بالنباتات تتبادر إلى ذهننا الأشجار والشجيرات وزهور الحدائق والحبوب والمحاصيل والأعشاب المنتشرة حول الطرق . ولكن ليست كل النباتات علىهذه الشاكلة أي لها جذور وسيقان وأوراق وأزهار وبذور مغطاة بغلف صلبة . فهذه النباتات التي ذكرنا قد جاءت متأخرة من ناحية تطورية وقد سبقتها على مدى مئات الملايين من السنين أشكال أخرى أكثر بساطة . لقد بدأت النباتات كما هو الحال بالنسبة للحيوانات في السطوح الدافئة لمياه المحيطات على شكل خلايا منفردة هشة ثم تطورت ببطء تراكيب أكثر تعقيداً مكنتها من المعيشة في بيئات أقل ملائمة إلى أن غزت اليابسة أخيراً.

وسنعالج في هذا الباب والذي يليه أمثلة ومجموعات حية ومنقرضة تمثل هذا التاريخ الطويل . وهناك مجموعة أخرى لها علاقة وثيقة بالنباتات وهي الفطريات . وقد بوبت الفطريات في يوم من الأيام مع النباتات لأنها تشبه النباتات أكثر من شبهها للحيوانات . ولكن الفطريات تختلف عن النباتات في أمور جوهرية أهمها عدم احتواء خلاياها على مادة الكلوروفيل الأمر الذي يجعلها غير قادرة على صنع غذائها بنفسها عن طريق عملية التمثيل الضوئي . ولهذا يميل علماء التصنيف الآن كما لاحظنا في الباب السابق إلى اعتبار الفطريات في مملكة منفصلة عن النباتات والحيوانات لها وظيفتها المميزة في النظم البيئية على سطح الأرض . وسندرس الفطريات هنا بشكل عام قبل البدء في دراستنا التفصيلية للنباتات .

أنه من الصعب أن نحصر جميع النواحي التي تبرز أهمية النباتات . فالنباتات تعتبر المصدر الأساسي الذي يعتمد عليه كل الكائنات الحية الأخرى بشكل مباشر أو غير مباشر . وهي الكائنات التي تجدد الأكسجين الموجود في جو الأرض باستمرار ثم أن بقاياها المدفونة هي التي تجهزنا بالفحم والبترول المستخدمين في إنتاج الطاقة . وبالإضافة على كل هذا فالنباتات تموننا بعديد من المواد الضرورية لحياتنا اليومية كالكيميائيات اللازمة لصنع الأدوية والخيوط اللازمة للألبسة والخشب اللازم للبناء والمطاط اللازم لصنع الأحذية والعجلات .

الفطريات Fungi

تختلف الفطريات عن النباتات في أمرين أساسيين هما خلوها من صبغة الكلوروفيل للقيام بعملية التمثيل الضوئي ونتيجة لذلك اعتمادها على الكائنات الحية والمواد العضوية الميتة كمصدر للغذاء . ونجد في هذه المملكة فطريات رمية saprophytes تعيش على بقايا النباتات والحيوانات الميتة وطفيليات parasites تعيش على حساب النباتات والحيوانات الحية .

ومع أن كلمة فطر تبرز إلى الذهن فكرة المرض والتعفن (صحيح أن كثيراً من النباتات تموت نتيجة للأمراض الفطرية التي تصيبها) إلا أن للفطريات فوائد عديدة . فهي تعمل ككائنات محللة للنفايات إذ تعمل على تفكيك الأجزاء الخضراء منها واعادة المواد الغذائية التي تمتصها في دورات جديدة . وهنانك نوعان من الفطريات المستعملة كطعام شائع هما الكمأ truffle والغوشنة morel وهما غاليا الثمن لمذاقهما الجيد . كما أن هناك فطريات مهمة أخرى كالخميرة المستعملة في صنع الخبز والمشروات الروحية وهناك فطريات تلعب دوراً أساسياً في صننع المضادات الحيوية الطبية .

ويمكن تقسيم الفطريات إلى مجموعتين: الفطريات الغروية والفطريات الحقيقية . توجد الفطريات الغروية في مناطق رطبة كثيفة الأشجار الخشبية حيث تعيش على الجذور المتعفنة أو المواد العضوية . وتتكون هذه الفطريات في حالتها الخضرية من كتل بروتوبلازمية لا جدر خلوية لها تنتشر على شكل الاميبا على المادة التي تعيش عليها . وتتكون أجسام الفطريات الحقيقية من ميسيليوم (غزل فطري) وهو كتلة من الخيوط الهيفية التي تساعد الفطر على الانتشار على السطح الذي يعيش عليه وعلى اختراق المادة التي يتغذى عليها .

وتتكاثر الفطريات عن طريق أنواع صغيرة جداً تنتقل عن طريق الهواء ولكن تختلف التراكيب المسؤولة عن تكوين هذه الأبواغ حسب المجموعة التي ينتمي إليها الفطر الأمر الذي يدعو إلى تقسيم كل قبيلة إلى عدة أقسام متنوعة . والواقع أن معظم الفطريات تكون نوعين من الأبواغ كما قد يصل عدد الأبواغ التي تكونها إلى خمسة أنواع .

الفطريات الغروية Myxomycophyta

تمثل الفطريات الغروية شكلاً بسيطاً جداً وقديماً من أشكال الحياة . ويبدو أنها قد وصلت إلى نهاية مسدودة تطورياً حيث أنها لم تؤد إلى أي أشكال أرقى منها . وأكبر مجموعة تابعة لهذه الفطريات هي المكسومايسيتس أو الفطريات الغروية الحقيقة true slime molds.

الشكل (١١ ــ ١) : المحافظ البوغية للعفن المخاطي *Physarum* . وهي في هذه ، وهي أكثر مرحلة تتميز بالتركيب في دورة حياة الفطر ، فان الفطر المخاطي يبدو غير متجانس وغير متشكل .

تتشكل الفطريات الغروية الحقيقية في طورها الخضري على شكل شبكة بروتوبلازمية مروحية الشكل تسمى بلازموديوم plasmodium. ونتيجة لعدم وجود أي جدار خلوي حول البلازموديوم فإنه يجري فوق المادة التي تعيش عليها متغذياً بالتهام دقائق الطعام .

وعند التكاثر يكون الكائن جداراً خلوياً ويكون ما يسمى بالأكياس البوغية spornagia التي تحتوي على عدة فتحات في جدرها . وتنتشر هذه الأبواغ عن طريق الرياح . وعند

وجودها في بيئات مناسبة تنمو مكونة ٤ جاميتات أحادية الكروموسامت haploid gametes . وتتحد كل اثنتين منها مكونة الزيجوتات التي تكون أطوار البلازموديوم من جديد .

الفطريات الحقيقية Eumycophyta

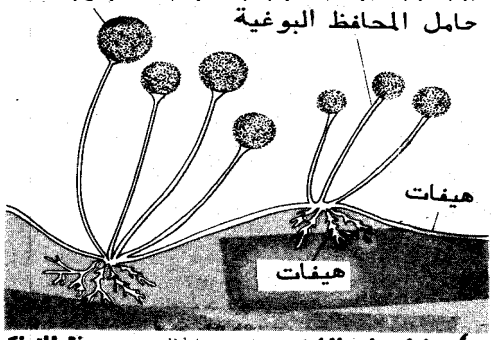
تتكون هذه الفطريات من عدة مجموعات . ولهذه الفطريات عادة تراكيب خاصة للتكاثر محمولة على فروع هوائية من الميسيليوم . ويكون بعضها في وقت من الأوقات جسماً مثمراً متميزاً من الهيفات . وقد يصل هذا الجسم إلى حجم كبير جداً .

وتقسم الفطريات الحقيقية إلى أربعة أقسام تبعاً لاختلافات في طرق تكوين أبواغها . القسم الأول هو الفطريات الطحلبية phycomycetes وتتكون هذه الفطريات من ثالوس بسيط (وهو جسم خضري غير متميز) وليس لها أجسام مثمرة ولكنها تتميز عادة بوجود العديد من الأبواغ القادرة على الحركة وعلى الانتشار الذاتي . والقسم الثاني وهو الفطريات الحقيقة الزقية Ascomycetes وهي تتكون من فطريات أكثر تعقيدا وليس لها أطوار متحركة ولكن لها أجسام مثمرة جنسية لها زقاق asci وهي أكياس بوغية تحتوي في العادة على ٨ أبواغ اسكية . أما القسم الثالث فهو الفطريات الحقيقة البازيدية Basidiomycetes التي لا يوجد لها أ طوار متحركة ولكنا تكون أجساماً مثمرة تحتوي في العادة على ٤ أبواغ تحمل على السطح الخارجي لخلية خاصة تسمى البازيديوم basidium . والقسم الرابع هو الفطريات الناقصة Fungi imperfectil وليس لهذه أي طور جنسي معروف إلا أنه من المحتمل أن تكون معظمها من مجموعة الفطريات الحقيقية الزقية .

ويقدر عدد أنواع الفطريات التي يعتقد بوجودها حالياً بحوالي ٢٠٠,٠٠٠ نوع ولكن لم يوصف منها إلا ما يقارب ٥٠,٠٠٠ نوع . ويكشف من أنواع الفطريات الجديدة ما معدله ٣ أنواع كل يوم . وتعيش الفطريات في ظروف بيئية مختلفة فهي توجد في المناطق القطبية المتجمدة بالاضافة إلى بيئات أخرى أكثر مناسبة مثل المناطق الاستوائية .

الفايكومايسيتات (الفطريات الطحلبية) phycomycetes

تعتبر الفايكومايسيتات أقل الفطريات الحقيقية تعقيداً ، وبهذا فهي أبسطها وتتركب هذه الفطريات من مسيليوم بسيط غير مقسم بجدر داخلية nonsepltate . ويحتوي على عـــدد من النويات multinucleate . والأشكال الأكثر بساطة من هذه الفطريات تعيش في الماء أو الأتربة الرطبة . وتتكاثر معظم هذه الأشكال عن طريق أبواغ حيوانيـــة متحكـــة zoo spores (وهي أبواغ جنسية لها أسواط) كما أن الكثير من هذه الأشكال جاميتات قادرة على الحركة . وفي الأشكال التي تعيش على اليابسة استعيض عن الاتحاد بين جاميتين متحركين بعملية الاتحاد بين جزأين ساكنين من أجزاء البروتوبلازم الفطري .

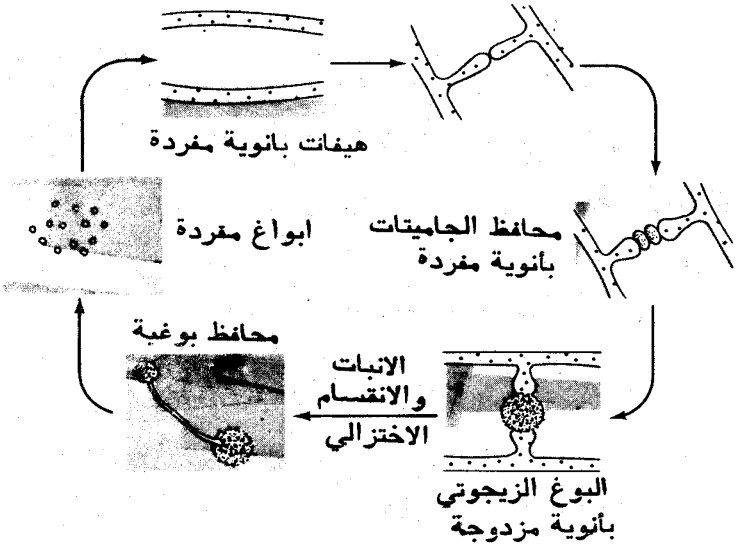


الشكل (١١ ــ ٢) : فطر عفن الخبز *Rhizopus* مبينا التراكيب الفطريـــــة المبدئية الاساسية . ان الهيفات التي تشبه الجذور تخترق الوسط الذي يعيش عليه الفطر ، وتزود بالغذاء وتشكل دعامة .

الفايكومايستيات المتقدمة Rhizopus وهو عفن الخبز المعروف أحد الفايكومايسيتات المتقدمة ويلاحظ هذا الفطر بشكل زغب بني أو أسود على الخبز أو مواد مشابهة كما يمكن أن يعيش معيشة طفيلية على الفواكه كالفراوية . ويتكاثر عفن الخبز بطريقة جنسية أو لا جنسية بدون وجود طور متحرك .

ويشمل التكاثر اللاجنسي تكوين كيس بوغي على نهاية هيفا قائمة تمثـــل مـــا يســـمى بالحامل البوغي sporangiophore . ثم تحاط نواة من الأنوية العديدة الموجودة في الكيس البوغي بجزء من السيتوبلازم مكونة بوغا . وفي النهاية ينفجر الكيس الجرثومي الأســـود الهش مطلقاً أبواغاً عديدة في الهواء حيث تبقع على أوساط غذائية مناسبة فتنمو مكونة عفناً جديداً.

وفي التكاثر الجنسي لعفن الخبز ريزوبس تتماس هيفتان من سلالتين مختلفين في العادة فيحفز هذا التماس نمو بروزات جـــانبية متقابلـــة مـــن كلا الهيفاتين ثم ينفصل كل بروز من



الشكل (١١ ــ ٣) : التكاثر الجنسي في فطر عفن الخبز . لاحظ ان الدور الثنائـــي الكروموسومات هو مختصر جداً وان الجزء الاعظـــم من دورة حياة الفطر هـــــو مفرد الكروموسومات .

الكروموسومات haploid ثم تتحد الجاميتات الأحادية مكونة ما يسمى بـــالبوغ الزيجـــوتي zygospore حيث تندمج النويات بشكل أزواج أي أن كل زوج يندمج مكوناً زيجوتاً . ثـــم ينمو البوغ الزيجوتي مكوناً حاملاً جرثومياً قائماً وتنقسم النويات انقساماً اختزالياً ثم تتكـــون الأبواغ وتنطلق كما هو الحال في التكاثر اللاجنسي .

الفطريات الحقيقية الزقية Ascomycetes

تضم هذه المجموعة فطريات متنوعة منها الخمائر وحيدة الخلية وأنواع كثيـــرة مـــن العفن والبياض ذوات الميسيليومات والأجسام ا لمثمرة الصغيرة بالإضافة إلى أنواع أكبر من الكمأ والغوشنة . ويتم التكاثر اللاجنسي في الفطريات الزقية المثالية عن طريـــق تكـــوين سلسلة من الأبواغ conidia المنتجة على نهايـــات هيفـــات قائمـــة (الحوامـــل الكونيديـــة) conidiopores . أما التكاثر الجنسي فيتم في جميع الأشكال من خلال تكوين مـــا يســـمى

بالزق ascus بعد التحام أعضاء الجنس الموجودة على نهايات الهيفات . ويتكون الزق في أبسط حالاته بدون أي جسم مثمر ولكننا نرى في الأشكال الأكثر تقدماً أن الزق يتكون على أو في داخل أجسام مثمرة خاصة تتكون من الميسيليوم . وقد تتخذ هذه الأجسام المثمرة شكل الصحن أو الفنجان أو الدورق أو الكرة كما قد تختلف حجومها مما يقارب رأس الدبوس إلى أجسام تصل أقطارها إلى عدة بوصات وقد تكون هذه الأجسام صلبة أو جافة أو لينة ولحمية التركيب.

وتتكون الخميرة أساساً من خلايا منفردة وبهذا فليس لها ميسيليوم . وهـــي تتكـــاثر بطريقة التبرعم إذ تتكون خلايا الخميرة الجديدة على شكل براعم تنفصل عن الخـــلايا الأم

الشكل (١١ ــ ٤) فطر الكما الـــذي يؤكـــل والذي يثني عليه الذواقة هو عبارة عن الجسم الثمري للفطر الكيسي .

أو قد تبقى متصلة بها مكونة ما يشبه السلسلة . ويستمر التبرعم ما دام هناك مصدر غذائي موجود (الغذاء المثالي هو رحيق النباتات أو الفواكة المتعفنة).

الشكل (١١ ــ ٥) : الاكياس ضمن الجسم الثمري لفطر كيسي نموذجي .

المتعفنة) . ومن المستحسن ان تكون الظروف الاكسجينية منخفضة لان الخميرة تستطيع المعيشة تحت ظروف لا هوائية مكونة الكحول وثاني اكسيد الكربون كنواتج لتنفسها .

ومن المستحسن أن تكون الظروف الأكسجينية منخفضة لأن الخميرة تستطيع المعيشة تحت ظروف لا هوائية مكونة الكحول وثاني أكسيد الكربون كنواتج لتنفسها .

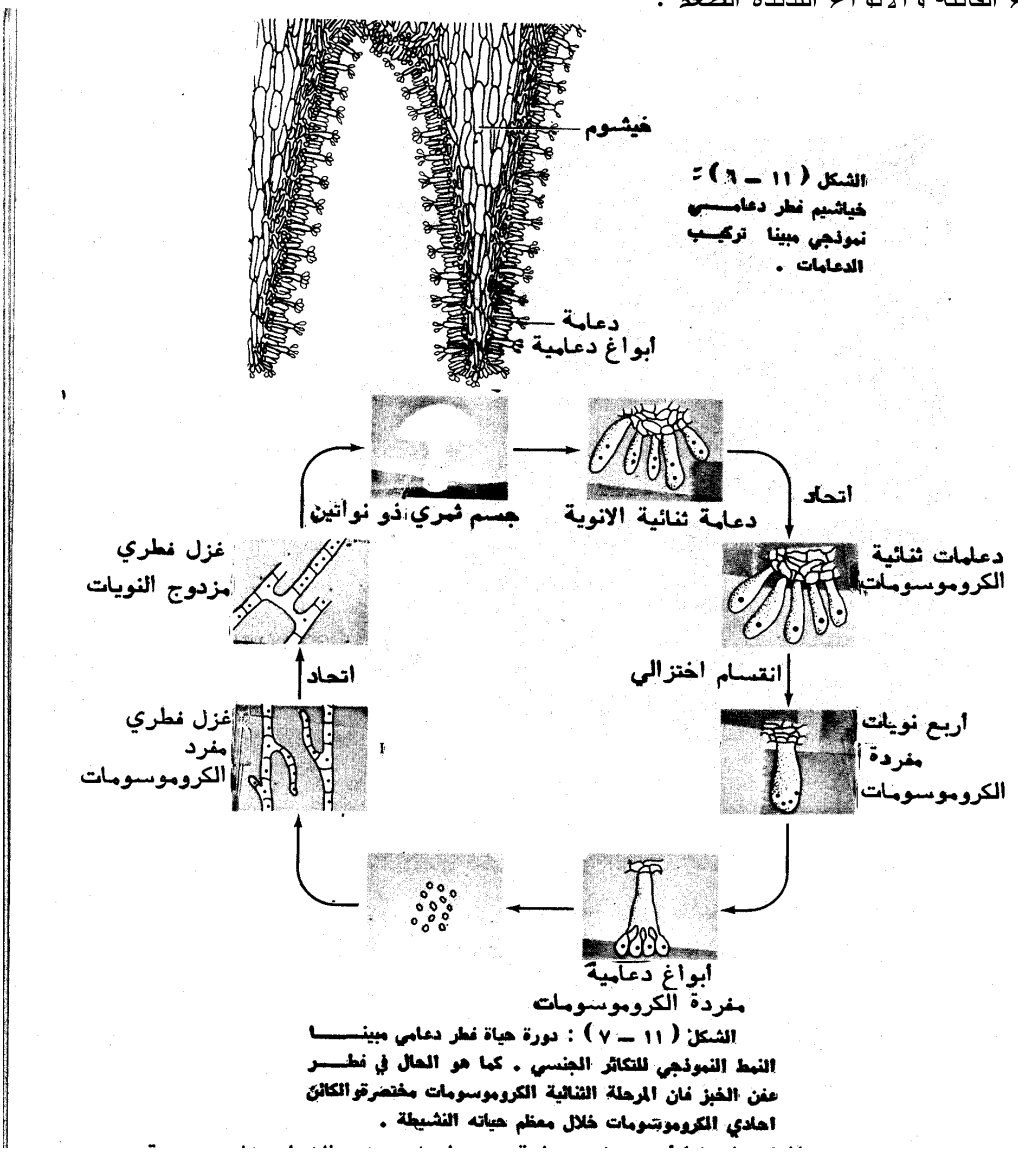
وقد دجنت كثير من السلالات إذ استخدمت في تخمير السكريات لإنتاج المشروبات الروحية .

ولا تتكاثر الخميرة بطريقة جنسية إلا عندما ينتهي الغذاء كلياً . عندها يكون الجدار الخلوي للخميرة زقا وينتج بالانقسام الاختزالي الذي يتم عندئذ ٤ أبواغ زقية . وقد تبدأ هذه الزقاق للتبرعم مكونة مستعمرة من الخلايا لصغيرة أحادية الكروموسومات . وإذا حصل تماس بين الخلايا التابعة لبوغين زقين مختلفين فإن كل زوج يتحد لاسترجاع حالة ثنائية الكروموسومات فتتكون خلايا خميرة ثنائية الكروموسومات لا تلبث أن تبدأ بالتبرعم . ويجب أن نتذكر أن خلايا مستعمرات الخميرة الخضرية هي ثنائية الكروموسومات .

الفطريات الحقيقية البازيدية: Basidiomycetes

تتشمل هذه الفطريات عش الغراب mushrooms والفطر النفاث puffballs وفطريات الرفوف shelfungi والصدأ ruts وفطر السناج smuts وغيرها . وقد أثارت فطريات عش الغراب اهتمام العلماء الطبيعيين والخبراء في اختيار أنواع الأكل منذ مدة طويلة . ويمكن أن توجد عدة أنواع منها في الحقول وفي الغابات . ومع أن معظم هذه

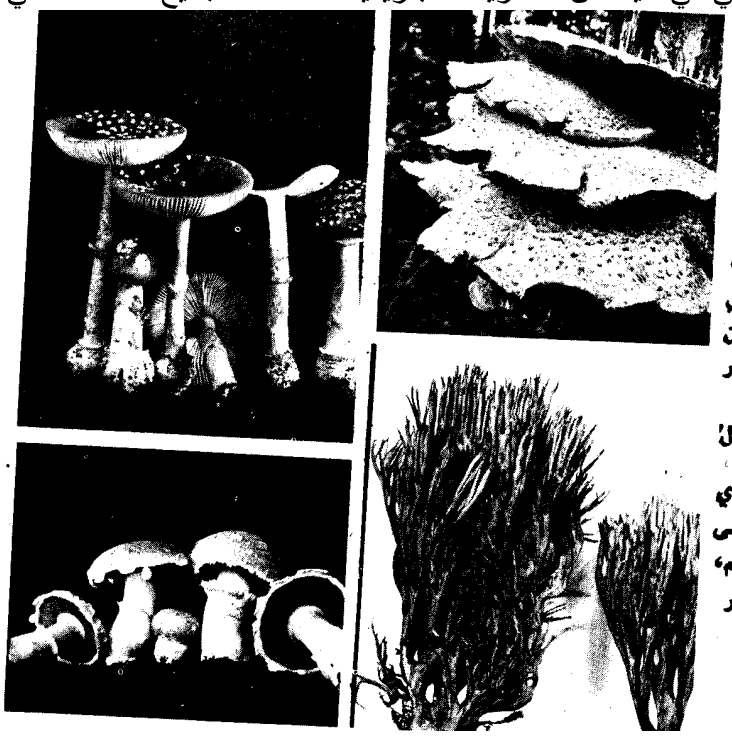
الفطريات صالح للأكل إلا أن منها ما هو قاتل إذا أكل . ولسوء الحظ هناك شبه كبير بين الأنواع القاتلة والأنواع اللذيذة الطعم .



ومن الممكن أحياناً أن نصادف حلقة من فطريات عش الغراب نامية في منطقة عشبية . مثل هذه الفطريات تكون مستعمرة هيفية واحدة تنمو قريباً من الأصل عندما ينتهي المصدر الغذائي في المكان الأصلي . ويمكن تقدير عمر مثل هذه المستعمرة إذا عرفنا معدل النمو السنوي . وقد قدر عمر حلقة من فطر عش الغراب أجاريكس Agericus في

ولاية كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية والتي يصل قطرها إلى ١٨٠ قدماً بحوالي ٢٥٠ سنة .

ويشاهد الطور اللاجنسي في قليل من الفطريات البازيدية فقط. فلـــجميع الأشكال التي



الشكل (١١ ــ ٨) : فطريات دعامية منوعة، مبينا التنوع الواسع في هذه المجموعة . مـــن الاعلى للاسفل الفطـــر المميت *Amanita* ، الفطر الذي يؤكـــل *Agaricus campestris* ، الفطر الهلالي الـــذي يحمل دعاماته علـــى ثقوب بدلا من الخياشيم، *Polydorus* ، الفطر المرجاني *Clavaria* .

تعيش معيشة رمية والتي تشمل الفطر النفاث والفطر الهلالي braket fungi بالإضافة لفطر عش الغراب أجسام مثمرة جنسية كبيرة كالتي تشاهد لفطر الغراب أجـــاريكس كامبســـترس Agaricus campestirs الذي ينمو في الحقول وللفظر المدجن المشـــابه لـــه أجـــاريكس بايسبورس Agaricus bisporus . يبدأ الجسم المثمر للاجاريكس ككـــرة صـــغيرة مـــن الميسيليوم التي تنمو وتستطيل مكونة عنقاً وقبعة مميزين . ويوجد على الســـطح الـــداخلي للقبعة الخياشيم gills المكونة من شبكة من الهيفات وتحتوي كل خلية هيفية علـــى نـــواتين أحاديتي الكروموسومات . وتنتهي الهيفات التي على السطح بخلايا متفرغة تسمى البازيديا basidia حيث تتكون من نهاياتها ٤ بروزات sterigmata (هناك بروزان فقط فـــي حالـــة عش الغراب المدجن) . وتتحد النواتان الكروموسومات ثم تنقسمان اختزالياً وتنتقل كل نواة ناتجة (المجموع ٤ أنوية) إلى أحد البروزات لتكون بوغا بازيديـــة basidiiospore وعنـــد نضج الأبواغ البازيدية تنتشر في الحيوانات ما بين الخياشيم ثم تسقط لتنتقل إلى أماكن أخرى

بواسطة الرياح . ويمكن تكوين (١٠) بلايين (١٠ آلاف مليون) من فرد واحد من فطر عش الغراب .

الاشن: Lichens

تعيش الفطريات عادة أما على مواد حية أو ميتة . وكما وضحنا في الباب السابق توجد الطحالب عادة أما في الماء أو في بيئات رطبة . ولكن نجد أنه عندما تجتمع الفطريات والطحالب معاً في علاقة تكافلية أو تبادلية فانهما يستطيعان العيش على الصخور الجافة وعلى الأتربة والأشجار وتسمى مثل هذه الأشكال التكافلية الاشن أو الاشنات lichen.

يتكون الاشن عادة من فطر زقي وطحلب وحيد الخلية أو أخضر مزرق . وينتج الفطر والطحلب بشكلهما الاجتماعي هذا شيئاً مختلفاً في مظهره كلياً عما ينتجه أي منهما بمفرده . فهما يكونان ثالوساً مسطحاً أو تركيباً سلكياً قائم .

والاشنات مهمة لسببين رئيسين: الأول هو أن هناك اشناتكثيفة جداً مثل أشن غزلان الرنة كلادونيا Cladonia تغطي مساحات شاسعة في المناطق القطبية الشمالية وما تحتها وهذه هامة جداً كمراعي لغزلان الرنة وغيرها من الحيوانات آكلة الأعشاب هناك . والثاني وهو أهمية الأشنات كأول كائنات استعمرت سطوح الصخور المكشوفة الأمر الذي أدى إلى قيامها بتفتيت هذه الصخور وإنتاج التربة اللازمة لمعيشة النباتات .

ويتكون جسم الاشن من كتلة من الهيفات المغزولة المحيطية بخلايا الطحلب . وتنمو الهيفات إلى أسفل وتثبت الثالوس على الصخور أو الخشب أو التربة فتمنع الطحلب من أن تذروه الرياح . ويقدم الطحلب للفطر المواد الكربوهيدراتية التي يكونها عن طريق عملية التمثيل الضوئي ، كما يقوم الثالوس الأسفنجي الشكل بامتصاص الماء من البيئة المحيطة .

ويتم تكاثر الفطر مستقلاً عن الطحلب ولكن لما كان الفطر لا يقدر إلا على المعيشة التكافلية مع الطحلب فإن الأبواغ الزقية التي ينتجها لا تنمو إلا عندما تلتقي بالنوع الخاص من الطحلب الذي تعيش معه . ولما كانت هناك إمكانية كبيرة في عدم حدوث مثل هذا الالتقاء بين الطحلب والفطر فإن للاشن قدرة على التكاثر الخضري ، حيث تنفصل أجزاء صغيرة مكونة من عدد قليل من خلايا الطحلب والفطر فإن للاشن قدرة على التكاثر الخضري ، حيث تنفصل أجزاء صغيرة مكونة من عدد قليل من خلايا الطحالب والفطر وتنتشر هذه الأجزاء بواسطة الرياح إلى مكان آخر تنمو.

النباتات وتصنيفها: Plants and plant classification

من المحتمل أن الناس قد أخذوا يسمون ويصنفون النباتات منذ أن بدأوا يميزون بين النباتات التي تصلح كغذاء وغيرها التي لا تؤكل . ولكن التصنيف الحديث المبني على التاريخ التطوري للنباتات وعلى مميزاتها ومراحل تطورها لم يبدأ إلا في أيام داروين في منتصف القرن التاسع عشر .

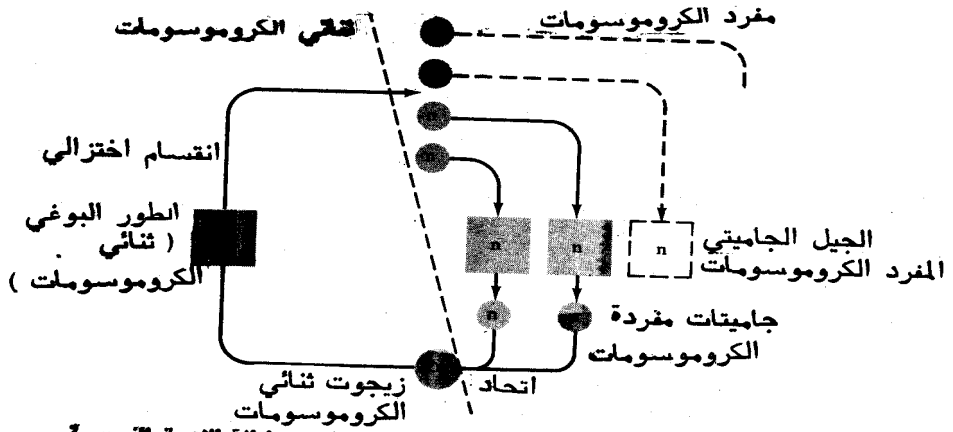
وكثيراً ما يكون مستحيلاً أن نتتبع التدرج المستمر للنباتات من واحد لآخر . فقد ا ستمرت النباتات الحديثة في تطورها بينما انقرضتت اسلافها المشتركة . ولكن يمكن أن نجد بعض الحلقات ا لوسطية المنقرضة حالياً على شكل حفريات في الصخور . ولكن الحفريات النباتية تتكون في الأراضي السبخة ومصاب الأنهاب حيث تترسب المواد باستمرار وتدفن وبهذا تحفظ النباتات الخضراء الساقطة . لهذا فالحفريات تتكون غالباً من نباتات مستنقعية ولعله من الضروري أن يركز كثير من الاهتمام للبحث عن بعض النباتات البرية في الحفريات .

ولكن مع وجود فراغات الترتيب التطوري للنباتات إلا أنها تقسم إلى مجموعات حسب درجة تعقيدها وتحوراتها . ويمكن للواحد أن يقتفي ترتيباً مميزاً للنباتات بدءاً بأبسط المجموعات وهي الطحالب حتى نصل إلى أرقى النباتات وهي النباتات الزهرية . ونجد في هذا الترتيب أن التراكيب الخضرية لكل مجموعة هي أكثر تعقيداً من التي تسبقها وكذلك تتميز المجاميع التي تسبقها . وهناك اتجاه مهم يحتاج إلى بعض التوضيح إلا وهو الدورات التكاثيرة للمجاميع المختلفة .

تعاقب الأجيال: Alternation of generations

من المعروف أن خلايا الحيوانات الثديية هي ثنائية الكروموسومات diploid بمعنى أن نواة كل خلية تحتوي على مجموعتين من الكروموسومات حيث جاءت كل مجموعة من خلية جنسية أحادية الكروموسومات (جاميت) ساهم بها أحد الأبوين . وللجاميتات في هذه الحالة فترة قصيرة جداً ولهذا لا تعتبر كائنات منفصلة . ولكن هذا الأمر لا ينطبق على النباتات .

ينتج النبات البالغ ثنائي الكروموسومات وحدات تكاثرية احادية الكروموسومات (الأبواغ) ولكن هذه لا تتحد مع خلية احادية الكروموسومات لاستعادة حالة ثنائية الكروموسومات . وبدلاً من ذلك فإنها قد تنمو وتنتج نباتاً مستقلاً مفرد الكروموسومات شبيهاً بالنبات ثنائي الكروموسومات أو مختلفاً كلياً عنه .



الشكل (١١ ــ ٩) : تبادل الاجيال ، نموذجي في النباتات . تختلف الاهمية النسبية للمراحل المفردة والثنائية الكروموسومات ، ففي النباتات الواطئة يكون الدور المفرد الكروموسومات في العادة سائدا ، وفي النباتات الراقية يكون الدور الثنائي الكروموسومات سائدا .

اغ

بواسطة الانقسام الاختزالي . ويدعى النبات أحادي الكروموسومات الطور الجاميتي gemetophyte . وعند نضج النبات الجاميتي فإنه ينتج أعضاء تذكير وأعضاء تأنيث . تنتج هذه الأعضاء بدورها عن طريق الانقسام غير المباشر جاميتات مذكرة ومؤنثة وهذه تتحد بعد ذلك لتكون الطور الثنائي الكروموسومات . ثم ينمو الزيجوت المتكون مكوناً نباتاً ثنائي الكروموسومات من جديد .

ولكن لا تمتلك جميع النباتات ظاهرة تعاقب الأجيال هذه بهذا الشكل المبسط جداً . فكثيراً ما يكون أحد الجيلين مختزلاً في حجمه ودرجة تعقيده إلى الدرجة التي تجعله يبقى في حماية الآخر ولا ينفصل عنه . ولكن من ناحية تطورية يمثل هذا الجيل المختزل أحد الجيلين .

ولو تفحصنا الترتيب التطوري لرأينا أن الأهمية النسبية لكل من الجيلين تتغير . ففي الطحالب قد يسود أي من الجيلين أو قد يعيشان معاً بنفس المستوى وأما في الحزازيات وهي أكثر تقدماً فإن الطور الجاميتي يكون هو الجيل السائد . وفي الطريق التطوري المؤدي إلى

النباتات الزهرية نجد هناك أن الطور البوغي ثنائي الكروموسومات هو السائد . وفي النهاية يتقلص الطور الجاميتي إلى المرحلة التي لا يزيد فيها عن عدد قليل من النويات .

الطحالب: Algae

الطحالب هي الكائنات التي تكسب الماء لونا أخضر وهي تعيش على شكل طبقة عشبية في البرك والأنهار البطيئة وهي تكون جزءاً من الأعشاب الموجودة في برك المياه العذبة كما تتكون جميع الأعشاب البحرية من الطحالب . ومع أن معظم الطحالب تعيش معيشة مائية إلا أن هناك عدداً من الأنواع التي تعيش أينما توجد الرطوبة فقد نجدها حتى على جذوع الأشجار . وتختلف حجوم الطحالب حسب أنواعها فهناك أنواع تتكون من أفراد مجهرية وحيدة الخلية ، كما أن تركيب الطحالب على اختلاف أنواعها بسيط إلا أن هذا التركيب يختلف من طحلب لآخر ضمن المجموعة .

أن التركيب الخضري للطحالب متنوع جداً . وقد درسنا الأنواع الطلائعية من الطحالب في الباب السابق وقد تكون الخلايا في أنواع الطحالب الأخرى منفصلة أو متجمعة بدون أن تنقسم إلى عدة خلايا . وتختلف مثل هذه الطحالب المكونة لمدمج خلوي coenocytic في اشكالها من الشكل الكروي إلى الشكل الخيطي . وهناك طحالب أخرى تتكون من كتل خلوية أو خيوط تتجمع مع بعضها لتكون ثالوساً كبيراً . وقد يحصل بعض التمايز في أنسجة هذا الثالوس بحيث تتكون أعضاء بسيطة كالعنق والنصل . ولا تحتوي الطحالب على نسيج صلب للتثبيت كما لا توجد لها أي طرق خاصة لمنع فقدان الماء . ولكن بغض النظر عن ذلك فإن اعناق أعشاب البحر تستطيع أن تكون قوية وقادرة على مقاومة قوى التيارات المائية والأمواج .

ويتم التكاثر في الطحالب بطريقة جنسية أو لا جنسية . ويحصل التكاثر اللاجنسي عن طريق انقسام الخلايا والانفصال كما في الطحالب وحيدة الخلية أو عن طريق التفتت كما في الأنواع الخيطية . أو عن طريق تكوين أبواغ حيوانية سوطية ثنائية الكروموسومات . وفي الأشكال عديدة الخلايا يكون كل بوغ حيواني في النهاية جداراً ويبدأ في الانقسام معطياً نباتاً جديداً . ويحصل التكاثر اللاجنسي عادة عندما تكون الظروف ملائمة للنمو .

ويحصل التكاثر الجنسي عن طريق اتحاد جاميتين احاديي الكروموسومات ويمكن انتاج الجنسين على نفس الثالوس (Homothallic) أو على ثالوسين مختلفين

(heterothallic) وغالباً ما يبدأ الطحالب بالتكاثر الجنسي عندما تسوء الظروف حيث ينتج عن تكوين زيجوت ساكن له القدرة على المعيشة حتى تعود الظروف ملائمة لنمو الطحالب من جديد .

وتصنف الطحالب على أساس التمثيل الضوئي التي تتمتلكها في خلاياها . ومع أن جميعها تحتوي على صبغة الكلوروفيل إلا أنه قد تكون هناك أصباغ أضافية في بعض الطحالب بكميات كافية لاعطاء ألوان أخرى مميزة لها غير اللون الأخضر . ومن حسن الحظ أن الصفات الخضرية والتكاثرية تتناسب مع المجموعات التي صنفت على أساس المحتوي الصبغي وبهذا يصبح اللون صفة مفيدة في التصنيف ومن المحتمل أن تكون هذه المجاميع قد انفصلت من مدة طويلة وأنها أخذت اتجاهاتها التطورية منذ ذلك الحين .

الطحالب الخضراء Chlorophyta

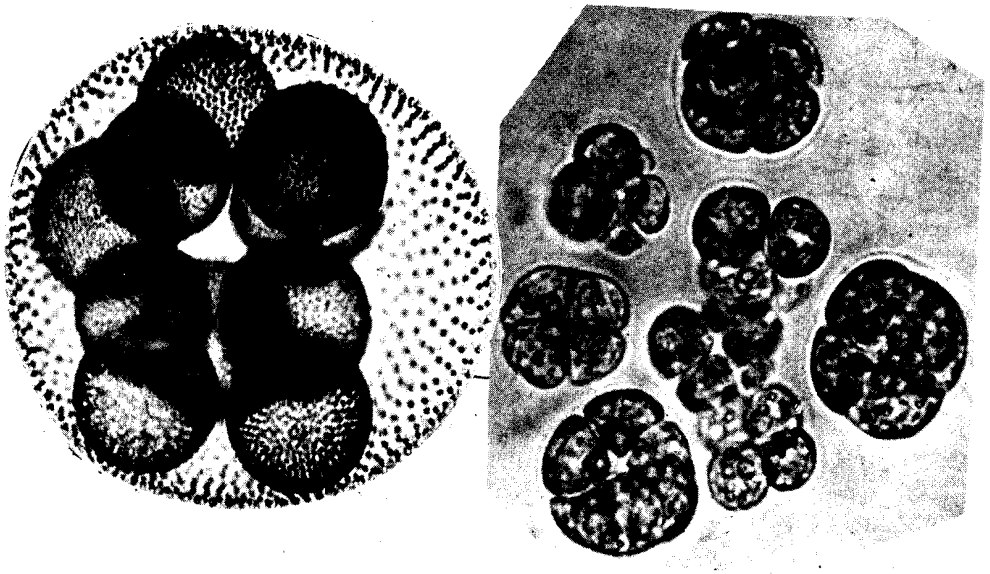
تتخذ الطحالب الخضراء أشكالاً عديدة في تركيبها فهناك الخلايا وهناك الأشكال الخيطية التي تتخذ هيئة طبقات من الخلايا . إلا أن هذه الطحالب لا تصل إلى درجة عالية من التمايز أو إلى حجم كبير إلا على شكل كتل متشابكة من الخيوط . وتوجد هذه الطحالب عادة في المياه العذبة كما قد يعيش بعضها في المياه البحرية الاستوائية وقد توجد بعضها على اليابسة . ولما كان يعتقد أن النباتات العليا قد انحدرت من الطحالب الخضراء فإنه من المناسب أن نفحص مراحل التعقيد في تركيب الأنواع المختلفة .

ويستخدم طحلب الكلوريلا Chlorella وهو طحلب مائي بسيط غير قادر على الحركة في كثير من الدراسات التي تجري في المختبرات . ويتكون هذا الطحلب من خلايا كروية صغيرة محاطة بجدر خلوية بداخلها بلاستيده خضراء فنجانية الشكل ونواة . وتتكاثر هذه الخلايا بطريقة لا جنسية فقط حيث تنقسم الخلية إلى خليتين ثم يتبع هذا الانقسام انفصال الخليتين .

أما الكلاميدومانوس Chlamydomonas فهو طحلب وحيد الخلية قادر على الحركة . وتمتلك كل خلية نواة احادية الكروموسومات وبلاستيدة خضراء وجداراً خلوياً وبقعة عينية حساسة للضوء . وتمكن هذه البقعة العيية الخلية من أن تتجه نحو الضوء اللازم لعلمية التمثيل الضوئي . وفي التكاثر اللاجنسي تنقسم محتويات الخلية بطريقة الانقسام غير المباشر إلى عدة وحدات صغيرة ثم تنفصل هذه الوحدات من جدار الخلية الأم على شكل

أبواع حيوانية لا تلبث أن تنمو إلى خلايا ناضجة . وفي بعض الأحيان يتحد كل زوج من الخلايا الجديدة مكوناً زيوتاً ثنائي الكروموسومات وبهذا يكون التكاثر جنسياً . وعندما ينمو الزيجوت ينقسم انقساما اختزالياً في البداية ثم يتبع ذلك انقسام غير مباشر الأمر الذي يؤدي إلى تكوين أبواغ حيوانية تصبح فيما بعد خلايا كلاميدوماناس منفردة .

وفي المرحلة التالية من مراحل التعقيد الحاصلة في الطحالب الخضراء نجد أن بعض الخلايا المشابهة للكلاميدوماناس تتصل بعضها ببعض مكونة مستعمرات كروية الشكل تترتب فيها الخلايا على شكل طبقة واحدة على الحد الخارجي للمستعمرة . ويحدد عدد الخلايا نوع الطحلب المتكون . ففي أنواع الباندورينا pandorina هناك مستعمرات مكونة من خليتين أو اربع أو ثمان أو ست عشرة خلية .



الشكل (١١ ــ ١٠) : نوعين من الطحالب الخضراء التي تكون مستعمرات : (الى اليسار) مستعمرات باندورينا *Pandorina* صغيرة . الى اليمين ، مستعمرة فولفكس *Volvox* . كل واحدة من النقط المرتبة بانتظام على الكرة الكبيرة هو خلية من المستعمرة ، الكرات الداكنة هي مستعمرات ابنة تتطور ضمن المستعمرة الابوية .

ولكن الخلايا ملتصقة بقوة فيما بينها وتيجه سوطا كل خلية نحو الخارج لاكساب المستعمرة قدرة على الحركة . وفي التكاثر اللاجنسي تنقسم كل خلية إلى عدد من الخلايا مشابهة للعدد المميز للمستعمرة . ثم تنفصل المستعمرات الجديدة وتسبح بعيداً عن المستعمرة الأم . أما في التكاثر الجنسي فتنفصل خلايا المستعمرة إلى وحدات بروتوبلازمية عارية

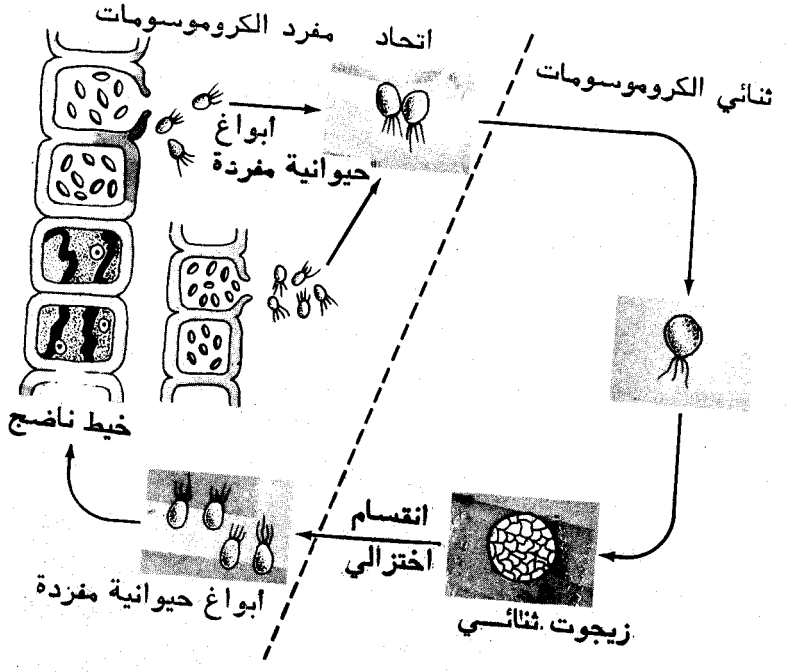
بدون جدار خلوي . وتعمل هذه الوحدات كجاميتات لا تلبث أن تندمج مع غيرها بشكل أزواج . ويأتي كل فرد من أفراد الزوج الجاميتي من مستعمرة مختلفة في العادة . ثم ينقسم الزيجوت المتكون انقساماً اختزالياً مكوناً ٤ نويات تموت ثلاث منها وتبقى نواة واحدة هي التي تنقسم انقساماً غير مباشر لتكون مستعمرة جديدة مكونة من نفس العدد من الخلايا المميزة للمستعمرة الأم .

ويمثل طحلب الفولفوكس Volvox قمة السلسلة التطورية للطحالب الخضراء . وهو مستعمرة كبيرة كروية الشكل فيها عدد قليل من الخلايا المتخصصة للتكاثر . والخلايا التي تتكاثر لا جنسياً هي أكبر حجماً من الخلايا الخضرية . تبرز هذه الخلايا نحو التجويف المركزي المملوء بسائل مائي هلامي بحيث تنقسم كل منها مكونة مستعمرة ابنة . ثم تموت الخلايا الخضرية وتتفتت المستعمرة فتسمح للمستعمرات البنات أن تنتشر . وأما في التكاثر الجنسي فهناك خلايا تذكيرية antherozoids تكون جاميتات مذكرة وتشبه هذه الخلايا التي تتكاثر لا جنسياً إلى حد كبير كما أنها تتكون بطرية مشابهة لها أيضاً إذ تنقسم على خلايا كثيرة لا تلبث أن تنطلق على شكل جيوب تسبح نحو الخلايا الأنثوية . والخلايا الأنثوية هي كبيرة الحجم لا تستطيع الانقسام ولا تكون أسواطاً أبداً . وعند اخصاب هذه الخلايا فإنها تكون مستعمرة كما هو الحال في الباندورينا .

وبدلاً من تكون مستمرات كبيرة ومستديرة بشكل غير عملي فإن الطحلب الأخضر الخيطي المسمى يولوثركس Ulothrix يسكن ويثبت ذاته في قاعدة ثم يبدأ بالانقسام في مستوى واحد . وتوجد معظم أنواع اليولوثركس في الماء العذب وتنمو على شكل لبان خشن . ويظهر كل نبات على شكل خيط رفيع يصعب تمييزه . ويتكون هذا الخيط من سلسلة من الخلايا المنفردة تنمو بالمستوى الطولي عن طريق انقسام أي من الخلايا المكونة لهذه السلسلة . ويتم التكاثر عندما تنقسم محتويات الخلية لتكون خلايا قادرة على الحركة شبيهة بالكلاميدوموناس ، ثم تتحرر هذه الخلايا من خلال الجدار الخلوي للخلية الأصلية . فإذا كان التكاثر لا جنسياً تستقر الأبواغ الحيوانية وتفقد اسواطها وتنمو مكونة خيطاً . ويتم التكاثر الجنسي عن طريق اتحاد الجاميتات مكونة زيجوتاً ساكناً لا يلبث أن ينمو مكوناً أبواغاً حيوانية تتحول إلى خيوط .

وتأتي الخطوة التالي في تطور الطحالب بتكوين أنواع خيطية متفرعة مثل الستيجيوكلونيوم الذي تنمو خيوطه المتفرعة عمودياً وأفقياً على القاعدة . ويتم تكاثر هذا الطحلب بنفس الطريقة التي ذكرناها بالنسبة لليؤلوثركس .

وتأتي المراحل النهائية في درجة التعقيد للتطور الخضري عند تكوين جسم نباتي ثنائي أو ثلاثي الأبعاد . يتكون طحلب الاولفا Ulva وهو طحلب بحري يشبه ورقة الخس الخالية



الشكل (١١ ــ ١١) : دورة حياة اليولوتركس Ulothrix ، مبينا التكاثر الجنسي . ان الابواغ الحيوانية يمكن ان تنمو بشكل لا جنسي لتشكل نباتات مفردة الكروموسومات جديدة ، بدون المرور بالدور الثنائي الكروموسومات .

من العروق من طبقة بسمك خليتين . ويبدأ هذا الطحلب حياته على شكل اليولوثركس ولكن تتكاثر الخلايا جانياً فتكون هذه الطبقة المميزة له . ويتم التكاثر عندما تقوم الخلايا الموجودة على طرف الطبقة الطحلبية باطلاق خلايا زوجية الأسواط تعمل كأبواغ حيوانية أو كجاميتات . وتتحد الجاميتات نامية نحو طحلب الاولفا ثنائي الكروموسومات الذي يشبه الطحلب احادي الكروموسومات تماماً . ويجلبنا هذا الأمر إلى المثال الأول على تعاقب الأجيال في نبات عديد الخلايا ، فقد كان الطور ثنائي الكروموسومات قبل الآن مقصوراً على طور الزيجوت . ويستعاد الطور احادي الكروموسومات لطحلب الاولفا عندما يكون الطور ثنائي الكروموسومات أبواغاً حيوانية عن طريق الانقسام الاختزالي .

وقد وصلت بعض الطحالب الخضراء إلى أحجامكبيرة دون تحويلها إلى كائنات عديدة الخلايا واحتفظ بعضها الآخر بنواة واحدة . ومن المجموعة الأخيرة طحلب الاستيابيولاريا Acetabularia المدعو "زجاجة حورية الماء" والذي هو عنق قائم ينتهي بطرق شبيه بالقرص . ومع أن هذا الطحلب قد يصل طوله إلى عدة لنشات إلا أنه يبقى مكوناً من خلية واحدة منفردة .

الشكل (١١ ــ ١٢): نوعان مختلفان من التكيف في الطحالب الخضراء . أعلى ، الثالوس المتحد الخلايا الرقيق ، تحت، خيوط ذات الخلايا المعلقة. كل واحدة من القطع الطويلة بين عقد الـ Nitella. تعتبر خلية واحدة والتي قد يصل طولها الى٨سم .

وتمتلك طحالب الحشيشة النهرية Stoneworts خلايا ضخمة أيضاً ، فساق النيتيلا Nitella مثلا يتكون من مجموعة من الخلايا المفردة يصل طول كل منها إلى ١-٢

بوصة ، ويوجد كذلك حجر مكونة من خلايا جانبية عند أماكن الاتصال . وتستعمل هذه الخلايا الضخمة في الدراسات التي تجري على الخواص الكهربائية لخلايا النبات .

ويثير طحلب السبيروجيرا Spirogyra وهو طحلب أخضر شائع يعيش طافياً على المياه العذبة ، الاهتمام نظراً لأن له طريقة تكاثر غير عادية . فبدلاً من تكوين خلايا تكاثرية ذات أسواط يقوم بتكاثره الجنسي عن طريق الاقتران ، حيث يكون خيطان قريبان بروزات متقابلة . ثم تلتقي هذه البروزات مكونة أنابيب اقترانية عن طريق اذابة الجدر التي بينها . ثم يستدير البروتوبلاست في كل خلية ثم يهاجر احدها بشكل أميبي من خلال الأنبوبة الاقترانية إلى خلية الخيط الآخر حيث يندمج البروتوبلاستان . ويتكون الزيجوت الذي يسكن خلال فصل الشتاء ثم يبدأ نموه من جديد على بقايا الجدار الخلوي للخيط القديم في الربيع .

الطحالب البنية : Phaeophyta

تشمل هذه الطحالب ما يسمى عادة بالاعشاب البحرية . وهي توحد على الشواطي الصخرية المنتشرة في انحاء العالم وخصوصاً في البحار الباردة . وجميع هذه الطحالب عديدة الخلايا وتحتوي على الكلوروفيل . وتضم أنواعاً تنمو بأطوال قصيرة على الصخور كما تضم أنواعاً تصل خيوطها إلى (١ سم) تقريباً في الطور وأنواعاً أخرى ضخمة كأعشاب الصخور وأعشاب البحر Kelps ويشتق اللون البني الغالب على هذه الطحالب من وجود صبغة كارتينيدية هي الصبغة البنية Pheaophytin.

وتنمو أعشاب الصخور كالفيوكس Fucus والاسكوفيلم Ascophyllum حتى تصل إلى أطوال تتراوح بين ١-٣ أقدام وهي توجد عادة في مناطق المد والجزر حيث تغطيها المياه عندما يكون مستوى المد عالياً وتنحسر عنها المياه عندما يكون مستوى المد منخفضاً . أما أعشاب البحر Kelps ومنها اللامنياريا Laminaria فهي تنمو تحت مستويات المد المنخفضة فقط وقد تتراوح أطوالها من عدة أقدام إلى ما يقرب من ١٠٠ قدم . وتوجد السلالات الطويلة في مياه الشواطيء العميقة خصوصاً على محاذاة الساحل الغربي لأمريكا الشمالية .

ومع أن معظم الأنواع توجد ملتصقة بالصخور إلا أن طحلب السارجاسم Sargassum يعيش طافياً حراً على سطح الماء حيث يووجد على شكل كتل ضخمة في

جزء من المحيط الأطلسي يدعى ببحر السارجاسو . وتعمل هذه الكتل على تكـوين بيئـة مناسبة لحياة كثير من النباتات والحيوانات الدقيقة التي تعيش هناك .

وتقوم الطحالب البنية باستخلاص وتركيز عدد من العناصر الكيميائية من ماء البحر . ونتيجة لذلك فقد استخدمها مزارعو السواحل كسماد نظراً لاحتوائها على كميات كبيرة مـن النيتروجين والبوتاسيوم . كما تستعمل هذه الطحالب كغذاء للإنسان والحيوانات في أجـزاء مختلفة من العالم . وتستعمل مستخلصات عشبة البحر Kelps مع كثيـر مـن الأطعمـة كالبوظة لاعطائها صفة الصلابة إلى حد ما .

الطحالب الحمراء: Rhodophyta

يطلق هذا الأسم على هذه الطحالب نظراً لأن لونها غالباً ما يكون فرنفليـاً (أحمـر ورديا) داكناً . وتتخذ هذه الطحالب أشكالاً كثيرة متنوعة كما أن لها طريقة تكاثر معقدة جداً وهذه الطريقة غير معروفة إلا في حالات قليلة. أما عدد أنواع الطحالب الحمراء فهو يوازي

عد

الشكل (١١ــ ١٢) : اليوثورا *Euthora*، **طحلب احمر .**

تعيش الطحالب الحمراء معيشة بحرية على الصخور في مناطق المد والجـزر وفـي مناطق أعمق . وتتراوح أطوال معظمها من عدة بوصات إلى قدم أو قدمين وقد تتكون هذه الطحالب منخيوط بسيطة أو مركبة قد تكون متفرعة أو شعرية . كما أن بعضها ق يتكـون من خيوط معقدة لها ثالوس مسطح . وتحتوي البلاستيدات الخضراء الموجودة فـي هـذه

الطحالب على أصباغ الفايكوبيلين Phycobilins بالاضافة للمادة الخضراء والكاروتيندية . ويؤدي وجود هذه الأصباغ إلى اعطاء ألوان متنوعة لهذه الطحالب كالأخضر الطيني والبني المحمر والأحمر القرنفلي الداكن الأسود حسب نوع الطحلب وظروف معيشته .

ولبعض الطحالب الحمراء القدرة عل استخلاص الكالسيوم من الماء وعلى ترسبيه على سطح النبات وبهذا يتكون للنبات هيكل خراجي فيظهر النبات شبيهاً بالمرجان في شكله ولمثل هذه الطحالب أهمية في تكوين الشعب المرجانية وبعض الصخور الكلسية .

وتستعمل الطحالب الحمراء كغذاء مهم لشعوب بعض البلدان الاسيوية . كما يستخدم الطحلب الأيرلندي المسمى Chondrus الذي يوجود على الشواطئ الصخرية في أوروبا وأمريكا الشمالية كطعام أيضاً . وهو يجمع لاستخلاص المواد الكربوهيدراتية المستخدمة في كثير من الأطعمة لأكسابها صفة الصلابة . وما الاجار Agar المستعمل كوسط لزراعة البكتيريا إلا مستخلص جيلاتيني نحصل عليه من الطحلب الأحمر المسمى جيليديوم Gelidium.

الحزازيات: Bryopyta

تمثل الحزازيات المنبطحة Liverworts والقائمة mosses أبسط مجموعة نباتية تمكنت من الانتقال من البيئة المائية إلى بيئة يابسة . تغطي الحزازيات القائمة عادة الأراضي والمناطق الظليلة حيث تكون التربة سطحية غير منانسبة لمعيشة النباتات الكبيرة . وفي بعض الأحيان تتنافس هذه الحزازيات مع النباتات الأكبر منها عندما تكون الظروف مواتية . وتكون هذه الحزازيات في الظروف المثالية سيقاناً خضراء قصيرة قائمة وأوراقاً صغيرة جداً . ونادراً ما يصل طول الحزازيات القائمة إلى أكثر من بوصة واحدة . أما الحزازيات المنبطة فلها ثالوس أفقي منفرع وهي توجد في الأماكن الرطبة . ولا يوجود لأي من الحزازيات المنبطحة أو القائمة أي نسيج وعائي أو كيوتكيل كثيف يمنع فقدان الماء فهي تعتمد على البيئة لحفظ كمية كافية من الماء في أنسجتها .

وتمتلك الحزازيات بالاضافة إلى تركيبها الخضري الأكثر تعقيداً من تركيب الطحالب الخضراء تركيباً تكاثرياً أكثر تعقيداً أيضاً . فهي تحتوي على أعضاء جنسية عديدة الخلايا ممثلة في الانثرويديا antheridia التي تنتج خلايا انثريدية antherozoids (خلايا تذكير) والارشيجونيا. التي تنتج خلايا بيضية egg cells وبعد عملية الاخصاب يحفظ الجنين في الارشيجونيوم حيث يحصل على غذائه من النبات الأم .

ويحصل تعاقب الأجيال في كثير من الطحالب ولكن ليس في كلها . ولكن هذه الظاهرة تبرز بشكل واضح في جميعا نباتات اليابسة البدائية حيث تتبادل الأجيال أحدية الكروموسومات (الطور الجاميتي) مع الأجيال ثنائية الكروموسومات (الطور البوغي) . والجدير بالذكر أن هذين الطورين غير متشابهين كلياً . والطور السائد في الحزازيات هو الطور الجاميتي ، أما الطور البوغي فيبقى متصلاً بالطور الجاميتي حيث يعيش معيشة طفيلية عليه . وهذا الأمر على عكس ما هو عليه في النباتات الأكثر تطوراً والتي تتميز بطورها الجاميتي البسيط والصغير الحجم الذي يعيش معيشة طفيلية على الطور البوغي .

ولا يبد أن مثل هذا التغيير الكبير في سيادة الأجيال قد حصل نتيجة للتطور . فمن الممكن أن تكون الحزازيات قد تطورت عن طريق تحور حصل في الجيل أحادي الكروموسومات لطحلب أخضر مختلف عن الطحلب الأول . ولهذا فالحزازيات هي مجموعة بسيطة معزولة وقد تمثل هذه النباتات الطبيعية الممكنة للنباتات الأولى التي استعمرت الأرض .

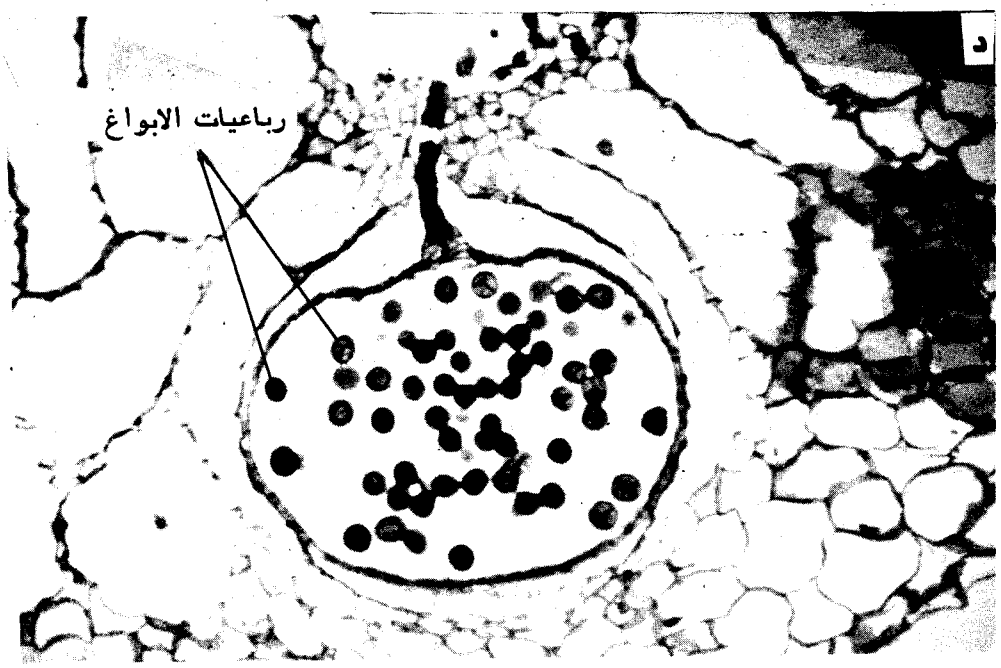
الحزازيات المنبطحة : Liverworts

للحزازيات المنبطحة مسطح له وجهان احداهما علوي والأخر سفلي . وتوجد الأعضاء الجنسية على السطح العلوي كما تنمو تراكيب تشبه الجذور rhizoids من السطح السفلي للثالوس وتعمل هذه التراكيب على تثبيت النبات في التربة .

وفي الحزازيات المنبطحة البسيطة كالريشيوكاربس Riccioarpus والريشيا Riccia توجد الأعضاء الجنسية في أخاديد على السطح العلوي للثالوس . فالارشيجونيوم تكون على شكل دورق مغمورة في الثالوس وتحتوي على بيضة كبيرة في الجزء السفلي منها . أما الأنثريديوم فهو بيضوي الشكل ويتكون من خلايا تذكير لا تلبث أن تنطلق عندما تنفجر الانثريديوم .

وتسبح خلايا التذكير في الماء الموجود في الاخاديد ثم في المادة الهلامية mucilage الموجودة في عنق الارشيجونية إلى أن تصل إلى خلية البيضة . ثم تخصب أحدى خلايا التذكير البيضية وتكون الزيجوت ثنائي الكروموسومات الذي لا يلبث أن ينقسم مكوناً كتلة من الخلايا التي يغذيها الطور

الشـــكل (١١ ــ ١٤) :
تراكيب حزاز الصخر (بقلة الكبد)
(أ) ثالوس الماركانتيا مبينـــا المستقبلة الانثوية المتعددة الافـرع والبراعم الكوبية ؛ مقطع عرضي في (ب) الانثريديا (ج) اركيجونيـا الماركانتيا (د) كبسولة الركسيـا Capsule of Riccia مبينا رباعيـات الابواغ المتكونة بعد الاخصاب ، خلايا قناة العنق في الاركيجونيـا تتحلل في وقت الاخصاب تاركـة ممرا مملوءا بالمادة المخاطية تسبح فيه الابواغ المذكرة لتصل الـى البيضة .


د
رباعيات الابواغ

خلية البيضة
خلايا قناة العنق
عنق
جـ

الجاميتي . وما أن يتمايز الجنين حتى ينتج خلايا أمية بوغية Spore mother cells تنتج كل منها بوغياً رباعياً Spore tetrad يتكون من ٤ أبواغ أحادية الكروموسومات . ثم تنتشر الأبواغ عندما يتحلل جسم الثالوس الجاميتي .

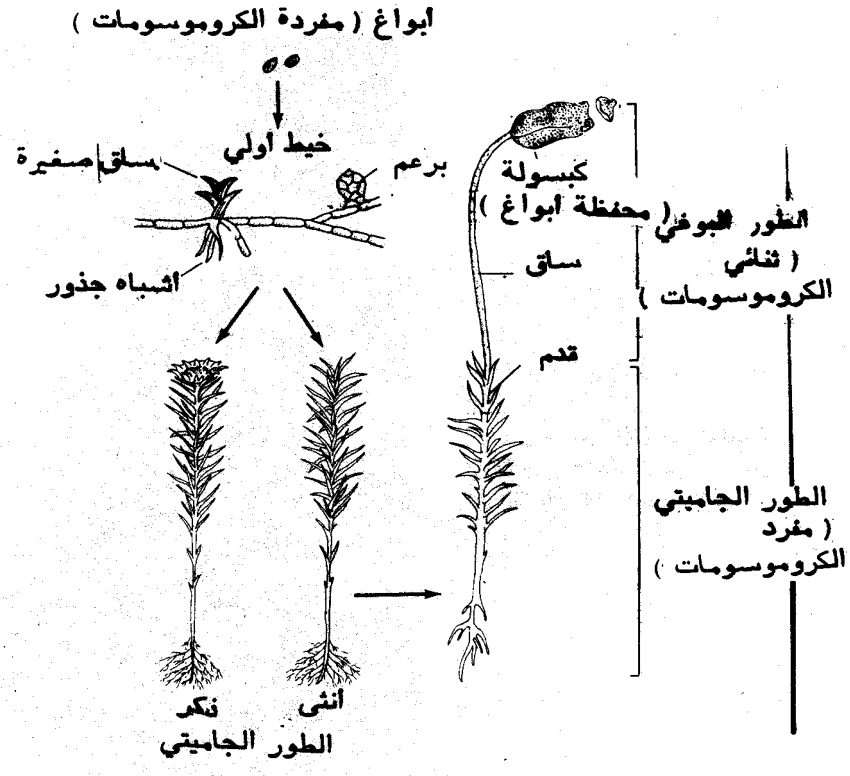
أن معظم الحزازيات المنبطحة هي أعقد في تركيبها من الريشيا . ويتميز الطور البوغي فيها إلى ثلاثة أجزاء متميزة : القدم وهو الجزء الذي يمتص الغذاء من الطور الجاميتي والعنق Stalk or seta والصماد capsule الذي يحتوي على الأبواغ .

وتحمل الماركانتيا Marchantia وهي ذات ثالوس أخضر عريض أعضاؤها الجنسية على تراكيب خاصة ذات أعناق تدعى التخوت receptacles لهذا فالاعضاء الجنسية هنا توجد في مستوى فوق الثالوس فإذا كان النبات ذكراً فإنه يحمل ثخوتاً ان ارشيحونية . وعند انفجار الانثريديا تنتشر خلايا التذكير عن طريق رذاذ الماء إلى النباتات الأنثوية المجاورة . ويتم الاخصاب قبل استطالة العنق الأنثوي . ويستطيل العنق عندما يبدأ الجنين بتمييزه إلى قدم وعنق وصماد . وبهذا يحمل العنق المستطيل الجنين المتكون فوق الثالوس . تم تمييز محتويات الصماد إلى خلايا أمية بوغية لا تلبث أن تكون أبواغاً رباعية والاتيرات elaters وهي تراكيب خاصة لانتشار الأبواغ . وعند نضج الأبواغ ينفتح الصماد وتدور الالتيرات نتيجة لتغير نسبة الرطوبة في الجو وبهذا فإنها تؤدي إلى تحرير الأبواغ من الصماد ثم ، حملها الرياح إلى مناطق بعيدة .

وتتكاثر الماركانتيا بطريقة لا جنسية أيضاً كما هو الحال بالنسبة لكثير من الحزازيات المنبطحة عن طريق تكوين كريات خاصة تتكون من خلايا خضرية تسمى الجيمات gemmae وتتكون هذه الجيمات من تراكيب تشبه الكؤوس في أشكالها تكون محمولة على السطح العلوي للثالوس . وتنتشر هذه الجيمات عن طريق قطرات المطر التي ترش في التراكيب الكاسية وتنمو مباشرة مكونة ثالوسات جديدة .

الحزازيات القائمة: Mosses

مع وجود شبه كبير بين الحزازيات القائمة والمنبطحة من حيث دورة الحياة والنظام التكاثري إلا أن الحزازيات القائمة تختلف عن المنبطحة في تركيبها الخضري.



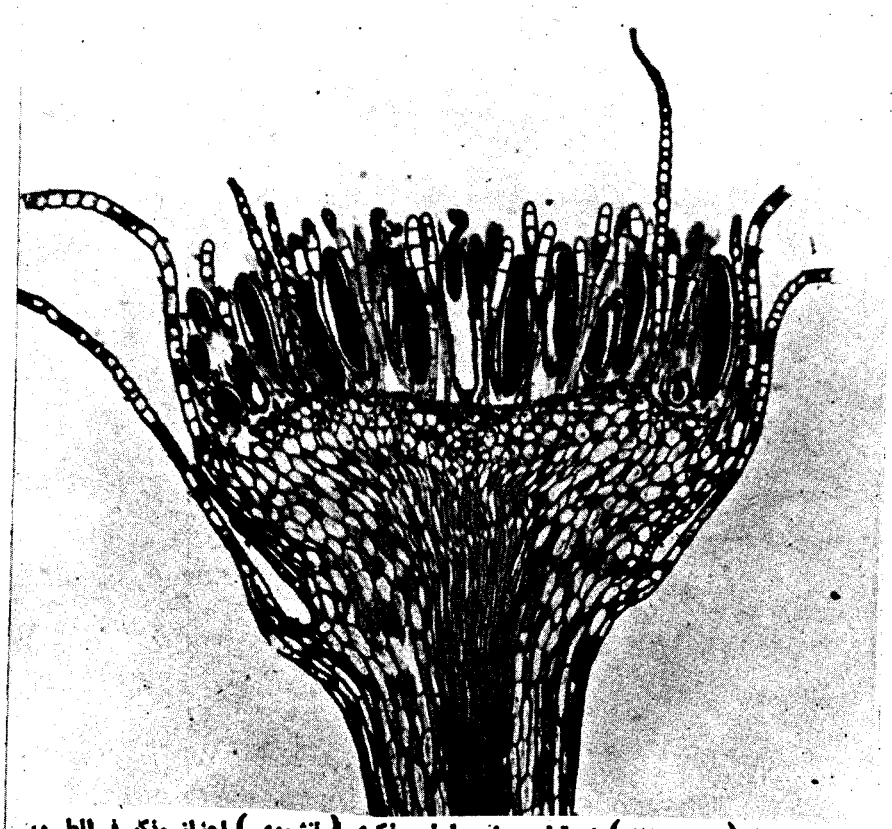
الشكل (١١ ــ ١٥) : مراحل في دورة حياة الحزاز .

فهي (اي الحزازيات القائمه) شعاعيه التماثل إذ تبرز اورافها من جميع جوانب الساق الانبوبي . ومن ناحية ثانية تنمو ساق الحزازيات القائمة إلى اعلى بشكل شبه عمودي ولو أن سيقان بعض الأنواع كحزاز المستنقعات سفاجنام Sphagnum تميل إلى النمو المبطوح . وهناك وجه اختلاف أساسي ثالث وهو أن الأبواغ النامية في الحزازيات القائمة لا تنمو مباشرة إلى ساق ورقية وإنما تنمو إلى خيوط متفرع عديد الخلايا شبيه بخيوط الطحالب يدعى بالخيط الأولى Protonema . ويمكن مشاهدة مثل هذه الخيوط الأولية على تربة أصص الزهور التي تحفظ في مشاتل النباتات الرطبة . وتحمل هذه الخيوط الأولية براعم تنمو مكونة السيقان الورقية المميزة للحزازيات القائمة البالغة . وتحمل السيقان القائمة جذيرات في قواعدها لامتصاص الغذاء والماء من التربة .

وتحمل السيقان عند تكامل نموها أعضاء التكاثر الجنسي على قيمها، وتكون هذه

الشكل (١١ ـ ١٦) :منبت لحزاز الـ مبينا الى الاسفل الاطوار الجامیتية المورقة والى الاعلى السيقـــان والمحافظ البوغية للاطوار البوغية.

الأعضاء الجنسية محاطة بمجموعة كثيفة من الأوراق . وتتكون الانثريديات والارشيجونيات أما على نباتات منفصلة أو على أغصان منفصلة لنفس النبات تبعاً للنوع قيد الفحص . وتأخذ الانثريديات التي لها أعناق شكلاً متفرعاً أما الارشيجونيات فهي تشبه الدوارق في أشكالها حيث يكون لها عنق طويل . وتوجد الخلية الممثلة للبيضة في قاع الارشيجونيوم كما هو والحال في الحزازيات المنبطحة . ويمتص الانثريديوم الماء عند نضجه ثم ينفتح وينفجر مطلقاً خلايا التذكير التي تنتقل أما عن طريق رشاش الماء إلى رأس الارشيجونيوم أو عن طريق ساقها مباشرة في الأنواع التي تنمو قريبة من سطح التربة . ثم تسبح هذه الخلايا التذكيرية من خلال عنق الارشيجونيوم وتخصب البيضة وبهذا يبدأ جيل الطور البوغي الثنائي الكروموسومات . ثم يتميز هذا الطور إلى قدم وعنق وصماد . ومع أن الطور البوغي ما زال متصلاً بالطور الجاميتي إلا أنه قادر على القيام بعملية التمثيل



الشكل (١١ ــ ١٧) : مقطع عرضي لراس ذكري (انثريدي) لحزاز مذكر في الطـور الجاميتي . (لاحظ كتلة من الابواغ الذكرية تهرب من احد الانثريديات .)

الضوئي الأمر الذي يجعله يعتمد جزئياً على الطور الجاميتي في الحصول علـــى غذائـــه . وتتكون الأبواغ الرباعية في صماد الطور البوغي . ويوجد في طرق الصماد عدة صفوف من الأسنان المتصلة بعضها ببعض من الأطراف . فعندما يجف الصماد تنفتح هذه الأسنان الأمر الأذي يؤدي على اهتزاز الأبواغ بواسطة الريح . ثم تنمو الأبواغ المنتشرة إلى خيوط أحادية الكروموسومات تمثل الطور الجاميتي وبهذا تكتمل دورة حياة أحد الحزازيات القائمة.

أن الاختلاف الأساسي بين النباتات الدنيا والراقية هو وجود النسيج الوعائي لأن هـــذا النسيج يحدد إلى حد كبير الدرجة التي يمكن على أساسها أن يتقدم النبات . وقد درسنا فـــي هذا الباب النباتات الدنيا اللاوعائية . وسندرس في الباب التالي ا لنباتات الراقية التي تضـــم أشكال النباتات السائدة على سطح الأرض الآن .

ملخص الفصل الحادي عشر

عندما نفكر بالنباتات تتبادر إلى ذهننا الأشجار والأعشاب والمحاصيل الزراعية التي لها جذور وسيقان وأوراق وأزهار وبذور . وفي الحقيقة أن مثل هذه النباتات قد جاءت متأخرة من ناحية تطورية قد سبقها اشكال أبسط منها على مدى مئات الملايين من السنين . وقد بدأت النباتات كخلايا مفردة هشة في الطبقات السطحية الدافئة لمياه المحيطات البدائية ثم بدأت بتطوير تراكيب معقدة بشكل بطيء الأمر الذي أدى نهائياً إلى غزوها لليابسة .

وتختلف الفطريات عن النباتات في أنها لا تحتوي على صبغة الكلوروفيل ولهذا فإنها تعتمد على المواد العضوية كغذاء . وتسمى الفطريات التي تعيش على بقايا النباتات والحيوانات الميتة بالفطريات الرمية saprophytes وتدعى الفطريات التي تعيش على حساب النباتات الحيوانات بالفطريات المتفطلة parasites وتضم الفطريات مجموعتين هما الفطريات الغروية Myxomycophya slime molds والفطريات الحقيقية Eumycophyta وتنقسم الفطريات الحقيقية إلى (٤) مجاميع حسب طريقة تكوين الأبواغ . فالفطريات الحقيقية الطحلبية مثل عفن الخبز المعروف هي أقل الفطريات الحقيقية تعقيداً وهي تتميز بأن لها ثالوساً بسيطاً وعدداً من الأبواغ القادرة على الحركة ولكن ليس لها أي أجسام مثمرة وتتميز الفطريات الحقيقية الزقية التي يوجد منها ما هو وحيد الخلية كالخميرة وما هو أكبر من ذلك كفطريات الكمأ truffles بعدم وجود طور متحرك ويوجد جسم جنسي مثمر وأكياس بوغية تدعى زقاق . أما الفطريات البازيدية التي تضم فطريات عش الغراب فليس لها طور متحرك وتنتج جسماً مثمراً يحمل أبواغاً خارج خلايا خاصة تدعى البازيديات .

والفطريات الناقصة هي فطريات حقيقية ليس لها طور جنسي معروف . وعندما تتحد الفطريات والطحالب وحيدة الخلية في تكافلية فإنها تستطيع أن تعيش على الصخور الجافة وعلى التربة وجذوع الأشجار وفي أماكن أخرى غير متوقعة . وتدعى هذه الأشكال المتكافلة المتكونة عادة من فطر زقي وطحلب أخضر أو أخضر مزرق وحيد الخلية آشن .

وتقع أهمية الآشن في أنها تعمل كمراع للحيوانات آكلة الأعشاب وفي أنها تساهم في عملية تفتيت الصخور التي تنتج التربة اللازمة للنباتات الأخرى . وتستطيع الاشن أن تتكاثر خضرياً عندما تنقسم منها أجزاء صغيرة وتنتشر في أماكن أخرى جديدة حيث تنمو .

وتتبع الدورة التكاثرية لمعظم النباتات سلسلة من التغيرات تعرف بتعاقب الأجيال . ينتج النبات الناضج ثنائي الكروموسومات وهو الطور البوغي وحدات تكاثر أحادية الكروموسومات (أبواغ) والأبواغ هذه أما أن تتحد مباشرة مع خلايا أخرى أحادية الكروموسومات لاستعادة الحالة ثنائية الكروموسومات أو أن تنمو مكونة نباتاً منفصلا أحادي الكروموسومات وهو الطور الجاميتي . وينتج الطور الجاميتي الناضج أعضاء تذكير وتأنيث وهذه بدورها تنتج جاميتات مذكرة ومؤنثة تندمج بعهضا ببعض لاستعادة الحالة ثنائية الكروموسومات . وفي النهاية ينمو الزيجوت المتكون مكوناً نباتاً جديداً ثنائي الكروموسومات .

وكلما تقدم النبات في السلم التطوري يميل الطور البوغي إلى أن يصبح أكثر سيادة على الطور الجاميتي . ويسمح النظام التصنيفي الحديث للنباتات المبني على أساس العلاقات التطورية بينها باقتفاء التسلسل التطوري للنباتات من أكثرها بساطة وهي الطحالب إلى أكثرها تقدماً وهي النباتات الزهرية حيث نرى أن كل مجموعة تتميز بتركيب خضري أكثر تعقيداً من التي قبلها كما أن كل مجموعة متقدمة تحافظ على الأدوار الجنينية بشكل أفضل من التي سبقتها .

والطحالب كائنات بسيطة نسبياً تتراوح في حجمها من حجم خلية واحدة مجهرية إلى حجم الأعشاب البحرية العملاقة التي قد تصل في طولها إلى ١٠٠ قدم . وتتكاثر الطحالب بطريقة جنسية أو لا جنسية . وغالباً يبدأ التكاثر الجنسي عندما تسوء الظروف حيث ينتج الجنسان على نفس النبات أو على نباتين مختلفين . وتصنف الطحالب حسب أصباغ التمثيل الضوئي الموجودة فيها . فتوجد الطحالب الخضراء Chlorophyta عادة في المياه العذبة ويعتقد أنها تكون تطورياً الاسلاف التي جاءت منها النباتات الراقية . والكلوريلا Chlorella هو طحلب أخضر مائي بسيط وهو غير قادر على الحركة . يتكاثر هذا الطحلب بطريقة لا جنسية بانقسام الخلية وانفصال الخليتين الناتجتين أحداهما عن الأخرى . والكلاميدومانوس

Chlamydomonas هو طحلب أخضر وحيد الخلية الخلية قادرة على الحركة . ويتكاثر هذا الطحلب أما بطريقة جنسية أو لا جنسية . ونصل إلى المرحلة التالية في التعقيد الطحلبي عندما تتحد خلايامشابهة للكلاميدومانوس مع بعضها مكونة مستعمرات كروية الشكل تترتب فيها الخلايا على الحدويد الخارجية للمستعمرة بشكل طبق طبقة واحدة . ويمثل الفولفوكس Volvox قمة هذه السلسلة التطورية إذ يتكون من مستعمرة كروية الشكل كبيرة تحتوى على عدد قليل من الخلايا المتخصصة في التكاثر .

وتستقر الطحالب الخيطية الخضراء كاليولوثركس Ulothrix وتثبت نفسها على القاعدة التي تعيش عليها . وتنقسم هذه الطحالب في مستوى واحد . وللطحالب الخضراء الخيطية المتفرعة كالستيجيوكلونيوم Stigeoclonium خيوط متفرعة تنمو عامودياً وأفقياً على القاعدة . ويمكن أن تصل إلى المراحل الأخيرة من مراحل التعقيد في النمو الخضري عندما تعطي الانقسامات الجانبية للنباتات جسماً ثنائي الأبعاد أو ثلاثيها . أن أول مثال على ظاهرة تعاقب الأجيال في النباتات عديدة الخلايا يحصل عندما لا تصبح الحالة ثنائية الكروموسومات مقصوة على الزيجوت .

وتشمل الطحالب البنية الأعشاب البحرية والأعشاب الصخرية وأعشاب البحر . وجميعها عديدة الخلايا وتحتوي على صبغة الكلوروفيل ، كما تشتق لونها من صبغة كاروتينيدية هي الفيوفايتين . أما الطحالب الحمراء التي تضم أعداداً كثيرة من الأنواع فجميعها تقريباً يعيش معيشة بحرية . كما تظهر هذه الطحالب تنوعاً كبيراً في الشكل واللون ، وهي تستعمل كمصدر غذائي لكثير من الشعوب الأسيوية .

وتمثل الحزازيات المنبطحة والقائمة أبسط مجموعة نباتية استطاعت الانتقال من الماء إلى اليابسة . وهي أعقد من الطحالب في تراكيبها الخضرية والتكاثرية . ويظهر تعاقب الطور الجاميتي (أحادي الكروموسومات) مع الطور البوغي (ثنائي الكروموسومات) واضحاً في نباتات اليابسة البدائية . وفي الحزازيات يعيش الطور البوغي متطفلاً إلى حد كبير على الطور الجاميتي السائد . أما في النباتات الراقية فإن هذا النظام يصبح معكوساً .

وللحزازيات المنبطحة Liverworts ثالوس مسطح له سطحان علوي وسفلي . وتحمل الأعضاء الجنسية على السطح العلوي ، بينما تثبت الجذيرات الشعرية الخارجية من

السطح السفلي للثالوس النبات بالتربة . وللحزازيات القائمة Mosses دورة حيـــاة وتكـــاثر مشابهة ولكنها مختلفة عن الحزازيات المنبطحة في تركيبها الخضري . وتتميز الحزازيات القائمة بأنها شعاعية التناظر إذ تنمو أوراقها من جميع جوانب الساق الاســـطوانية الشـــكل . وتنمو الساق في معظم الحزازيات القائمة عمودياً ولكنها قد تميل إلى النمو المبطوح كما هو الحال بالنسبة لحزاز المستنقعات . وتشبه الحزازيات القائمة والمنبطحة الطحالب في أنهـــا تختلف عن النباتات الراقية في عدم وجود أي نسبة وعائي فيها .

نظرة فاحصة:

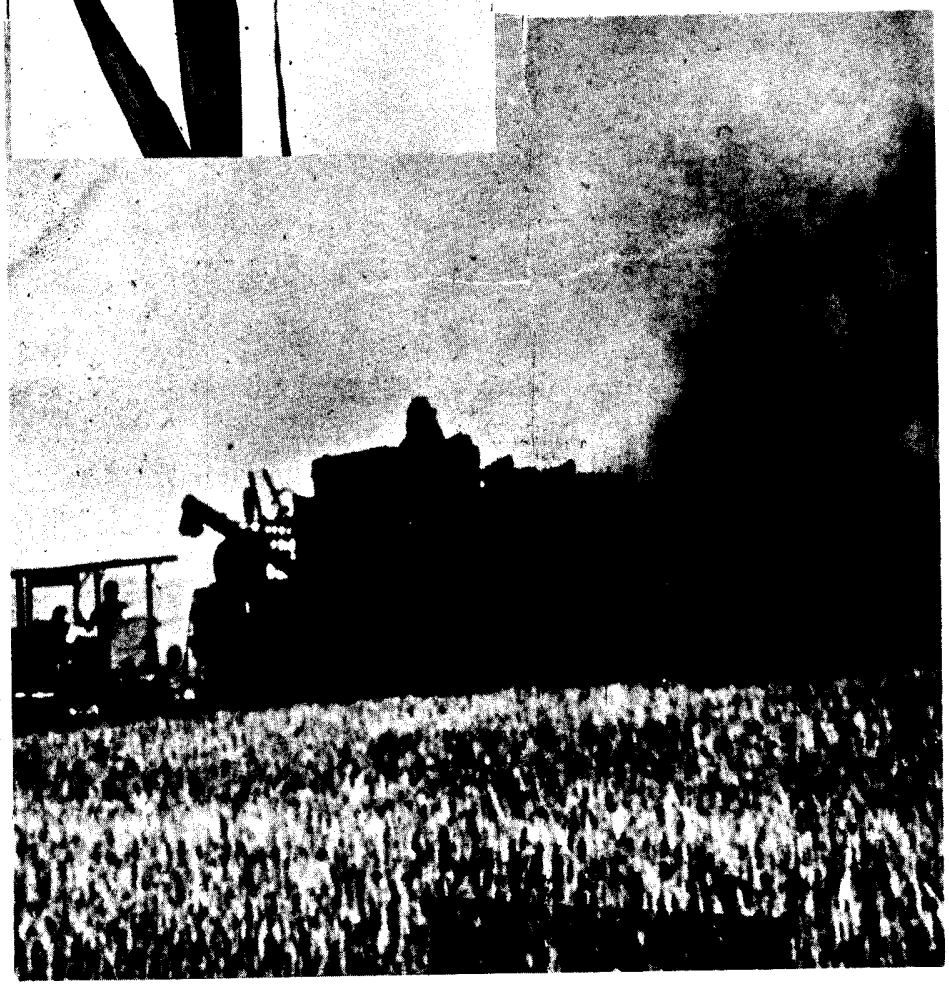
الفطريات وأمراض النبات

Fungi and Plants Disease

كما هو الحال بالنسبة للإنسان وغيره من الحيوانات تصاب النباتات بالأمراض . ولا بد أن كلا منا قد لاحظ زوال اللون المميز لأوراق النبات وظهور بثور ثآليلية ودقائق زغبية عليها . والواقع أن الذي يسبب معظم الأمراض المعدية للنباتات هو الفطريات المتطفلة وقد تصيب الخسارة الناتجة عن هذه الأمراض جزءاً كبيراً من المنتجات الزراعية . و تصرف الدول بلايين الدولارت سنوياً على إنتاج وشراء مواد كيماموية لمكافحة الفطريات المسببة لأمراض النباتات ، كما تصر ملايين الدولارات الأخرى للقيام بإنتاج سلالات المحاصيل مقاومة للمرض . ويقدر الاقصتاديون أن عائلة أمريكية مكونة من (٥) أفراد تدفع ما يقارب ٦٠٠ دولار سنوياً للتعويض عن الخسارة الناجمة عن الأمراض التي تصيب المحاصيل .

وقد وصلت الأمراض النباتية في بعض الأحيان في خطورتها إلى المستوى الذي غيرت فيه تاريخ الأمم . فالآفات التي أصابت محصول البطاطا مثلاً أثرت على تقدم الولايات المتحدة في الزمن الذي حصلت فيه . ظهرت الآفة عام ١٨٣٠ وما أن جاء عام ١٨٤٥ حتى أتلفت محصول البطاطا في إيرلندا كلياً (وقد كانت البطاطا هي الغذاء الأساسي هناك) وأدى هذا الأمر إلى أحداث جدب عام الأمر الذي أدى إلى هجرة جماعية إلى الولايات المتحدة الأمريكية . وقد أصاب هذا المرض نفسه محصول البطاطا في المانيا في أوائل هذا القرن وربما لعب دوراً في إيقاف الحرب العالمية الأولى . وفي العصور الوسطى كان أرغوت الجاودار Ergot of Rye وهو مرض فطري يصيب الجاودار (نبات شبيه بالشوفان) هو المسؤول عن كثير من الوفيات التي حصلت في أوروبا. ويصيب هذا الفطر نبات الجاودار الذي يسبب عند خبه وأكله المرض المعروف بنيران سانت انطونيو St. Anthony's Fireالمتميز باضطرابات تشجنية وغنغرينا . وقد حصلت وافدة فطرية مهمة

الى اليسار : التفحم على بقايا ما كان كوز ذرة سليم . تحت ، حاصدة تتحرك خلال حقـــل قمح ملوث بالتفحم فتلتهم سنابل القمح المصابة وتطلق غيوما من الابواغ السوداء لتنتشـــر الاصابة .



في الولايات المتحدة حديثاً أصابت أوراق الذرة في المناطق الجنوبية . وقد أدت هذه الآفة إلى اهلاك الكثير من محصول الذرة عام ١٩٧٠ الأمر الذي أدى إلى زيادة سعر الذرة آنذاك.

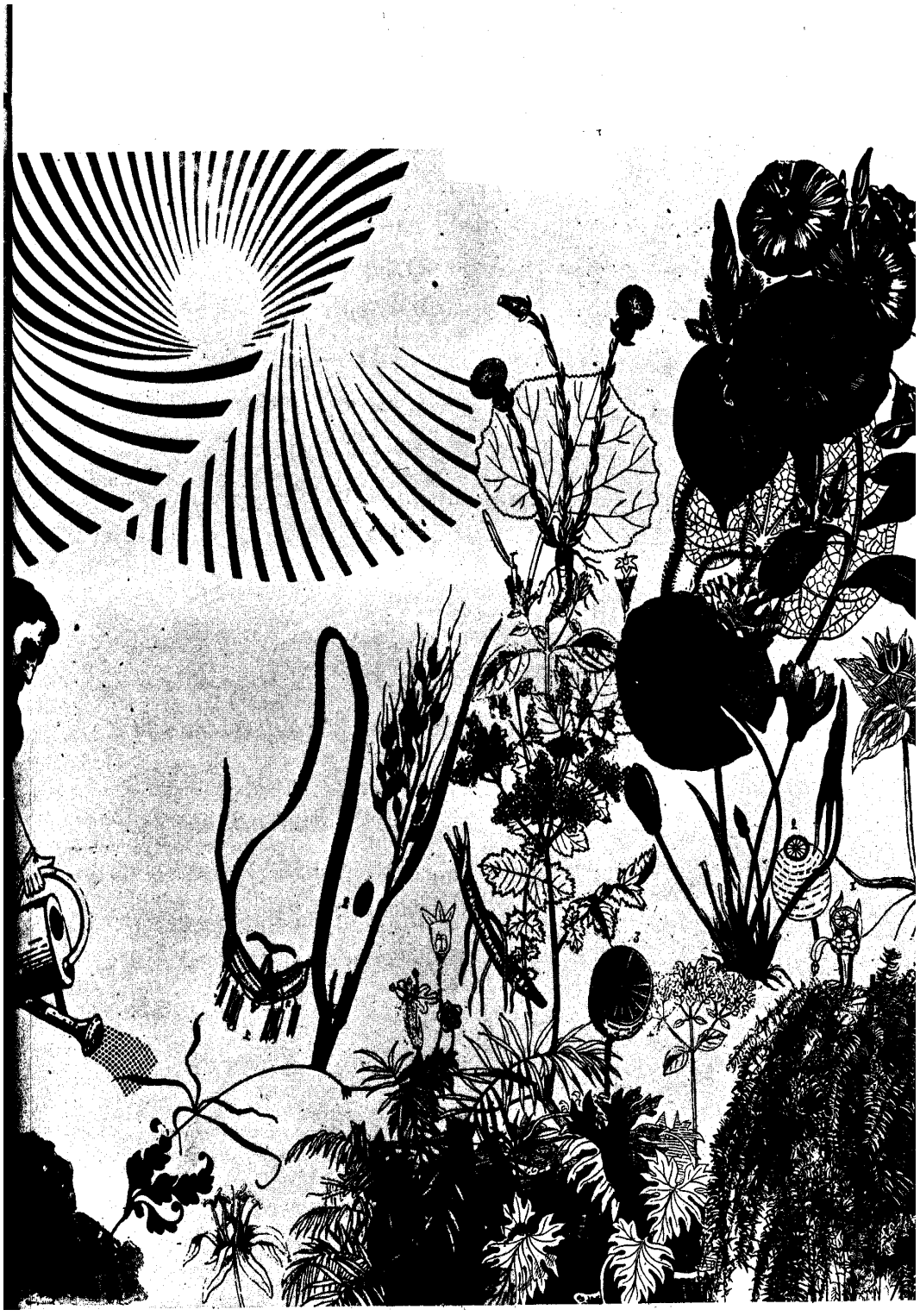
أما الطريقة التي يهاجم بها الفطر النبات فهي مفهومة إلى حد ما فهناك ما يقرب من ٢٠,٠٠٠ نوع من الفطريات المرضية وكل منها ينمو في بيئة مناسبة عادة تكون دافئة ورطبة . تنمو أبواغ الفطر على سطح النبات العائل مخترقة الأنسجة من خلال الثغور أو عن طريق اختراق الكيوتيكل وإذابة الجدر الخلوية . وينمو الفطر على حساب النبات العائل فيضعفه ويقتله أحياناً ثم يتكاثر عن طريق أبواغ يمكن انتشارها إلى مئات الأميال بواسطة الريح . وفي بعض أنواع الفطريات يحصل انتشار الأبواغ عن طريق المطر .

ولكن ما هي العلامات المميزة لبعض الأمراض الفطرية النباتية الهامة؟ في آفة البطاطا الناتجة عن فطر الفيتوفثورا انفستانز Phytophthora infestans ينمو الفطر على جميع أجزاء النبات حيث تميت الأنسجة وتسبب أسودادها . وتنمو حوامل الأكياس البوغية من خلال الثغور على السطوح السفلية للأوراق مكونة أكياساً جرثومية على شكل بياض دقيق مكون من وحدات تأخذ شكل حبة الليمون . وينتشر المرض بسرعة إذ تحمله الرياح والأمطار إلى النباتات الأخرى .

حتى الآن ما زالت أمراض السناج والصدأ هي أكثر الأمراض الفطرية النباتية خطورة وهذه أشكال من الفطريات البازيدية التي تهاجم محاصيل القمح والذرة . أما أمراض السناج التي تسببها فطريات أوستيلاجو وتيليتيا Ustilago and Tilletia فهي تسمى بهذا الاسم لأنها تكون أبواغاً على شكل كتل سناجية سوداء تصيب بذور الحبوب عادة وتؤدي إلى اتلاف أنسجة العائل كلياً . وأثناء اختراق الميسيليوم الفطري ونموه بين خلايا العائل تنتفخ خلايا الميسيليوم ويزداد سمك جدرها مكونة تراكيب سوداء تعرف بالأبواغ النهائية Teliospores . وعندما تنفجر أنسجة العائل تنتشر الأبواغ النهائية بواسطة الرياح لتصيب نباتات أخرى . وتتميز فطريات السناج التي يوجد منها حوالي ١١٠٠ نوع بقدرتها الاكثارية الهائلة ، فمثلاً يقدر الباحثون أنه إذا كانت نسبة اصابة الذرة بالسناج ١٠% فإن هذه الأصابة تؤدي إلى إنتاج ما يقارب ٥٠,٠٠٠ بليون بوغ لكل فدان .

واشتق مرض الصدأ الذي تسببه البكسينيا Puccinia من الأبواغ التي تشبه الصدأ في لونها والتي تتكون على سيقان أوراق العائل . ولهذه الفطريات دورة حياة معقدة تتطلب في الغالب وجود عائلين : فمثلاً ، ينتج مرض صدأ سيقان القمح الأسود خمسة أنواع مختلفة من الأبواغ وتعيش ثلاثة منها على العائل الأصلي وهو نبات القمح ويعيش النوعان الآخران على العائل الآخر وهو نبات الباربري Barberry . و يمكن أن يساعد القضاؤ على نبات الباربري على قطع دورة حياة فطر الصدأ وقد جرت محاولات للقضاء على هذا النبات كلياً في الولايات المتحدة الأمريكية . وتعتبر أمراض الصدأ التي تسببها حوالي ٢٠٠٠ سلالة أكثر الفطريات خطراً من وجهة نظر الإنسان لأنها تهاجم كثيراً من النباتات المهمة لحياتنا مثل الصنوبر والقمح والعنب والشوفان والتفاح والفول . ففي سنة واحدة في الولايات المتحدة فقد اكثر من ٣٠٠ مليون بوشل Bushels (مكيال للحبوب يسع حوالي ٣٢,٥ لتر) من الحبوب نتيجة للاصابة بهذه الفطريات .

ولمنع فقدان مثل هذه الكميات قام البيولوجيون بتقديم عدد من الطرق التي تساعد على مكافحة هذه الآفات . وأهم هذه هي إيجاد سلالات مقاومة لهذه الأمراض . وهناك طريقة للمكافحة بأن يمنع ا نتشار المرض إلى أماكن خالية عن طريق فحص أي مواد نباتية في عدد من نقاط التفتيش كالتي على الحدود الأقليمية أو الدولية . وأخيراً يمكن لمركبات الرش المضادة للفطريات أن تمنع أو تبطيء انتشار بعض الأمراض إلا أنه علينا استعمال هذه الكيميائيات بكل حذر لأنها تشكل خطراً على الكائنات المكونة للسلسلة الغذائية في منطقة ما فتسمم مثل هذه الكائنات أو بعضها وقد تؤدي إلى تغييرات بيئية غير سليمة .



الفصل الثاني عشر

النباتات الوعائية

Vascular Plants

لا يحتوي أي نبات من النباتات التي درسناها حتى الآن على نسيج وعائي كالخشب واللحاء اللازمين لنقل الماء ونواتج عملية التمثيل الضوئي من مكان لآخر في النبات . كما أنه لا يوجد لمثل هذه النباتات جذور قوية أو نسيج متخصص لتثبيتها والسماح لها بالنمو لارتفاع كبير في الهواء الطلق . ثم أن كل هذه النباتات التي درسناها لا زالت تعتمد إلى حد كبير على البيئة الرطبة اللازمة لتكاثرها . فلا بد للخلايا الذكري من أن تنتقل عن طريق الماء حتى تصل إلى البيوض فتخصبها ، والواقع أن عدداً كبيراً من هذه الخلايا الذكرية لا تصل إلى البيوض حتى عند توافر جميع الظروف المثالية . ويضاف على ذلك أن الجيل السائد في الحزازيات هو الطور الجاميتي وأن الجنين النامي لا يكون محفوظاً حفظاً جيداً ضد الجفاف .

وسنتعرض هنا إلى النباتات التي حلت هذه المشاكل إلى حد كبير ولهذا فهي أكثر ملاءمة للمعيشة البرية من غيرها . وأن مثل هذه النباتات هي التي يمكن أن تصبح أشجاراً ضخمة أو أن تتكيف مع بيئة الصحراء الجافة . وتتميز جميع هذه النباتات باحتوائها على نسيج وعائي وبأن الطور البوغي لا الجاميتي هو الجيل السائد وهو يهئ الظروف المناسبة لحفظ الجنين في مراحل تكوينه الأولى كما سنرى فيما بعد . ونستطيع من خلال هذه المميزات العامة أن نميز بين النباتات الحاملة للجذور وتلك التي تتكاثر عن طريق الأبواغ .

وكما هو الحال بالنسبة للحزازيات ، يعتقد أن أصل النباتات سواء منها حاملة البذور أو حاملة الأبواغ هو الطحالب الخضراء . ويعتقد أن النباتات حاملة الأبواغ هي أقدم من غيرها من النباتات الوعائية . ومن المحتمل أن تكون قد عاصرت تلك النباتات الحيوانات البرية الأولى . وتبع هذه النباتات البذرية من حيث الوقت الذي ظهرت فيه . ولم تظهر معظم النباتات الزهرية إلا بعد ذلك عندما انتشرت الحشرات اللازمة لنقل حبوب اللقاح بينها .

النباتات الوعائية حاملة الأبواغ Vascular spore-bearing plants

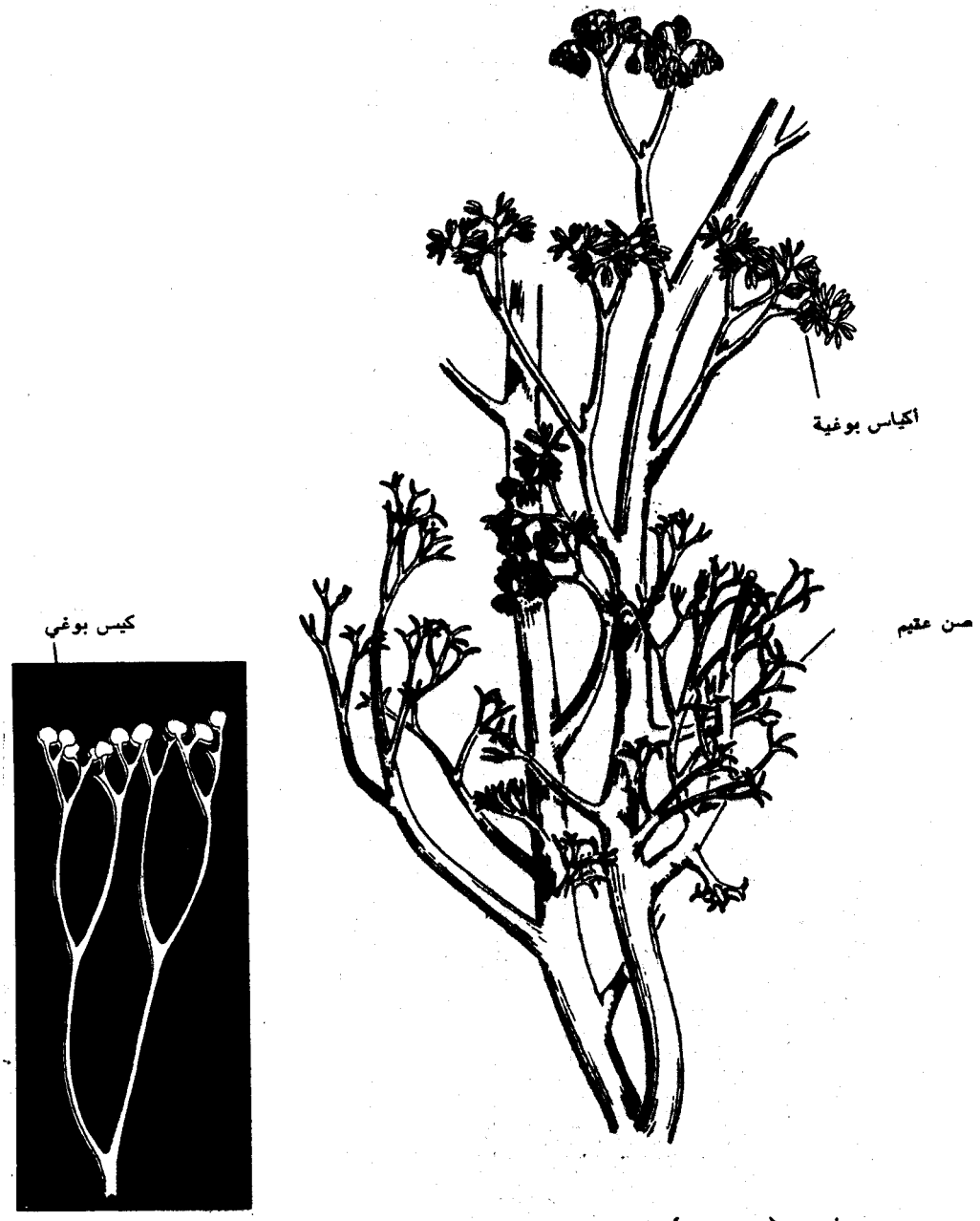
كانت النباتات الوعائية التي لا بذور لها فيما مضى أهم مما هي عليه الآن . وهناك ٤ مجموعات تعيش الآن ولا يمثل معظم هذه المجموعات سوى عدد قليل من الأنواع . أما هذه المجموعات الأربع فهي: البسيلوفايتات Psilophyta التي لا أوراق لها واللليكوبسيدات Lycopsid أو "الحزازيات القائمة" المتفرعة والذيلحصانيات Arthrophyta horsetails والتريديات Pteropyta أو السراخس.

أن العلاقات التطورية بين هذه المجموعات ليست واضحة كلياً . ومن المحتمل أن تكون هذه المجموعات ليست واضحة كلياً . ومن المحتمل أن تكون هذه المجموعات قد تطورت مستقلة عن بعضها مع أنه من الممكن أن يكون للمجموعات الثلاثة الأخيرة اسلاف من نوع البسيلوفيتات . ولا يبدو من المحتمل أن تكون هذه المجموعات قد جاءت من الحزازيات .

قبيلة البسيلوفيتات Psilophyta

أن البسيلوفيتات هي نباتات بسيطة جداً وتشير التقديرات الحفرية على أنها تكونت منذ حوالي ٤٠٠-٥٠٠ مليون سنة تقريباً . ومع أن لهذه النباتات نسيجاً وعائياً إلا أنه ليس لها أوراق وجذور حقيقية . وهي تتكون من ساق أفقية متفرعة تكون مغمورة تحت الأرض وتحمل جذيرات وحيدة الخلية وتسند سيقان عمودية ومتفرعة تقوم بعملية التمثيل الضوئي . وتحمل الأكياس الجرثومية Sporangia على نهايات بعض الأغصان الهوائية . وقد أدى هذا التركيب البسيط جداً للبسيلوفيتات إلى فوز القبائل النباتية الأكثر تقدماً الأمر الذي أدى إلى بقاء النباتات الأرقى وإلى الاختفاء الكلي للبسيولوفيتات من على سطح الأرض . ويعتقد

أن هناك جنسين فقط تابعين لهـذه القبيلـة وهمـا البسـيلوتم Psilotum والتميسـيبتيرس Tmesipteris ويعرف كلاهما باسم السراخس المكنسية .

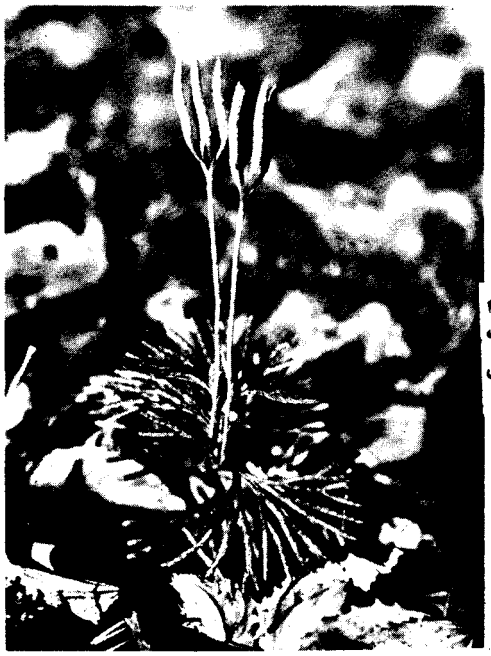


الشكل (١٢ ــ ١) : نباتان قديمان مرسومان من الحفريات . يوضح الرسم الـيسار نبات الكوكسونيا *Cooksonia* وهو اقدم نبات وعائي معروف الذي يعود الى ما يقارب ٤٠٥ ملايين سنة . واما الرسم الاخر فهو لنبات البسيلوفيتون *Psilophyton* هو نبات متقدم نسبيا فقد ازدهر منذ حوالي ٣٧٠ مليون سنة تقريبا .

قبيلة الليكوبسيدات (الحزازيات القائمة) المتفرعة Lycopsida

أخذت هذه القبيلة اسم "الحزازيات القائمة" المتفرعة نظراً لصغر حجمها وللتشابه في المظهر مع الحزازيات القائمة مع أنه لا يوجد أي علاقة بين هاتين المجموعتين ، ويشير اسم "المتفرعة" إلىمظهر تراكيب خاصة تحمل الأبواغ معروفة باسم المخاريط Strobili وتوجد هذه المخاريط أما على نهايات بعض السيقان الورقية أو على أغصان جانبية قصيرة .

ولعل أكثرنا يعرف الليكوبوديوم Lycopodium المعروف باسم "الصنوبر الأرضي" أو النبات دائم الأخضرار "وهو نبات منتشر على سطح أراضي الغابات المخروطية . وكما هو الحال بالنسبة "للحزازيات القائمة" المتفرعة الأخرى ، لهذا النبات جذور وساق متفرعة عمودية أو مائلة قليلاً وتحمل هذه الساق مجموعة من الأوراق الصغيرة . ويمتد النسيج الوعائي في الجذور والسيقان والأوراق . وفي جنس آخر وهو السيلاجينيلا Selaginella تترتب الأوراق على شكل حلزوني أو تحمل على الساق المنبطحة على شكل ٤ صفوف وتكون الأوراق الموجودة على الصفين العلويين أصغر منها على الصفين السفليين.



الشكل (١٢ ــ ٢) : الليكوبوديوم *Lycopodium,* **وهو أحد الحزازيات القائمة المتفرعة . ويشيع هذا النبات فيمناطق الغابات وله مخاريط تحمل الابواغ .**

لسفليين .

ومع أن الانواع الموجودة من الليكوبوديوم والسيلاجينيلا صغيرة الا أن

ومع أن الأنواع الموجودة من الليكوبوديوم والسيلاجينيلا صغيرة إلا أن الحزازيات القائمة المتفرعة قد وصلت إلى أبعاد عملاقة أثناء العصر الكربوني . فقد كان نبات الليبدودندرون Lepidodendron على شكل شجرة ضخمة يصل طولها إلى ١٠٠ قدم أو أكثر وقد كان قطر جذعها حوالي ٣ أقدام . وتكون بقايا هذه الأشجار وأشجار مثلها جزءاً كبيراً من البقايا الحفرية التي كونت الفحم . ويدل وجود بقايا هذه الأشجار بكثرة على أنها كانت تعيش في مناطق المستنقعات . وعندما كانت هذه الأشجار تسقط في المستنقعات لم تكن الظروف اللاهوائية هناك مواتية لتعفنها الأمر الذي أدى إلى حفظها لمدة طويلة . وقد تكونت ترسيبات سميكة جداً من هذه الأشجار في بعض الأماكن مما يشير إلى ازدهار هذه الأنواع في تلك الأماكن لعدة قرون .

الذيل حصانيات : Arthrophyta (horsetails)

تمثل النباتات التابعة لجنس اكوستم Equisetum الأمثلة الوحيدة للذيلحصانيات التي تعيش الآن . وتتكون هذه النباتات من سيقان رأسية يخرج منها عدة أغصان عند كل عقدة من العقد المتساوية الأبعاد والتي يمكن تحديدها بحلقة من الأوراق المسننة والمتصلة بقواعد هذه العقد . ويتم النشاط التمثيلي أساساً في السيقان العمودية والمتصلة بعضها ببعض بواسطة ريزومات تمتد تحت سطح التربة . ومن الممكن أن نجد ذيلحصانيات خشبية وعشبية في البقايا الحفريةة حيث يمكن التعرف عليها بواسطة عقدها المتميزة بما يحيط بها من أغصان وهي تعطي النبات مظهراً مفصلياً . وهنا بلورات من السيليكون موجودة في السيقان لتكسبها صلابة متميزة . وفي الحقيقة أنه يمكن استخدام هذه السيقان لصقل الأواني.

التريديات (السراخس): Pterophyta

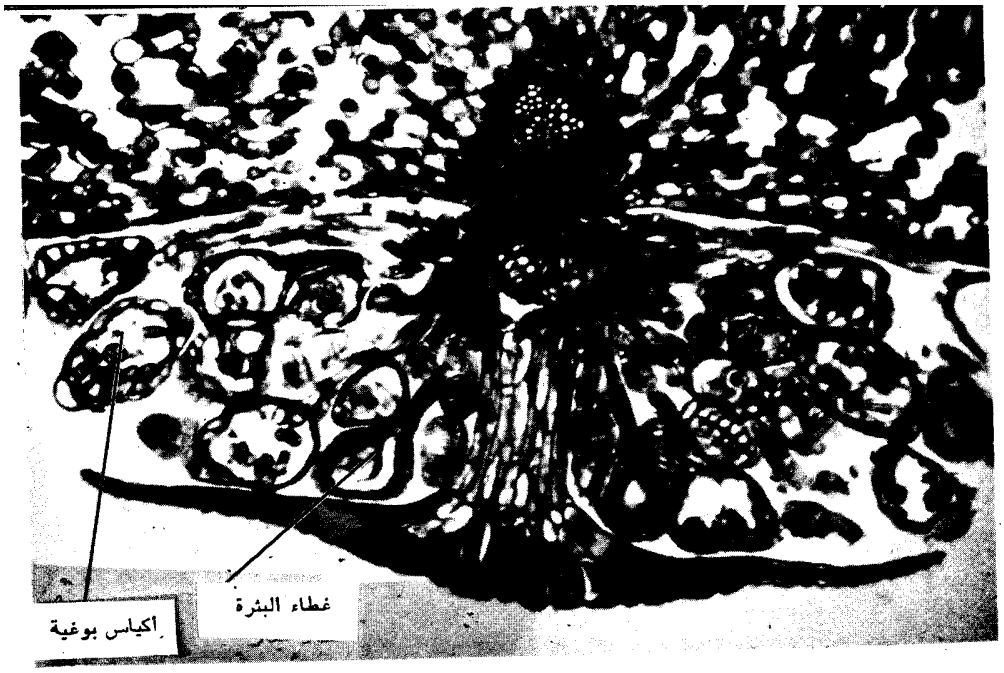
لقد كونت النباتات الوعائية التي لا يوجد لها بذور معظم الكساء النباتي للأرض منذ ٤٠٠-٢٥٠ مليون سنة تقريباً ولكن لم يبق من المجموعات التي درسناها حتى الآن إلا أمثلة قليلة تعيش الآن . ولكن هناك مجموعة بقيت أكثر من غيرها من حيث الانتشار والتنوع إلا وهي السراخس التي توجد في الأماكن الظليلة الكثيفة الأشجار في جميع أنحاء العالم . كما أن هناك أحد الأنواع وهو أجمة السرخس bracken fern على غاية كبيرة من الانتشار

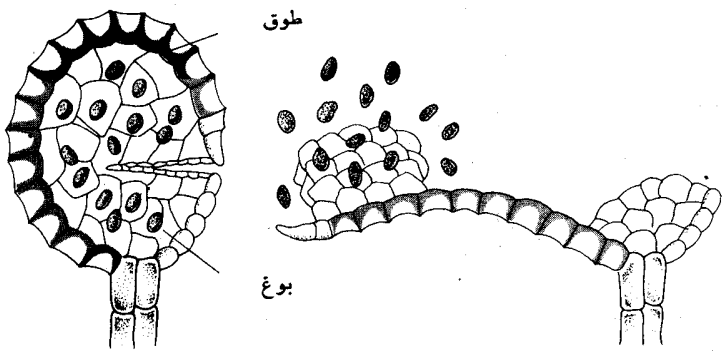
والنمو السريع إلى الدرجة التي يعتبر فيها أحد الأعشاب الخطرة في الجزر البريطانية نظراً لقوته وكثرة نموه في المراعي . وكثيراً ما تزرع السراخس في البساتين والحدائق نظراً لطبيعية أوراقها الجميلة .

تنمو السراخس في البيئات الرطبة الظليلة . وهي نباتات دائمة الخضرة على مدار السنة وتعيش في المناطق المعتدلة من سنة لأخرى بواسطة ريزوماتها المنتشرة تحت سطح التربة . وعلى عكس المجموعات السابقة من النباتات الوعائية التي لا بذور لها والتي لها أوراق صغيرة جداً ، فالسراخس لها أوراق كبيرة قد تصل في بعض الأحيان إلى عدة أقدام في طولها . ففي كل ربيع تتكون مجموعة من الأوراق من قمة الريزوم وتموت هذه الأوراق في نهاية فصل النمو . ولهذا فإن الورقة هي الجزء الواضح . النبات في السراخس .

وتختلف أوراق السراخس حسب النوع فمنها البسيط ومنها ما يكون كبير الحجم إذ يتكون من تراكيب متفرعة كثيراً . ولهذه الأوراق شبكة من العروق وثغور وميزوفيل غني بالبلاستيدات الخضراء . وتتكون الأكياس البوغية أما على نتوءات خاصة أو على أوراق متخصصة لهذا الغرض أو مباشرة على السطح السفلي للأوراق الخضراء . وتختلف ترتيبات هذه الأكياس البوغية وأشكالها باختلاف النوع . تتجمع الأكياس البوغية ذوات الأعناق في سرخس الدريوبتريس Dryopteris على بثرات sori على السطح السفلي لكل ورقة . وقد تغطى كل مجموعة من الأكياس بغطاء مكون من نسيج حافظ يدعى الغطاء

الشكل (١٢ ــ ١٣) : السراخس الشجرية هي بقايا الكساء الخضري الذي يعود الى ما قبل التاريخ وما زالت هذه السراخس قادرة على المعيشة في المناطق الاستوائية .





الشكل (١٢ ــ ٤) : بثرة نبات سرخسي . لاحظ الاكياس البوغية المتجمعة تحت الغطاء البثري الحافظ لها ويمثل الشكل السفلي كيفية فتح طوق الكيس البوغي عند جفافه ، الامر الذي يعمل على انتشار الابواغ .

البشري indusiium . وتتخذ الأكياس البوغية شكل العدسة . كما يوجد صف من الخلايا حول جزء من طرف الكيس البوغي . ولهذا الصف من الخلايا جدران داخليـــة وجانبيـــة سميكة لتكوين ما يسمى بالحلقة أو الطوق annulus . وتكون الخلايا الموجودة في الكـــيس البوغي أبواغاً عن طريق الانقسام الاختزالي . وعند نضج هذه الأبواغ يذبل الغطاء البثري الأمر الذي يؤدي على جفاف الخلايا المكونة للطوق ويسبب التوتر الحاصل داخل الخلايـــا نتيجة لفقدان الماء انثناء الجدران الداخلية غير السميكة للداخل بينما تبقى الجدران الســـميكة صلبة ونتيجة لهذا فإن الطوق يميل إلى قلب ضعه الأمر الذي يؤدي إلى قفز الطـــوق إلـــى

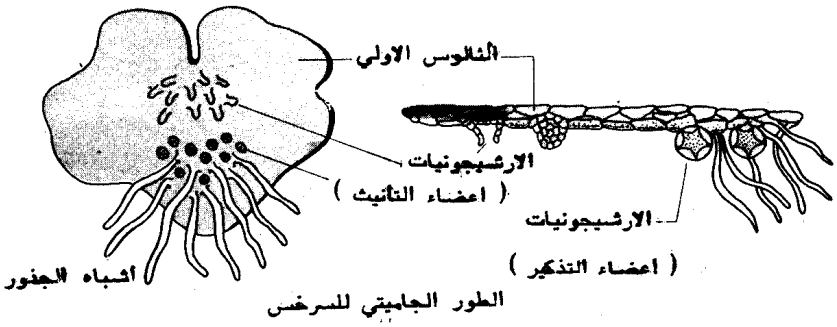
الوراء وانفتاح الكيس البوغي . وعندما يزداد جفاف الخلايا يدخل ا لهواء إلى خلايا الطوق فيقفز الطوق إلى الوراء أكثر الأمر الذي يؤدي إلى انتشار الأبواغ .

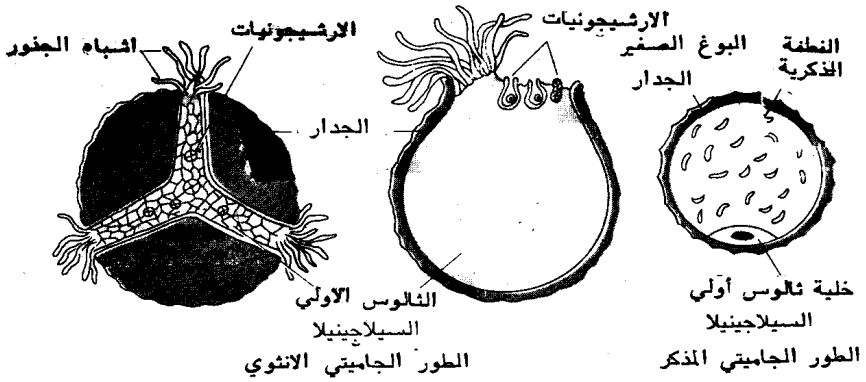
الجيل الجاميتي: The gemetopytic generation

تنتج جميع النباتات الوعائية التي لا بذور لها أبواغاً احادية الكروموسومات لا تلبث أن تنمو مكونة يمثل الطور الجاميتي الذي يختلف كلياً عن النبات الأب وهو الطور البوغي . والطور الجاميتي يكون عادة صغيراً جداً ويتحول من نبات أخضر صغير مستقل إلى نبات لا يقوم بعملية التمثيل الضوئي وإنما يعتمد كلياً على الغذاء المخزون في البوغ نفسه .

تنمو الأبواغ في سرخس الدريوبتريس Dryopteris مكونة خيطاً أخضر يأخذ شكل القلب ويصل قطره إلى حوالي نصف بوصة ويحمل الانثريديات والارشيجونيات على سطحه السفلي وتحمل الانثريديات على السطح بينما تكون الارشيجونيات مدفونة في الثالوس الأولي على شكل الأوراق التي شاهدناها في الحزازايات إلا أنها أصغر حجماً . ويتم الاخصاب عندما تسبح خلايا التذكير ذات الأسواط العديدة من الانثريدية إلى ارشيجونية من خلال البيئة الرطبة الواقعة بين الثالوس الأولي والوسط الذي يعيش عليه . ومع أنه من الممكن اخصاب عدد من البيوض إلا أن واحداً من الزيجوتات المتكونة فقط هو الذي يكون الطور البوغي .

مع أن نبات السيلاجينيلا Selaginella أبسط من السراخس في كثير من الأمور الأخرى إلا أن الطور الجاميتي في هذا النبات قد اختصر بشكل كبير ولعل الأهم من ذلك أن نجد أن هناك نوعين من الأبواغ المتكونة: أبواغ كبيرة megaspores تتكون في أكياس بوغية كبيرة megasporangia وأبواغ صغيرة micropores تتكون أكياس بوغية خاصة بها microporangia ويطلق على امتلاك النبات لنوعين مختلفين من الأبواغ اسم التبوغ المختلف heteropory. وفي النبات مختلفة التبوع تتطور الأبواغ الصغيرة إلى أطور جاميتية مذكرة كما تكون الأبواغ الكبيرة أطواراً جاميتية مؤنثة .





الشكل (١٢ ــ ٥) : الاجيال الجاميتية للسراخس والسيلاجينيـــــلا *Selaginella* **لاحظ أن النبات الممثل للطور الجاميتي الانثوي فـــي السيلاجينيلا يكون مغطى داخل جدار البوغ الكبير . وتمثل هذه الطريقـــة في النمو مرحلة من مراحل تطور البذور الحقيقية .**

الشكل (١٢ ــ ٦) : الطور البوغي المبكر لنبات سرخسي . يتكـــون هذا الطور من أرشيجونية مخصبة محمولة على ثالوس أولي .

وتكون الاطوار الجاميتية صغيرة الحجم جدا بحيث لا تتمكن من تكويـــن غذائها بنفسها وانما تعتمد كليا على الغذاء المخزون في البوغ اثناء نمو النبـــات

أن ظهور ظاهرة التبوغ المختلف والصغر في حجم ومددى تعقيد الأطوار الجاميتيـــة تبرز انماطاً من الاتجاه التطوري الذي يحتمل أن يكون قد أدى إلى تكوين الجهاز التناســـلي في النباتات البذرية . فحبة لقاح النبات البذري تمثل حفيد البوغ الصغير كما يمثل المبيض بقايا الطور الجاميتي الأنثوي الذي حفظ في الطور البوغي . وأدت التطـــورات التركيبيـــة الاضافية إلى تكوين أنسجة أخرى حول الزيجوت الأمر الذي أدى إلى تكوين البذرة .

النباتات البذرية: Seed Plants

ظهرت النباتات البذرية أول ما ظهرت أثناء أواخر العصر الديفوني أو أوائل العصر الكربوني . وقد انتشرت هذه النباتات بسرعة فائقة مما يدل على التكيـــف الفـــائق للنظـــام التناسلي الجديد الذي تميزت به هذه النباتات . وتقع أهمية البذور في أعطائها حماية كافيـــة للأجنة حديثة التكوين . فبعد أن كان الطور الجاميتي نباتاً مستقلاً إلى حد كبير عائشاً تحت خطر الظروف البيئية فإنه أصبح محفوظاً داخل أنسجة الطور البوغي الذي أصبح سائداً في هذه النباتات . وبهذا يتم الاخصاب ونمو الجنين في مراحله الأولى في بيئة أكثر حفاظاً عليه ثم أنه عند تكوين الجنين فإنه يجهز بمصدر غذاء كاف كما يحفظ داخل غلاف قوي مقـــاوم للجفاف . ويبقي الجنين داخل هذا الغلاف حتى تصبح الظروف مواتية لنموه كنبات مستقل . تقسم النباتات البذرية إلى مجموعتين رئيسيتين : النباتات معراة البـــذور gymnosperms والنباتات التي توجد بورها داخل الثمار angiosperms ولما كانت لبناتات المجموعة الثانية أيضاً فإنها تعرف بالنباتات الزهرية .

النباتات معراة البذور: Gymnosperms

عندما ظهرت النباتات معراة البذور تخلصت النباتات من حاجتها للماء لنقل الجاميت الذكري في الأنثوي . فقد اختصر الطور الجاميتي المذكر ليصبح ممثلاً في حبة اللقاح التي يمكن انطلاقها في الهواء وانتشارها عن طريق الرياح . ويمكن مشاهدة النجاح في الواســـع الذي لاقاه هذا التغيير عند ملاحظتنا لكثير من الغابات المخروطية التي تغطـــي مرتفعـــات الجبال والسهول الشمالية الباردة . وقد كان هناك كثير من المجموعات الأخرى التي تتمتع بمميزات شبيهة والتي انقرضت الآن كلياً أو جزئياً . ومن بين هذه المجموعات "السراخس" البذرية التي لم يبق منها أي نوع الآن وكذلك نباتات الجنكة Ginkgoae الممثلة الآن بنوع

واحد هو شجر –الجنكة (أو شجرة شعر الخادمة) المتميزة بثمارها ذات الرائحة الفواحة وبأوراقها المرووحية الشكل والمتكونة من فصين .

السايكادات: Cycads

أن جميع النباتات معراة البذور تقريباً هي أشجار خشبية وأن أكثر ما يعرف من هذه الأشجار هي الأشجار المخروطية conifers كالبسيسة spruce والصنوبر pine . وهناك مجموعة أخرى أقل شهرة وهي السايكادات النخيلية الشكل . والسايكدات هي مجموعة استوائية صغيرة بطيئة النمو تحمل مخاريط خاصة بها وتعيش هذه الأشجار لمدة طويلة . وتكون السيقان جذوعاً ضخمة قائمة محاطة بقواعد الأوراق القديمة الكثيفة وتنتهي الساق بتاج من الأوراق الضخمة المقسمة إلى خيوط رفيعة تشبه في شكلها أوراق أشجار النخيل . والسايكادات نباتات منفصلة الجنس dioecious بمعنى أن المخاريط الذكرية microsporangiate والمخاريط الأنثوية ovulate or megaspore producing cones تنمو على شجيرتين مختلفتين على قمة الساق حيث تحاط من الأسفل بالأوراق .

وتحمل المخاريط الذكرية أورقاً بوغية صغيرة مرتبة حلزونياً تحمل ع لى سطوحها السفلية بثرات مرتبة بدقة في داخلها أكياس بوغية صغيرة . وتنقسم الخلايا البوغية الأم في كل كليس بوغي صغير اختزالياً لتنتج أبواغاً رباعية صغيرة ، ثم تنفتح الأكياس البوغية ويستطيل عنق المخروط فتنفصل الأكياس البوغية الأمر الذي يؤدي إلى انطلاق الأبواغ الصغيرة أو حبوب اللقاح وانتشارها عن طريق الرياح .

ويحمل المخروط الانثوي في العادة بويضتين على كل ورقة بوغية كبيرة وتتكون كل بويضة . نبات جاميتي أنثوي عديد الخلايا يحيط به نسيج يدعى النيوسيلة nucellus وهو يقابل الكيس البوغي الكبير megasporangium في النباتات الأخرى . ويحيط بالنيوسيلة طبقة جديدة من نسيج النبات البوغي هي الغلاف البويضي integument ويخترق هذا الغلاف قناة تمتد من طرفه الخارجي حتى النيوسيلة تسمى النقير microphyle وهذه هي القناة التي تمر بها حبيبة اللقاح حتى تصل إلى الجاميت الأنثوي وتخصبه وسنتعرض لهذا

الأمر بتفصيل أكثر عند دراستنا للمجموعة التالية من النباتات معراة البذور وهي المخروطات .

الشكل (١٢ ــ ٧) : احد السايكادات المعروف باسم زاميا (*Zamia*), لاحظ وجود تاج من الاوراق ومخروط مركزي كبير . وقد يصل طول هذا المخروط في بعض الانواع الى قدم .

المخروطيات: Conifers

تكون المخروطيات مجموعة متنوعة كثيرة الانتشار . ولهذه النباتات أهمية تجارية فهي تعتبر مصادر مهمة لأخشاب البناء وللأخشاب المستعملة في صناعة الورق . ومعظم المخروطيات نباتات دائمة الخضرة (اللاركس هو النبات المخروطي الوحيد غير الدائم الخضرة) وهي أشجار لها أوراق برية الشكل . وينمو البرعم الطرفي في كل ربيع منتجاً مجموعة جديدة من الأوراق ، وفي فصل الخريف تسقط الأوراق القديمة التي كانت قد أنتجت في السنة السابقة وبهذا تبقى الأوراق الجديدة على النبات طيلة فصل الشتاء . ويتخلل جسم النبات جميعه قنوات مملءة بمادة الراتنج (وهي مادة صمغية) خصوصاً في عائلة الصنوبريات ويعزى لهذه المادة الرائحة الخاصة بأخشاب الصنوبر التي تظهر بوضوح عند حرق جذوع هذه الأشجار .

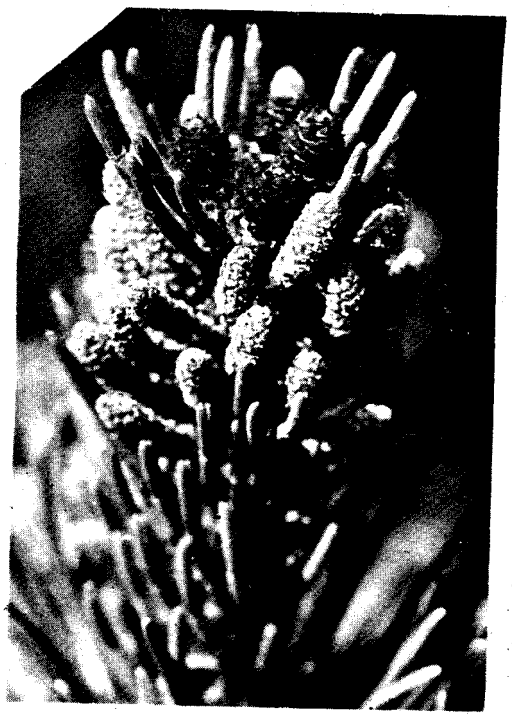
تتميز المخروطيات بانتاجها للمخاريط التي تحمل الأعضاء التناسلية . وتوجد المخاريط الذكرية microstrobili والأنثوية megastrebili على نفس الشجرة . وتتكون المخاريط الذكرية على شكل تجمعات في بداية فصل النمو وهي تتخذ لوناً أصفر وأحمر في الغالب . وتطلق هذه المخاريط حبوب اللقاح بسرعة حين تسقط من الشجرة . وتكون

حبوب اللقاح هذه صغيرة الحجم الأمر الذي يمكنها من الانتقال دون ملاحظتها ولكن أثناء فترة التلقيح قد تظهر سحب من حبوب اللقاح بوضوح أثناء انجرافها من الأغصان الحاملة للمخاريط الذكرية عند اهتزازها نتيجة لهبوب الرياح . وأما المخاريط الصنوبرية التي ندعوها عادة بهذا الأسم فهي في الحقيقة مخاريط أنثوية ناضجة . وتميل هذه إلى نموها في أعالي الأشجال حيث تكون فرصة أكبر لانتشار البذور . وتتخشب هذه المخاريط عند نضجها وقد يتراوح طولها بين بوصة وحوالي قدمين على حسب النوع . ولكن عند وقت التلقيح يكون المخروط الأنثوي صغيراً (حوالي ١/٤ بوصة في الطول) وبيضاوي الشكل . وفي الصنوبر يحتاج المخروط إلى سنتين كاملتين حتى يصل إلى مرحلة النضج وتسقط البذور في الربيع الذي يأتي بعد سنتين من التلقيح . ولكن هناك بعض أنواع الصنوبر التي يتم تكون المخاريط فيها خلال فصل واحد .

إذا درسنا تركيب المخروط بشيء من الدقة نجد أن المخروط الذكري يتكون من محور رئيسي يمل عديداً من الأوراق البوغية الصغيرة التي تحمل كل منها كيسين بوغيين على سطحها السفلي . وتتكون داخل الأكياس البوغية أبواغ رباعية صغيرة عن طريق الانقسام الاختزالي ثم تنفصل هذه الأبواغ بعضها عن بعض مكونة حبوب اللقاح Pollen grains وتمل كل حبة لقاح نباتاً جاميتياً مذكراً يتكون من خليتين ثالوسيتين بدائيتين وخلية تناسلية generative cell وخلية أنبوبية tube cell وتتكون مثانتان هوائيتان في جدار حبة اللقاح أيضاً لتساعدها على الانتشار بواسطة الريح .

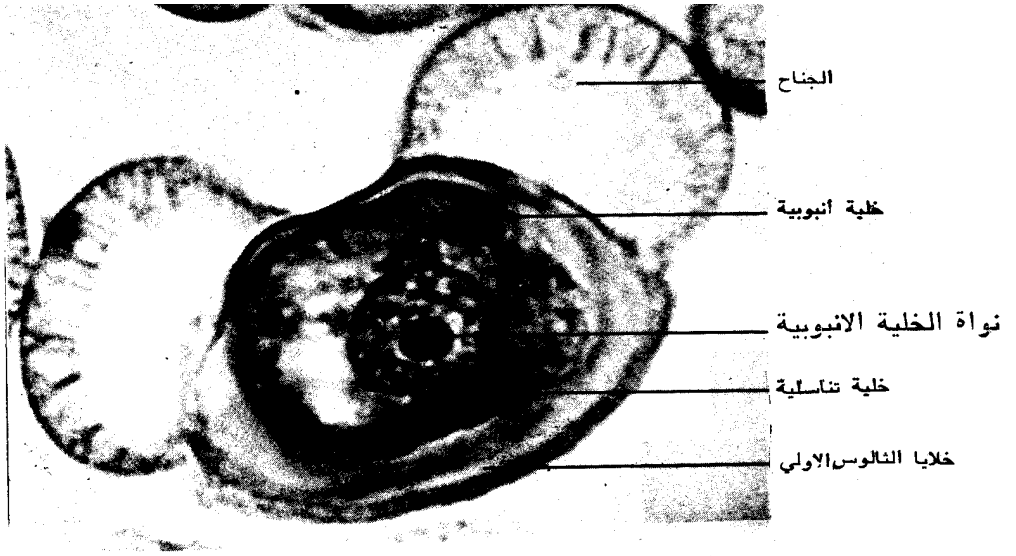
وللمخروط الأنثوي محور مركزي يحمل عديداً من الأوراق البوغية الكبيرة تحمل كل منها بدورها بويضتين على سطحها العلوي . وتشابه كل بويضة في تركيبها بويضة السايكادات إلا أنها أصغر منها . ولتمكين هذه البويضة من التلقيح يمتد المحور إلى أعلى لتعريض البويضات لحبوب اللقاح . ويفرز النقير نقطة صغيرة من مادة لزجة لتلتصق بها حبيبات اللقاح الواقعة عليها والتي لا تلبث أن تنزل إلى النيوسيلة . ثم تنمو حبة اللقاح مكونة أنبوبة لقاحية pollen tube تمتد نحو النيوسيلة . وأثناء ذلك يبدأ البوغ الكبير megaspore سلسلة من الانقسامات النووية متبوعة بتكوين الجدر الخلوية . وفي نفس الوقت تنمو البويضات والمخروط الأنثوي بكامله في الحجم . وتتكون ارشيجونات أو ثلاث على الطرف

النقيري للنبات الجاميتي الأنثوي ويأخذ هذا الوقت الذي يسبق الاخصاب قرابة ١٣ شـــهراً . ثم تستعيد الانبوبة اللقاحية نموها وتنقسم الخلية التناسلية مكونة سابحتين ذكريتين ساكنتين ثم تنمو الأنبوبة اللقاحية من خلال عنق الارشيجونية وتطلق محتوياتها فتندمج احـــدى نويـــات السابحتين الذكريتين مع نواة البيضة مكونة الزيجوت الذي لا يلبث أن يكـــون جنينـــاً أوليـــاً proembryo بعد عدة انقسامات خلوية . وتبدأ خلايا الجنين الأولى القريبـــة مـــن عنـــق الارشيجونية في الاستطالة مكونة معلقات suspensors عمل على دفع الجنين داخل أنسجة النبات الجاميتى الأنثوي. وهناك ينمو الجنين مكوناً جذعـــاً وساقـــاً وجـــذراً وملفات تتغذى



الشكل (١٢ ــ ٨) : احد اغصـــــان الصنوبر . لاحظ وجود مخاريط انثوية صغيرة السن على النهاية الطرفية للغصن (غامقـــة اللون) ومخاريط ذكرية تحت الانثوية (فاتحة اللون) .

جميعها على الطعام المخزون في النبات الجاميتي الأنثوي . ثم تجف خلايا الغلاف البويضي وتصبح قاسية مكونة غلاف البذرة testa وتنضج البذرة في الربيع القادم . ويستطيل محور المخروط الأنثوي مرة ثانية ليعرض البذور وليسهل انتشارها . ويوجد لكل بـــذرة جنـــاح مكون من امتداد في غلاف البذرة ليساعد على عملية الانتشار وتنمو البذور بعـــد ســـقوطها مستخدمة الغذاء المخزون في النبات الجاميتي الأنثوي ثم يتكون لها جذور يمكنهـــا مـــن أن تصبح نباتاً بذرياً مستقلاً .

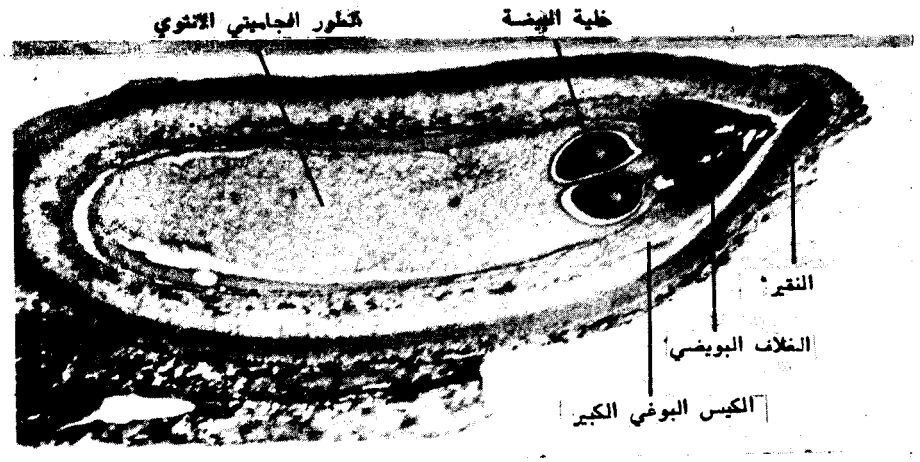


الشكل (١٢ ــ ٩) : احدى حبات اللقاح لنبات الصنوبر .

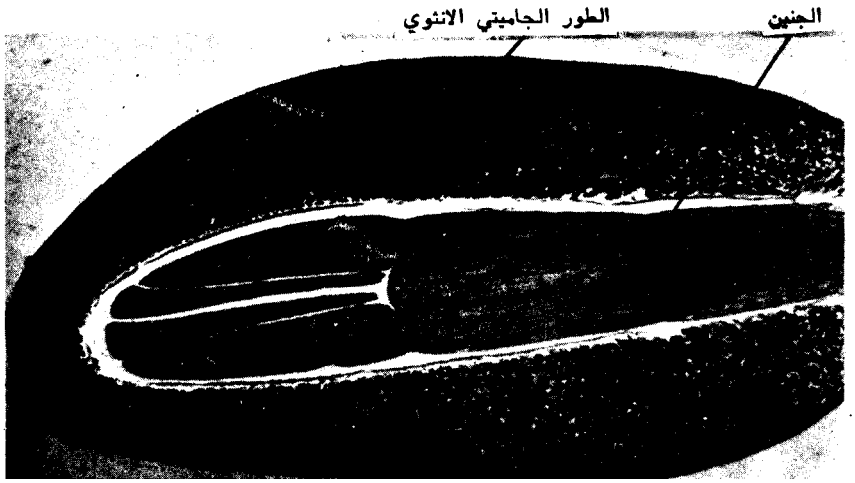
النباتات الزهرية : Angiosperms

أن معظم النباتات التي نشاهدها هي نباتات زهرية . وتشمل هذه معظم النباتات المستعملة في طعامنا كالذرة والبطاطا والتفاح وغيرها و النباتات النامية في حدائقنا ومتنزهاتنا كما تشمل الأعشاب الموجودة في السهول والمروج (ربما يدهشك أن تعرف أن للأعشاب أزهاراً ولكن تذبل وتزول دون ملاحظتها لأن لونها أخضر) وكذلك معظم الأشجار ذات الأوراق العريضة التي نستخدمها في كثير من أعمالنا الخشبية .

والنباتات أما أن تكون عشبية أو خشبية وتتراوح في ارتفاعها عن سطح التربة من طول أقل من البوصة إلى ارتفاع ١٠٠ قدم أو يزيد . وللأشجار نسيج دعامي يسمح بنموها لارتفاعات ضخمة ولكن تبقى النباتات العشبية صغيرة وقد تغطي هذه الأعشاب مساحات كبيرة من الأرض وجميع الأشجار نباتات دائمة الخضرة تنمو لعدة سنوات ، ولكن قد تكون الأعشاب ا لحولية وقد تعيش لحولين أو قد تكون دائمة الخضرة . تكمل النباتات الحولية دورة حياتها في فصل نمو واحد . وتنقلها البذور من فصل لآخر . وتبدأ النباتات التي تعيش لحولين نموها في الفصل الأول ولكنها لا تزهر إلا في فصل النمو التالي . وتنمو



الشكل (١٢ ــ ١٠) : مبيض الصنوبر (الشكل الاعلى) وجنين نام (الشكل الاسفل) .



النباتات الزهرية في بيئات مختلفة وفي أجواء مناخية رطبة معتدلة فالنباتات الجفافية Xerophytic التي تعيش في الصحارى الجافة تتميز بوسائلها الخاصة لتقليل كمية الماء المفقود من النباتات وذلك بوجود طبقة كيوتكيل ونسسيج لتخزين الماء وثغور عميقة من نسبة الماء المفتوح وفي نباتات الصبير تختزل الأوراق إلى أشواك فتقل كمية الماء المفقود عن طريق تقليل مساحة السطح المعرض ، وهنا تقوم الطبقات السطحية للساق بعملية التمثيل

الضوئي اللازمة للنبات بدلاً من الأوراق المتحورة إلى أشواك . وتنفتح أنسجة الساق أيضاً لتساعد على تخزين الماء الأمر الذي يمكن النبات من المعيشة في الظروف الجافة المميزة للبيئة الصحراوية . والجدير بالذكر أن الصبير يحتاج إلى بعض الماء إذ لا تنمو هذه النباتات في الأماكن التي لا يصل إليها المطر أبداً كبعض أجزاء الصحارى ويمكن ملاحظة تحورات شبيهة بتلك المميزة للنباتات الجفافية في النباتات التي تنمو في أماكن يعصب الحصول على الماء فيها أمانتيجة لوجود تركيزات عالية من الملح أو لأن الماء قد يكون متجمداً في التربة . وللنباتات التي تعيش في المستنقعات المالحة halopuytes طرائق فسيولوجية خاصة تمكنها من المعيشة في المياه المالحة . و تتميز النباتات الجبلية بقصرها لتتفادي التعرض للرياح التي قد تؤدي إلى جفافها . وتحتوي النباتات التي تعيش في المياه العذبة hydrophytes ونباتات المستنقعات المالحة على فراغات هوائية عديدة في أنسجتها لتجهيز الجذور المغمورة تحت سطح الماء بالهواء اللازم . وتتكيف النباتات مع الظروف المناخية الفصلية بطرق تمكنها من المعيشة خلال تلك الفصول فمثلاً قد تفقد بعض النباتات أوراقها أثناء فترات البرد أو الجفاف . كما أن بعض النباتات الأخرى تقوم بخزن الغذاء لمساعدتها في النمو السريع عند ابتداء فصل النمو التالي . وتدخل النباتات المدجنة من قبل الأنسان كالخضروات ضمن هذه المجموعة .

ومع أن معظم النباتات الزهرية تنمو في التربة وتقوم بعملية التمثيل الضوئي في العادة إلا أن هناك شواذ فالنبتاتات المعلقة Epiphytes تنمو على نباتات أخرى مستخدمة أياها كدعامة . وتشيع مثل هذه النباتات في الغابات الاستوائية فكثير من الأراشيد orchids هي نباتات معلقة . وهناك بعض النباتات الزهرية التي تعيش معيشة طفيلية جزئياً أو كلياً . فنبات الهالوك Dodder يلتوي على سيقان نبات آخر ويخترقها عن طريق ممصات خاصة haustoria تمتص الغذاء والماء من النبات العائل . ونبات الجعفيل Broomrape خال من صبغة الكلوروفيل كلياً ولهذا فهو يحصل على غذائه والماء من جذور النباتات الأخرى . ويظهر هذا النبات فوق سطح التربة فقط لإنتاج أزهاره الحمراء الجميلة . وهاك طريقة أخرى تحصل بها بعض النباتات على غذائها عن طريق اصطياد الحشرات ، وتجتذب مثل هذه النباتات آكلة الحشرات insectivorous فريستها عن طريق لونها أو رائحتها أو رحيقها ثم تصطادها بثني أوراقها بسرعة على الحشرات الواقعة عليها كما هو الحال في

نبات الفينوس venus أو عن طريق شعيراتها اللزجة كما في نبات الدردسيرا sundews أو بواسطة سطوحها الزالقة كما في نبات الجرة pitcher plants . ثم تهضم هذه الحشرات المصطادة بمسادة انزيمات خاصة يفرزها النبات وأخيراً تمتص المواد المهضومة بواسطة الأوارق

الشكل (١٢ ــ ١١) : نبات المنغروف وهو شجر استوائي يعتبر من أكثر النباتات الزهرية تحملا للاملاح . وتعيش هذه الشجرة في المياه الضحلة الممتدة على شواطيء المحيطات حيث تموت معظم الاشجار الاخرى بسرعة لو زرعت في تلك المياه . لاحظ الجذور الجانبية المثبتة التي تميز هذه الاشجار .

مورفولجية النبات الزهرية : Flowering plant morpholoy

لقد سبق وأشرنا عدة مرات إلى أعضاء النباتات الخضرية الأساسية . فتركيبها الأساسي يبقى هو نفس التركيب في جميع النباتات الوعائية . وسنصف هذه الأعضاء هنا كما تبدو في أكثر الأشكال تطوراً قبل أن ندرس أعضاء التكاثر التي تظهر لأول مرة في النباتات الزهرية . يتكون النبات الزهري من جذور وسيقان تحمل الأغصان وعليها الأوراق وتمثل الأزهار أعضاء التكاثر ولكن هذه الأزهار لا تستمر في بقائها جزءاً من النبات طيلةحياته . وقد يفقد النبات أوراقه أيضاً خلال فترات السكون ولكنها تبقى عادة موجودة خلال النمو البسيط للنبات . وقد تتحور كل من هذه الأعضاء بدرجات متفاوتة (كما هو الحال بالنسبة لأشواك نبات الصبير المذكورة آنفاً والتي هي أوراق متحورة) للقيام بوظائف خاصة أو لتمكن النبات من البقاء عاشئاً في بيئات غير مناسبة .

السيقان: Stems

الساق هو تركيب هوائي قائم في العادة وقد يكون مائلاً في بعض النباتات . وتحمل الأوراق على الساق . وفي الأشجار توجد الأوراق عادة على السيقان الغضة بينما يعمل الجزء القديم من ساق الشجرة كدعامة لسند السيقان حديثة التكوين الأمر الذي يؤدي إلى التفرع المتسلسل المميز للأشجار . ولا بد للساق من التغلظ لاكتساب متانة كافية للقيام بوظيفة حمل الأوراق ومقاومة عوامل الريح والمطر والثلج . كما تقوم الساق بنقل المواد بين الجذر والأرواق فكثير من أنسجة الساق الدعامية هي قنوات نقل متخصصة لهذا الغرض وسنعالج موضوع التشريح الداخلي لأنسجة الساق عند دراستنا لطرق النقل في الفصل السادس عشر .

ويعود شكل أي نبات إلى النمط الذي تتفرع به الساق . ويتحدد هذا النمط بدوره بمكان وسرعة نمو البراغم المختلفة على الساق . وتنظم هذه العوامل وراثياً بحيث يتميز كل نوع من أنواع النباتات بشكل خاص تحدده هذه العوامل . ولكن تؤثر العوامل البيئية على نمو النباتات أيضاً ، فمثلاً يعتبر شكل النبات تبعاً للحالة التي يعيش عليها النبات من ناحية انفرادية أو بشكل مجتمع نباتي .

وتحمل الساق عادة برعماً على قمتها وأوراقاً على عقد nodes تقع تحت البرعم الطرفي وتبعد احداها عن الأخرى مسافات منتظمة . وتكون الأوراق القديمة هي أبعد الأوراق عن البرعم الطرفي . وتبرز الأغصان من براعم أبطية أو جانبية lateral or axillary buds تظهر في أبط كل ورقة . وللنباتات الخشبية (الأشجار والشجيرات) القدرة على تكوين نسيج ناقل وداعم أضافي في الساق بحيث تزداد الساق في الحجم والقوة بنفس الوقت . ولكن هناك بعض النباتات التي تصل إلى أطوال كبيرة فوق سطح الأرض دون الحاجة إلى تكوين نسيج داعم ضخم . ومثل هذه النباتات النباتات المتسلقة على غيرها من النباتات الأخرى مستخدمة الأخيرة كدعامة ومن الطبيعي أن تنجح هذه النباتات فقط عند وجود أنواع خشبية أطول منها لتتسلق عليها . وقد تكون النباتات المتسلقة خشبية كما في العنب أوعشبية كما في نبات الفاصوليا المتسلق .

ويمكن فحص التركيب الخارجي لساق خشبية إذا شاهدنا فرع شجرة أثناء فصل الشتاء حين يكون خالياً من الأوراق عندها يمكن مشاهدة عدة مميزات منها أن هناك برعماً طرفياً وفي بعض الأحيان برعمين جانبيين على قمة الفرع . وهناك براعم جانبية تكون عادة أصغر من البرعم الطرفي فوق كل أثر من آثار قواعد الأوارق التي قد كانت متصلة بالفرع الماضي . ويتكون كل برعم من طبقات عديدة لحراشيف برعمية تحفظ الأوراق الصغيرة الموجودة داخلها . ويوجد على مسافة قريبة تحت البرعم الطرفي سلسلة من الخطوط الأفقية تحيط بالساق . وهذه هي آثار حراشيف البرعم التي كانت موجودة في الفصل الماضي ويمكن عن طريقها معرفة مدى نمو الساق أثناء ذلك الفصل . ويوجد على الساق آثار لفتحات صغيرة بحجم رأس الدبوس منتشرة هنا وهناك على جميع السطح . وهذه هي العديسات lenticels التي تسمح باختراق الأكسجين وثاني أكسيد الكربون لطبقة الفلين الموجودة في خلف الساق . تتفتح البراعم في الربيع وتمتد الأوراق كلما استطالت الساق وفي بعض الأشجار توجد جميع الأوراق للفصل الكامل في البرعم ولكن بعضها يكون أوراقاً أضافية أثناء فصل النمو . ثم يتوقف النمو بعد مدة ويبدأ تكوين برعم جديد يحتوي على الأوراق التي ستنمو في فصل النمو القادم .

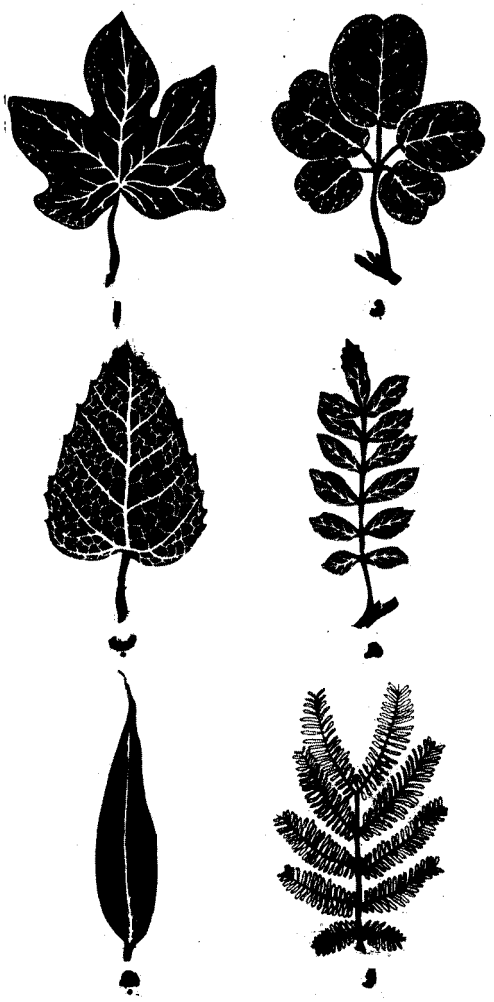
وقد يكون هناك وظائف أخرى بالإضافة إلى وظيفتي الدعم ونقل المواد الغذائية والماء فقد تعمل الساق على انتشار النبات . فقد يكون للنباتات العشبية سيقان أفقية فوق سطح الأرض أو تحته على شكل ريزمات . وتنمو البراعم الجانبية رأسياً من هذه السيقان مكونة نباتات جديدة على أماكن متباعدة . وتستخدم الريزمات في بعض الأحيان لخزن الغذاء . كما يخزن الطعام على شكل درنات ساقية تحت سطح الأرض كما هو الحال في البطاطا . وقد تتحور الساق لتكون مماسك Holdfasts ترتبط بالصخور أو الجدران وغيرها من الدعائم كما هو الحال في نبات زاحففرجينيا Virgina creeper كما قد تتحور الساق إلى أشواك .

الأوراق Leaves

الأوراق هي الأعضاء النباتية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي . وتحمل الأوراق على السيقان بواسطة اعناقها petiole وفي بعض النباتات كالأعشاب قد لا تظهر الأوراق متصلة بالساق ويعود ذلك إلى أن السيقان في مثل هذه النباتات تكون قصيرة جداً ومختفية في

اغماد الأوراق في فترة ما قبل الأزهار . وقد تنمو بروزات شبيهة بالأوراق تدعى أذينات stipules . في منطقة الاتصال بين عنق الورقة والساق . كما قد تأخذ الورقة نفسها عدة أشكال متنوعة كما يظهر في الأشكال المرافقة .

قد تأخذ الأوراق عدة تحورات . ففي النباتات الصحراوية قد تصبح الأوراق غضة لتخزين الماء ، وقد تنتفخ على شكل ابصال لتخزين الغذاء . كما قد تختزل الأوراق على شكل أشواك أو محاليق للتسلق . وقد يكون للنبات أكثر من شكل واحد للأوراق . فمثلاً ، قد يختلف شكل الورقة كلمات تقدم النبات في العمر كما هو الحال في نبات اللبلاب الإنجليزي وقد تختلف أشكال الأوراق في النباتات المائية أيضاً حيث تكون الأوراق المغمورة مقسمة إلى أجزاء صغيرة جداً وبهذا فهي تختلف في شكلها كلياً عن الأوراق الهوائية أو الطافية على سطح الماء .



الشكل (١٢ ـ ١٢) : اشكال أوراق النباتات الزهرية . وتمثل الاشكال ا (اللبلابي) ، ب (المنقودي) ، جـ (القصبي) أوراقا بسيطة . كما تمثل الاشكال د (ورقة الإكيبيا) (*Akebia*) هـ (ورقة الفلفل البرازيلي) ، و (ورقة الاكاسيا (*Acacia*),) أوراقا مركبة تتكون كل منها من وريقات عديدة متصلة بساق النبات بواسطة عنق واحد . وتمثل الورقة الموضحة في الشكل (و) ورقة مركبة ازدواجيا double compound لان كل وريقة تتفرع بدورها الى وحدات صغيرة عديدة . لاحظ التعرق المتوازي في الشكل(جـ).

الجذور Roots

تقوم الجذور بتثبيت النبات في التربة وامتصاص الماء والغذاء منها . وقد تكون هذه تركيباً متفرعاً ليفياً fibroys أو جذراً وتدياً tap root له عدة تفرعات ثانوية أصغر منه . وقد ينتفخ أي من هذه الجذور لخزن الغذاء اللازم للنبات كما هو الحال في نبات الجزر . ويتكون كل من الجذور الليفية والوتدية من الأنسجة الجذرية للجنين الموجود في البذرة ، ولكن يمكن أن تنمو الجذور من نسيج الساق مباشرة أيضاً وتعرف مثل هذه الجذور بالجذور العريضة adventitious . وتشيع مثل هذه الجذور في كثير من النباتات كما نراها بوضوح في السيقان الزاحفة كما هو الحال في نبات الفراولة أو في جذور السيقان المقطوعة . وتوجد الجذور العرضية فوق وتحت التربة . وقد تكون للاراشيد جذور هوائية لامتصاص الماء كما تستخدمها نباتات اللبلاب لتتعلق بجذوع الأشجار وبحيطان البيوت . وفي بعض الأحيان تنمو الجذور نحو التربة من مناطق على الساق بعيدة كثيراً عن مستوى سطح الأرض وتعرف مثل هذه الجذور بالجذور المساعدة prop roots حيث تعمل على دعم الساق كما هو الحال في نبات الذرة أو على تكوين نقاط تثبيت متعددة كما هو الحال في نبات المانغروف الاستوائي mangroves.

التكاثر في النباتات الزهرية Reproduction in flowering plants

رأينا في النباتات معراة البذور أن النبات الجاميتي الأنثوي قد اختصر كثيراً وأنه يحفظ على النبات البوغي ، ووجدنا أيضاً أنخلايا السابحات الذكرية تصل إلى الارشيجونيات عن طريق أنبوبة لقاحية . ونرى في النباتات الزهرية أن هناك اختصاراً أكثر تبسيطاً أكبر للأجيال الجاميتية . هذا بالإضافة إلى أن البويضات هنا تحاط كلياً بأنسجة المبيض ovary التي يمكن اعتبارها ورقة جرثومية كبيرة متحورة (تسمى الكربلة carpel) مثنية ومحكمة السد حول البويضات . وعند نضج الثذور يكون المبيض ما يسمى بالمثرة fruit وتتجمع جميع أعضاء التكاثر في ما يسمى بالزهرة . ومن هنا أخذ اسم النباتات الزهرية .

تكون البذور النباتات الزهرية نباتاً بوغياً خضرياً بالغاً . وبعد ذلك ياتي الوقت الذي تقف فيه قمة الساق عن تكوين الأوراق وتبدأ بتكوين أنسجة الزهرة المحتوية على أعضاء التكاثر بدلاً من تكوين الأوراق . وتتألف أعضاء التذكير الجنسية من أربعة أكياس بوغية

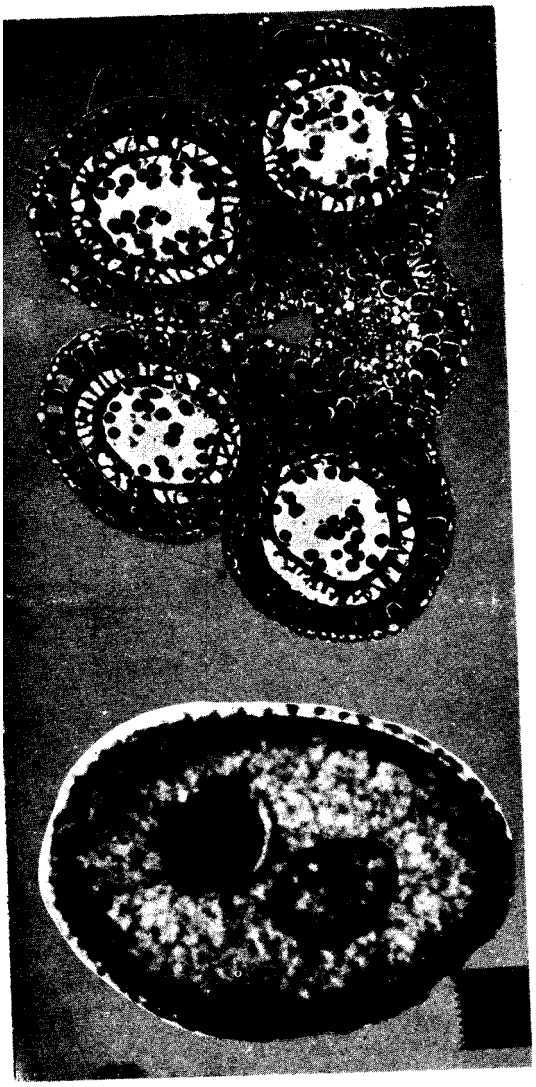
صغيرة مندمجة معاً (تدعى المتك anther محمولة على خيط filament يقابل الورقة البوغية الصغيرة وتنقسم الخلايا داخل المتك انقساماً اختزالياً مكونة الخلايا البوغية الصغيرة التي تتكون منها حبوب اللقاح . وعندما تسقط حبة اللقاح تكون محتوية على نواتين هما نواة الأنبوبة ونواة التناسل وهما كل ما يتبقى من الطور الجاميتي الذكري . وتنقسم النواة التناسلية عند الانبات أو قبله بقليل مكونة نواتين لسابحتين ذكريتين . وغالباً ما يكون جدار حبة ا للقاح مرصاً باشكال مميزة للنوع . وفي الحقيقة تكون حبوب اللقاح متميزة جداً بحيث يمكن أن تستخدم التغيرات الحاصلة في حبوب اللقاح الموجودة محفوظة في المستشفيات للتعرف على نوع التغيرات الحاصلة في الكساء الخضري في المنطقة المحيطة .

ويتكون العضو التناسلي الأنثوي من بويضة محمولة في الفراغ المتكون في المبيض ويمتد المبيض من أعلاه مكوناً عموداً يسمى القلم style وهذا بدوره يحمل على قمته الميسم stigma وهو السطح الذي يستقبل حبة اللقاح قبل أن تبدأ في النمو عليه . ومع أن التنظيم الأساسي للبويضة هنا مشابه لذلك الموجود في النباتات معراة البذور إلا أن البويضة هنا قد اختصرت اكثر . وتنقسم خلية الكيس الجرثومي الكبير الموجود قرب قمة النيوسيله انقساماً اختزالياً مكونة ٤ خلايا بوغية كبيرة . ثم تموت ثلاث من هذه الخلايا وتنقسم الخلية الباقية انقساماً غير مباشر مكونة ٨ انوية وينتج عن ذلك تركيب يدعي الكيس الجنيني embryo sac التي يمثل الطور الجاميتي الأنثوي . تهاجر من النويات إلى أسفل الكيس مكونة ما يسمى بالخلايا السمتيه antipodal cells ومن المحتمل أن تمثل هذه الخلايا الجزء الخضري من الطور الجاميتي فوظيفتها polar nuclei إلى مركز الكيس حيث تصبحان معلقتين بواسطة جسور سيتوبلازمية في مركز الفراغ . وتنتقل النويات الثلاث الباقية إلى الطرف النقيري للكيس وتصبح أحداها نواة البيضة . وتفصل هذه النويات الثلاث الممثلة للارشيجونية عن السيتوبلازم بواسطة أغشية رفيعة . وعند مقارنتنا الطور الجاميتي الأنثوي للنباتات الزهرية بمثيله في معظم النباتات معراة البذور نجد أن هذا الطور في النباتات الزهرية يتصف بقليل من التمايز وبمعيشته لفترة قصيرة يكون فيها معتمداً اعتماداً كلياً على النبات البوغي .

ويحيط بأعضاء التكاثر في معظم النباتات التي تلقح بواسطة الحشرات بتلات petals وسبلات sepals . تلتف السبلات حول الزهرة المتكونة لتحفظها أثناء وجودها في البـــرعم كما تقوم البتلات بجذب الحشرات إلى الزهرة بعد انفتاحها . وعند انفتاح الأزهـــار تنفـــتح الأكياس البوغية الصغيرة الموجودة في المتك مطلقة حبوب اللقاح التي تكون عادة لزجة في النباتات التي تلقح عن طريق الحشرات .

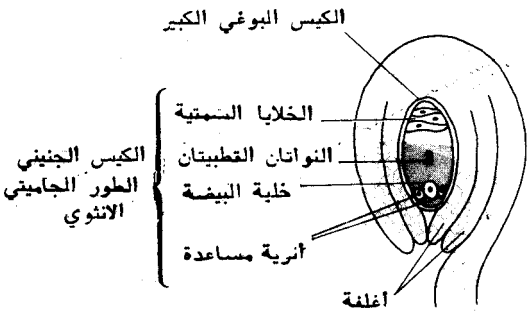
تزور الحشرات النباتات لجمع حبوب اللقاح ، أو رحيـــق الأزهـــار nectar التـــي تتخذها غذاء لها . ويوجد الرحيق عادة في قرص رحيقي nectary يقع في قـــاع البـــتلات الأمر الذي يدعو الحشرة إلى أن تحك جسمها على المتك والميسم حتى تستطيع الوصول إلى القرص الرحيقي . اثناء ذلك تلتصق بعض حبوب اللقاح على جسم الحشرة وتنتقل هذه إلى ميسم الزهرة التي تزورها الحشرة بعد ذلك . وهناك أدلة تشير إلى أن الحشرات والأزهار قد تطورتا معاً . وفي العادة تزور الحشرة نوعاً واحداً فقط من الأزهار في الفترة الواحدة إذ تتعرف على هذه الأزهار بواسطة نظام ترتيب البتلات ولون الزهرة . وكثيراً مـــا تكـــون الأزهار خطوطاً لونية معينة من ضمنها اللون فوق البنفسجي (الذي تراه الحشرات ولا يراه الإنسان) تشير إلى مكان القرص الرحيقي . وتسمى مثل هذه الخطوط بادلة الرحيق nectar guides) ولبعض الأزهار وخصوصاً تلك التي تلقح عن طريق القراش روائح واضحة كما أن لبعضها روائح تشبه روائح اللحم المتعفن لتجذب الذباب .

وبمجرد أن تصل حبوب اللقاح إلى الميسم فإنها تبدأ بالنمو إذ تنتج انزيمـــات خاصـــة لهضم بعض خلايا الميسم التي تستخدم كمصدر لتغذية الأنبوبة اللقاحية النامية (من المحتمل أن هذه الأنزيمات الناتجة عن حبوب اللقاح هي المسؤولة عن حمى القش hay fever عـــن طريق استثارتها لأغشية الممرات التنفسية المخاطية وحبوب اللقاح المسؤولة عن حمى القش تأتي في الغالب من النباتات التي تتلقح عن طريق الرياح) . وتنمو أنبوبة حبة اللقاح خـــلال القلم نحو الطور الجاميتي الأنثوي ثم تنفجر نهايـــة الأنبوبة مطلقـــة نـــواياتها في سيتوبلازم



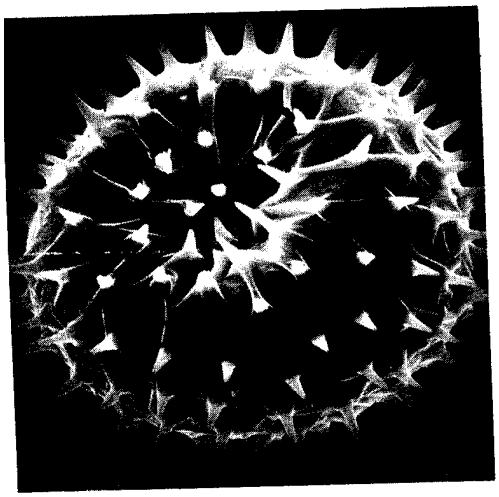
الشكل (١٢ — ١٢) : قطاع عرضي في متك نبات الليليوم Lillium يوضح الشكل العلوي وجود اربعة اكياس بوغية صغيرة ملتحمة . ويوضح الشكل السفلي حبة لقاح واحدة مكبرة .

النبات الجاميتي الأنثوي نوتندمج احدى نواتي السابحتين الذكريتين مع نواة البيضة ثم تهاجر النواة الأخرى إلى النواتين القطبيتين وتدمج النويات الثلاث مكونة نواة ثلاثية الكروموسومات triploid لا تلبث أن تنقسم وتكون جدراً خلوية حول النويات الناتجة الأمر الذي يؤدي إلى تكوين نسيج غذائي خاص هو الاندوسبرم endosperm . إذن فالاخصاب في النباتات الزهرية يختلف عن غيره من طرق الاخصاب الأخرى لأنه اخصاب مضاعف double fertilization وتؤدي عمليتا التلقيح والاخصاب إلى تضخم أنسجة المبيض مكونة الثمرة.

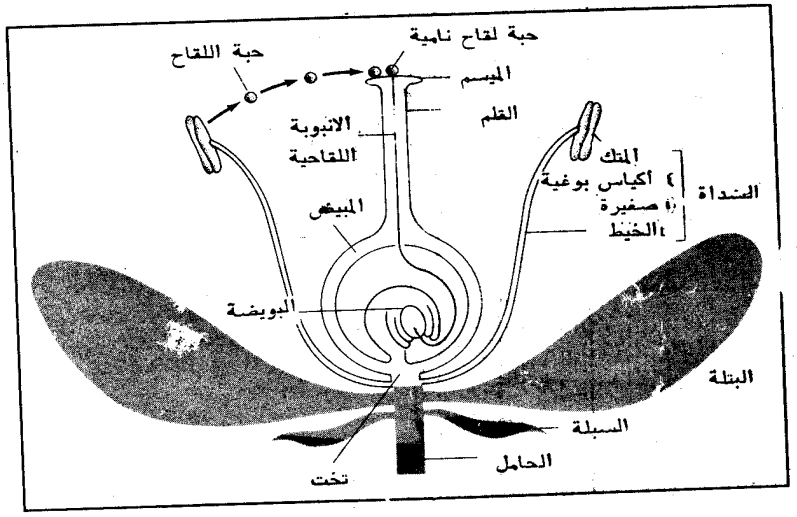


الشكل (١٢ ــ ١٤) : يوضح هـــذا الشكل مبيض وجنين نبات الليليوم Lillium وهما موجودان داخل انسجة نبات الطـــور البوغي الاب .

ويتبع الاخصاب تضخم البويضة أيضاً إذ ينقسم الزيجوت مكوناً جنين النبات نـــويبقى الاندوسبرم في بعض النباتات كنسيج لتغذية البذرة النابتة في أوائل أطوار نموها ، وفـــي بعض النباتات الأخرى تصبح الفلقتان catyledons أو ورقتا البذرة هما أعضـــاء تخـــزين الغذاء التي تمتص الغذاء من الاندوسبرم كلما نما الجنين داخل البذرة يختفي الاندوسبرم عند النضج . وعندما يقترب نمو الجنين مرحلة النهاية تجف أنسجة البويضة ويقســو الغـــلاف مكوناً القصرة أو غلاف البذرة tasta.



الشكل (١٢ ــ ١٥) : صورة في المجهر الالكتروني لحبة لقاح نبات زهري . ويبـــرز الشكل بوضوح احد الاسباب التي تمكن حبـة اللقاح من الالتصاق بحشرات النحل التـــي تزودها .



الشكل (١٢ ــ ١٦) : اجزاء الزهـــرة والطريق الذي تاخذه حبة اللقاح عند نموهـــا مكونة انبوبة لقاحية اثناء مرحلة التحضـــير للاخصاب .

تزداد هذه الأنسجة قليلاً في الحجم ثم تجف وقد تزداد إلى حجم أكبـــر وتصـــبح لحميـــة . والجفاف بحد ذاته هو تحور لتمكين جدار المبيض من الانشقاق بقوة أحياناً وذلك حتى تنتثر البذور وتنتشر بواسطة الرياح إلى أماكن أخرى . أما الثمار اللحمية فهي تعمل على جـــذب الحيوانات إليها فتأكلها وبهذا تتمكن البذرة المحفوظة داخل غلفها من المرور خلال الجهـــاز الهضمي ثم انتشارها إلى أماكن بعيدة مع البراز . وتؤلف المكسرات مجموعة خاصة بحد

ذاتها فهي ثمار جافة تحتوي في العادة على بذرة واحدة ولا تنشق هذه الثمار وإنما تنتشر على شكل وحدات كاملة .

تصنيف النباتات الزهرية Classification of flowering plants

يوجد من النباتات الزهرية أنواع كثيرة جداً إذ تمثل هذه النباتات حوالي ٢٥٠,٠٠٠ نوع من أصل ٣٥٠,٠٠٠ نوع معروف من أنواع النباتات وتصنف النباتات الزهرية على قسمين هما: ذوات الفلقتين dicotyledons وذوات الفلقة الواحدة monocotyledons ويشير الاسم إلى عدد الفلقات التي يحتوي عليها جنين النبات . ولكن تختلف النباتات ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين في أمور أخرى مهمة . فللنباتات ذوات الفلقة الواحدة أوراق رقيقة طويلة لها عروق متوازية وحزم وعائية متناثرة بدون انتظام في الساق . كما أن الأجزاء الزهرية في هذه النباتات (السبلات والبتلات والأعضاء الجنسية) مرتبة بشكل مجموعات ثلاثية . كما أن معظم هذه النباتات ليس لها القدرة على التغلظ الثانوي الذي تلاحظه في الأشجار . وأما النباتات ذوات الفلقتين فلها أوراق ذات اشكال مختلفة وذات شبكة عروق مميزة ويتميز النسيجالوعائي في سيقانها باشكال اسطوانية وعائية متصلة . كما أن لهذه النباتات القدرة على التغلظ الثانوي وكذلك تترتب الأجزاء الزهرية على شكل مجمعات رباعية أو خماسية في الغالب . ويغلب أن تكون أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة متصلة مباشرة بالساق ولكن أوراق النباتات ذات الفلقتين تتصل بالساق عن طريق اعناقها . تشمل النباتات ذوات الفلقتين نباتات عشبية وأشجاراً بينما تكون النباتات ذات الفلقة واحدة نباتات عشبية بشكل رئيسي وأشجار بينما تكون النباتات ذات الفلقة الواحدة نباتات عشبية بشكل رئيسي وذلك لعدم قدرتها على التغلظ الثانوي . ولكن مع ذلكهناك نباتات قليلة ذات فلقة واحدة نجحت في الوصول إلى مستوى الأبعاد الشجرية كالنخيل .

ويعتمد التصنيف التفصيلي للنباتات الزهرية إلى عائلات كلياً على التركيب الزهري ونحن هنا لا نستطيع دراسة أكثر من جزء بسيط من العائلات التي يصل عددها إلى قرابة ٣٠٠ عائلة وسنورد مميزات بعض منها.

ذوات الفلقتين Dicotyledions

العائلة الشقيقة Ranunculaceae

وتضم نباتات الحوذان buttercup وقدم الغراب crowfoot والقطيفة marigold وجميعها نباتات عشبية معمرة . وتكون ازهارها عادة متماثلة وهي ثنائية الجنس حيث تترتب الأسدية والكربلات بشكل لولبي . وتعتبر هذه العائلة أكثر النباتات العشبية ذات الفلقتين بساطة .

العائلة الوردية Roseaceae

وتضم كثيراً من نباتات الزينة وكذلك النباتات التي تنمى من أجل ثمارها كالتفاح والعليق والكرز ويختلف تركيب الأزهار هنا من نبات لآخر خصوصاً فيما يتعلق باعضاء التكاث الأنثوية وهناك ٥ بتلات و٥ سبلات وعدد كبير من الاسدية لنباتات هذه العائلة .

العائلة البقولية Leguminosae

تضم هذه العائلة عدداً من النباتات العشبية والخشبية (مثل البيقة vetches والترمس lupin وغيرها) التي تنمو في بيئات مختلفة . وهي تشمل نباتات تستخدم كطعام للحيوانات كالالفا الفا وكطعام للإنسان مثل الحمص والفول والفاصوليا وفول الصويا والفول السوداني . وأوراق هذه النباتات تكون عادة مركبة ومتبادلة في أوضاعها على الساق . وتتحور الورقة الطرفية في الحمص إلى محلاق للتسلق كما يوجد للنباتات الأخرى محاليق أو سيقان ملتوية تسهل عملية التسلق . والثمرة وهي المميزة الرئيسية لهذه العائلة هي قرن ، وتتخصص الأزهار هنا للتلقيح عن طريق الحشرات . فنبات الالفا الفا مثلاً يلقح عادة عن طريق حشرات ثقيلة الوزن الصمل . وتكون اسدية وميسم نبات الالفا الفا موضوعة تحت بعض الضغط فإذا أثيرت هذه عندما تحط نحلة على الزهرة مثلاً فإن الاسدية والميسم يقفزان إلى الأعلى فيضربان بهذه الطريقة جسم نحلة بقوة الأمر الذي يؤدي إلى التصاق بعض حبوب اللقاح على جسم الحشرة الذي يكسوه كثير من الشعيرات . وعندما تزور الحشرة زهرة أخرى تسقط بعض حبوب اللقاح على ميسم الزهرة الجديدة .

العائلة المركبة Compositae

تعتبر هذه العائلة ثاني أكبر عائلة تابعة للنباتات الزهرية (عائلة الأراشيد هي أكبر عاشلة) إذ تضم حوالي ٢٠,٠٠٠ نوع معظمها أعشاب حولية أو معمرة . وتضم هذه العائلة نباتات الهندباء البرية dandelion وزهرة الربيع daisy والاقحوان chrysanthemum وعباد الشمس sunflower ومعظم هذه النباتات هي نباتات زينة كما أن بعضها كعباد الشمس يستعمل كغذاء . والواقع أن ما يظهر كزهرة لهذه النباتات هو في الحقيقة مجموعة لعدة أزهار تكون في العادة على نوعين: الزهيرات الشعاعية وهي التي تكون البتلات والزهيرات القرصية التي تكون مركز الجسم الزهري . وتكون الزهيرات الشعاعية عقيمة في العادة إلا عندما تكون هذه الزهيرات الزهرة بكاملها كما هو الحال في الهندباء البرية . وفي الأزهار المكونة من كلا النوعين من الزهيرات كما في زهرة الربيع تعمل الزهيرات الشعاعية على جذب الحشرات التي تنقل حبوب اللقاح .

ذوات الفلقة الواحدة Monocotyledons

العائلة الزنبقية liliaceae تضم هذه العائلة نباتات الزنبق وغيرها مثل التيوليب والاسباراجس واليوكا . ومع أن معظم هذه النباتات هي نباتات عشبية معمرة إلا أن القليل منها هي نباتات خشبية مثل شجرة يشوع الموجودة في المناطق الجنوبية الغربية للولايات المتحدة الأمريكية .

العائلة النجيلية Gramineae وتشمل هذه العائلة حوالي ٧٠٠٠ نوع وهي أهم عائلة بالنسبة للإنسان لأنجميع أنواع الحبوب كالقمح والشعير والشوفان والذرة والأرز وغيرها تابعة لهذه العائلة . وكثير من هذه الحبوب يزرعها الإنسان منذ أيام ما قبل التاريخ ولم تعد هذه الحبوب تعيش معيشة برية . وهناك نباتات تشبه نبات القمح تعيش في اسيا الصغرى ويعتقد أن أصل الذرة قد كان في وسط أمريكا . وسكر القصب هو من هذه العائلة وهو مصدر مهم للمواد السكرية كما تستخدم أعشاب المراعي كمصدر مهم لتغذية الحيوانات .

وتعتبر النجيليات أكثر النباتات نجاحاً لأنها تسود في مناطق من الأرض أكثر من أي نباتات أخرى . فهي تنتشر في سهول البريري في أمريكا الشمالية وفي سهول آسيا وسفانة أفريقيا وأمريكا الجنوبية أكثر من نباتات أي عائلة أخرى بمفردها . ومعظم هذه النباتات هي أعشاب حولية أو معمرة ولكن بعضها.

الشكل (١٢ ــ ١٧) : نخيل البلـــح Phoenix وهو أحد النباتات القليلـــة وحيدة الفلقة التي تصل الى حجم الاشجار .

الشكل (١٢ ــ ١٨) : ازهار نباتـــات مختلفة . (أ) زهرة نبات القطيفـــــة marigold الذي يعيش في المستنقعات وهو تابع للعائلة الشقيقية ، (ب) زهـــرة الورد ذو الاوراق المجعدة rugosa rose (ج) زهرة نبات القرانيا dogwood تمثل (البتلات) البيضاء في القرانيا القنابـــات bracts وهي أوراق متحورة أما الازهار الحقيقية فهي المجموعة الصفراء صغيرة الحجم الموجودة في المركز .

نباتات خشبية قد تصل أطوالها إلى ١٠٠ قدم كما هو الحال في نباتات الخيزران الهنـــدي . وأزهار النجيليات تكون صغيرة الحجم وخضراء ويتم تلقيحها بواسطة الرياح فـــلا حاجـــة لأزهار هذه النباتات أن تجتذب الحشرات كما أن تركيب أزهارها يكون بسيطاً في العادة .

تطور النباتات: **The evoulation of plants**

لقد مسحنا في هذين الفصلين أنواعاً مختلفة من عالم النبات وحاولنا أن نبه إلى الأهمية التكيفية للتغيرات التي حصلت على هذه الأنواع عند نجاح بعض أنواع التراكيب النباتية أكثر من غيها على مدى الأزمان الجيولوجية التي مرت عليها . وقد رأينا تطور هـــذه النباتـــات مرحلة مرحلة بدءا بالطحالب البدائية المتكونة من خلايا بسيطة التمايز تعتمد دورة حياتهـــا الكلية على بقائها مغمورة في الماء ومروراً بالتكيف المؤقت الأولي لحياة اليابسة ممثلة فـــي النباتات الحزازية والنباتات الوعائية الأولية . وأخيراً وصلنا إلى التطور الكامل للأجهـــزة الوعائية وللأطوار البوغيةة السائدة والاخصاب عن طريق الرياح والحشرات لبذور النباتات معراة البذور والنباتات الزهرية المحفوظة داخل أغلفة خاصة وأن معظم المجموعات النباتية التي ظهرت على الأرض قد انقرضت منذ مدة طويلة وأن معظم المجموعات النباتية التـــي ظهرت على الأرض قد ا نقرضت منذ مدة طويلة وأن جميع الأسلاف العامة للنباتات العائشة الآن قد انقرضت ، الا أن هناك أنواعاً كثيرة لها علاقة بالمجموعات البدائية ما زالت باقية حتى الآن . وهذه بالاضافة لسجل الحفريات تعينا فكرة عن الهيئة التي كان عليهـــا العـــالم عندما كانت مثل هذه النباتات هي النباتات السائدة على وجه الأرض . فقـــد ظهـــرت أول النباتات الوعائية منذ حوالي ٤٠٠ مليون سنة تقريباً وامتدت هذه مكونة الغابات التي كانـــت منتشرة في العصر الكربوني قبل أن تظهر سلاسل جبال الأباش . وهذه الغابات هي مصدر الفحم الحجري الذي يستخرج حالياً . وقد ملأت السيكادات وغيرها مـــن النباتـــات معـــراة البذور الغابات والمستنقعات أثناء العهد الوسيط وقد سادت الديناصورات في ذلـــك العهـــد . وسادت النباتات الزهرية في العصر الحديث حيث بدأت في الظهور منذ ٦٠-٧٠ مليون سنة

تقريباً أي في الوقت الذي بدأت تنتشر فيه الطيور والحشرات الطحالب الحمراء والبنية والحزازيات القائمة المتفرعة طريقاً تطوريقاً لمسافة معينة ثم توقفت عن التطور لسبب ما . والسؤال الذي يرد إلى الذهن الآن هو: هل النباتات الزهريةة هي أرقى مرحلة ممكنة يمكن أن تصل لها النباتات ؟ أم أن هناك مرحلة أخرى بعدها؟ نستطيع أن نقول في هذه اللحظة أن مثل هذا التغير يحتاج إلى مدة طويلة جداً بحيث أنه من المحتمل ألا يبقى أي أنسان على وجه الأرض لمشاهدة هذا التغير . ولكن مثل هذا التغيير قد يحدث لأن النباتات قد سبقت الحيوانات على الأرض وأنه من الممكن أن تبقى النباتات عليها بعد فناء الحيوانات .

ملخص الفصل الثاني عشر

لا يوجد في أي من النباتات الدنيا أنسجة الخشب واللحاء اللازمة لنقل الماء ونـــواتج عملية التمثيل الضوئي من مكان لآخر داخل النبات ، كما أن هذه النباتات تفتقر إلى سيقان دعاميةقوي وإلى القدرة على التكاثر في بيئة جافة نسبياً . ولكن النباتات الوعائية التي يسود فيها الطور البوغي قدحلت هذه المشاكل ولهذا فأنها تناسب الحياة على اليابســـة أكثـــر مـــن غيرها من النباتات .

وتمثل النباتات الوعائية التي تتكاثر عن طريق الأبواغ أربع مجموعات موجودة الآن. هي البسيلوفيتا وهينباتات بسيطة ليس لها أوراق ولا جـــذور حقيقيـــة . والليكوبيـــدات أو "الحزازيات القائمة" المتفرعةوهينباتات صغيرة تشبه الحزازيات القائمـــة فـــي مظهرهـــا . وتشير الدلائل الحفرية إلىى أن هذه "الحزازيات القائمة" المتفرعة قد نمت إلى أحجام ضخمة في يوم من الأيام وأنها كانت واسعة الانتشـــار فـــي بيئـــات المســـتنقعات لعـــدة قـــرون . والذيحلصانيات التي لا يوجد منها الآن سوى جنس واحد وهو الذيلحصان . وأما البتريديات وهي السراخس فهي أوسع أنتشاراً وتنوعاً من أي نبات وعائي لا بذري آخر .

تعيش السراخس في بيئات رطبة ظليلة وهي تتميز بأوراق كبيرة مميزة للنبات .

وتنتج جميع النباتات الوعاية اللابذرية أبواعاً أحدية الكروموسومات . وتنمـــو هـــذه الأبواغ مكونة نباتاً جاميتياً مستقلاً وهذا الطر قليل الشبه بالطور البوغي وهو النبات الأصلي . وقد يختلف النبات الصغير الممثل للطور الجاميتي من نوع لآخر فقد يكون نباتاً صـــغيراً مستقلاً غير قادر على القيام بعملية التمثيل الضوئي . وبهذا فهو يعتمد اعتماداً كليـــاً علـــى الطعام المخزون في البوغ . ولبعض النباتات نوعان من الأبواغ يتطوران إلى طور جاميتي

ذكري وأخر أنثوي . وتشير ظاهرة وجود نوعين من الأبواغ وتقليل حجم وتعقيد الطور الجاميتي إلى الاتجاه التطوري الذي يحتمل أن يكون قد أدى إلى تكوين الجهاز التناسلي للنباتات البذرية .

ويغطي النبات البوغي السائد في البناتات البذرية جنينه بغلاف صلب ويجهزه بالغذاء وبهذا يهيئ له بيئة مناسبة للاخصاب والنمو الأولي للطور الجامييتي ويمكن تقسيم النباتات البذرية إلى نباتات تحمل بذوراً عارية (معراة البذور) ونباتات تحمل بذورها في أعضاء خاصة هي الثمار (النباتات الزهرية).

وقد اختصر الطور الجاميتي الذكري في النباتات معراة البذور إلى حبة لقاح يمكن انتشارها بسهولة عن طريق الرياح . ويمكن القول أن جميع النباتات معراة البذور تقريباً هي أشجار خشبية بما فيها الصنوبريات والسايكادات الشبهية بأشجار النخيل وهي تحلم أعضاء تكاثرها في مخاريط خاصة . وتختف الصنوبريات عن السايكادات التي تحمل المخروطين الذكري والأنثوي على نباتين منفصلين بأنها تنمي المخاريط الذكرية عن طريق الريح إلى المخاريط الأنثوية . ثم ينمو الجنين بعد الاخصاب ويتغدى على الغذاء المخزون في الطور الجامتي الأنثوي . وعند نضج البذرة تسقط وتنتشر ثم تنبت وتكون لها جذراً وتنمو إلى نبتة مستقلة .

تضم النباتات الزهرة معظم النباتات التي نستخدمها في طعامنا بالاضافة إلى الأعشاب والأشجار ذات الأوراق العريضة . تظهر النباتات الزهرية تحورات لتلائم المعيشة في ظروف بيئية متنوعة . فمثلاً تستطيع النباتات الصحراوية أن تعيش في بيئة الصحراء عن طريق الأقلال من الماء المفقود بينما للنباتات التي تعيش في المياه المالحة طرق فسيولوجية خاصة تمكنها من المعيشة في مثل هذه البيئة .

وتتكون النباتات الزهرية من سيقان وأوراق وجذور . وقد تتحور كل من هذه للقيام بوظائف خاصة تمكن النبات من المعيشة في بيئات مختلفة . أما الساق فهي تركيب دعامي قوي يحمل الأوراق وينقل المواد بين الجذور والأوراق . ويوجد على الساق في العادة برعم طرفي وأوراق تحمل على عقد متباعدة عن بعضها بانتظام . وقد تتخصص الساق في انتشار النباتات في أماكن قريبة للنبات الأصلي أو لتخزين الغذاء أو لحماية النبات . والأوراق هي الأعضاء التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي . وقد تتحور أشكال الأوراق

ووظائفها لتناسب المعيشة في بيئات متنوعة . وتقوم الجذور بتثبيت النبات في التربة وامتصاص الماء والغذاء منها .

وتوجد الأعضاء التناسلية للنباتات الزهرية في الأزهار وتمثل الأسدية أعضاء التذكؤر كما تمثل البويضات أعضاء التأنيث . ويحيط بالبويضات أنسجة المبيض التي تكون الثمرة عندما تنضج البذور . يمتد المبيض مكوناً قلما وميسماً لاستقبال وأنبات حبوب اللقاح في معظم النباتات التي يتم التقيح فيها عن طريق الحشرات . عندما تزور الحشرات الزهرة تلتصق حبوب اللقاح في أجسامها وتنتقل إلى ميسم الزهرة التالية التي تزورها الحشرة . ثم تنبت حبة اللقاح منتجة انزيمات خاصة تذيب بعض خلايا الميسم لتعمل كمصدر غذاء للأنبوبة اللقاحية النامية . وعند نمو الأنبوبة اللقاحيةمن خلال القلم ووصولها إلى الطور الجاميتي الأنثوي تنتفخ الأنبوبة من طرفها وتطلق أنويتها في سيتوبلازم البويضة . ويؤدي الأخصاب إلى تكوين نسيج غذائي خاص هو الاندوسبرم .

وبعد الاخصاب تكبر البويضة في الوقت الذي ينقسم فيه الزيجوت ليكون جنين النبات . في بعض النباتات يستمر الاندوسبرم بتغذية النبتة بينما تقوم الفلقتان بوظيفة خزن الطعام في بعض النباتات الأخرى . وعند اقتراب الجنين من اكتمال نموه تجف أنسجة البويضة ويتكون غلاف البذرة المعروف القصرة . وعند نضج البذرة فأما أن تكبر أنسجة المبيض قليلاً ثم تجف أو تزداد هذه الأنسجة في التضخم وتصبح لحمية . ويؤدي جفاف أنسجة المبيض إلى انفتاح جدار المبيض وانتثار البذور وانتشارها إلى أماكن أخرى عن طريق الريح . أما الثمار الغضة اللحمية فأنها تجتذب الحيوانات التي تأكلها وتنشر بذورها المحفوظة إلى أماكن أخرى عن طريق مرورها للخارج مع براز هذه الحيوانات .

وتقسم النباتات الزهرية إلى ذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين حسب عدد فلقات الجنين . وتشمل النباتات الزهرية ذات الفلقتين العائلة الشقيقية والعائلة الوردية (ومنها التفاح والعليق والكرز) والعائلة القرنية أو البقوية (وتضم نباتات الالفا والفاصوليا والفول والحمص والفول السوداني) والعائلة المركبة (وهي تضم حالي ٢٠,٠٠٠ نوع من النباتات الزهرية) . وتضم النباتات ذوات الفلقة الواحدة العائلتين الزنبقية والنجيلية التي تضم جميع أنواع الحبوب

وقصب السكر ، وتسود نباتات العائلة النجيليةة مساحات من الأرض أكثر اتساعاً من تلك فيها نباتات أي عائلة أخرى . ولما كانت عملية التلقيح في هذه النباتات النجيلية تتم عن طريق الريح فهي لا تحتاج إلى جذب الحشرات إليها ولهذا فازهارها تتميز ببساطة تركيبها .

نظرة فاحصة

لم مصائد الحشرات؟

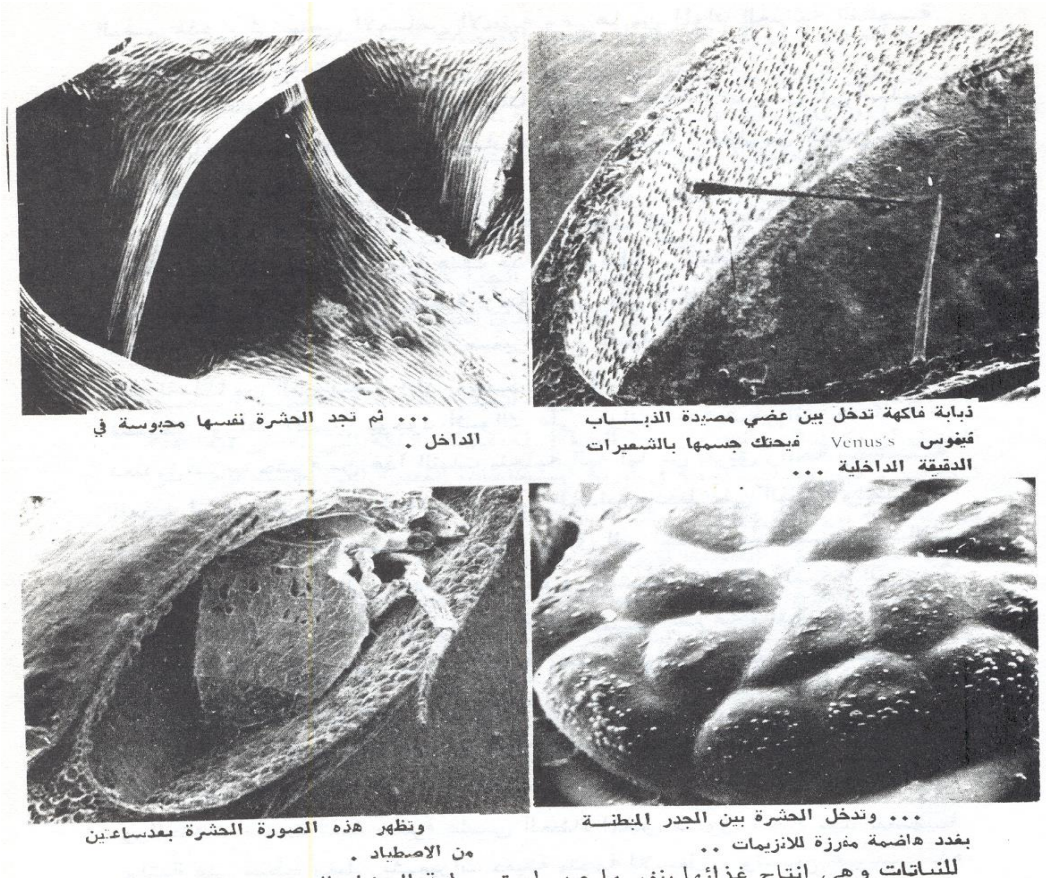
Why the Fly Trap?

لقد كانت النباتات آكلة الأنسان موضوعاً لكتاب الروايات العلمية الخيالية بحثاً عن مصدر ترويع سهل للقراءة لأن فكرة وجود نبات آكل للأنسان هو أمر مخيف "وخاطئ كلياً" وقد اهتم بعض الكتبا الخياليين بطرق نفس الموضوع لأغراض توسيع المجال الأدبي القصصي فهناك كتاب صفصافة الشيخ الهرم وكتاب سيد الحلقات لمؤلفها تولكين Tolkien's Lord of the Ring الذي يورد فيه تحطيم حيوان القرمبس (حيوان من رتبة الدلافين) بواسطة بعض أنواع من الأشجار .

يبدو أن مثل هذه العمالقة أنما كانت في أماكن بعيدة أو منذ زمن طويل ولكن في نطاق البحث عن أكلة الفريسة أصغر حجماً من الأنسان نجد على كوكبنا أمثلة كافية على ذلك . فهناك عدد كبير من أنواع النباتات التي تقوم بخدع واصطياد وهضم الحشرات بانتظام- كما تستطيع بعض السلالات الكبيرة أن تقبض على بعض الحيوانات الفقارية الصغيرة . ومن بين هذه الأنواع المعروفة لدينا نباتات مصيدة الذباب Flytrap والجرة Pitcher Plants والدروسيرات Sundwes كما تشمل هذه المجموعة النبتة المثانية Bladderwort والنبتة الدهنية Butterwort التي سميت بهذا الأسم نتيجة لملمس أوراقها الدهني ، وتوجد بعض هذه النباتات كالدروسيرا في جميع انحاء العالم ولكن بعضها الاخر محدود الانتشار . فنباتات مصيدة الذباب مثلاً يوجد في بقعة واحدة في ولاية كارولينا الشمالية في الولايات المتحدة الأمريكية وربما في مكان أو مكانين أخرين فقط .

ويبدو أن حياة النباتات آكلة الحشرات مناقضة لطبيعية الغذية العادية للنباتات وهي

صورة سكنر



إنتاج غذاها بنفسها عن طريق عملية التمثيل الضوئي ، ولكن على الـــرغم مـــن أن لهـــذه النباتات القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي ألا أنها تلتهم كذلك غذاء حيوانياً . وما هذا إلا مثال آخر لتوضيح صعوبة تصنيف طبائع الكائنات الحية في أنماط محددة دقيقة .

تفرز جميع النباتات آكلة الحشرات أنزيمات هاضمة من غدد خاصة فيها كما هو الحال بالنسبة للحيوانات . وأن كثيراً من هذه الأنزيمات ليست مختلفة كثيـــراً عـــن أنزيماتنـــا . فالانزيمات الموجودة في النبتة الدهنية مثلاً لها القدرة على هضم البروتينات والنشا وغيرها من المواد العضوية الأخرى بما فيها جزيئات الحامض النووي الريبوزي المعقـــد . وقـــد تساعد البكتيريا أحياناً في عمليات الهضم هذه . ثم تمتص الأحماض الأمينية وغيرها مـــن المواد الغذائية الناتجة من خلال أوراق النبات .

ولما كانت هذه العملية تستغرق وقتاً طويلاً في العادة (قد يصل إلى أسابيع أحياناً) فأن بعض النباتات تصنع مضادات حيوية لتحفظ الطعام من التعفن خلال فترة الهضم التي تسبق الامتصاص .

والسؤال الواضح الذي يرد إلى الذهن حول هذه النباتات هو : كيف تصطاد هذه النباتات فرائسها؟ هناك عدة طرق لذلك . فنبات الدروسيرات وبعض النباتات الأخرى تفرز مادة مخاطية لزجة تظهر على شكل نقط على سطوح الأوراق ، فتلتصق بها أية حشرة صغيرة تقع عليها . ولكن نبات صائد الذباب أكثر نشاطاً من الدروسيرا ، إذ يوجد على السطح الداخلي لكل فص من فصوص أراقه المتميزة بوجود أشواد على حوافها عدة شعيرات حساسة . فعندما تقترب حشرة من هذا النبات منجذبة إليه أما عن طريق رائحة رحيقه العذب أو عن طريق لون أزهاره الوردية الجذابة وتحط على الورقة وتحك جسمها بالشعيرات الحساسة فأن ذلك يؤدي إلى أحداث سيالات الكتروكيميائية تؤدي على أحداث تغييرات في النشاط الخلوي لأنسجة الورقة الأمر الذي يؤدي إلى أنثناء وطي الورقة على نفسها بسرعة فائقة . وتتشابك الأشواك الموجودة ، على حواف الورقة معاً مكونة ما يشبه القفص أو المصيدة التي لا تسمح للحشرة المصطادة بالافلات منها .

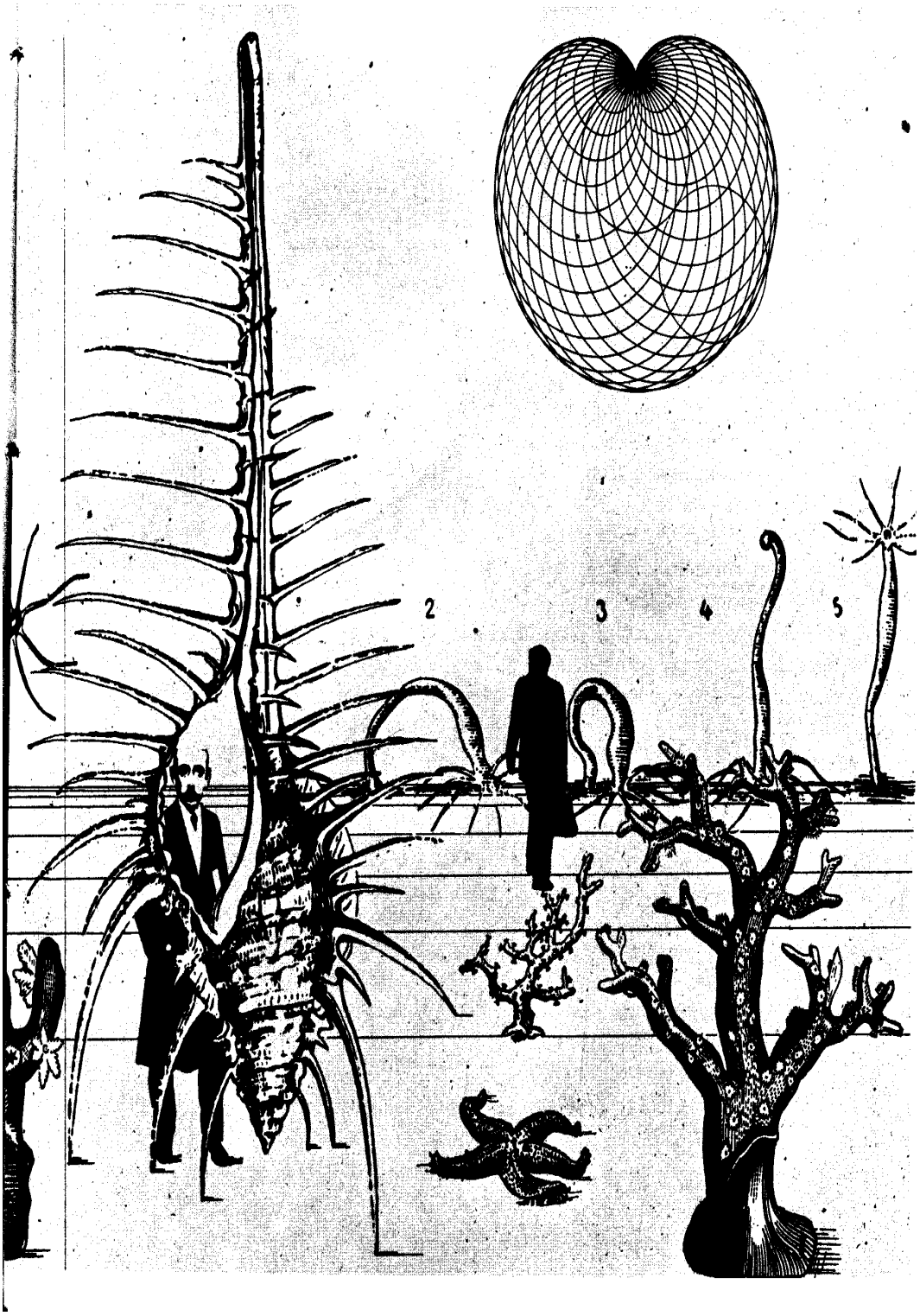
وبالمقارنة يقوم نبات الجرة بوظيفة اصطياد الحشرات بطريقةة سلبية . وهو يشبه نبات صائد الذباب في أنه يخدع ضحاياه بواسطة لون أزهاره ورائحته . فعندما تحط حشرة على الغطاء المعلق فوق الجرة تجد نفسها واقفة على سطح مغطى بشعيرات دقيقة متجهة للأسفل . وتسمح هذه الشعيرات للحشرة أن تزحف إلى الأسفل نحو فوهة الجرة المستديرة بينما تمنعها من العودة إلى الخلف . وتجد الحشرة عند اختراقها لفوهة الجرة أن السطح قد أصبح سهلاً للانزلاق إذ لا يوجد عليه أية شعيرات وأنما يغطيه خلايا مصفوفة ومتراكبة على بعضها على هيئة بلاط السقف . ويؤدي ذلك إلى تعثر الحشرة ووقوعها في السائل الموجود في الجرة فتغرق .

يتكون السائل الموجود في جرة معظم هذه النباتات جزئياً من ماء المطر بالاضافة على مواد مبللة للحشرة تمنعها من الطفو على السطح وانزيمات هاضمة للأجزاء اللينة من جسم الحشرة . وينتج النبات بعض هذه الأنزيمات كما تساهم البكتيريا الموجودة في السائل بافراز بعض الانزيمات لأنها تشارك أيضاً في الحصول على الغذاء من الحشرات المصطادة

المهضومة . وتبقى المواد المهضومة محفوظة في السائل حيث تمتصها خلايا الورقة عند الحاجة .

ومما يثير الاهتمام أن هناك بعض الحشرات القادرة على المعيشة في السائل الموجود في نبات الجرة . فهناك يرقات كثيرة الأنواع التي تتغذى على الحشرات الغريقة بينا لا تتأثر هذه اليرقات بالانزيمات التي تسبح فيها . وربما تكون هناك علاقة تبادلية بين هذه اليرقات وبنات الجرة فهناك دلائل تشير إلى أن هذه اليرقات تتحول إلى أطوار يافعة في الوقت الذي تحتاج إليها هذه النباتات لنقل حبوب اللقاح من نبات لأخر .

ولكن لم تطورت هذه النباتات الغريبة لتعيش مثل هذه المعيشة؟ من المحتمل أن يكون الجواب عن هذا السؤال له علاقة بالبيئة التي تعيش فيها هذه النباتات . فهي نباتات ناجحة في أتربة المستنقعات الفقيرة التي تحتوي على كميات قليلة من النيتروجين . وقد اشاركت كثير من الدراسات أن مثل هذه الأتربة هي في بعض الحالات فقيرة في أملاح الكالسيوم والبوتاسيوم والفوسفور وغيرها من الأملاح التي تحصل عليها النباتات عادة عن طريق جذورها . والجدير بالذكر ان للنباتات آكلة الحشرات جذوراً ضعيفة . وبهذا فأن تطوير هذه النباتات لطريقة تستطيع بها الحصول على مصدر غذاء أضافي لما تستطيع أن تحصل عليه من بيئاتها الفقيرة قد مكنتها من امتلاك نظام بيئي متميز لا تستطيع النباتات الأخرى العادية أن تصل إليه .


2
3
4
5

الفصل الثالث عشر

اللافقاريات الدنيا

The Lower Invertebrates

يقسم عالم الأشياء الحية إلى كائنات منتجة وأخرى مستهلكة وثالثة محللة تعمل على أعادة دورا الحياة المربة بعد الأخرى . لقد درسنا في فصل سابق كيف تقوم النباتات بانتاج مود مخزنة للطاقة من ضوء الشمس والهواء والماء . كما درسنا كيف تحلل الفطريات والبكتيريا المواد العضوية . وتشمل المملكة الحيوانية الكائنات المستهلكة وهي كائنات عديدة الخلايا تتغذى على الطلائعيات Protista والنباتات والحيوانات الأخرى . وتتخصص طريقة حياة هذه الكائنات بحيث تستطيع التهام الغذاء بشكل رئيسي مع أن بعض الحيوانات اللافقارية تعيش معيشة طفيلية حيث تقوم بامتصاص طعامها من العائل .

ولما كان لا بد للحيوانات من أن تبحث عن وحدات طاقة محضرة سابقاً بدلاً من تكوين سيل ثابت من الطاقة مصدرها الشمس كما هو الحال بالنسبة للنباتات ، فأنها (أي الحيوانات) تحتاج إلى أجهزة خاصة تستطيع بها أن تحس بما يحيط بها من أشياء وتمكنها من الوصول لمصادر غذائها . ومع أن بعض الحيوانات غير متحركة تحصل على غذائها بترشيحها لدقائق الغذاء الموجودة في تيارات الماء التي تمر بجانبها أو داخل أجهزتها ، الا أن جميع الحيوانات باستثناء الأنواع البسيطة منها لها هياكل وعضلات وأعضاء أحساس وأعصاب.

وعند الحصول على الغذاء لا بد للحيوان من أن يفتته ويمثله إلى أجزاء بسيطة وينتج عن ذلك نواتج ضارة يقوم الحيوان بالتخلص منها . ويحتاج هذا الأمر إلى أجهزة خاصة للهضم والدوران والأخراج وتبادل الغازات . وبالاضافة إلى ذلك ، لما كان الطعام الذي يمكن للحيوان أن يتغدى عليه لا يكون موجوداً دائماً في بيئة الحيوان بكميات كافية فأن الحيوان يحتاج إلى طريقة لا يستطيع بها أن يحس التغيرات الحاصلة في بيئته الداخلية وأن ينظم هذه الأجهزة الموجودة في جسمه . وكلما ارتفعنا في السلم التطوري نجد أن الحيوانات تعتمد بشكل أقل فأقل على البيئة وتكون قادرة اكثر فأكثر على ضبط بيئتها الداخلية .

ولكن هذا الأمر لا يعني أن الحيوانات الأرقى هي أكثر نجاحاً من تلك التي هي أبسط منها ، ولكن ذلك يعني ببساطة أن الحيوانات الراقية قد تكيفت لبيئات جديدة لا تستطيع حيوانات أخرى أن تدخلها . أن معظم الـ ٢٥-٣٠ قبيلة التي تنتمي إليها الحيوانات تتكون منكائناتمائية . وسنناقش أهم هذه الحيوانات في هذا الفصل . هناك قبيلتان فقط وهما المفصليات arthropods والحبليات ehordates استطاعتا أن تطور طرقاً مناسبة تمكنها من المعيشة بمعزل عن البيئة المائية فاصبحتا حيوانات برية ناجحة . وسنناقش في الفصل التاي هذه الطرق التي من ضمنها وجود هيكل وغطاء خارجي يمنع الجفاف لهذه الحيوانات .

قبيلة المثقبات: Phylum Porifera

تمثل المثقبات أو الاسفنجيات sponges خطاً تطورياً مغلقاً فقد ظهرت أنواعها منذ حوالي ٥٥٠ مليون سنة تقريباً ولم يجر كثير من التغيير على هذه الحيوانات فالأشكال العائشة حالياً لا تختلف كثيراً عن عينات الحفريات القديمة . ولم يبدأ اعتبار الأسفنجيات كحيوانات إلا منذ منتصف القرن التاسع عشر . فقد كانت هذه الكائنات مضمومة إلى النباتات الدنيا حتى تم اكتشاف طريقة حصولها والتهامها للغذاء فضمت للحيوانات .

وتلعب الاسفنجيات دوراً أهم في البيئات البحرية منه في بيئة المياه العذبة ، وهي تنتشر بكثرة في منطقة المد والجزر البحرية فقط . وهي تعيش معيشة ساكنة متغذية على العوالق plankton ومن النادر أن تتغذى عليها الحيوانات الأخرى . وتتميز هذه الحيوانات

بنظام قسيم الشغل divison of labor أو تخصص الخلايا فتحتوي الطبقتان الخارجية والداخلية على خلايا طلائية epidermal وأخرى متخصصة لوظائف مختلفة كالتغذية ونقل الغذاء وتكوين المادة الهيكلية ، ألا أنه لا تتشكل الخلايا وتتنظم على شكل أنسجة . ولهذا تمثل الاسفنجيات نوعاً بسيطاً جداً من التنظيم .

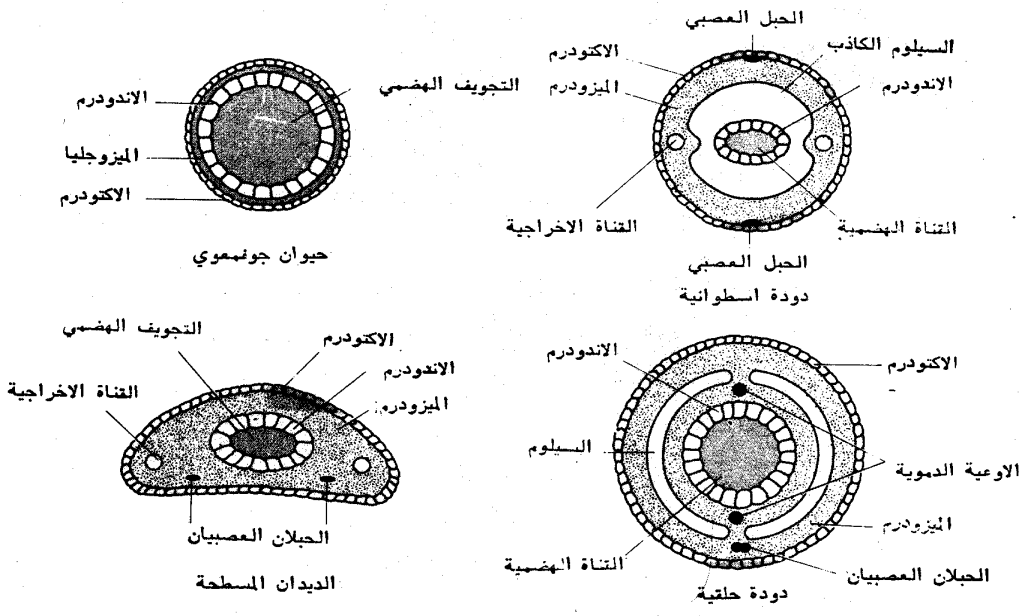
أن معظم أنواع الأسفنج المعروفة والتي يصل عددها إلى قرابة ٥٠٠٠ نوع لا تأخذ شكلاً معيناً لها ولكن هناك عدداً منها له شكل يشبه شكل القارورة . ولون الأسفنج معتم عهدما يكون حياً كما أن له رائحة غير مستحبة . ويتكون التركيب الهيكلي الداعم لجسم الأسفنج من أشواك spicules وهي تراكيب عصوية أو نجمية الشكل توجد في الخلايا المكونة للحيوان . وتتكون الطبقة الخارجية من خلايا طلائية وخلايا متخصصة تدعى بالخلايا المثقبة porocytes ولنوع الخلايا الأخير ثقب في منتصف كل خلية يؤدي إلى التجويف الداخلي لجسم الأسفنج . وتتكون الطبقة الداخلية المبطنة لتجويف الجسم من خلايا دورقية choanocyte لها أعناق وهي تشبه إلى حد كبير بعض أشكال الطحالب ولكن بدون بلاستيدات خضراء . وللخلايا الدورقية اسواط تمتد إعلى تجويف الجسم وتحدث حركها تياراً مائياً يدخل إلى الخلايا المثقبة ويخرج من التجويف عن طريق الفوهة osculum وهي موجودة بين الطبقتين الخارجية والداخلية (وقد تكون هذه الخلايا نفسها الخلايا المثقبة والخلايا الدورقية وغيرهما من الخلايا المتميزة). تكون الخلايا الدورقية مكاناً مناسباً للبيضة كما تقوم خلايا دورقية أخرى بالتقاط خلايا ذكرية sperm cells تنطلق من اسفنج الذي يتميز بقدرته على الرحكة ، ثم لا يلبث أن يلتصق بجسم ثابت ويمر في مراحل مختلفة حسب نوع الاسفنج والقسم الذي ينتمي إليه . وللاسفنجيات قدرة على التكاثر اللاجنسي فقد تتجمع الخلايا غير المتميزة archeocytes على شكل كيس له غلاف سميك مكوناً ما يسمى بالجيمات gemmules كما يمكن للاسفنجيات أن تتكاثر لا جنسياً بطريقة التجديد regeneration إذ تستطيع تجديد اسفنج كامل من مجموعة صغيرة من الخلايا أو من خلية واحدة فقط .

الشكل (١٣ ــ ١) : مستعمرة حيوانات الاسفنج ويظهر في الشـــكل الفوهات التي يخرج الماء من خلالها .

قبيلة الجوفعويات: Phylum Coelenterata

تضم قبيلة الجوفعويات phylum Coelenterata قناديل البحر jellyfish والمرجان coral وشقائق البحر sca ancmones والهيدرا ، ولهذا الكائنات تركيب أكثر دقة وتعقيداً منه في الاسنفجيات حيث أنها تحتوي على أنسجة . إلا أن هذه الحيوانات لا تمتلك جميـــع أنسجة الطبقات الجنينية والأجهزة الموجودة في الحيوانات العليا . ويعود اسم هذه القبيلة إلى وجود جوفمعى مركزي gastrovascular cavity or coelenteron وتتميز حيوانات هذه القبيلة بكونها شعاعية التماثل بمعنى أن لأجسامها نفس الشكل إذا نظر إليها من أية جهة من الجهات . وتتكون أجسام هذه الحيوانات من طبقة خارجية هي طبقة البشـــرة epdiermis وطبقة داخلية مكونة من خلايا هاضمة تحيط بتجويف مركزي . ويوجد بن هاتين الطبقتين جزء جيلاتيني غير متميز إلى نسيج تركيبي يعرف باسم قادرة على تجميع الغذاء . ويوجد في اللوامس خلايا خاصة هي الكنيدوبلاستات cnidoblasts وتقوم هذه الخلايا بشل حركـــة الفريسة عند ملامستها لها أو تحيط بها على شكل امتدادات حلقية . ثم تدخل دقائق الطعـــام إلى الفم وتهضم في الجوفمعى . وترفض الدقائق غير القابلة من خلال فتحة الفم ذاتها إلـــى الخارج .

وتتم عمليتا التنفس والاخراج عن طريق الانتشار وذلك لأن جدار الجسم رقيق إذ أن



الشكل (١٣ ــ ٢) : تركيب اجسام أربع من قبائل اللافقاريات الدنيا ، ويرى الشكل ازدياد درجة التعقيد من قبيلة لاخرى .

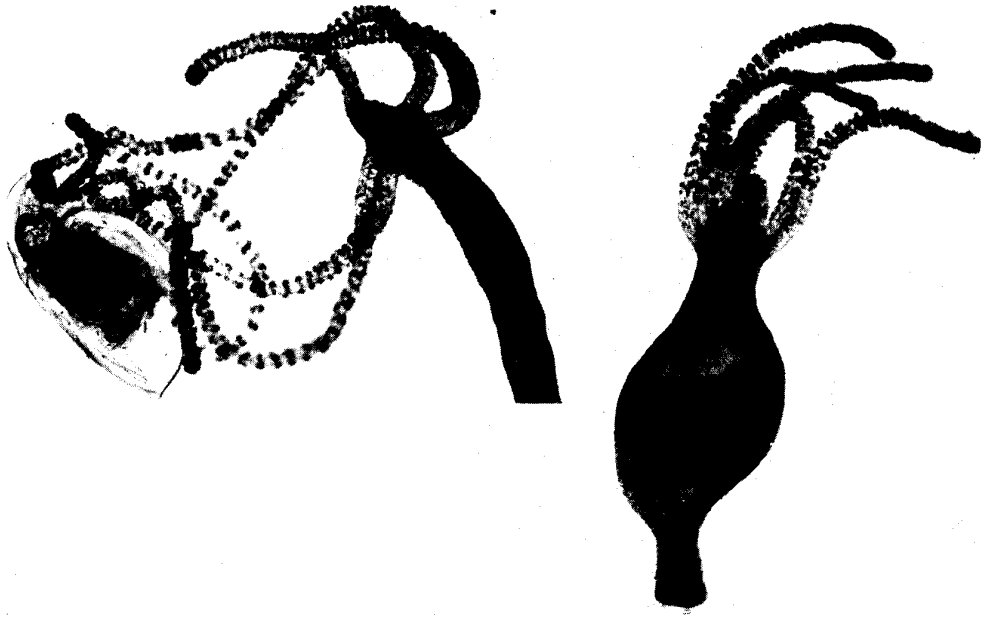
جميع الخلايا قريبة من السطح . ولا يوجد في هذه الحيوانات جهاز دوري حيث يدور الطعام ويصل إلى الخلايا نتيجة لحركة الحيوان الطبيعية . وتتحرك الجوفمعويات عن طريق انقباض خلايا البشرة . وليست هذه الخلايا خلايا عضلية حقيقية لأنها ليست مخصصة لهذا الغرض فقط . ولكن هذه الخلايا هي خلايا طلائية قادرة على الانقباض المؤدي لحركة الجسم أي أن الانقباض هو أحد الوظائف التي تقوم بها . والحقيقة أن هذه الخلايا فعالة في أداء هذه الوظيفة ، فمثلاً يكون لهيدرا مستطيلة خيطية أن تجر جسمها إلى اخلق فتصبح قصيرة إذا استثيرت .

تعتبر بعض أفراد هذه القبيلة أدنى الحيوانات التي تمتلك خلايا عصبية حقيقية ، وتكون هذه الخلايا شبكية غير منتظمة تحت البشرة حيث تنتشر في جسم الحيوان . وفي معظم الأنواع لا تكون أماكن اتصال الأعصاب مستقطبة بمعنى أن السيالات العصبية الناشئة في جزء من الجسم تمر في جميع الجهات بالتساوي . ولا يوجد رأس أو مركز وسطي للخلايا كما هو الحال بالنسبة للكائنات العليا .

وتتكاثر حيوانات الهيدرا وهي جوفمعويات شائعة في المياه العذبة بطريقة لا جنسية بالتبرعم . ولكن على الرغم من ذلك فأنه عند ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الماء خصوصاً أثناء فصل الخرف فأن الهيدرا تكون مبايض وخصي وبهذا تتكون بيوض مخصبة تحيط بها غلف حافظة . وتستطيع هذه البيوض أن تعيش فترة البرودة والجفاف لتبدأ تكوين هيدرات جديدة في الربيع القادم .

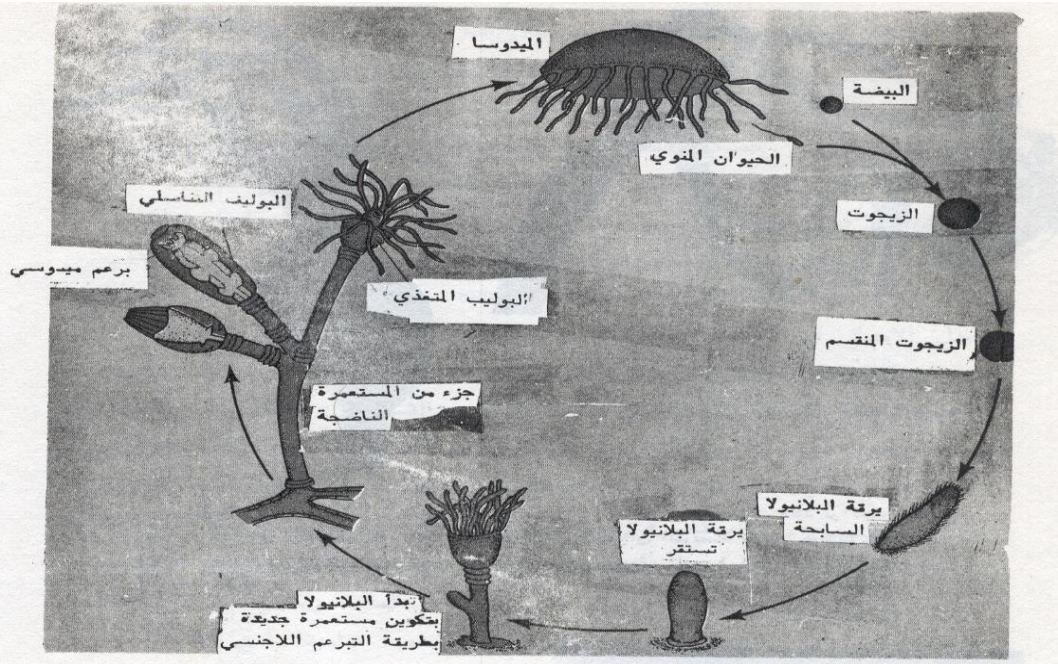
ويوجد لكثير من الجوفمعويات طوران أحداهما على شكل بوليب ساكن sessile يتلصق بقاعدة صلبة ويشبه هذا البوليب الهيدرا والأخر هو طور متغذ على شكل قنديل البحر أو ميدوسا medusa ويختلف هذا الأمر عن ظاهرة تبادل الأجيال في النباتات لكون كلا الطورين ثنائيي الكروموسومات هنا . فحيوان الأوبيليا Obelia مثلاً وهو حيوان قريب لهيدرا يعيش في بيئة بحرية له طور شبيه بالنبات فأنه يعيش على الصخور والشواطئ ويتكون هذا الطور من مستعمرة من عدة بوليبات تمتد لوامسها من الجدار الحامي للمستعمرة . وتتخصص بعض البوليبات بالتكاثر اذ تنتج براعم مكونة للميدوسات التي لا تلبث أن تنفصل عن المستعمرة وتبح حرة في الماء . وتتمكن الشبمة العصبية الموجودة في هذه الميدوسات من تنظيم حركتها بحيث يمكن للميدوسات أن تسبح بدفع الماء من داخل التجويف المركزي على فترات منتظمة . ويكون التكاثر في هذا الطور جنسياً . وتطلق الميدوسات الذكرية والأنثوية جاميتاتها في الماء ثم يتم الاخصاب وينتج عن ذلك طور يرقى يدعى البلانيولا planulae ولقنديل البحر الحقيقي jellyfish (Scyphozoa) شكل مختلف عن باقي الجوفمعويات لأن الميدوسا في هذه الحيوانات هي الطور الرئيسي بدلاً من البوليب . ولكن نظام جسم قنديل البحر هو في الحقيقية مشابه لذلك لاميز للهيدرا وشقيق البحر وغيرها من الجوفمعويات نوقد يصل قطر بعض قناديل البحر إلى ما يزيد على ١٢ قدماً فتشكل خطراً على السباحين لأنها قد تسبب لسعات مؤلفة لهم .

وتشيع الجوفمعويات في البيئات البحرية في المياه السطحية ومناطق المد والجزر . ومن المعروف أن المرجان يكون شعباً تصل إلى مساحات كبيرة . فقد زادت هذه الشعب المرجانية حجم كثير من الجزر البركانية وأدت إلى تكوين حدود مرجانية طويلة قريباً من القارات وخصوصاً قارة استراليا .



الشكل (١٢ ــ ٣) : يوضح الشكل حيوان الهيدرا وهو يفترس أحد براغيث الماء . يوجد في لوامس الهيدرا سم ينطلق عندما يلامس الحيوان الفريسة فيشل حركتها خلال ثوان معدودة . ويري الشكل الى اليمين الفريسة داخل تجويف الهيدرا الذي انتفخ نتيجة لوجود الفريسة هناك .

الشكل (١٣ ــ ٤) : قنديل البحر jellyfish



الشكل (١٣ ــ ٥) : دورة حياه الاوبيليا

قبيلة الديدان المسطحة: Phylum platyhelminthes

تمثل الديدان المسطحة (platy flat helminth worm) تقدماً آخر على السلم التطوري من عدة نواح ، فأجسامها تتكون من ثلاث طبقات جنينية بينما أجسام حيوانات القبائل الأدني منها مكونة من طقتين فقط . فالطبقة الوسطى mesoderm تسمح بنم داخلي معقد . وتظهر الديدان المسطحة تناظراً ثنائياً حقيقياً ، بمعنى أن جزأها الأيمن هو صورة مرأة لجزئها الأيسر .

ويعمل التناظر الثنائي على ظهور طرف أمامي محدد للحيوان . ولما كانت الديدان المسطحة تترحك بانتظام فأنها تحتاج إلى تحديد الجهة التي تتحرك نحوها . ولهذا فأن الحيوان يتمتع بفعالية أكبر إذا تركت اعضاؤه الحسية في طرف واحد وكان هذا الطرف متحكراً نحو الأمام . ويحدد هذا التمركز الحسي بداية الرأس .

وهناك قسمان من الاقسام المكونة لقبيلة الديدان المسطحة يضمان حيوانات تعيش معيشة طفيلية الأمر الذي يجعلها حيوانات متخصصة تتميز بفقدان بعض الأجهزة أو الأعضاء غير اللازمة لمثل معيشتها ، ولكننا نستطيع أن نرى النظام العام لأجسام الديدان المسطحة بشكل أفضل في تلك التي تعيش معيشة حرة كما هو الحال في قسم ديدان التيربلاريا class Turbellaria.

تعيش معظم ديدان التيربلاريا معيشة بحرية ويعيش بعضها في المياه العذبة . وهي في العادة حيوانات مهذبة لمساعدتها في الحركة الحرة . وهي تشبه الجوفمعويات في احتوائها على تجويف واحد قد يكون متفرعاً بشكل معقد . ويتصل هذا التجويف في الخارج بفتحة واحدة . ويكون الميزودرم أجهزة مكونة من أنسجة عديدة الطبقات . وتشمل هذه اجهزة خاصة بالاخراج والتكاثر . وتمتد حزم من العضلات واضحة التكوين على طول الحيوان وتمتد حزم أخرى بشكل عرضي كما أنهاك حزماً ثالثة تصل بين السطحين الظهري والبطني ، الأمر الذي يعي الحيوان قدرة على الحركة باتجاهات مختلفة . ومع أنه لا يوجد في هذه الديدان جميع الأجهزة التي تتميز بها الحيوانات العليا إلا أن أجسامها قد بنيت على أساس الجهاز المكون من عدة أعضاء .

ولديدان التيربلاربيا نمط بسيط من أنماط الجهاز العصبي المركزي بالاضافة إلى شبكة عصبية شبيهة بتلك الموجودة في الجوفمعويات . وتتميز ديدان البلاناريا planarians التي تعيش في المياه العذبة والتي هي احدى المجموعات التابعة لقسم التيربلاريا بوجود كتلة خلوية مكونة من فصين تدعى الدماغ ، كما أن هناك بقعاً عينية للاحساس بالتغيرات الضوئية ومستقبلاتذوقية موجودة بما يسمى "أدنى" البلاناريا . وليس لهذه الديدان جهاز تنفس لأن التنفس يتم بانتشار الغازات من خلال سطح الجسم . ويحتمل أن يكون هذا هو السبب اذي يفرض على الديدان المسطحة أن تبقى على هذا الشكل المميز لها وذلك حتى لا تكون هناك أي خلايا بعيدة جداً عن المصدر الخارجي للأكسجين .

ويعتقد أن للديدان المسطحة والجوفمعويات سلفاً واحداً مشتركاً وقد قدمت عدة نظريات عن نوع الكائن المشترك ويعتقد كثير من البيولوجيين الآن أنه من الممكن أن يكون ذلك الكائن شبيهاً بالطور اليرقي للجوفمعويات الحديثة الذي يعيش سابحاً بحرية في المياه . فهم يفترضون أن تكامل الخلايا معاً على أشكال مستعمرة شبيهة بمستعمرة الفولفوكس volvox

وقد أدى بالتدريج إلى تكوين كائن مهدب مسطح وهو البلانيولا planula الذي تطور إلى الجوفمعوياتو إلى جد للديدان المسطحة وغيرها من الحيوانات عديدة الخلايا .

ولا يقبل جميع البيولوجيين بهذه النظرية فهناك نظرية أخرى تلقى قبولاً واسعاً تفترض أن أصل الحيوانات عديدة الخلايا هي كائن أولى عديدة النويات multinucleateprotozans وعندما أحاط بكل نواة غشاء خلوي تكونت خلايا عديدة منفردة ، وأمكن لهذه الخلايا أن تقوم بوظيفتها بشكل جماعي . وتطور الكائن جانبي التماثل المتكون إلى الجوفمعويات والديدان المسطحة والكائنات الأولية الأخرى . وبموجب هذه النظرية تمثل الجوفمعويات بتناظر أجسامها الشعاعي تكيفاً نكوصياً نحو الوراء وأن التناظر الجانبي وهو مميز لكل القبائل فيما عدا الجوفمعويات قد كان موجوداً منذ ألأطوار الأولى للحيوانات عديدة الخلايا .

هذا وبالإضافة إلى الأهمية التطورية لأجسام الديدان المسطحة فإن لها أهمية طبية كبيرة لأن كثيراً منها هي طفيليات مضرة بالإنسان وحيواناته . فهناك ملايين البشر الذين يقاسون من اصابات الديدان المفلطحة Trematoda والشريطية tapeworms.

وتتميز الديدان المفلطة class Trematoda Flukes بأنها فقد الأهداب الموجود في الديدان المسطحة التي تعيش معيشة حرة ويوجد طبقة خارجية كثيفة لأجسامها ، وممص أو أكثر لتثبيت نفسها في جسم العائل الذي تعيش فيه . وتسبب دودة الشستوسوما Schistosoma التي تعيش في دم الإنسان مرض الشستوسوما أو البلهارسيا وتعيش الديدان اليافعة التي لا تزيد أطوالها عن نصف بوصة في الأوعية الدموية الموجودة في جدار الأمعاء حيث تتعلق بجدر تلك الأوعية الدموعية متغذية على الدم وتضع أناث هذه الديدان آلاف البيوض . وبمرور الوقت تنطلق البيوض من داخل الأوعية الدموية وتخترق جدار الأمعاء وتخرج من الجسم مع البراز . وتفقس البيوض إذا وقعت في الماء مطلقةيرقات صغيرة . فإذا وجدت هذه اليرقات عائلها المتوسط الخاص وهو قوقع معين خلال ٢٤ ساعة تدخل جسمه . أما إذا لم تتجده فإنها تموت . وتتكاثر هذه اليرقات داخل عائلها القوقع لا جنسياً

حيث تستطيع أن تنتج كل يرقة ما يقارب ٢٥٠,٠٠٠ طوراً جديداً خلال ثلاثة أشهر . ثم تنطلق هذه الأطوار إلى الماء مرة ثانية حيث تنتشر في الجداول وترع الأرز وقنوات الري والمستنقعات فإذا لامست جلد إنسان فإنها تخترقه بمساعدة انزيمات اختراق خاصة ثم ينقلها الدم إلى الرئتين ثم الكبد وأخيراً إلى الأوعية الدموية المعوية .

لقد وجدت بيوض الديدان المفلطحة التي تعيش في دم الإنسان في المومياء التي تعود إلى حوالي ٣٥٠٠ سنة ، فلا بد أن كثيراً من مرض البلهارسيا نوأن أكثر من ثلث سكان مصر يقاسون من هذا المرض حالياً . ومن أعراض هذا المرض الحساسية الجلدية وتصبب العرق وارتفاع درجة الحرارة (الحمى) وكبر حجم الكبد والسعال والربو بالإضافة إلى دورسنطاريا حادة وفقر الدم ، وقد يعيش المصابون سنين عديدة ولكنهم يكونون ضعاف الأجسام وعرضه للأمراض الأخرى بسهولة .

أما الديدان الشريطية Tapeworms or Cestoda فإنها حيوانات طويلة شريطية الشكل تعيش على حساب العوائل التي تعيش فيها . ومن المحتمل أن يكون لكل نوع من أنواع الحيوانات الفقاريات دودة من الديدان الشريطية تعيش فيه . وللدودة الشريطية رأس (scolex) له ممصات وحلقة من الأشاك تعمل على تثبيته في جدار الأمعاء لئلا يطرد للخارج . وهناك منطقة عنق يتبعها جزء نام يتكون من عدد من القطع proglottids التي تنفصل عن جسم الدودة باستمرار . ويكون جسم الدودة سلسلة من هذه القطع قد يصل طولها مجتمعة إلى ٥٠ قدماً أو يزيد .

للديدان الشريطية عضلات وجهاز عصبي كما هو الحال بالنسبة لديدان التيربلاريا ولكنها (أي الديدان الشريطية) قد فقدت أجهزتها الهضمية نتيجة لمعيشتها في بيئة مجهزة بالغذاء المهضوم بشكل مستمر ، ولم يؤذ هذا الفقدان هذا الديدان مطلقاً بل أدى ذلك إلى تكوين حيز زائد للتراكيب التناسلية الأمر الذي يسمح بإنتاج اعداد أكبر من البيض . ذلك أن الدودة الشريطية تقوم بعملين أساسيين بشكل فعال أولهما التغذية وثانيهما التكاثر فكل قطعة من قطع الجسم تحتوي على مجموعة كاملة من أعضاء التناسل الذكرية والأنثوية . ويحصل ا لأخصاب أما ذاتيا في القطعة ذاتها أو بين قطعتين مختلفتين . وتنفصل القطعة المملؤوة بالبيض وتخرج مع البراز للخارج . فإذا أكل عائل مناسب هذه البيوض فإنها تفقس وتنتقل

اليرقات ذوات الأشواك عن طريق الجهاز الدورية إلى مختلف العضلات وتتكيس هناك وتسكن . فإذا أكل إنسان هذا العائل الذي يحمل الأطوار اليرقية دون أن يكون لحمه قد طهى بشكل كامل فإن الأنزيمات الهاضمة تهضم جدر ا لحويصلات وتتحور الديدان ويلتصق الرأس بجدار الأمعاء وتنمو الدودة إلى طور يافع يعيد دورة الحياة مرة ثانية .

أن الديديان المسطحة هي أبسط أنواع الديدان . فبالإضافة إلى هذه الديدان هناك أشكال أخرى مختلفة . وفي القرن التاسع عشر ضمت جميع أقسام الديدان في مجموعة كبيرة هي الديدان Vermes ولكن عندما بدأ العلماء يدرسون هذه الحيوانات بالتفصيل وجدوا أن الديدان تكون مجموعات كثيرة متمية وسنناقش هنا مجموعتين أخريين من قبائل الديدان هما الديدان الاسطوانية Nematoda والديدان الحلقية Annelida.

الشكل (١٣ ــ ٦) : قطعتان من قطع جسم الدودة الشريطيةالطويل وتمثل الكتل داكنة اللون بيوض الحيوان كثيرة العدد الامر الذي يجعل القضاء على هذه الدودة صعبا .

قبيلة الديدان الاسطوانية Phylum Nematoda

تشمل هذه القبيلة مجموعة ناجحة جداً من ديدان اسطوانية بيضاء وتعتبر هذه القبيلة أحياناً قسماً من القبيلة المسماة phylum Aschelminthes وقد عرف منها حتى الآن حوالي ١٣ ألف نوع وأن أجسام أكثر من ثلثي قارئي هذا الكتاب هم حالياً عوائل host لطور أو أكثر من أطوار هذه الديدان . وتشمل هذه القبيلة حيوانات حرة وأخرى تتطفل على مختلف النباتات والحيوانات مسببة بذلك مشاكل خطيرة لمنمى هذه النباتات ومربي هذه الحيوانات .

أن البطاطا المزروعة في مساحات كبيرة في أوروبا قد أصبحت مصابة بدودة أسطوانية قادرة على اتلاف جميع محصول البطاطا بتغذيتها على الدرنات النامية . وتستطيع البيوض التي لم تفقس بعد أن تعيش في التربة لعدة سنوات حتى يتم حفزها على الفقس بواسطة مادة كيميائية تفرزها خلايا جذور البطاطا ونتيجة لذل يصعب التخلص من هذه الآفات بعد استقرارها في التربة .

ومن أهم الأمراض الطفيلية الخطيرة التي تصيب دودة الاسكارس والتي يصل طولها من ٣ إلى ٢١ بوصة وتعيش في أمعاء الإنسان . ومع أن هذه الديدان لا تسبب الكثير من الضرر في الأمعاء إلا عندما تتجمع بشكل كتلة تغلق القناة الهضمية ، إلا أن الأطوار اليافعة المخترقة للأنسجة المختلفة قد تسبب الموت للإنسان عند اختراقها لهذه الأنسجة كالكبد . والديديان الاسطوانية التي توجد في الكلاب هي في العادة من نوع اسكارس .

أما الديدان الخطافية Hookworms فإنها أصغر من دودة الاسكارس وهي تثبت نفسها بجدار الأمعاء وتتغذى على الدم مسببة فقدان كميات كبيرة من الدم نتيجة للجروح التي تسببها والتي تستمر في نزيفها وتسبب هذه الديدان كذلك فقراً في الدم ، والموت أحياناً .

أما دودة التريكينا Trihinella Spiralis التي تجعل من أكل لحم الخنزير غير المطبوخ جيداً أمراً خطيراً فهي دودة اسطوانية أخرى ذات أهمية طبية . وتتحوصل هذه الدودة في النسيج العضلي للخنزير حيث يصعب اكتشافها إلا بالفحص المجهري الدقيق وإذا أكل اللحم المصاب شخص ما فإنه يمكن أن تنطلق ما يصل إلى ٥٠٠ يرقة من كل أنثى متحوصلة وتستطيع هذه اليرقات أن تخترق الجسم للوصول إلى أماكن معينة تستطيع أن تتحوصل بها مسببة بذلك أوجاعاً عضلية خطيرة وضعفاً عاماً وحمى وفقر دم وتورماً ، وفي الحالات الخطيرة يموت المصابون . أما الحالات الخفيفة فتشخص كأوجاع معوية وعندما تتحوصل اليرقات تزداد صعوبة المرض قليلاً .

تتميز الديدان الاسطوانية بأنها غير مقسمة أن لها جلداً سميكاً cuticle غير مهدب وهي تفتقد إلى عضلات دائرية ولكن لها عضلات طولية تستطيع التقلص محدثة حركة لولبية مميزة لهذه القبيلة .

أما نظام أجسام هذه الديدان فيتميز بأنه على شكل أنبوبة داخل أنبوبة. وهذه هي القبيلة الأولى في سلم التطو التي يظهر فيها جهاز هضمي كامل يبدأ بالفم وينتهي بالاست anus التي يخرج منها المواد غير الهضومة ويقلل هذا النظام في مرور الغذاء في اتجاه واحد من فقدان الطعام الجيد مع المواد غير المهضومة كما هو الحال في الحيوانات ذات التجاويف الجوفمعاوية .

ويتميز نظام الجسم هذا بوجود تجاويف بين القناة الهضمية وجدار الجسم الخارجي ويوجد في ذلك التجويف العضلات والجهاز التناسلي والأعضاء الأخرى اللازمة للحيوان . وقد وجدنا في الديدان المسطحة أن هذه المنطقة قد كانت مملوءة بخلايا ميزوديرمية الأمر الذي أدى إلى جعل تلك الديدان تصنف كحيوانات لاسيلومية acoelomate وذلك لعدم وجود سيلوم أو تجويف في الجسم ويسمى التجويف المملوء بسائل في الديدان الاسطوانية السيلوم

الشكل (١٣ ــ ٧) : الدودة الخطافية Hookworm. لاحظ التراكيب الشبيهة بالخطاطيف الموجودة في الطرف الماص حيث تلصق الدودة الخطافية فمها بانسجة العائل الذي تعيش عليه ❋ .

الشكل (١٣ ــ ٨) : دودة التريكينا Trichina worm متحوصلة في احدى العضلات .

الكاذب pseudocoelom لأنه لا يتكون كلياً من الميزوديرم . ويوجد للقبيلة التالية وهي قبيلة الديدان الحلقية Annelida والقبائل الأخرى التي تتبعها سيلوم حقيقي coelom وهو تجويف موجود في الميزوديرم نفسه . أن تكوين السيلوم قد كان خطوة تطورية هامة لأنه قد هيأ مكاناً للأعضاء المختلفة وفسح لها المجال لأن تكبر في الحجم وأن تتفرع .

قبيلة الديدان الحلقية Phylum Annelida

الديدان الحلقية هي أعقد الحيوانات التي أطلق عليها بيولوجيو القرن التاسع عشر اسم الديدان وهي كذلك أكبر هذه الحيوانات حجماً . ويعرف منها الآن حوالي ٩ آلاف نوع ومن أكثرها شيوعاً ديدان الأرض . ينقسم الجسم الاسطواني الطويل خارجيا وداخليا الى حلفات وتنقسم الحلفات من الداخل بفاصل دقيق يعرف بالغشاء بين الحلقي septum ويمكن ان تنقسم دودة الارض الى نصفين ومع ذالك تسطيع العيش وتجديد ذيل جديد لها لان الاغشية بين الحلقات تحفظ تكامل كل جزء من اجزاء الجسم .

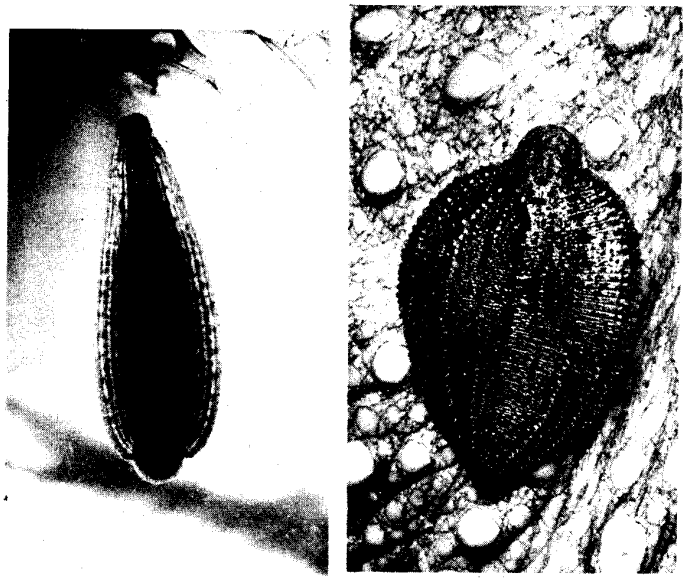
تمتد القناة الهضمية من الحلقاء الاساسية (الرأس) الى الحلفات الخلفية مارة بالاغشية البين الحلقية .كما ان هنا جهازا دوريا يمتد على طول الجسم وجهازا تناسليا يمتد على طول عدد الحلقات .وفيما عدا ذلك فان كل حلقة تشبه طبلة شبه متكاملة لها اعضاؤها الاخراجية الخاصة بها وعضلاتها الطولية والدائرية وزوائد خارجية تعرف بالاشواك setae او الاقدام الجانبية parapodia أما الاشواق الشعرية الشكل والاقدام الجانبية المجذفية الشكل فانها تعمل على حركة الحيوان او تثبيته في نفقة .وتعمل الاقدام الجانبية في بعض الحلقات وظيفة اعضاء تنفسية كذلك ولما كانت اعضاء التنفس والاخراج والدوران على مستوى عال من التنظيم امكن للحلقيات ان تكون اجسامها اكبر واكثف نشاطا من الحيوانات الاخرى التابعة للقبائل الاخرى الادنى منها .

وتتكاثر معظم الحلقيات جنسيا . وان قسمين فيها يشملان حيوانات خنثى bermaphroditie بشكل رئيسي بمعنى ان الحيوان الواحد يحتوي على الجهازين التناسليين الذكري والانثوي .فيثلا يمكن تبادل البيوض والحيوانات المنوية بين دودتين من ديدان الأرض أثناء الجماع . وتضع الدودة بيوضعها في شرنقة cocoon تفرز عن طريق عضو

خاص يدعى السرج clitellum ثم تتزحلق الشرنقة مارة بالفتحة التناسلية الذكرية للدودة الأخرى وبهذا تخصب هذه البيوض . كما يفرز السرج أيضاً مادة مشحمة تساعد على عملية الجماع بالاضافة الى تجهيز الاجنحة النامية بكمية كافية من الغذاء فب الشرنقة .

تلعب حيوانات هذه القبيلة دورا مهما في تربة البيئات التي نعيش فيها وهي تشمل البيئة البحرية وبيئة المياه العذبة والبيئة اليابسة . توجد الحيوانات قليلة الأشواك oligochaetes ومنها ديدان الأرض في المياه العذبة واليابسة بشكل رئيسي . أما حيوانات العلق leeches فتشيع في الماء العذب . بينما ينحصر وجود الديدان عديدة الأشواك polychaete في المحيطات . ومع أن بعض الديدان عديدة الأشواك تعيش على المعلقات plankton فإن معظمها (بالإضافة إلى الديدان قليلة الأشواك) يتغذى على المواد العضوية المتعفنة . وتميل ديدان العلق إلى الحياة الطفيلية بالصاق نفسها على جسم العوائل الفقارية أو تعيش كحيوانات مفترسة أو رمية على القواقع واللافقاريات الأخرى وتفرز أنواع العلق الطبي المتغذية على الدم مادة تمنع تجلط الدم هي مادة الهيرودين hirudin وتتحور الحلقات الأمامية والخلفية ف جسم العلق على شكل ممصات تلتصق بجسم العائل بينما لا يظهر باقي الجسم على شكل حلقات ليعمل على السماح للحيوان بجمع أكبر كمية من دم العائل ليختزنها وبهذا يتمكن من المعيشة لعدة شهور قبل أخذ وجبة دم أخرى .

الشكل (١٣ ــ ٩) : دودتا ارض اثناء عملية الجماع .



الشكل (١٢ ــ ١٠) : تكتفي دودة العلق الطبي بوجبة غذائية واحدة من الدم حيث تمكنها من المعيشة عدة أشهر بعدها ، ويعود ذلك الى أن هذه الدودة قادرة على زيادة حجمها عدة اضعاف حجمها الطبيعي عندما تختزن غذاءها .

أن الرخويات هي قبيلة ناجحة تضم ما يزيد على ١١٠ الاف نوع . وهي تشمل ستة أقسام أهمها ذوات المصراعين bivalves والبطن قدميات gestropods والرأس قدميات cephalopods وقد نجحت هذه الحيوانات باستعمار عدد من البيئات وسادت في كثير من البيئات البحرية . وتأتي هذه القبيلة بعد المفصليات من حيث عدد أنواعها وتنوع تركيبها ، وتشمل هذه القبيلة حيوانات المحار وأصداف اللؤلؤ والقواقع والأخطبوطات وحيوانات الحبار والبزيق .

يتكون جسم الحيوان الرخوي من قدم بطينة عضلية تعلوها كتلة حشوية viseeral mass يحيط بها نسيج رقيق يسمى البرنس mentie وتفرز غدد خاصة في البرنس الصدفة shell والرخويات هي حيوانات ثنائية التناظر لها تجاويف سيلومية حقيقية ويوجد باجسامها جميع الأجهزة العضوية الأساسية الموجودة في الديدان الحلقية إلا أنها تفتقد صفة الانقسام إلى حلقات ووجود مجموعتين من الأعضاء . فلهذه الحيوانات زوج واحد من الأعضاء الإخراجية وقلب واحد وزوج واحد من الأعضاء التناسلية . كما أن الجهاز الهضمي هو عبارة عن قناة مفردة قد تكون ملتوية . ويوجد في حيوانات معظم الأقسام عضو خاص

لقطع وتفتيت أجزاء صغيرة من النباتات والحيوانات أو الأصداف يدعى جهاز السفن radula وهو صف من الأسنان على سطح كيتيني .

ولكن تتغذى الحيوانات ذات المصراعين عن طريق ترشيح دقائق المعلقات بواسطة خياشيمها ولهذا فإن مثل هذه الحيوانات لا يوجد لها أجهزة سفن . والجهاز الدموي في الرخويات مفتوح بمعنى أن الدم يخرج من الأوعية الدموية إلى التجاويف ثم يعود إلى القلب عن طريق الأوردة وهناك زوج من الكلي يقوم بالتخلص من المواد التالفة إذ يطلقها من فتحة خاصة بجانب الاست . ويتكون الجهاز العصبي من عدة عقد genglia وزوجين من الاحبال العصبية . والجدير بالذكر أن معظم الرخويات هي حيوانات بطيئة تفتقر إلى القدرة على الاستجابة السريعة للمؤثرات .

ومن المحتمل أن تكون أبسط الرخويات التي تعيش الآن هي الكايتونات (class Amphineura) ولهذه الحيوانات رأس صغير وصدفة تغطي السطح الظهري للحيوان ، وتفتقر هذه الحيوانات إلى العيون . وتتكون الصدفة من ثماني صفائح متراكبة يفرزها البرنس ، ويتحرك الحيوان على الصخور المغطاة بالطحالب متغذياً على القطع الصغيرة التي يمزقها من هذه الطحالب وهو بهذا حيوان عشبي يتغذى كما تتغذى الأبقار بتمزيق الأعشاب التي ترعاها ، إلا أن الكايتون يمزق الطحالب بواسطة جهاز السفن الذي لا يحمل أسناناً عظيمة بل أسناناً حديدية . ولكن كيف تكونت هذه الأسنان؟ لا أحد يعرف حتى الآن .

أما قسم ا لبطن قدميات الذي يشمل القواقع والبزاق فهو يضم أكبر وأكثر مجموعة تنوعاً . ولا تزال أجسام هذه الحيوانات بسيطة نسبياً وهي تلتف بمقدار ١٨٠ درجة أثناء نموها لأسباب غير واضحة تماماً . وربما يعود ذلك إلى أسباب أمنية حيث أن هذا الالتفاف يمكن الحيوان من سحب رأسه الحساس داخل الصدفة قبل الأجزاء متبوعاً بالقدم الأقل تأثراً بعوامل البيئة .

ومع أن بعض القواقع تتغذى بالترشيح فإن معظمها له أجهزة سفن تستخدم لتمزيق الطعام المتمثل في الطحالب النامية على السطوح الصلبة أو

لتفتيت أنسجة الحيوانات اللافقارية الأخرى التي قد تتغذى عليها . ويوجد للقواقع التي تعيش على اليابسة رئئات بسيطة بدلاً من الخياشيم وهي لهذا متكيفة في الحياة على اليابسة وتشمل هذه المجموعة قوقع الهيكلس Helix الذي يعيش في الحدائق وقواقع البزاق التي لا يوجد لها أصداف . ويشكل هذان النوعان من القواقع البرية مصدر ازعاج للقائمين على الحدائق .

تمتلك الرخويات المحاورة وأصداف اللؤلؤ وغيرها (قسم ذوات المصراعين (Class pelecypoda) صدفة ذات مصراعين متصلين من الجهة الظهرية ، ومن هنا جاء الاسم . ولا يووجد لهذه الحيوانات راس ولا جهاز سفن . ويجمع الغذاء عن طريق الخياشيم التي تتميز بأنها على درجة كبيرة من التقدم والتي تقوم بوظيفة تنفسية كذلك . وتقوم الأهداب الموجودة على أنبوبة خاصة بادخال الماء بسرعة ٠,٥-٠,٧٥ جالون في الساعة في حالة محار متوسط الحجم ثم تحمل جزيئات الطعام إلى الفم بينما يمر الماء من خلال الخياشيم وينطلق من خلال انبوبة خاصة باخراج الماء . وتشكل القدم عضو الحركة في حيوانات المحار وتقوم بوظيفتها هذه نتيجة للأثر المشترك لعضلات القدم وضغط الدم . ولكن المحار المروحي Scallops يستطيع أن ينطلق بسرعة عن طريق فتح واغلاق الصدفة بسرعة مطلقاً بذلك نفثات قوية من الماء خلف المصراعين ، والعضلات المقربة adductor muscle التي يستخدمها هذا الحيوان لهذا الغرض هي الجزء الذي نأكله عندما نتناول وجبة من هذا المحار .

لقد أصبحت بعض الرخويات ذات المصراعين متخصصة بفعالية بخرق الخشب وحتى الصخور فالحيوان المسمى بدودة السفينة shipworm, Teredo يستطيع أن يفتح ثقوباً تتسع كلما نما الحيوان حتى تصل في طولها إلى قدم وتستطيع مئات من هذه الحيوانات أن تسبب تلف أرض سفينة في مدة قصيرة .

وتختلف حيوانات الحبار والاخطبوط وغيها من الحيوانات التابعة لقسم الرأس قدميات (class Cephalopoda) عن الرخويات ذات المصراعين وغيرها من الرخويات بفقدانها الأصداف الخارجية الواضحة . وهذه الحيوانات سريعة الحركة ولها أدمغة كبيرة وتتميز بسلوكها المعقد وبقدرة بعضها على التعلم أكثر من حيوانات الاقسام الدنيا من الفقاريات ، وتحيط القدم المقسمة إلى عدد من اللوامس بالرأس ومن هنا جاء الاسم . وقد تكيفت هذه

الرخويات بالسباحة كما أن جميع هذه الحيوانات تقريباً كانات مفترسة . ومن المتوقع أن تمتلك هذه الحيوانات السريعة الحركة أعضاء حسية قادرة على التعرف على ما يجري على مسافة بعيدة وهذا هو فعلاً ما تتميز به هذه الحيوانات فأدمغتها كبيرة وللاخطبوب مثلاً عيون قوية مصممة بشكل أفضل من تصميم عيون الفقاريات . ومع وجود هذه الشبه بين عين الحيوانات الرأس قدميات وعين الفقاريات فأنه مما يثير الدهشة أن نجد أن تلك العين تتكون بطريقة مختلفة تماماً في الجنين . ويمثل هذا الأمر مثالاً جيداً للتطور التحوري

الشكل (١٣ ــ ١١) : القواقع والبزاق. تخدم اللوامس غرضين هما الإبصار واللمس ، ففي بعض الانواع تقع الاعين على نهايات اللوامس العلوية التي يمكن أن تنكمش لتحفظ الاعين . وتقع الاعين في بعض الانواع الاخرى في قواعد اللوامس . لاحظ ايضا طريقة سطح القوقع . يتميز البزاق وهو حيوان قريب للقوقع تصنيفيا بعدم وجود صدفة له الامر الذي يجعله عرضة للجفاف الامر الذي يستوجب بقاءه في بيئة رطبة باستمرار .

الشكل (١٣ ــ ١٢) : حيوان الحبار Squid

الشكل (١٣ ــ ١٣) : حيوان الصبيدج Cuttlefish لاحظ ان عيني هذا الحيوان شبيهتان بعيني الانسان وهذه احدى مميزات الرأس قدميات .

الشكل (١٣ ــ ١٤) : يوضح هـــذا الشكل قطعة خشبية هوجمت من قبـــل دودة السفينة التي تقوم بحفر الخشب بواسطـــة مسننات خاصة على صدفتها وهي تتغذى على هذا الخشب المنشور .

Convergent evolution وهو تكيف مفيد جداً يصل إليه نوعـــان أو أكثـــر مـــن الحيوانات بطرق مختلفة ويمثل حيوان النيوتيلي Nautilus الحيوان الوحيـــد مـــن الـــرأس القدميات الحية ذات الأصداف . ففي حيوان الحبار تكون الصدفة صغيرة ومخبـــأة تحـــت البرنس الكثيف ويظهر و:انه لا يوجد أية صدفة مطلقاً في حيوان الاخطبوط البالغ . تســـبح كل الراس قدميات تقريباً عن طريق عمل نفثة مائية خارجة من قمع خاص يبرز من السطح البطني للتجويف البرنسي فيدفع الماء المحصور في التجويف البرنسي بقوة من خلال ذلـــك القمع ويتحرك الحيوان في الاتجاه المعاكس ويطلق الحيوان عند مهاجمته كمية كبيـــرة مـــن الحبر من كيس موجود في جسمه مع الماء الخارج من خلال ذلك القمع وبهذا تتكون غيمـــة من الماء المتعكر بالبحر خلف الحيوان الهارب الأمر الذي يدعو إلى أفلات الحيـــوان مـــن عدوه المهاجم . هذا بالاضافة إلى أنه يعتقد أن لذلك الحبر أثراً تخـــديرياً علـــى الحيـــوان المهاجم ، وتتراوح حجوم الرخويات الراس قدمية من نصف بوصة كما هو فـــي بعـــض أنواع الأخطبوط إلى حجوم ضخمة كما هو الحال في بعض أنواع حيوانات الحبار العملاقة التي قد تصل إلى ما يزيد على ستين قدماً في أطوالها .

قبيلة الجلدشوكيات Phylum Echinodermata

تشمل هذه القبيلة حيوانات نجم البحر starfish ونجم البحر الهش brittle stars وقنفذ البحر sea urchins وخيار البحر sea cucumbers وغيرها . وجميع هذه الحيوانات بحرية وغالبها يعيش في الأعماق . وتعبر هذه القبيلة بأنها منأهم القبائل الرئيسية التي لا تضم أنواعاً متطفلة تبرز حيوانات هذه القبيلة تناظراً ثنائياًالأطوار الأولى ولكن لها تناظر شعاعي خماسي في أطوارها البالغة وهي بهذا من أسهل الحيوانات التي يمكن التعرف عليها نظراً لتناظرها الخماسي ولوجود جهاز دوران متميز لها يعتمد على الماء وكذلك لوجود جهاز هيكلي داخلي على شكل صفائح كلسية calcareious plates or ossicles مغطاة بجلد سميك .

يمثل هذه القبيلة حيوان نجم البحر الشائع (قسم نجميعات البحر calss Asteroidea) ولهذا الحيوان قرص وسطي يخرج منه ٥-٢٠ ذراعاً أو أكثر . ويوجد الفم في مركز القرص من الجهة السفلي (السطح الفمي) للقرص . ويوجد على السطح الظهري صفيحة منخلية الشكل تدعى المصفاة madreportie يدخل منها ماء البحر إلى جهاز الدوران المائي water vascular system ويمثل هذا الجهاز نظاماً هندسياً بيولوجياً مميزاً . فهو يتكون من أعضاء نشطة هي أقدام أنبوبة عضلية ذات جدر رقيقة . ويصل عدد هذه الأقدام الأنبوبة الموجودة على السطح الفمي لكل من أذرع الحيوان إلى عدة مئات . وتتصل هذه الأقدام الأنبوبية بقناة شعاعية تتصل بحلقة موجودة في القرص المركزي (الوسطي) . وتتصل هذه الحلقة بدورها بالمصفاة بحيث يمكن لماء البحر أن يمر داخل وخارج الجهاز بسهولة . ويشبه كل قدم أنبوبي القاطرة الطبية إذ تكون مطاطتها مفروزة داخل الجسم . فأذا تقلصت المطاطة bulb or ampulla فأن ذلك يؤدي إلى دفع الماء داخل الانبوبة فتستطيل ، وعندما يلامس القدم سطحاً ما فأنه يشفط إلى الخلف قليلا محدثاً فراغاً قليلاً يؤدي إلى التصاق القدم بالسطح ما فأنه يشفط إلى الخلف قليلاً محدثاً فراغاً قليلاً يؤدي إلى التصاق القدم بالسطح بشكل قوي . ويساعد على هذا التماسك افراز مادة لاصقة خاصة على نهاية القدم . ويستطيع نجم البحر أن يتحرك ببطء على قاع البحر من خلال التنظيم الحركي لالاف الأقدام الأنبوبية . والحقيقة أننا لا نعرف الشيء الكثير عن عملية التنظيم الحركي هذه فالأمر يحتاج إلى دراسات وبحوث كثيرة لفهمها .

ليست وظيفة الحركة هي الوظيفة الوحيدة للقدم الأنبوبية فهي تقوم بوظيفة الحصول على الغذاء كذلك ، من المعروف أن حيوانات نجم البحر هي حيوانات مفترسة تتغذى على

القواقع وذوات المصراعين والديدان وحتى الأسماك . ولا بد أن كل من حـــاول أن يفـــتح مصراعي أحد المحارات يستطيع أن يقدر قوة نجم البحر . فأن هذا الحيوان يحيط أذرعـــه حول جانبي المحار ويلصق عدداً من الأقدام الأنبوبية على كل مصراع ثم يشد محاولاً فصل المراعين ، وبالمقابل يشد المحار مصراعي صدفته باحكام وتبدا المعركة بينهما . فالمحار يستخدم عضلتين خاصتين باغلاق المصراعين ولكن يستخدم نجم البحر أقدامه الأنبوبية لفتح المصراعين ولكن يستخدم نجم البحر أقدامه الأنبوبية لفتح المصراعين وهو بهذا قادر علـــى العمل على فتح المصراعين لمدة أطول من تلك التي تتحملها عضلتا المحار وينتج عن ذلـــك فتح المصراعين ثم يقوم نجم البحر بعمل غريب جداً فهو يقلب باطن معدته إلى خارج فمـــه ويدخلها بين المصراعين المفتوحين وهناك يفرز الحيوان أنزيمات خاصة يهضـــم الأجـــزاء الرخوة من المحار .

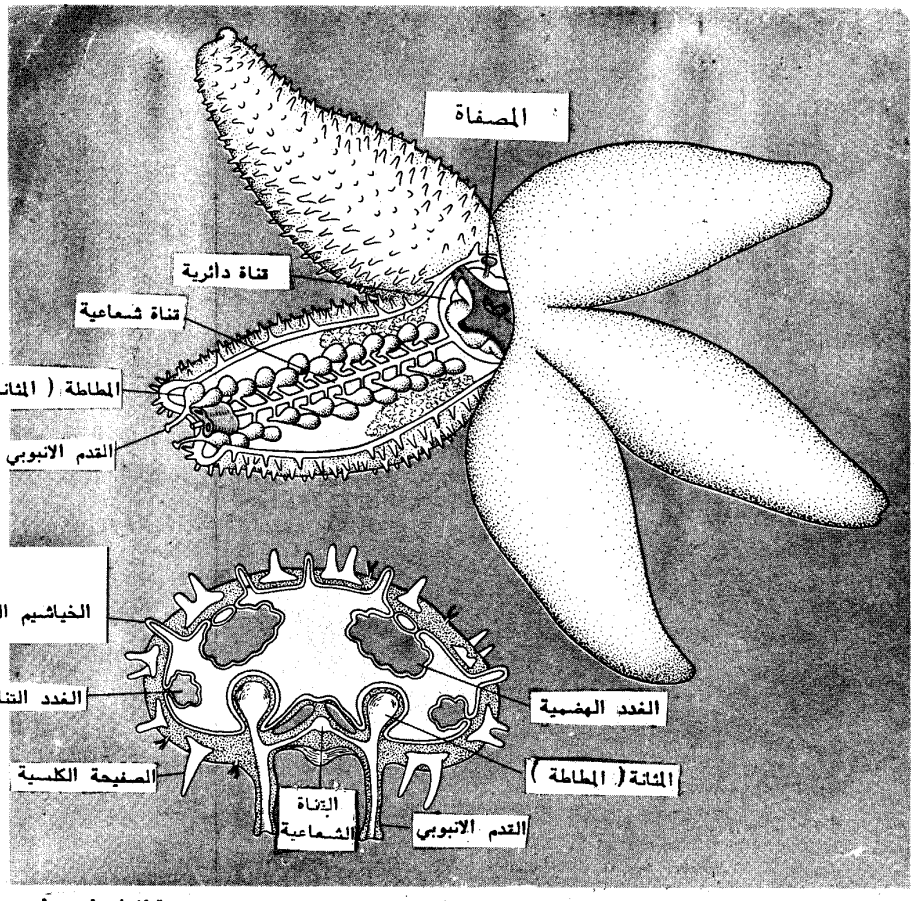
وهناك وظؤفة مهمة أخرى للقدم الأنبوبي إلا وهو التنف . لقد بينت التجارب أن مـــا يقارب من ٦٠% من التنفس الحاصل في الجلد شوكيات يحصل في الأقدام الأنبوبية . ويتم الباقي عن طريق امتدادات صغيرة أصبعية الشكل تعرف بالخياشيم الجلدية وهي تمـــر مـــن خلال فراغات موجودة بالصفائح الكلسية . وتحفظ هذه الخياشيم الجلدية الرقيقـــة بواســـطة أشواك خاصة (لاحظ اسم القبيلة المنسوب إلى هذه الأشواك الجلدية) وملاقط صغيرة تستطيع أن تصطاد أي حيان صغير قد يسبب أذى للخياشيم الجلدية . ومن الممكن أن السبب فـــي وجود جهاز دوري مفتوح بسيط في نجم البح هو أن هناك اهتماماً خاصاً بعملية التنفس كام أسلفنا .

قد تكون حيوانات نجوم البحر على درجة كبيرة من الأهمية كحيوانات مفترسة فـــي المجتمع الحياني . فهناك حيوانات نجم البحر الأرجواني الشائعة حالياً في المحيط الهـــادي الجنوبي التي تقضي على مساحات شاسعة من الجزر المرجانية بالتغذية عن أنواع المرجان المكونة لهذه الجزر . ولكل نجوم البحر قدرة كبيرة على التجديد حيث يمكن تكوين جســـم كامل جديد لحيوان من ذراع واحدة مفصولة عن بقية جسم حيوان ما .

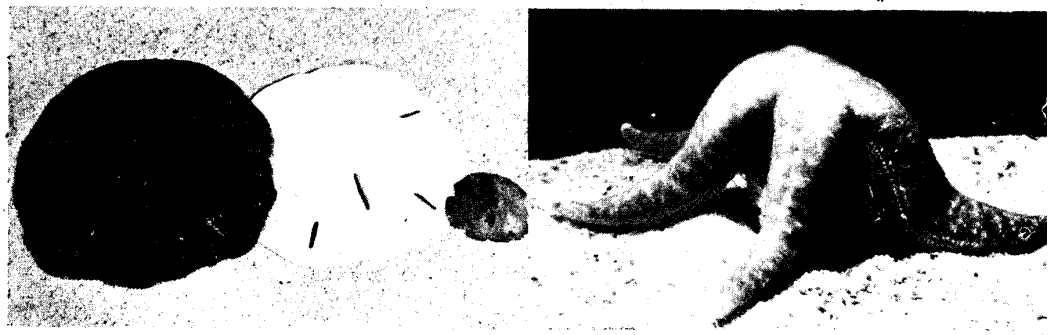
تشبه نجوم البحر الهشة (brittle, stars calss ophiuroidea) نجوم البحر إلى حـــد كبير إلا أن لها أذرعاً طويلة مرنة تمكنها من الحركة بسرعة . ويمكن تجديد الأذرع التـــي تفقد بسرعة وبشكل روتيني . وفي قنافذ البحـــر sea urchins ودولارات الرمـــل sand dollars التابعة لقسم الشوكيات Echinoidea calss تتصل الصفائح العظميـــة ossicles

بعضها ببعض مكونة علبة درعية . وتتحرك هذه الحيوانات مستخدمة أشواكاً قادرة على الحركة . وتمتد الأقدام الأنبوبية من خلال الصفائح العظمية مكونة من خمسة خطوط يمكن رؤيتها بوضوح عند فحص العلبة المنظفة من الأشواك . ومع أن هذه الحيوانات تقتات بالنباتات بشكل رئيسي إلا أن بعضها يتغذى على أي شيء يجده في الوسط الذي يعيش فيه omnivorous وتتشكل حيوانات خيار البحر Holothoroidea sea cucumbers على هيئة النقانق وهي جلد شوكيات بدون أذغر ولها جدار جسم عضلي يحتوي على صفائح عظمية متباعدة وهي تتحرك بطريقة تشبه الحركة الدودية . يعيش كثير من هذه الحيوانات في قيعان البحر الطينية حيث تستخلص مواد الغذاء العضوية من هناك لتلتهمها وتتغذى بها . وقد وجد حديثاً أنها قادرة على تمثيل دقائق صغيرة من الحديد وتخزينها تحت الجلد . ولا زالت البحوث قائمة لتحديد ما إذا كان هذا الحديد المخزن يستخدم في تغذية الحيوان أو في أغراض أخرى غير معروفة . وتمثل زنابق البحر (sea lilies (calss Crinoidea أبسط هذه الحيوانات . وقد وجد منها أشكال كثيرة على هيئة حفريات كما يوجد منها قرابة ٧٠ نوعاً لا زالت تعيش حتى هذه الأيام . وهذه الحيوانات هي حيوانات ساكنة تثبت نفسها على قاع البحر بواسطة عنق خاص stalk وتتغذى هذه الحيوانات بما تجمعه من دقائق العوالق أو حثالات المواد العالقة التي تلتهمها .

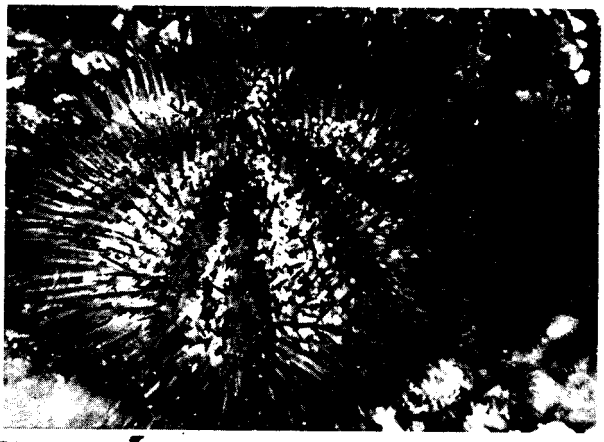
ومع أنه لا يوجد وجه شبه واضح بيننا وبين قبيلة الجلد شوكيات ألا أن حيوانات هذه القبيلة هي أُرب الحيوانات إلى قبيل الحبليات chordates التي تنتمي إليها . فحيوانات هاتين القبيلتين متشابهة في أطوارها الجنينية الأولى فطبقة الميزودوم تتكون بنفس الطريقة كما تشترك الأشكال البدائية منها بنو خاص واحد من اليرقات . وهناك وجه تشابه مهم آخر ففي جميع القبائل الحيوانية التي تتكاثر بطريقة جنسية هناك طور جنيني مبكر يعرف باسم البلاستيولا blastula والبلاستيولا هذه هي كرة مفرغة من الخلايا لا يلبث أن ينثني جدارها للداخل في وقت ما من أوقات نموها مكوناً تجويفاً جديداً يفتح للخارج بفتحة تدعى الفتحة البلاستيه blastopore ففي الفرع المؤدي للرخيوات والديدان الحلقية والمفصليات من شجرة ا لتطر تكون الفتحة البلاتسية فم الحيوان لهذا تدعى هذه الحيوانات بالحيوانات بدائية الفم Protostomia أما في الجلد شوكيات والحبليات فأن الفتحة البلاستية تكون است للحيوان بينا تتكو فتحة الفم فيما بعد من فتحة ثانية لذا تدعى حيوانات هاتين القبيلتين بالحيوانات تالية الفم .Deuterostomia



الشكل (١٣ ــ ١٥) : جهاز الدوران المائي في حيوان نجم البحر . قطاعان احدهما طولي والاخـــر عرضي .



الشكل (١٣ ــ ١٦) : حيوانان جلد شوكيان مختلفان . يمثل الشكل الايسر حيوانات دولار الرمل (حيث تظهر اشكال للحيوان البالغ الحي والصدفة فارغة ثم الحيوان صغير السن حيا) ، ويمثل الشكل الايمن حيوان نجم البحر وهو يقوم بفتح حيوان ذي مصراعين .



الشكل (١٣ ــ ١٧)

قنفد البحر

خيار البحر

ويبدو ان للخط الممثل للجلد شوكيات والحبليات سلفا عاما مشتركا منذ مدة طويلة في التاريخ التطوري وانه منذ ذلك الوقت اخذ ذلك الخط طريقا تطوريا مختلفا عن الخط الذي ادى الى الرخويات والمفصليات كما تدل علـــى ذلك الاختلافات الجنينية . وسندرس في الفصل القادم اعلى فرعين لهذيـــن الخطين التطورين الا وهما المفصليات والجبليات .

ملخص الفصل الثالث عشر

لقد رأينا كيف تنتج النباتات مواد محتوية على الطاقة من ضوء الشمس والهواء والماء وتشمل المملكة الحيوانية كائنات عديدة الخلايا تتغذى على الطلائعيات والنباتات والحيوانات الأخرى وتتميز طريقة حياتها بأنها تتغذى بشكل رئيسي عن طريق الالتهام ولما كان لا بد للحيوانات من البحث عن وحدات طاقة مخزنة مسبقاً فانها تحتاج إلى أنظمة خاصة لتحسس بيئاتها وللوصول إلى مصادر غذائها . ويوجد لجميع الحيوانات ما عدا البسيط جداً منها هياكل ولو بسيطة أثرية وعضلات ومراكز حس وأعصاب وأجهزة متخصصة للهضم ولو بسيطة أثرية وعضلات ومراكز حس وأعصاب وأجهزة متخصصة للهضم والدوران والاخراج وتبادل الغازات . وكلما تقدمنا في السلم التطوري نجد أن الحيوانات تعتمد بشكل أقل على البيئة التي تعيش فيها حيث يصبح بمقدورها أن تضبط بيئة أجسامها الداخلية .

من بين أبسط أشكال الحيوانات المثقبات أو الاسفنجيات . وتتميز هذه الحيوانات بظاهرة تقسيم العمل ، فهناك طبقتان لجسم لحيوان خارجية وداخلية تحتويان على خلايا متخصصة لوظائف خاصة كالتغذية ونقل الغذاء وتكون المواد الهيكلية . ولكن هذه الخلايا غير منظمة على شكل أنسجة كما هو الحال بالنسبة للحيوانات الأكثر تعقيداً . وهناك خلايا خاصة تدعى الخلايا الدورقية choanocytes لها أسواط تياراً مائياً يرشح منه حيوان الاسفنج غذاءه من دقائق طحلبية وحثالات المواد المعلقة في الماء وبكتيريا ثم يلتهم الحيوان هذه الدقائق . وتتكاثر الاسفنجيات بطريقة جنسية أو لا جنسية كما أنها قادرة على تجديد الجسم الكامل من أ جزاء صغيرة أو من خلية منفردة واحدة .

ومع أن الحيوانات التابعة لقبيلة الجوفمعويات كقناديل البحر والمرجان وشقائق البحر والهيدرا هي أعقد في تركيبها من الاسفنجيات إلا أنها لا تمتلك كل الطبقات النسيجية الجنينية والأجهزة العضوية المميزة للحيوانات العليا . ومع أنه لا يووجد لهذه الحيوانات رؤوس أو تركيزات مركزية خلوية إلا أنها أبسط الحيوانات الممتلكة لخلايا عصبية حقيقية . وتأخذ هذه القبيلة اسمها من التجويف الجوفمعوي المركزي المميز لها .

تمثل الديدان المسطحة تقدماً آخر على السلم التطوري فهي تتميز بتناظر أجسامها الثنائي بمعنى أن لاجسامها جانبين احدهما أين والأخر أيسر وان كل جانب منهما هو صورة

مرأة للجانب الأخر . ويتميز تركيب أجسام هذه الديدان بأنه أعقد من تركيب أجسام الجوفمعويات وأن جهازها الحسي يتركز في الطرف الأمامي لأجسامها . والديدان المفلطحة والشريطية هي ديدان مسطحة متطفلة قد تسبب أضراراً خطيرة للأنسان .

وتتميز الديدان الاسطوانية بأجسامها الاسطوانية البيضاء وهي تضم حيوانات طفيلية كالديدان الخطافية وديدان التركينيا trichina worms وهذه هي القبيلة الأولى التي وصلت في تطورها لتكوين جهاز هضمي كامل يبدأ بالفم الموجود بأحد الطرفين وينتهي بالاست الموجود في الطرف الأخر .

تشمل قبيلة الديدان الحلقية ديدان الحلق الطبي والديدان ذات الشعيرات الدقيقة bristle worms وديدان الأرض المعروفة ، وتتميز حيوانات هذه القبيلة بأجسامها الطويلة الاسطوانية والمقسم خارجياً وداخلياً إلى حلقات ، وتنقسم الحلقات الداخلية بواسطة أغشية خاصة بحيث تحتوي كل قطعة على أعضاء اخراج وعضلات طويلة ودائرية وزوائد خارجية . أشواك أو أقدام جانبية للحركة خاصة بها . ولما كانت أعضاؤها الخاصة بالتنفس والاخراج والدوران على درجة عالية من التقدم فأنه يمكن للحلقيات أن تكون أكبر حجماً وأكثر نشاطاُ من الحيوانات التابعة للقبائل الأدنى منها . وتتكاثر معظم الحلقيات بطريقة جنسية وكثير منها حيوانات خنثى . وتلعب الحيوانات المختلفة التابعة لهذه القبيلة دوراً هاماً كجزء من البيئة الحيوية المكونة لأتربة قيعان المياه البحرية والعذبة وأتربة البيئة اليابسة .

وقد نجحت الرخويات في استعمار عدد كبير من البيئات وهناك عدد كبير منها يسود في كثير من البيئات البحرية . وتضم هذه القبيلة ٦ أقسام أهمها ذوات المصراعين bivalves ومنها المحارات واللؤلؤ وقسم البطنقدميات gastropods ومنها حيوانات الحبار والأخطبوط . ويتمثل نظام جسم الحيوان الرخوي يقدم عضلي بطني يقع على أعلاه كتلة حشوية ظهرية محاطة بنسيج رقيق يدعى البرنس . والرخويات ثنائية التماثل وتمتلك جميع

الأجهزة العضوية الأساسية الموجودة في الديدان الحلقية إلا أنها تفتقر إلى التحلــق (انقســام جسمها إلى حلقات) وإلى تعدد الأعضاء في أجسامها نتيجة لعدم وجود حلقات ويوجد لمعظم أقسام الرخويات أعضاء خاصة تدعى السفن radula والسفن هو سطح كيتيني يحمل أســناناً تستخدم لقرض قطع النباتات أو أجسام الحيوانات التي تتغذى عليها الرخويات . ولا يجــد للرخويات ذات المصراعين رأس ولا سفن وأنما يوجد لها صدفة ذات مصراعين متصــلين مع بعضهما بالاضافة إلى خياشيم على درجة كبيرة من التقــدم بــدلاً مــن ذلــك . أمــا الرأسقدميات فهي حيوانات مفترسة سريعة الحركة تتميز بكبر حجــم أدمغتهــا وبعيونهــا المتقدمة وتتراوح حجومها بين نصف بوسة (حجم بعض الأخطبوطات الدقيقة) وما يزيد على ٦٠ قدماً (كما هو الحال في حيوانات الحبار العملاقة).

وتضم قبيلة الجلد شوكيات حيوانات نجم البحر وقنفذ البحر ودولار الرمــل وخيــار البحر وجميعها حيوانات تعيش غالباً في الأعماق . وتمثل هذه القبيلة الأساسية الوحيدة التي لا تشمل على أشكال طفيلية . وتتميز الجلد شوكيات بتناظر شــعاعي خماســي الجوانــب وبوجود جهاز دوراني مائي مميز كما أنه يوجد لهذه الحيوانات هيكل داخلــي مكــون مــن صفئاح كلسية مغطاة بجلد سميك . وقيلة الجلد شوكيات هي أقرب القبائل تطوريا إلى القبيلة التي ننتمي إليها وهي الحبليات . فالشكال البدائية لهاتين القبيلتين متشــابهة فــي أطوارهــا الجنينية الأولى حيث تكون لك منها الطبقات الميزودرمية بنفس الطريقة كما تشــترك هــذه الأشكال بنفس النوع . الرقات . وفي جميع الحيوانات المتكاثرة جنسياً هناك مرحلة مميزة أثناء التطور الجنيني تدعى البلاستيولاblastula وهي عبارة عن كرة مجوفة مــن الخلايــا وفي وقت ما ينثنى جدار البلاستيولا للداخل على نفسه مكوناً تجويفاً جديداً له فتحة للخــارج تدعى الفتحة البلاستيه blastopore وتصبح الفتحة البلاستيه فيما بعد فم الحيوان في قبائــل الرخويات والحلقيات والمفصليات ولهذا تدعى الحيوانات في هذا الفرع من شجرة التطــور بالحيوانات بدائية الفم Protostomia أما في الجلد شوكيات والحبليات فأن الفتحة البلاســتيه

تصبح است الحيوان ويتكون الفم فيما بعد من فتحة أخرى جديدة ولهذا تدعى هذه الحيوانات بالحيوانات تالية الفم Deuterostomia ويدعو هذا الأمر إلى الاقتراح القائل بأن الأنسان قد يشترك مع نجم البحر وخيار البحر بسلف واحد .

نظرة فاحصة

الأخطبوط- الحيوان الرخو الذكي

The Octoups- The Soft Intelligence

لقد ألهم شكل الأخطبوط الناس ذوي الخيال الواسع باستخدام هـذا الكـائن كحيـوان مغترس مرعب يعشق الدماء فيقتل الرجال ويجر السفن إلى قاع البحر بلوامسـه القويـة . ولكن أصيب العلماء بدهشة عندما بداوا يدرسون هذا الحيوان الرخو لأنهم وجدوا أنه حيوان رقيق جبان يبتعد عمن يغطسون في البحر باحثين ودارسين لطريقة معيشته وسلوكه .

وعلى الرغم من ذلك وجد أن هذا الحيوان متكيف إلى حد كبير للظروف البيئية القاسية التي يعيش فيها . فهو يسكن في الحفر والجحور عائشاً على حيوانات السرطان وغيرها من القشريات التي تعيش في أعماق البحار المعتدلة والدافئة ومن أهم تراكيبه المميزة اللـوامس الثمانية التي يحتوي لك منها على صفين من الممصات القوية . والحقيقة أن الجهاز المكون من اللامس والممصات قوي جداً لدجة أنه يمكن للحيوان أن يرفع ما يصل إلى ٢٠ ضـعافاً من وزونه .

والاخطبوط يختلف عن الحيوانات القريبة تقسيمها منه كالمحار واللؤلؤ بأنه ليس لـه صدفة . وبهذا فهو يعيش باستخدام مجموعة من الطرق الدفاعية فهو قادر علـى الحركـة بسرعة بحيث لا يستطيع الصيادون أمساكه إلا عن طريق الشبك التي ويضها فيهـا الطعـم لاجتذابه . وهو قادر على التمويه بجدارة حيث يستطيع أن يغير لونه بغمضة عين بحيـث يصبح لونه مشابهاً للون الوسط الذي يعيش فيه نك ما يستطيع أن يمتزج ببيئته عن طـرق تغير تركيب جلده بحيث يصبح متثاللاً بعد أن كان ناعماً حريرياً . عندما يجابهـه أعـداؤه كسمك الأنقليس eel وسمك القرش (الاخفس) يفرز الأخطبوط سائلاً أسود شـبيهاً بـالحبر

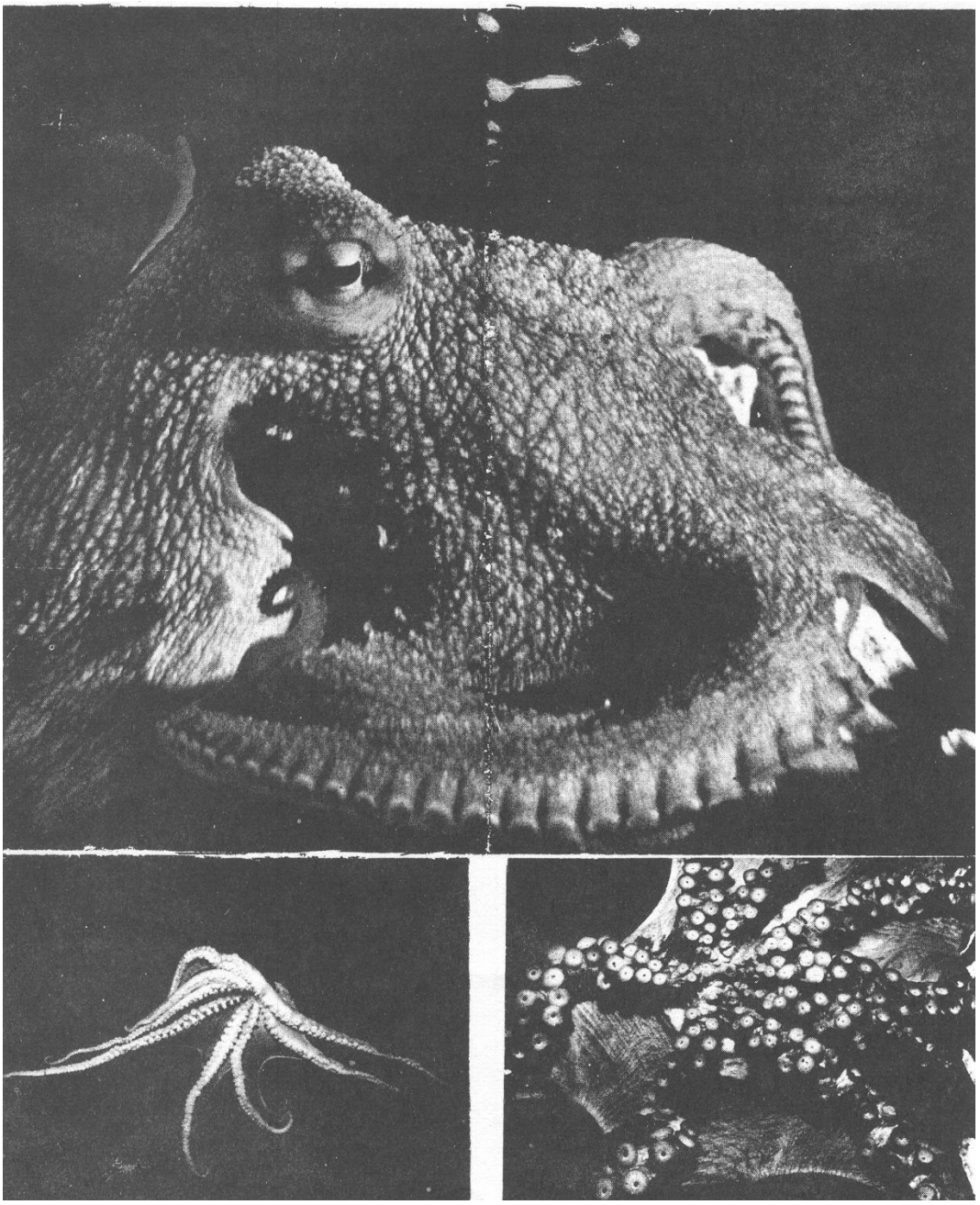
فيضطرب عدوه ويعطي الأخطبوط فرصة للهرب بعيداً . وللأخطبوط عيون حادة تشبه في تركيبها عيوننا كما أن حاسة اللمس عنده على درجة كبيرة من التقدم . وأهم من ذلك أن الأخطبوط قادر على التكيف لما هو جديد وعلى التعلم عن طريق الحاولة والخطأ . والحقيقة أن الأخطبوط يعتبر أذكى حيوان لا فقاري معروف .

ومن أسباب الأعتقاد بذكاء عن الاخطبوط حبه للاستطلاع فهو يتفحص الأشياء المارة في طريقه باهتمام عن طريق اللمس والشم والنظر فمثلاً لاحظ الغطاسون أنه عند اسقاط أناء مغطى به سرطان حي فأن الاخطبوط يتفحص الأناء ثم يفتح السدادة ويأخذ السرطان بواسطة لوامسه وقد صوروا هذا السلوك الدال على الذكاء .

وقد فحص العلماء أمثال مارتن ويلز Martin Wells وجون يونج John Young قدرة الاخطبوط على التعلم والتذكر باستخدامهم طرقاً أخرى أكثر تقنيناً وتعقيداً . وقد اكتشفوا أن للحيوان القدرة على أن يفرق بصرياً بين مربعين لهما مساحاتان مختلفان وبين قطع خشبي ملونة بالأسود والأبيض وبين ٢٩ شكلاً مختلفاً وفي احدى التجارب ميز أخطبوط معصوب العينين بين اسطوانات بلاستيكية خشنة وناعمة لمدة ثلاثة أشهر بعد تعليمه عملية التمييز هذه عن طريق اللس . وبعد هذه المدة فقد الحيوان قدرته على التمييز بين ملمس هذه الاسطوانات .

وفي احدى التجارب المشهورة التي قام بها ويلز عمل هذا الباحث صندوقاً يحتوي على ٤٥-٥٥سم ويتصل هذا الطريق بحجرة التي وضع بها الاخطبوط . على كل جانب من جانبي الطريق عملت حجرة للتغذة وقد كانت هذه الحجر مخفية عن الطريق بواسطة قطع خشبية ولكن هذه الحجر كانت مفصولة عن حجرة الاخطبوط بواسطة قطع بلاستيكية شفافة بحيث يستطيع الحيوان رؤية الغذاء داخلها . وقد وضع سرطان في احدى حجر التغذية هذه وقد كان على الاخطبوط أن يسير إلى أخر الطريق ثم يلف يميناً أو شمالاً ثم يتبع ذلك بلفه أخرى على اليمين أو الشمال إلى الحجرة التي يوجد بها السرطان ليتغذى عليه . وقد وجد ويلز أن جميع الأخطبوط التي تعرضت للتجربة قد تعلمت هذا الطريق بسرعة وتذكرته في محاولات لاحقة .

لقد توصلت البحوث التي أجريت على الجهاز العصبي المركزي للأخطبوط إلى عدة حقائق . فقد وجد أن دماغ الأخطبوط يحتوي على حوالي ثلاثين فصاً . كما وجد أنه له نظامين تعليميين أحدهما له علاقة بالبصر والأخر باللمس والذوق . فلو فصل أحد هذين



هذين النظامين فأن ذلك لا يؤثر على النظام الأخر . وكما هو الحال بالنسبة للفقارايت يبدو أن العملية التعليمية في الأخطبوط تعتمد على عدد الخلايا الموجودة في بقعة ما من بقع الدماغ . وبهذا يمكن فقدان القدرة على التعلم البصري أو اللمسي والذوقي إذا استؤصلت البقع الخاصة بهما في الدماغ . كما تعتمد نسبة فقدان التعلم على عدد الخلايا المستأصلة .

وبالاضافة إلى ذلك وجود ويلز وغيره أن هناك نوعين من الذاكرة في الاخطبوط كما هو الحال في الأنسان: النوع الأول قصير المدى يعمل في الاخطبوط لثوان قليلة والنوع الثاني بعيد المدى قد يبقىطيلة حياة الحيوان ، فمثلاً لو عطل الأخطبوط في تجربة ويلز المبينة أعلاه عن حركته في الطريق لمدة تزيد عن ثلاثين ثانية فأنه يبدو من متابعة مسيرته ويعتقد أن وجود أوجه التشابه هذه بين السلوك التعلمي للفقاريات قد يعني أن هاتين المجموعتين تحتويان على دورات أساسية للعملية التعليمية . وقد تكشف البحوث على الاخطبوط في المستقبل أساسيات جديدة لهذه العمليات المهمة .

الفصل الرابع عشر

المفصليات والحبليات

Arthropods and Chordates

تقع المفصليات والحبليات على نهاهية فرعي شجرة التطور . ولو سئل شخص عادي عن أكثر القبائل الحيوانية نجاحاً لاختار بدون تردد قبيلة الحبليات . فليس الأمر مقصوراً على انتماء الأنسان لهذه القبيلة فحسب ، وأنما تشمل هذه القبيلة كثيراً من الأنواع التي يعتمد عليها الناس للغذاء والاقتناء العمل . وأن زيارة إلى حديقة الحيوان ستؤكد هذا الانطباع ، فنحن نضحك من القرود وحركات عجول البحر (الفقمة) وندهش لألوان ريش الطيور وألوان الأسماك الأستوائية ونراقب بكل تلهف جري القطط الكبيرة ونطعم الفيلة الفول السوداني وكل هذه الحيوانات تابعة لقبيلة الحبليات .

ولكن إذا أردنا أن نحكم عن طريق الأعداد الموجودة فأن القصة ستكون مختلفة تماماً فهناك ما يقارب من ٨٠٠,٠٠٠ نوع معروف من المفصليات ومن الممكن أن يكون هناك عدة ملايين أخرى غير معروفة أو موصوفة حتى الآن . والحقيقة أن حوالي ٨٠% من جميع الأنواع المعروفة تتبع قبيلة المفصليات وتعيش هذه الحيوانات في أية بيئة يمكن التفكير فيها وباعداد كبيرة . فنحن نعيش في عصر المفصليات .

ولقد مضى على وجود المفصليات على سطح الأرض مدة طويلة أيضاً (حوالي ٦٠٠ مليون سنة) وهي تشترك ببعض خصائصها (وخصوصاً بانقسام أجسامها إلى عدة حلقات) مع الديدان الحلقية عديدة الاشواك poly chaete annelid وهي ديدان تعيش في المياه البحرية . ويعتقد أن هاتين المجموعتين قد تطورتا من نفس الأصل .

أما السلم السلفي للحبليات فنحن غير متأكدين تماماً منه . فكما رأينا في الفصل السابق تمثل الجلد شوكيات أقرب الكائنات اللاحبلية الينا . وقد كانت اسلاف الجلد شوكيات كائنات

ساكنة ثابتة تشبه زنابق البحر العائشة الأن وهناك قبيلة حديثة لها علاقة بالحبليات وهي قبيلة النصفحليات hemichordates وهي تضم بعض الأشكال الساكنة البسيطة جداً وتدعى جنحية الخياشيم pteero branchs وهي قد تكون قديمة جداً أيضاً وهناك تشابه كبير بين هاتين المجموعتين بحيث يمكن القول أنه من المتمل أنهما قد جاءتا من سلف مشترك واحد .

ولكن لندع هذا الأمر جانباً وندرس هاتين القبيلتين السائدتين الآن كما هما عليه الآن .

قبيلة المفصليات: Phylum Arthropoda

جميع المفصليات حيوانات لها تناظر جانبي ثنائي . وتتميز أجسامها إلى ثلاث مناطق رئيسية هي الرأس head والصدر thorax والبطن abdomen كما أن لها زوائد خارجية متصلة ومتمفصلة متخصصة كأطراف للقيام بوظائف الأحساس والتغذية والحركة . ويتضح نمو هذه الزوائ أكثر ما يكون في منطقة الرأس أذ قد تخصص بعضها لتكوين أجزاء الفم وقرون الاستشعار وغيرها .

وتتحرك هذه الزوائد المتمفصلة (التي اشتق اسم هذه القبيلة منها) بواسطة عضلات تتميز بتركيب أكثر تعقيداً من العضلات الطويلة والدائرية المميزة للديدان والرخويات . ويؤدي هذا الأمر إلى الحركة بحرية أكثر . وتتقل العضلات بجدار الجسم الخارجي الصلب المعروف بالهيكل الخارجي exoskeleton الذي يتكون من مادة الكيتي chitin وهي مادة سكرية معقدة . صلبة يتخللها حبيبات من مادة كربونات الكالسيوم .

ونتيجة لوجود هذا الغلاف الصلب للحيوان المفصلى لا يستطيع الحيوان أن ينمو ألا عن طريق الانسلاخ shedding or molting إذ ينسلخ الغلاف الخارجي بشكل منتظم ويتكون غلاف جديد بدلاً منه . ولكن لا بد أن تكون فترة النمو الواقعة بين انسلاخ الغلاف القديم وتكوين الغلاف الجديد قصيرة جداً لأن الحيوان يكون عرضة للجفاف والافتراس أثناء تلك الفترة . وقد حلت المفصليات هذه المشكلة عن طريق افراز الهيكل الجديد تحت القديم . ويكون الغلاف الجديد لينا ولكنه تام التكوين قبل انسلاخ القديم . كما يحتوى الغلاف على ثنايا folds تسمح بالامتداد . وعندما يحين موعد الانسلاخ يمتد الحيوان يأخذ كميات كبيرة

من الماء أو الهواء ويؤدي هذا الامتداد إلى تفتيت الهيكل الخارجي القديم الذي ينسلخ ويظهر الجدار الجديد الذي لا يلبث أن يتصلب خلال ساعات أو أيام قليلة .

وعلى الرغم من أن المفصليات هي حيوانات مقسمة إلى حلقات إلا أن كثيراً من هذه الحلقات قد اندمج بعضها ببعض حيث لا تظهر الأغشية الفاصلة بينها من الداخل كما لا تظهر أن هناك أعضاء مزدوجة مرتبة بشكل سلاسل في الجسم كما هو الحال في الديدان الحلقية . ويوجد في الحيوان المفصلي قلب واحد وجهاز دوري مفتوح يضخ فيه الدم من القلب إلى الشرايين المؤدية على تجاويف تحيط بالاعضاء . ثم يعود الدم إلى القلب بعد ذلك.

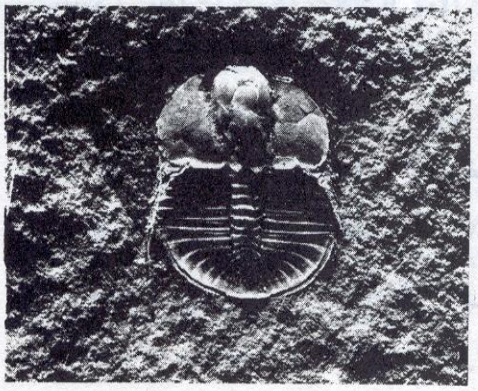
وتشبه المفصليات الرخويات في أن لها هيكلاً خارجياً وفي فقدانها لاعضاء مزدوجة متسلسلة . ولكن صدفة الحيوان الرخوي مكونة من كربونات الكالسيوم بدلاً من الكيتين . وقد يكون للرخويات قرون استشعار أو لامس ولكنها تفتقر إلى الزوائد للمفصليات لهذا فأنه من المحتمل أن تكون بين هاتين القبيلتين قرابة ولكنها بعيدة ، ومن ناحية أخرى تتميز اليديدان الحلقية بأنقسامها إلى حلقات كما يوجد للديدان عديد الأشواك منها زوائد خارجية من نوع بسيط هي الأقدام الجانبية parapodia ولهذا يمكن القول أنه من المحتمل أن تكون المفصليات قد تطورت من أسلاف شبيهة بالحلقيات بينما يمكن للرخويات أن تكون قد جاءت من دودة غير مقسمة شبيهة بالديدان المسطحة .

أن المفصليات هي أكثر الحيوانات انتشاراً وتنوعاً ومن المحتمل أن تكون قد تطورت من مصدرين مختلفين . فمن الممكن أن تكون القشريات والمفصليات ثلاثية الفصوص trilobites المنقرضة قد جاءت من الخط التطوري الأول والعناكب spider والفاش mites وذوات المئة قدم centipedes والحشرات insects من الخط الأخر . ويلاحظ أن التركيب الكيميائي للكيتي في القشريات مختلف قليلاً عنه في الحشرات والعناكب . ويوجد للقشريات والمفصليات ثلاثية الفصول زوجان من قرون الاستشعار وزوائد ثنائية **الفروع** biramous بينما يوجد للحشرات والعناكب وزوج واحد من قرون الاستشعار وزوائد وحيدة الفرع uniramous ومن ناحية أخرى يوجد للعناكب بعض المجموعات الصغيرة الأخرى أجزاء فم متخصصة تدعى القرون الكلابية chelicerae بينما يوجد للحشرات والقشريات وذوات

المئة قدم وذوا الألف قدم نوع آخر من أجزاء الفم مكون من فكك علوية mandibles وفكوك سفلية maxillae وتقسم هذه المفصليات عادة إلى تحت قيلة الكلابيات subphylum Chelicerata وتحت قبيلة الفكيات subphylum Mandibulata تبعاً لهذه الاختلافات .

المفصليات ثلاثية الفصوص: Trilobites

كانت المفصليات ثلاثية الفصوص مجموعة سائدة خلال العصر الكابري منذ ٦٠٠ مليون سنة تقريباً وهناك حفريات لما يزد على ٣٩٠٠ نوع منها . وقد انقرضت هذه الحيوانات منذ حوالي ٢٢٠ مليون سنة تقريباً . وقد كانت تتراوح في حجومها بين ٠,٥ : (الأشكال الموجودة في العوالق) إلى ٢,٥ قدم ولكن معظمها كان يصل في طوله بين ١-٣ بوصات وكان يتغذى على الحيوانات الميتة scavengers أو بترشيح الماء مما يعلق به من كائنات دقيقة . وقد كان الجسم مقسوماً إلى ثلاثة أجزاء : الرأس cephalon الذي كان يحمل زوجاً من قرون الاستشعار وزوجاً من العيون المركبة والصدر thorax الذي كان يتكون من عدد من الحلقات والبطن abdomen المكون من عدد من القطع المندمجة معاً . وكما ذكرنا سابقاً تميزت كل زائدة بأنها ثنائية التفرع إذ عمل الفرع الخارجي كخيشوم وعمل الفرع الداخلي كعضو للمشي . وقد أدى نظام أجسام المفصليات ثلاثية الفصوص البسيط المتميز إلى حلقات متكررة لها زائد إلى الاقتراح القائل بأن أصولها قد تعود للديدان الحلقية وأن هذه الحيوانات (ثلاثية الفصوص) هي أبسط المفصليات .



الشكل (١٤ ـ ١) : حفرية لحيوان مفصلي ثلاثي الفصوص .

متكررة لها زوائد الى الاقتراح القائل بأن أصولها قد تعود للديدان الحلقية وان هذه الحيوانات (ثلاثية الفصوص) هي ابسط المفصليات .

القشريـــات Crustaceans

القشريات هي اقرب الاقسام الى المفصليات ثلاثية الفصوص وتشمـــل حيوانات كثيرة معظمها يعيش في الماء ، ويوجد لهذه المفصليات فكوك علويـــة وسفلية مزدوجة وعيون مركبة في العادة وزوجان من قرون الاستشعار (ان هذه الصفة الاخيرة صفة مميزة فاي حيوان مفصلي له زوجان من قرون الاستشعار هو حيوان قشري) . وتشمل القشريات حيوانات مهمة يتغذى عليهـــا الانسان كالسرطان crab, والجمبري shrimp والاربيان (جراد البحر) crayfish واللوبستر lobster . كما تشمل حيوانات اخـــرى كبراغيث الماء ومجدافيات الارجل copepods التي تعتبر بالاضافة لانواع من

الشكل (١٤ ــ ٢): السرطان البري . لاحظ الصدفة العريضة والزوج الاول مـــن الارجل الذي تخصص على شكل كماشتين .

الشكل (١٤ ــ ٣) : حيوانات البارنكل البلوطية . وقد اعطيت هذا الاسم نظـــرا لان شكلها يشبه ثمرة البلوط .

وترى هنا ملتصقة على الصدفة الخارجية لسرطان . لاحظ الغطاء الكلسي لهذه الحيوانات وكذلك اعضاءها الريشية الشكل الموجودة في مركز اجسامها . وهذه الاعضاء هي تحورات لارجل هذه الحيوانات .

الجمبري غذاء مهماً بالنسبة لكثير من انواع الحيوانات بما فيه الأسماك .

يعتبر اللوبستر مثالاً جيداً على هذا القسم من المفصليات ويتضح في هذا الحيوان كيفية تخصص الزوائد باقتسام العمل بينها وهي ميزة لم تكن موجودة في الأسلاف الأولى (القريبة من المفصليات ثلاثية الفصوص) . وفي الحقيقة أن هذا التنوع والتكيف في عمل الزوائد قد ساعد القشريات والمفصليات بشكل عام على النجاح والانتشار .

وهناك عدة أنواع من الحيوانات التابعة لهذا القسم والبعض منها لا يشبه اللوبستر بأي شي منها وصف عالم الحيوان الأميركي المشهور ليوس أجاسيز Louir Agassiz حيوان البلانس balanus بأنه "لا يزيد عن كونه حيواناً صغيراً يشبه الجمبري ويقف على رأسه في حجرة كلسية ويقوم بدفع الغذاء إلى فمه". وقد ظن العلماء أن هذه الحيوانات تتبع قبيلة الرخويات نظراً لوجود أصدافها الكلسية وبقي هذا الظن قائماً حتى عام ١٨٣٠ عندما وجد أن يرقاتها شبيهة بيرقات باقي القشريات ، وحتى الآن لا يزال كثير من المصاطفين على طول الشواطيء يظنون حيوان البلانس وباقي المجموعة التي يتبع إليها barnacles هي حيوانات رخوية .

العنكبيات: Arachnids

العنكبيات هي مفصليات اجتاحت اليابسة واصبحة حيوانات برية ناجحة (تعتبر العنكبيات حيوانات قريبة من سرطان حذوة الحصان وهذا الحيوان ليس بسرطان في الحقيقة وأنا هو أحد الحيوانات التي تتبع قسماً منفصلاً هو سيفيات الذيل Xiphosura وهذا الحيوان ما زال يعيش الآن بنفس شكله القديم الذي كان عليه منذ حوالي ٣٥٠ مليون سنة تقريباً ، وسيفيات الذيل هي حيوانات تعيش على بقايا الكائنات الحية كالديدان والرخويات والطحالب وغيرها). تشمل العنكبيات العناكب والعقارب والفاش والقراد وتنقسم أجامها إلى منطقتين رئيسيتين هما الرأسصدار cephalothorax الذي يحمل ستة أزواج من الزوائد منها أربعة أزواج هي أرجل للمشي (يوجد في الحشرات ثلاثة أزواج من الأرجل فقط) والبطن abdomen وتفتقر العنكبيات إلى قرون استشعار وإلى العيون المركبة ولكن لها عيون بسيطة . ويوجد لهذه الحيوانات قرون كلابية chelierae بدلاً من الفكوك والقرون

الكلابية هذه هي زوائد تكـــون على شكـــل كماشة أو مخالب . وان معظـــم العنكبيات هي حيوانات مفترسة وربما يعود نفور الناس أوخوفهم منها وخصوصاً من العناكب والعقارب الى وجود ارجل طويلة لها والى ميلها للاختباء في الزوايا المظلمة ، ولكن هناك مغالاة في هذا الامر لان معظم العناكب حيوانات غير مؤذية للانسان بل ان كثيراً منها مفترس للحشرات الضارة للانسان اي انها تسدي خدمة له بقضائها على تلك الحشرات .

الشكل (١٤ ــ ٤) : العقرب ذو الذيل السمين . يمثل العلاقة بين ترتيب ووظيفـــة ارجل العقرب احدى الميزات التكيفية لطريقة معيشته حيث يعتمد علـــى الافتراس . لاحظ ان الزوج الثاني من الارجل كبير الحجم ويحمل كماشتين وهو يستخدم كجهـــاز للاحساس والالتقاط . ويستخدم الزوج الاول في تمزيـــق الفريسة بينما تمثل الازواج الاربعة الاخـــيرة ارجل مشي .

ذوات المئة قدم وذوات الالف قدم

Centipedes and millipedes

ان النظام العام لاجسام هذه الحيوانات يتكون من رأس وجذع طويل مرن مكون من عدد كثير من الحلقات تحمل كل منها ارجلا . اما ذوات المئة قدم (لهـــا زوج من الارجل لكل حلقة) فهي توجد في الاماكن الرطبة كجذوع الاشجار المتعفنة والحفر الموجودة تحت الصخور . وهي حيوانات مفترسة تتغذى على الحشرات والديدان والبزاق . ويوجد لهذه الحيوانات فكوك علوية واخرى سفلية . اما ذوات الالف قدم (لها زوجان من الارجل في كل حلقة) فهي حيوانات ابطأ مـــن ذوات المئة قدم . ولما كانت هذه الحيوانات تتغذى أساسا على الاعشاب فهي لا تسبب اي أذى للانسان . ويساعد وجود عدد كبير من الارجل لهذه الحيوانات على اكسابها قوة كافية لشق طريقها من خلال الدبال والاوراق والتربة . ولهذه المفصليات فكوك علوية ولكن تندمج فكوكها السفلية مكونة شفة سفلى قويـــة تقوم بسحق المواد النباتية التي يتغذى عليها الحيوان .

الحشرات: Insects

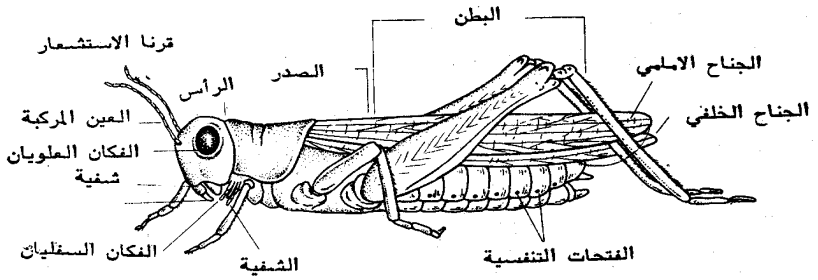
أن المفصليات هي اللافقاريات الوحيدة التي تمكنت من المعيشة بنجاح على اليابسة وقد أدى وجود الهيكل الخارجي المتميز بخفة الوزن والمرونة والذي يعمل على حماية أجسام هذه الحيوانات ضد الجفاف واكسابها دعامة كافية بالاضافة إلى وجود زوائد متمفصلة إلى أكساب المفصليات قدرة على التكيف للمعيشة في بيئات مختلفة وطرز حياة متنوعة . والحشرات هي أكثر المفصليات التي استفادت من النظام الجسماني المتميز لهذه الحيوانات وكيفيته للمعيشة في البيئات المختلفة . فهي قادرة على الزحف والحفر والجري والسباحة والانزلاف والسقوط والطيران . وتشارك مختلف الحشرات من صغيرها الذي لا يزيد طوله عن ٠,٠١ بوصة كذباب الجنية ومتوسطتها الذي يصل طوله إلى حوالي ست بوصات كالخنافس وكبيرها كالفراش الاستوائي الذي يصل عرض جناحيه عند فتحهما إلى حوالي عشرة بوصات في استهلاك مصادر الأرض المختلفة . وفي الحقيقة يضم قسم الحشرات أناعاً مختلفة من الحيوانات أكثر من كل المجموعات الحيوانية الأخرى عند جمعها معاً . فهناك ما يقرب من ميلون نوع معروف كما أن هناك عدة ملايين من الأنواع غير المعروفة حتى الآن وقد قدر أنه يوجد أكثر من بليون حشرة على هذا الكوكب .

وتقسم أجسام الحشرات إلى ثلاثة أجزاء هي الرأس والصدر البطن وهي تتميز عن غيرها من المفصليات بوجود ثلاثة أزوا من الأرجل وكذلك زوجين من الأجنحة في العادة متصلة بالصدر ، كما أن رأسها يحمل زوجاً واحداً من قرون الاستشعار وزوجاً من العيون المركبة التي تكون عادة صغيرة نسبياً .

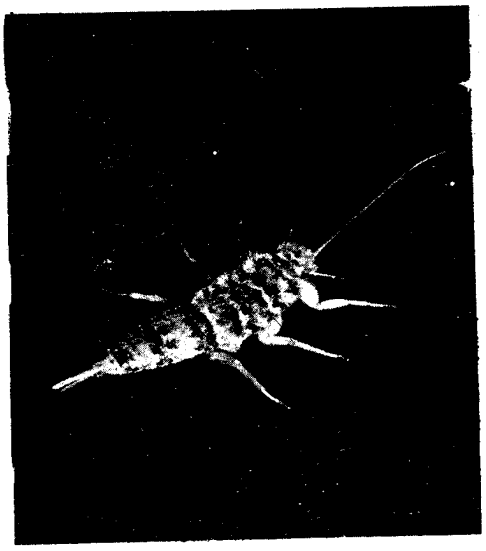
لقد كانت الحشرات أول الحيوانات القادرة على الطيران وقد استفاد من هذه الخاصية بشكل كامل فأن الجناحين يسمحان للحيوان بأن يزور منطقة أكبر باحثاً عن غذائه كما تتمكن الأطوار صغيرة السن بأن تهاجر إلى أماكن أخرى مقللة بذلك الضغط على مصادر الغذاء المحلية . تمكن القدرة على الطيران وخاصة افراز بعض المواد الكيماوية التي تجذب الذكر للأنثى أوبالعكس (الفيرومونات pheromones) بعض الحشرات من العيش باعداد قليلة ، ويسمح هذا بالتخصص بالاعتماد على مصادر الغذاء النادرة لأنه يمكن للذكور عندئذ أن تتعرف على الأناث المنتشرة بعيداً عنها وأن تتلاقح معها .

ولا يعني هذا أن جميع الحشرات لها القدرة على الطيران فأن أكثر رتب

الحشرات بساطة لا اجنحة لها Apterygota مثل حشرة السمك الفضي.
أما الحشرات ذوات الاجنحة Pterygota فتنقسم الى مجموعات لها اجنحة لا يمكن تغيرها كذباب مايو والرعاش ومجموعات اخر ىقادرة على ثني اجنحتها مثل الجراد grasshoppers ونمل الخشب termites والبق الحقيقي true bugs والمن aphids والخنافس beetles والفراش الملون butterflies وغيرها من الرتب الا خرى ويمكن تقدير مدى فائدة قدرة الحشرة على ثني جناحيها عند مقارنتنا لحشرة رعاش تحاول الزحف لدخول جحر صغير بخنفساء تحاول ذلك .

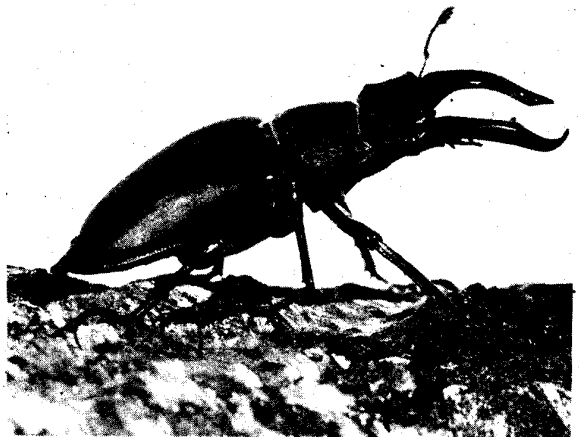


الشكل (١٤ ــ ٥) : النظام العام لجسم الحشرة



الشكل (١٤ ــ ٦) : السمكة الفضية ــ وقد اخذت هذه الحشرة اسمها من الحراشف المغطية لجسم الحشرة والتي تشبه في شكلها الفضة وكذلك لانها سريعة الحركة كالسمكة . والسمكة الفضية حشرة معروفة في البيوت حيث تسبب تلف الكتب والاشياء المصنعة .

وينمو كثير من رتب الحشرات الى الطور اليافع عن طريق التطور غير الكامل incomplete metamorphosis اذ تكون هناك ثلاث مراحل



الشكل (١٤ ــ ٧) : اشكال مختلفة للخنافس .

أ ــ الخنفس النمر وهو يتكيف للافتراس بقدرته على الحركة السريعة واستعمال اجنحته عند الحاجة .

ب ــ الخنفس الزيتي وهو يتميز بأن جسمه مغطى بما يشبه الدرع الحافظ للاجهزة الداخلية ، وتحتوي سوائل جسم هذا الخنفس على مادة تدعى كانناسيدين canthacidin كانت تستخدم كجزء اساسي في صنع دهونات الحب .

ج ــ الخنفس الايل ، ويتميز بوجود فكوك علوية mandibles قد تصل في طولها احيانا الى طول باقي الجسم وهي متكيفة بشكل جيد لالتهام وقرض الغذاء .

(البيضة ولاحورية– nymph والطور اليافع–adult) . وتأخذ الحوريات مميزات الطور البالغ تدريجياً ولكن بعض الحشرات ذات الأجنحة التي يمكن ثنيها للخارج تنمو عن طريق التطول الكامل complete metamorphosis المتميز بوجود أربع مراحل (البيضة واليرقة–larvae والعذراء–pupa والطور البالغ) ، إذ تكون الحشرات البالغة مختلفة تماماً عن الأطوار غير البالغة . وتتميز اليرقات بقابليتها للتغذية بشراهة والنمو السريع بينما تتخصص الحشرات البالغة بتكوين أفراد جديدة وفي الانتشار والتوزع . وبالاضافة إلى ذلك فان اليرقة والحشرة الالغة تتغذيان على مصادر غذاء مختلفة فمثلاً تتغذى يرقات الفراش caterpillar على الأوراق الخضراء بينما تتغذى الفراشات البالغة على رحيق الازهار . وبهذا فأن هذه الأنواع تستغل البيئة التي تعيش فيها بشكل أكثر كمالاً.

وكما هو متوع فأن هذا التخصص الزائد قد مكن مجموعات عديدة من الحشرات من النجاح . تشمل حشرات الذباب الحقيقية (قسم ثنائية الأجنحة– Diptera ٨٧٠٠٠ نوع كما يوجد ١١٥٠٠ نوع من النحل والنمل والزنانير (رتبة غشائية الأجنحة– Hymenoptera) وهناك ١٤٠٠٠٠ نوع من الفراش الملون butterflies ا لعث moths التابعة لرتبة حرشفية الأجنحة Lepidoptera) . كما أن هناك ٢٨٠٠٠٠ نوع من الخنافس (رتبة غمدية ا لأجنحة– Coleoptera) قارن هذه الاعداد بأعداد الفقارايت حيث أن العدد الأجمالي لجميع أنواع الفقاريات التابعة لجميع الأقسام هو حوالي ٥٠٠٠٠ نوع فقط .

قبيلة الحبليات: Phylum Chordata

تقع قبيلة الحبليات على قمة الفرع الرئيسي الثاني لشجرة التطور وتتميز الحيوانات التابعة لهذه القبيلة بثلاثة مميزات تظهر في وقت معين أثناء حياتها وهي: وجود حبل ظهري notochord وحبل عصبي مفرغ يقع أعلى الحبل الظهري وفتحات خيشومية مزدوجة paired gill slits أما الحبل الظهري فهو حبل شبه غضروفي مرن وقوي بحيث تستطيع المتلقبه أن ترتكز عليه ونتيجة لذلك يمكن للحيوان أن يقوم بحركات تموج قوية لا تقدر عليها الكائنات المترهلة كالديدان . عند انقباض العضلات الطولية يمنع وجود الحبل الظهري الجسم من التقلص ولهذا فأنه يتموج بدلاً من تقصير الطول وفي

بعض الأحيان يمتد هذا الحبل أو بديله وهو العمود الفقري للفقاريات خلف الجسم على شكل ذيل والجدير بالذكر أنه لا يوجد سوى أنواع قليلة من الحيوانات غير الحبليات التي يوجد لها ذيل .

يوجد الحبل العصبي على الناحية الظهرية فوق الحبل الظهري بدلاً من وجوده في الناحية البطنية كما هو الحال في اللافقاريات .

أما الفتحات الخيشومية فهي بقايا الطراز الحياتي للحبليات البدائية التي من المحتمل أنها قد كانت تتغذى على ما ترشحه من الكائنات الموجودة في الماء فهذه الفتحات تسمح للماء بالخروج من الجهاز الهضمي وبقاء دقائق الطعام هناك بالإضافة إلى وظيفتها في عملية التنفس . وفي الأسماك احتفظت الفتحات الخيشومية بوظيفتها التنفسية ولكنها لا تستعمل للتغذية . أما الفقاريات التي تتنفس بواسطة الرئتين ومنها الإنسان فإن الفتحات الخيشومية تظهر في الأطوار الجنينية الأولى فقط ثم يقف تطورها ولا تؤدي أية وظيفة بعد ذلك .

الحبليات اللافقارية Inverebrate chordates

غالباً ما استخدم اصطلاح الحبليات وكأنه مرادف لاصطلاح الفقاريات ولكن يجب أن لا يغيب عن الذهن أن هناك بعض الحبليات التي لا تكون تركيباً عظيماً أبداً ، فهناك بعض منها تظهر فيه المميزات الحبلية أثناء الطور اليرقي بشكل رئيسي ثم يفتقد هذه المميزات عندما يصبح بالغاً . وهناك اهتمام كبير بهذه الحبليات لأنها تمثل المرحلة التطورية الأولى التي أدت إلى تطور الفقاريات .

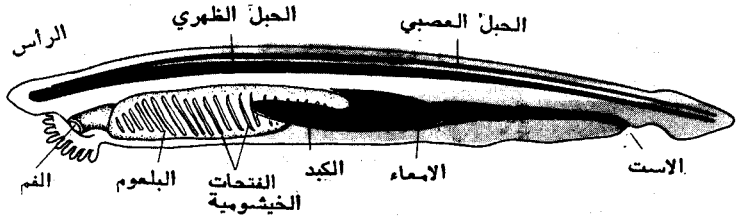
تحت قبيلة الحبليات الذيلية Subphylum Urochordata

أن أكثر الحيوانات الحبلية اللافقارية نجاحاً هي مجموعة الزقيات tunicates or sea squirts وهذه هي حيوانات برميلية الشكل تنتشر بكثرة في بيئات معينة ويوجد منها ما يزيد عن ٢٠٠٠ نوع . وتعيش أما منفردة أو على شكل مستعمرات ويخطئ البعض فيظن الحيوانات البالغاة منها وكأنها نوع من الاسفنج أو الجوفمعويات . إلا أن الطور اليرقي الذي يعيش سابحاً بحرية يتميز بوجود جميع الخصائص المميزة للحبليات . وبعد أن تلتصق اليرقة بإحدى الصخور يتقلص ذيلها وحبلها العصبي ويتحول نظام جسمها ليناسب حياة

السكون المميز للطور البالغ ويكون جداراً سميكاً قوياً مميزاً . ويوجد في ذلك الغلاف فتحتان أنبوبيتان شبيهتان بفتحتا المحار وبهذا يمكن للماء أن يمر على الفتحات الخيشيومية ثم يخرج من داخل الجسم . وعند اثارة الحيوان يتقلص جدار جسمه فجأة ويخرج الماء بقوة من الفتحات الأنبوبية ومن هنا جاء الاسم المميز لهذه الحيوانات sea squirt.

تحت قبيلة الراسحبليات Subphylum Cephalochordata

يوجد من هذه الحيوانات البحرية التي يبلغ طول أجسامها بوصتين ما يقارب ٢٠ نوعاً . وهي تعيش في البيئات الرملية للمياه الضحلة وهي قادرة على السباحة بنفس الطريقة التي تسبح بها الأسماك ولكنها توجد عادة مغمورة جزئياً في الرمال حيث تقوم أثناء ذلك بالتغذية عن طريق ترشيح الماء مما يلعق به من دقائق ويتميز حيوان السهيم Amphioxus وهو أكثر الأنواعالمدروسة بأن الحبل الظهري والحبل العصبي يبقيان دائمين طيلة الحياة دماغ كما أنه يظهر كسمكة منبسطة لا رأس لها . يدخل الطعام والماء في الفم ويمر على ما يزيد على مئة زوج من الفتحات الخيشومية ويخرج الماء من الفتحات الخيشومية للخارج عن طريق فتحة خاصة تدعى فتحة البهو . بينما تمر دقائق الطعام إلى القناة الهضمية ويساعدها على ذلك وجود أهداب خاصة على سطوح الفتحات الخيشومية ويتميز حيوان الهسيم وغيره من الفقاريات بظاهرة التقسيم إلى قطع وهي ميزة غير موجودة في الزقيات وتأخذ هذه الميزة في الهسيم شكل قطع عضلية على شكل ٧ هذا بالاضافة إلى وجود أزواج من لنفريديا قرب لاطرف الهري لكل فتحة خيشيومية . ومع أن حيوان الهسيم متخصص من عدة نواح إلا أنه يعطينا



الشكل (١٤ ــ ٨) : حيوان السهيم ــ الامفيوكسس ــ ويري هذا الشكل الحبل الظهري المتطور وهو صفة مميزة للحيوانات الحبلية .

الفقاريات Vertebrates

تضم قبيلة الفقاريات الإنسان وغيره من الثدييات والطيور والزواحف والبرمائيات وثلاثة أقسام من الأسماك . وأن أهم مميزة اضافية للفقاريات عن باقي الحبليات هي وجود هيكل داخلي من الغضروف أو العظم لإعطاء دعامة لهذه الحيوانات بدلاً من الحبل الظهري أن معظم الحيوانات الفقارية لها عمود فقري مكون من سلسلة من الفقرات وفي مثل هذه الحيوانات لا يظهر الحبل الظهري إلا خلال المراحل الجنينية الأولي .

والفقاريات هي حيوانات ثنائية جانبية التماثل . وتتميز هذه الحيوانات كمجموعة بأنها نشطة لها أجسام شبيهة بالسيجار كما يبرز من هذه الأجسام زوجان من الأطراف . ولها عيون مزدوجة متطورة وزوح من الآذان تطورت أول ما تطورت لأداء وظيفة حفظ التوازن ثم تحولت للقيام بوظيفة السمع . أما جهاز ا لدوران فهو مغلق في هذه الحيوانانت بحيث يبقى الدم داخل الأوعية الدموية في جميع الأوقات ويضخ هذا الدم عن طريق قلب موجود في الجهة البطنية من الجسم .

ومن المحتمل أننا لن نستطيع معرفة أصل الحبليات والفقاريات في أي وقت من الأوقات بشكل مؤكد . قد نستطيع أن نكون انساب تطور معقولة تتناسب مع معظم الأدلة المعروفة ولكن فرص اكتشاف السجلات الحفرية لاسلاف ذات أجسام رخوة تبدو كبيرة . ولهذا فإن الأنساب التي تكونها تعتمد على معلومات مفصلة مستقاة من العلاقات الجيينية والتشريحية والفسيولوجية للحيوانات بالاضافة إلى الحفريات المعروفة .

الأسماك Fish

ان الأسماك عديمة الفكوك (قسم عديمة الفكوك Class agnatha هي أولى الأسماك الموجودة في السجل الحفري . وتوجد الأشكال المنقرضة المعروفة بأدمية الدروع ostrachoderms في حفريات العصر الاردوفيشي Ordovician period الذي يعود إلى حاولي ٥٠٠ مليون سنة تقريباً . وقد كانت أفواه هذه الأسماك على شكل فتحة دائرية أو طولية لا فكوك لها كما يدل الاسم على ذلك . وقد كانت تعيش في الأعماق تمتص الطين لترشح منه الطعام الذي تتغذى عليه . وقد استخدمت خياشميها للتغذية والتنفس في أن واحد

ولم يكن لهذه الأسماك زعانف مزدوجة وكان تتدرع بصفائح عظيمة صلبة مما يدل على أنه من المحتمل أنها كانت يتعرض كثيراً للافتراس فتحورت أجسامها بهذا الشكل لتفادي أخطار الحيوانات المفترسة .

أما الآن فيمثل هذه الأسماك التي كانت ناجحة لحوالي ١٠٠ مليون سنة أنواع قليلة تعرف بالأسماك دائرية الفم cvclostomes التي تضم حيوانات اللامبري lamprevs والجريث hagtish.

ولهذه الحيوانات أجسام طويلة فهي تشبه ثعابين الماء ولها هياكل غضروفية وجلد ناعم خال من القشور . وليس لها فكوك أو زعانف مزدوجة . وهي تلتصق بالحيوانات الأخرى بواسطة أفواهها ا لتي تكونت على شكل قرص دائري ماص يعمل على تمزيق جلد الفريسة بواسطة أسنان قرنية وبهذا تعيش هذه الحيوانات متغذية على دم وأنسجة الفريسة . وفي الحقيقة تمثل هذه الحيوانات الفقاريات المتطفلة الوحيدة . وقد كان لحيوانات اللامبري أثر كبير على حياة الأسماك الموجودة في البحيرات الكبرى عندما دخلت إلى تلك البحيرات عن طريق قنال ويلاند Welland canal قرب شلالات نياجارا وبهذا أثرت على عمليات صيد هذه الأسماك وتجارة تصنيعها .

أما قسم الأسماك أدمية القشمة placodermi فيمكن اعتبارها النماذج التجريبية experimental models للأسماك ذات الفكوك التي عاشت لما يزيد على ٢٠٠ مليون سنة والتي كانت شائعة أثناء العصر الديفوني Devonian period واستطاعت هذه الأسماك أن تترك حياة الأعماق وأن تصبح حيوانات مفترسة نشطة نتيجة لتكوين أطراف مزدوجة وفكوك لها . لقد عملت الأطراف المزدوجة على زيادة ثبات وتوازن هذه الأسماك كما سمحت الفكوك والأسنان لهذه الحيوانات أن تنتشر في بيئات كثيرة تستطيع أن تحصل فيها مفصليات عملاقة وعدد من الرخويات . لقد اتخذت هذه الأسماك من الحيوانات الكاملة أو أجزاء كبيرة تقتطعها منها كمصدر غذاء لها . ولقد تطورت الفكوك المتمفصلة في المفصليات قبل الفقاريات ، ومن المعروف أن كلا المجموعتين قد نجحتا إلى حد كبير ولا بد أن وجود الفكوك لها كان عاملاً مهماً على نجاحها . وقد رادف نجاح الأسماك ادمية القشور انحسار الأسماك عديمة الفكوك وربما أن نجاح الأولى قد سبب انحسار المجموعة الثانية . ولكن انقرضت الأسماك ادمية القشور بمرور الوقت (أثناء العصر البيرمي

Permian period) ولكن قبل انقراض هذه الأسماك ظهرت أسماك القرش والأسماك العظيمة التي ما زالت تعيش إلى يومنا هذا .

أن أسماك القرش sharks والشفتين rays والورنك skates (قسم الأسماك الغضروفية class Chondrichthves هي حيوانات بحرية في الغالب . وهي بهذا تختلف عن الأسماك ادمية الدروع وادمية القشور التي كانت تعيش في المياه العذبة في الغالب . تتميز الأسماك الغضروفية بعدم وجود العظام في أجسامها على الرغم من أن أسلافها كان لها عظام . وبالإضافة إلى ذلك لا يوجد على جلودها قشور . إلا أنه قد يكون عليها بروزات تجعل ملمسها شبيهاً بملمس الورق الزجاجي . ويوجد لجميع الأسماك الغضروفية (المعروفة أيضاً باسم صفائحية الخياشيم elasmobranchs زعانف مزدوجة وفكوك متمفصلة . لقد اشتهرت اسماك القرش كحيوانت مفترسة باستخدامها الفكوك لقطع قطع كبيرة من فريستها . ولكن أكبر أنواع اسماك القرش التي يصل طولها إلى ٤٠ قدماً تتغذى على ما ترشحه من العوالق الموجودة في الماء وبهذا فهي أسماك غير مؤذية . وأما أسماك الشفتين والورنك فهي حيوانات بطيئة الحركة تتغذي على الرخويات الطينية أو الساكنة وعلى القشريات .

وللأسماك الغضروفية ٥-٧ أزواج من الفتحات الخيشومية (٥ أزواج في العادة) . ويمر الماء من خلاف هذه الفتحات بعد مروره على الخياشيم وتختلف هذه الأسماك عن الأسماك العظيمة بعدم وجود غطاء على هذه الفتحات الخيشومية . كما تختلف عن باقي الأسماك في أن اخصاب البيض يحصل داخلياً . وتوضع البيوض في أغلفة خاصة أو قد تولد الصغاء أحياء . وتوجد أكياس البيض على شواطئ البحر أحياناً حيث تعرف باسم "حقائب حوريات الماء" .

أن الأسماك العظيمة Osterichthves هي تلك الحيوانات التي يعينها معظمنا عند استخدامه لكلمة "أسماك" ويعرف منها ما يزيد على ٢٠,٠٠٠ نوع وقد يكتشف مثل هذا العدد من الأنواع عند دراسة الحياة في أعماق البحار . وهناك حفريات لأسماك عظيمة تعود إلى العصر الديفوني Devonian Period (منذ حوالي ٤٠٠ مليون سنة) ولا زالت هذه الأسماك من أكثر الفقاريت نجاحاً حتى هذا اليوم .

ولم تتطور الأسماك العظيمة من مجموع الأسماك الغضروفية وإنما من الأسماك ادمية القشور . ويغطي خياشيمها (وعددها ٤ أزواج في العادة) غطاء حافظ يعرف بغطاء الخياشيم operculum وتؤدي الفتحات الخيشومية بكاملها في فتحة واحدة . ويكون نسيج ضام خاص في الجلد قشوراً عظيمة متراكبة تغطيها طبقة رقيقة . ولمعظم الأسماك العظيمة

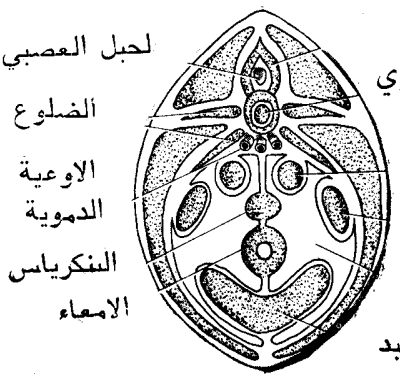
مثانات هوائية تطورت من رئة بدائية كانت تستعمل في وقت من الأوقات كعضو اضـــافي يساعد على التنفس .

ولقد اصبحت الأسماك ذات الزعانف الشعاعية ray-finned class أكثــر الأســماك العظيمة نجاحاً . ويوجد من هذه الأسماك آلاف الأنواع المختلفــة التــي تنمــو بزعانفهــا المزدوجة التي تدعمها عظيمات ابرية الشكل . وتستخدم المثانة الهوائية في هذه الأســماك كمثانة للسباحة لا كرئة . وتستطيع السمكة أن تنظم كثافتها عن طريق ضبط ضغط الغــاز في هذه المثانة الأمر الذي يمكنها من البقاء على أعماق معينة دون الحاجة إلى مجابة قــوى الطفو أو النزول إلى الأعماق دائماً .

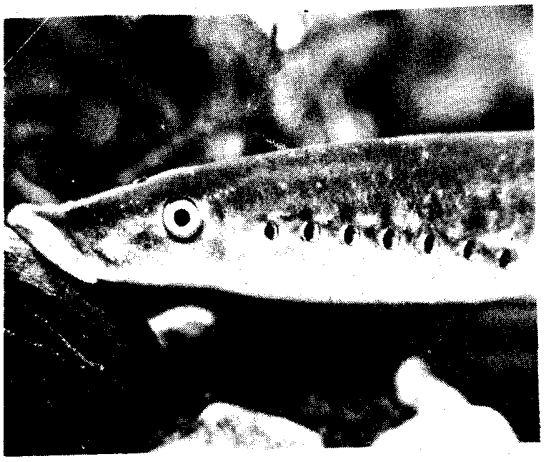
وتتناسب طبيعة الأسماك العظيمة مع بيئتها المائية ، فأجســامها انســيابية الشــكل وتغطيها طبقة مخاطية تسهل الانزلاق في الماء . وقد وجد أن سرعة بعض هذه الأسماك قد تصل إلى ٥٠ ميلاً في الساعة نتيجة لهذا التناسب .

أما الأسماك العظيمة ذات الزعانف اللحمية fleshy-finned subclass فهي مجموعة منقرضة في الغالب من الأسماك التي ما زالت عائية فيهــا الأســماك الرئيــة والســيلكانث Coelacanth وهناك اهتماك كبير بهذه الأسماك لنه يعتد أن البرمائيات قد تطورت منهــا . ولم يكن معروفاً من أسماك السكانث سوى عينات حفرية وكان يعتقد أنها قد انقرضت منــذ حوالي حوالي ٧٥ مليون سنة حتى عثر صيادو الأسماك في عام ١٩٣٨ على عينة أخرجوها من أعماق المحيط المحاذي لشرق أفريقيا . ومنذُ ذلك الحين درس ما يزيد على ١٢ سمكة من هذه الأسماك . ولأسماك السيليكانث زعانف مزدوجة علــى شــكل فصــوص lobes وبالإضافة إلى الرئات . ويوجد في الفصوص عظام لأعطاء دعامة للزعانف وتترتب هــذه العظام داخل الزعنفة بنظام شبيه بذلك الذي يميز الحيوانات الفقارية العليا (الجدير بالذكر أنه يمكن التحري عن جميع الصفائح العظمية والعظام الموجودة في الأسماك العظيمة الأولية في نماذج عظام الفقاريات العليا . كما يمكن أن تقارن معظم العظام المكونــة لجمجمــة رأس الأنسان بعظام مقابلة لها في جماجم الأسماك العظيمة القديمة . ومع أنه قــد تفقــد بعــض الأشكال العليا لبعض العظام إلا أنه يندر أن تضاف عظام حديثة على النموذج الموجود فــي الحيوانات الواقعة أسفلها في السلم).

لقد سمح وجود الزعانف اللحمية للأسماك أن تجرب أجسامها خارج الماء إلــى الشــاطئ وربما من بركة إلى أخرى أو من جدول إلى آخر. وقد مكن وجود المثانة الهوائية هذه الأسماك

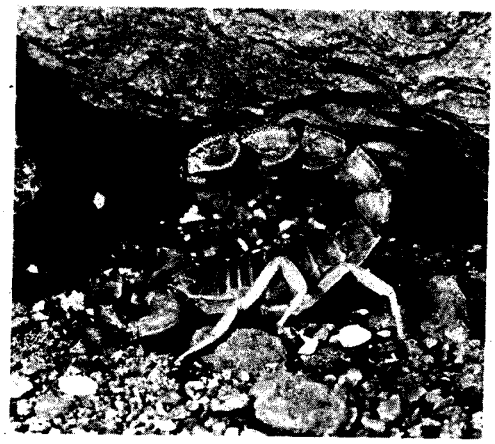


الشكل (١٤ ــ ٩) : النظام العـــام لجسم حيوان فقاري .



الشكل (١٤ ــ ١٠) : اللامبري . لاحظ الجهاز الماص المستدير المشـل للفم حيث يلتصـــق اللامبري بسطح الحجر. وكذلك الفتحـــات الخيشومية السبـع المنفصلة الموجودة على كل من جانبي الجســم وتمثل هذه مميزة بدائية نسبيا .

الشكل (١٤ ــ ١١) : سمكة القرش .



الشكل (١٤ ــ ٤) : العقرب ذو الذيل السمين . يمثل العلاقة بين ترتيب ووظيفة أرجل العقرب احدى المميزات التكيفية لطريقة معيشته حيث يعتمد على الافتراس . لاحظ ان الزوج الثاني من الارجل كبير الحجم ويحمل كماشتين وهو يستخدم كجهاز للاحساس والالتقاط . ويستخدم الزوج الاول في تمزيق الفريسة بينما تمثل الازواج الاربعة الاخيرة أرجل مشي .

من الحصول على الأكسجين أثناء انتقالها إلى اليابسة . وليس هذا الانتقال على اليابسة بغريب . فإن القاطنين في ولاية فلوريدا كثيراً ما يشاهدون الآن سمكة القط تمشي على اليابسة متنقلة من بركة إلى أخرى . وقد تميز العصر الديفوني Devonian Period بأوقات جفاف موسمية وعندما قلت الموارد الغذائية وقل الماء فاقت الأسماك التي كانت قادرة على الهجرة على منافسيها . ويعتبر العصر الديفوني هو العصر الذي ظهرت فيه البرمائيات .

لاحظ أن الرئات والزعانف المتميزة إلى فصوص هي التراكيب التي ساعدت الحيوانات القديمة على المعيشة في بيئاتها الأصلية . وقد ساعدت هذه التراكيب نفسها على تكييف هذه الحيوانات لأن تتطور إلى حيوانات أخرى قادرة على المعيشة على اليابسة . ومع أن هذه التراكيب هي مميزة تطورية اضافية لهذه الأسماك إلا أنها لا تفسر لماذا وجدت هذه التراكيب أولاً.

البرمائيات والزواحف Amphibians and reptiles

بدأت النباتات بالمعيشة على اليابسة في العصر السيلوري (منذ حوالي ٤٤٠ مليون سنة تقريباً) وقد كانت اليابسة خالية من الأحياء الحيوانية سوى بعض المفصليات ولهذا فقد كانت هناك فرصة كبيرة لبعض الكائنات أن تتكيف مع ظروف الحياة الجديدة وقد انتهزت البرمائيات هذه الفرصة إذ كان بمقدورها أن تعيش في الماء وعلى اليابسة ومن أشكال هذه الحيوانات الباقية حتى يومنا هذا الضفادع والسلمندر . وتظهر حفريات البرمائيات البدائية أن تلك الكائنات قد كانت شبيهة بالأسماك فقد كان لها أجسام طويلة وذيول . وقد ظهرت على البرمائيات اضافت جديدة على ما كانت تتميز به أسلافها من الأسماك التي كانت تتميز

بوجود رئات لها وهيكل جسمي قوي وزعانف ذات فصول وقد وجدنا أن البرمائيات قد تميزت بوجود أطراف متطورة لتساعد الحيوان على الوصول للماء وليس على الخروج من من الماء وقد ساعدت هذه الأرجل الرمائيات على تجنب حالات الجفاف الموسمية إذ كانت تمكنها من مغادرة البرك المتعرضة للجفاف والتي يقل فيها الغذاء والذهاب إلى برك أخرى أعمق من الأولى وأغنى منها في الغذاء . وقد أصبحت البرمائيات ناجحة إلى الحد الذي جعل بعض البيولوجيين يسمون العصر الكربوني (الذي جاء منذ ٣٥٠ مليون سنة تقريباً) عصر البرمائيات وقد كان مفتاح نجاح هذه الحيوانات وجود أطراف أمامية وخلفية لها ذات خمس أصابع وهو النظام الذي ما يزال موجوداً في الفقاريات الراقية التي تعيش في يومنا هذا .

أن البرمائيات الحديثة هي على درجةى كبيرة من التخصص وخصوصاً الضفادع ومثيلاتها التي فقدت ذيولها وقصرت ظهورها وتحورت أرجلها للقفز . وبمرور الوقت قلت أهمية البرمائيات عندما ظهرت الزواحف إلى حيز الوجود فالواقع أن طريقة البرمائيات في الحركة ما زالت غير مفعالة بالرغم من كونها أفضل من طريقة البرمائيات في الحركة بواسطةالزعانف ذات الفصوص . ويعود ذلك إلى أن أرجلها تمتد على جانبي الجسم الأمر الذي يؤدي إلى استنفاذ قدر كبير من الطاقة لحمل الجسم فوق سطح الأرض . وبالاضافة إلى ذلك فإن كثيراً من البرمائيات تقذف بأجسامها على شكل حرف s عندما تتحرك أي بنفس الطريقة التي تتحرك فيها الأسماك ولكنها تختلف عن الأسماك بأنها لا تحصل على أي دفع بهذه الطريقة بعكس الأسماك . ومن ناحية ثالثة كانت البرمائيات وما زالت مرتبطة بالبيئة المائية . فرغم أنها لا تقضي كل حياتها في الماء إلا أن معظم الأنواع لا بد وأن تعود إلى الماء لتضع بيوضها في البرك والمستنقعات لأن الأطوار الجنينية الأولي تستطيع أن تتنفس في الماء دون الخوف من الجفاف .

لقد كانت الزواحف Class Reptilia متكيفة أكثر من البرمائيات لحياة اليابسة ، وقد انتشرت الزواحف القديمة المتنوعة التي كانت تضم الحيوانات الشبيهة بالأسماك وزواحف أخرى شبيهة بخنزير البحر وأخرى شبيهة بالطيور والديناصورات وزواحف أخرى عديدة تشبه تلك التي تعيش حالياً ، انتشاراً منقطع النظير فقد سادت هذه الحيوانات على وجه الأرض لمدة ٢٠٠ مليون سنة .

ربما يكون أهم عامل تقدمي في الزواحف هو تكوين البيوض ذات القشور ومع أننا نفكر في العادة أن البيوض التي يوجد لها قشور هي من خصائص الطيور فقط إلا أن الزواحف قد سبقت الطيور في هذه الميزة وبهذه فقد كانت متكيفة للمعيشة على اليابسة . ينمو الجنين في مثل هذه البيوض في بيئة مانعة خاصة وهي السائل الأمينوتي the amniotic fluid الموجود داخل غشاء امينوتي خاص . ويتصل في المنطقة البطنية من الجنين كيس محي فيه الغذاء اللازم للجنين أثناء مراحل نموه الأولى ، كما أن هناك كيساً آخر لتخزين المواد الإخراجية . وتوضع البيضة التي تحميها القشرة السميكة على اليابسة . (مع أن هذه القشرة سميكة وقوية إلا أنها تسمح بمرور الهواء) وقد يبدو امر وضع البيضة على اليابسة شيئاً غريباً لأنه من المعروف أن الزواحف البدائية قد كانت حيوانات تعيش في الماء . إلا أن لوضعها على اليابسة فائدتين الأولى أن احتمال أكل البيوض الموضوعة على اليابسة هو أقل من احتمال أكلها في الماء لأنه لم تكن هناك حيوانات كثيرة تعيش على اليابسة لتأكلها ، هذا بالاضافة إلى أن الأدلة الحفرية تشير على أن العصر الكربوني قد تميز بفترات جفاف موسمية الأمر الذي أدى إلى أن البيوض التي كانت تحتوي على الماء داخلها والتي كانت توضع على اليابسة كانت عرضتها للجفاف أقل منها لو وضعت في الماء . لهذا فإنه يبدو أن تكوين البيوض البرية قد أعطى الزواحف فرصة أكبر لإتمام دورات حياتها وسمح لها أن تعيش حياة برية . ومن الملاحظ الآن أنه لا بد للزوحف التي تعود للمعيشة في الماء بشكل ثانوي كالسلاحف والثعالب المائية أن تضيع بيوضها على اليابسة ولهذا نستطيع القول أن الزواحف قد ارتبطت بمياه اليابسة إذا قارناها بالبرمائيات .

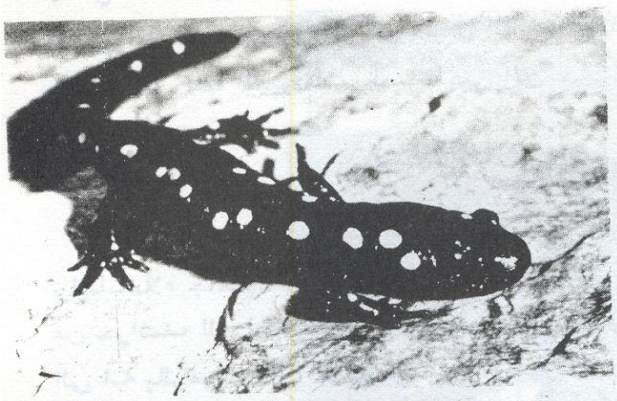
ولما كان تكوين قشور بيوض الزواحف يسبق وضع هذه البيوض فلا بد لها أن تخصب داخلياً لا خارجياً كما هو الحال في الأسماك العظيمة والبرمائيات . وبهذا فقد كونت الزواحف عضواً خارجاً للجماع وهو القضيب ليسمح بالاخصاب على اليابسة بعيداً عن الماء . يغطي أجساد الزواحف حراشيف قرنية صلبة وجافة تعمل على حفظ هذه الأجسام ضد الجفاف والعوامل الخارجية . وتتميز أجهزتها التنفسية والدورية بأنهامتقدمة عما هي في البرمائيات فرئات هذه الحيوانات على درجة عالية من التقدم وتتميز أجهزتها الدورية

بانفصال الدم المؤكسد عن غير المؤكسد إلى حد كبير ، وتعتبر مجموعة التماسيح أكثر الزواحف تقدماً من ناحية الجهاز الدوري ، ويدخل الهواء إلى الرئتين ويخرج منهغا عن طريق القفص الصدري مستخدماً طريقة أكثر فعالية منها في البرمائيات التي تعتمد على أخذ الهاء من الفم ثم بلعه . أما نمط تركيب الأطراف في الزواحف فهو لا يختلف كثيراً عنه في البرمائيات إذ لم تصل الزواحف إلى وضع الأرجل تحت الجسم مباشرة .

ولما كانت الزواحف حيوانات ذات دم بارد فإنها لا تستطيع أن تزدهر في الأجواء تحت القطبية ولكنها تنتشر في المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية ، في تلك المناطق تستعمل الزواحف البيئة التي تعيش فيها لتحفظ درجة حرارة أجسامها ضمن درجة أو درجتين من أعلى المستويات اللازمة لنشاطها وتتعرض أجسامها ضمن درجة أو درجتين من أعلى المستويات اللازمة لنشاطها وتتعرض أجسامها لإشعاعات الشمس العمودية تستطيع الزواحف أن تمتص أكثر ما يمكن من الطاقة الحرارية ، كما أنه عند وضع الزواحف لأجسامها بمستويات موازية لإشعاعات الشمس فإنها تستطيع أن تقلل من كمية الطاقة الحرارة الممتصة . وقد تهرب هذه الحيوانات من الحرارة الزائدة بوقوفها في أماكن ظليلة أو دخولها الجحور والحفر . وتستعمل الزواحف أنماط السلوك هذه اللازمة لتنظيم درجة حرارة أجسامعها بدقة متناهية بحيث يندر أن تصبح أجسامعها والدم الموجود فيها باردة حقاً . ولما كانت الزواحف التي تعيش في الأجواء المعتدلة غير قادرة على امتصاص كمية كافية من الحرارة في فصل الشتاء فإنها تبيت بياتاً شتوياً .

تطور من الزواحف ١٦ قسماً أثناء العهد المتوسط وهو عصر الزواحف ولم يبق منهذه الأقسام سوى أربعة تعيش الآن وهذه هي:١-الثعابين والسحالي ٢-السلاحف ٣-التماسيح ٤-التوتارا (وهو نوع واحد). ولما كانت الزواحف مهيأة للمعيشة أكثر من منافسيها فقد تطورت لتعيش في كثير من البيئات البرية والمائية وفي الهواء . وقد أدت رتبتان من رتب الزواحف وهما النيوكودنتات thecodonts والثيرابسيدات therapsids إلى تكوين الطيور والثدييات ، على التوالي ولكن معظم الزواحف ومن ضمنها جميعها الديناصورات قد ماتت في نهاية العصر الكريتشي Cretaceous period والحقيقة أننا لا نعرف سبباً لذلك

ولكن من المعروف أنه قد حصلت تغيرات كبيرة في الأغذية النباتية في ذلك الوقت وقد تغير وجه الأرض فارتفعت بعض مكونات القشرة الأرضية واندثر كثير من المستنقعات التي كانت تعيش فيها الديناصورات كما أن هناك دليلاً على أنه قد حصلت بعض البرودة في جو



الشكل (١٤ ــ ١٣) :
السلمندر المنقط المتميز بنموذج معين من البقع المميزة لكثير من الانواع.

الشكل (١٤ ــ ١٤) : زواحف الاجوانا . وتوجد زواحف الاجوانا البحرية التي ما زالت عائشة في جزائر الجلاباجوس Galapagos فقط وتتميز هذه الاجوانا برؤوسها المغطاة بما يشبه القبعة وبحجومها الكبيرة وهي صفات ممثلة للزواحف الاستوائية . لاحظ كذلك أن لهذه الزواحف اطرافا متطورة مفيدة في بحثها عن الغذاء وهو أمر يستغرق وقتا طويلا .

الأرض وربما كانت هذه عوامل مساهمة في انقراض بعض الزواحف كالديناصورات ولكننا لا نعرف ما الذي قتل هذه الحيوانات بالضبط حتى الآن .

الطيور Birds

يعتبر كل حيوان له ريش طيراً تابعاً لقسمالطيور class Aves وكما رأينا أعلاه جاءت الطيور من الزواحف . وعلى الرغم من أن الريش يختلف تركيبياً عن حراشف الزواحف إلا أن كليهما لهما نفس التركيب الكيميائي هذا بالاضفة إلى أنه بالرغم من أن الهيكل العظمي للطيور هو أخف منه في الزواحف وظهر فيه بعض التحورات إلا أنه يمكن الربط بينه وبين هيكل الزواحف البدائية بسهولة وفي الحقيقة أن أقدم حفرية معروفة للطوير وهي طائر الاركيوبتركس Archaeopteryx الذي يعود إلى العصر الجوراسي كان يمكن أن يعد كديناصور صغير لو لم تحفظ طبعات ريشه . ويشبه الطيور إلى حد كبير الزواحف التي كانت تعرف بالزواحف المجيدة والسحالي الساخنة .

وتتميز أجسام الطيور بارتفاع معدل التمثيل الغذائي مما يساعد على جعل درجة حرارة أجسامها ثابتة . وفي كثير من الأنواع تكون حرارة أجسامها أعلى منها في الإنسان بعدة درجات . وللحفاظ على درجة الحرارة الثابتة لا بد من مرور كمية كبيرة من الأكسجين في أجسام الطيور ويتطلب هذا أخذ الهواء بسرعة ودوران الدم بشكل فعال ووجود جهاز أعضاء عزل حرارية جيدة . وللطيور أكياس هوائية بالإضافة إلى الرئتين وتنتشر هذه الأكياس في أنحاء وتتميز أجسام الطيور بارتفاع معدل الغذائي مما يساعد على جعل درجة حرارة أجسامها ثابتة . وفي كثير من الأنواع تكون درجة حرارة أجسامها أعلى منها في الأنسان بعدة درجات . وللحفاظ على درجة الحرارة الثابتة لا بتد من مرور كمية كبيرة من الأكسجين في أجسام الطيور ويتطلب هذا أخذ الهواء بسرعة ودوران الدم بشكل فعال ووجود جهاز أعضاء عزل حرارية جيدة .

وللطيور أكياس هوائية بالاضافة إلى الرئتين وتنتشر هذه الأكياس في أنحاء الجسم المختلفة وفي داخل العظام الكبيرة الأمر الذي يجعل الحيز الموجودة لتخزين الهواء يزيد عن حيز الرئتين فقط بعشرة أضعاف . ويحفظ الدم المؤكسد مفصولاً كلياً عن الدم غير المؤكسد ويعمل الريش على تجميع الهواء داخله مساعداً بذلك علىحفظ درجة حرارة الجسم- يفسر هذا الأمر سبب غلاء الريش السفلي لطيور البط حيث يستخدم للعزل الحراري في أكياس النوم والمعاطف ، وتسمح هذه التكيفات لبعض الطيور كاللقلق والنورس وطير البطريق penguins والدجاج القطبي أن تعيش في المناطق القطبية الباردة على مدار السنة .

يفكر معظم الناس أن الطيران هو أهم مميزة للطيور ولكن يجب إلا يغيب عن البال أن الحشرات قد كانت ولا زالت تطير منذ مئات الملايين من السنين .

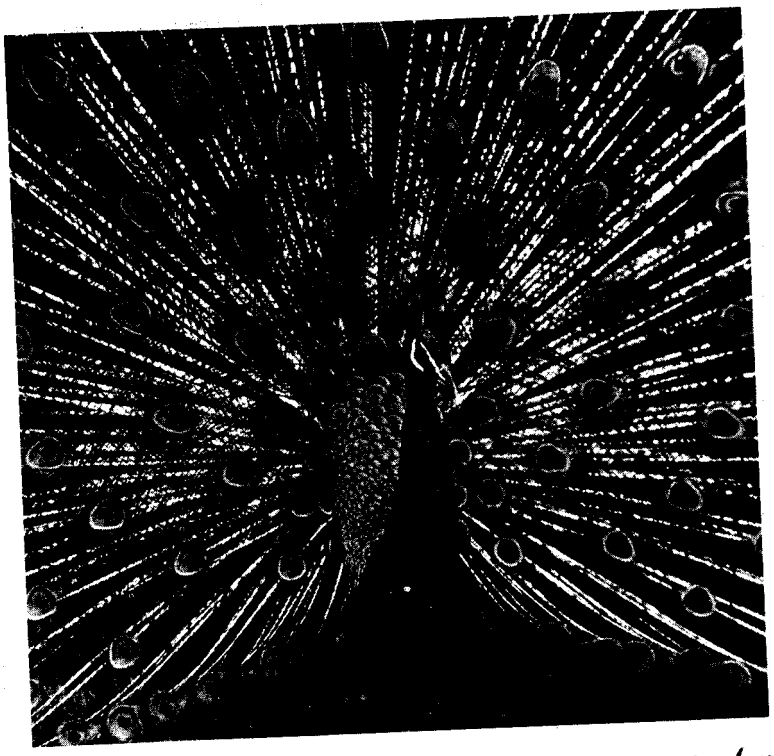
الشكل (١٤ ــ ١٥) : ذكر طائر السنونو (الخطاف) الشجري وهو يقوم بتغذية صغيره. يتميز هذا الطائر بان ذيله مقسوم الى قسمين الامر الذي يسمح بسهولة الطيران والمراوغة .

كما أن الخفاش يطير وقد كان هناك عدد كبير من الزواحف التي كانت تطير مستخدمة أجنحة خاصة مكونة من أغشية ممتدة على عظام الرسغ والأصابع . وقد انقرضت الزواحف الطائرة pterosaurs عندما تغلبت الحيونات التي يكسوها الريش عليها . والحقيقة أن اتصال أ هم مجموعات الريش على "ذراع" وأيدي الطيور هو الذي ساعد على زيادة مساحة الطيران دون الزيادة في وزن الطائر . ويقلل الريش من فقدان الطاقة الحرارية إلى البيئة وهو أمر مهم بالنسبة للطيور .

أن الطيور هي فقارات ناجحة إلى حد كبير . ومع أن هناك حوالي ٨٦٠٠ نوع معروف من الطيور إلا أنه يعتقد أن هناك ما يزيد على ١٠ بلايينطير بري يعيش على القارات المختلفة وهناك بلايين الطيور البحرية غير المعروفة تعيش على المحيطات وقد انتشرت الطيور للمعيشة في بيئات مختلفة وطرز حياتية متنوعة كما يلاحظ من خلال التعرف على الاشكال المختلفة لمناقير الطيور وأقدامها ، وكذلك من خلال التعرف على التنوع الواضح في الأطعمة التي تتغذى عليها الأنواع المعروفة من الطيور . فأن بعضها كطيور اللقلق يتغذى على أي شي تقريباً ولكن بعضها كالعندليب متخصص في أنواع معينة من الطعام .

أن عيون كثير من الطيور أكبر من أدمغتها . وقد لا يدهش الأنسان لهذا الأمر إذا أخذ بعين الاعتبار حاجة الطير إلى كثير من المعلومات حول العقبات التي تصادفه والغذاء وأماكن الوقوف والكائنات المفترسة التي لا بد له من التعرف عليها أثناء طيرانه ، وبالاضافة إلى قوة العيون تتميز الطيور بمراكز تنظيم حركي على درجة كبيرة من التقدم .

يقدر الناس الطيور نتيجة لنشاطها المعروف في النهار ولسهولة رؤيتها بألوانها الزاهية وأصواتها الجملة . وهناك الملايين من البشر ممن يراقبون الطيور للاستمتاع ، كما أن هناك عدداً كبيراً من البيولوجيين الذين اهتموا بدراستها . وقد برزت أسئلة كثيرة حول سلوك هذه الحيوانات ، ونحن نعرف أن الطيور المهاجرة تعود إلى أماكن تربيتها سواء كانت المسافة التي تهاجرها ١٠٠٠ ميل أو عشرة آلاف ميل ، وما زال العلماء دائبين على دراسة نظم هجرتها محاولين فيهم الطرق التي تتعرف بها على الجهات الأماكن . وأننا نعرف أن بعض الطيور تغني في الربيع لتعرف الطيور الأخرى على حدود ملكيتها ولكننا لا نعرف لم يتميز هذا الغناء بالعذوبة وكذلك لا نفهم كثيراً من النوتات وأنواع النداء الأخرى التي تقوم بها هذه الطيور نفسها . كما أننا لا نفهم تماماً كيفية تحديد عدد الطيور ما في



الشكل (١٤ ــ ١٦) : الطاووس . ويوضح منظر الطاووس عندما ينفش ريشه السبب الذي جعل الانسان يستخدم الريش كاشياء للتزيين منذ اقدم الازمان . ويوجد على طرف كل ريشة من ريش الطاووس بقعة ملونة ، بعد أن يرفع الطاووس ذيله يدفعه للامام ثم يتقدم مختالا ويهز جسمه ثم يصدر اصواتا عالية مميزة .

تماما كيفية تحديد عدد طيور ما في مكان ما ولم يبقى هذا العدد ثابتا نسبيا . وسنحاول التحري عن اجوبـــة لمثل هذه الاسئلة في الباب الخامس والعشرين .

الثدييـــات اللارئيسيـــة

Nonprimate mammals

ان الثدييات class **Mammalia** ونحن جزء منها هي قسم من الحيوانات الناجحة جدا الآن . ومع ان هذا القسم من الحيوانات لا يضم سوى حوالي ٤٣٠٠ نوع الا ان هذه الحيوانات تعيش على جميع القارات وفي البحار وفي الهواء . وهي حيوانات نشطة على مدار السنة ويضم كثير من انواعها جماعات ضخمة جدا.

وتتميز جميع الثدييات بوجود غدد خاصة لافراز الحليب ووجود غدد عرقية وشعر يكسو اجسامها . وتتميز اسنانها الى قواطع وانياب وضروس . وهي حيوانات ذات دم حار ويعمل الشعر والغدد العرقية على حفظ درجة حرارة

الجسم ثابتة . وكما هو الحال في الطيور يوجد للثديات قلب يعمل على انفصال الدم المؤكسد عن غير المؤكسد انفصالاً كلياً . وتساعد عضلة الحجاب الحاجز بالاضافة إلى القفص الصدري على جعل عملية التنفس أكثر فعالية . ويمتاز الدماغ بأنه أكبر حجماً عما هو في الزواحف والطيور وخصوصاً النصفان الكرويان منه . وقد كانت وظيفة هذا الجزء من الدماغ مكرسة لحاسة الشم ولكنها الآن أخذت وظيفة أخرى وهي القدرة على التعلم والتدرب بالاضافة إلى الفهم في بعض أنواع الثدييات الرئيسية الأنسانية .

وتتميز حركة البرمائات والزواحف ذات الأرجل بأنها على شكل مشي بطيء . وقد عملت كثير من الزواحف التي كانت سائدة أثناء عصر الزواحف على زيادة سرعتها بالجري على أرجلها الخلفية مستخدمة ذيولها لحفظ توازن أجسامها . وقد حلت الثدييات مشكلة السرعة في الجري بتكوين أطراف تتدلى تحت الجسم مباشرة وتستطيع أن تمتد وتتحرك من الأمام للخلف . فقد تحول مفصل الركبة إلى الأمام كما امتدت التلف نحو الخلف الأمر الذي يجعل معظم الطاقة مستخدمة لغرض الحركة بدلاً من منع الجسم من فك الأطراف واستدارتها للجهة الأخرى . وتظهر أهمية هذا التكيف التركيبي في حيوان كالنمر الذي تصلسرعته إلى ٧١ ميلاً في الساعة . والحقيقة أن تسارع النمر هو أمر مثير للدهشة فهو يستطيع أن ينتقل في سرعته من الصفر إلى ٤٥ ميلاً في الساعة خلال ثانيتين أي أن تساعره هذا أكثر من تسارع أية سيارة سباق معروفة .

وتعود أول حفرية لحيوان ثديي إلى العصر الجوراسي Jurassic period أي إلى حوالي ١٨٠ مليون سنة تقريباً . ولكن لم تسد الثدييات إلا قبل حوالي ٧٠ مليون سنة وهو العصر الذي يطابق انقراض كثير من رتب الزواحف . وربما يعود ذلك إلى أن قسم الثدييات قد فاق في تنافسه على الزواحف ولكن غالب الاحتمالات أن انقراض الزواحف قد جعل الباب مفتوحاً للتطور السريع للثدييات . وكان نتجية ذلك أننا نعيش الآن في عصر جديد هو عصر الثدييات .

وخلال المراحل الأولى من تطور الثدييات من اسلاف الزواحف الثيرابسيدية therapsid reptile تفرعت مجموعة من الثدييات تمثلها حالياً رتبة الثدييات أحادية المسلك order Monotremata وهي ثدييات تتميز بأنها حيوانات بيوضة ويوجد منها نوعان هما منقار البط The platypus وأكل النمل ذو الأشواك spiny anteater وهما حيوانات يعشان في استراليا فقط . ويتميز منقار البط بأنه حيوان قادر على السباحة والحفر كما يتميز حيوان

أكل النمل بجلده المحتوي على الأشواك وقدرته على الحفر بحثاً عن الحشرات التي يتغـذى عليها . ويقوم هذان الحيوانان بتغذية صغارها على الحليب الذي تنتجه غد خاصة .

وهناك مجموعة أخرى من الثدييات هي الحيوانات (الكيسية) (رتبة الجرابيات) order Marsupialia ويوجد لهذه الابوسوم يعيش في أميركا الشمالية كما أن هناك عدداً آخر من حيوانات هذه الرتبة تعيش في أميركا الجنوبية . ويشبه الابوسوم الثدييات البدائية وهو يمثل الحيوانات الجرابية . وتولد صغار هذه الحيوانات وهي في مرحلة مبكرة جداً مـن النمـو ٠تولد صغار الابوسوم بعد ٨ أيام من بداية الحمل فقط) . وتزحف هذه الصغار في جراب الأم البطني متصلة بأمهاتها عن طيق الحلمات ولهذا فهي تستمر في تغذيتها معتمدة على الأم بعد الولادة . وتتغذى باقي الجرابيات الأخرى كدب الكوالا Koala bear بنفس الطريقة .

أما المجموعة الثالثة . الثدييات فهـي الثـدييات المشـيمية placental mammals وتمثل هذه الحيوانات المجموعة الرئيسية من الثدييات فقد تغلبت في تنافسها على الثـدييات الجرابية في أميركا الجنوبية ، وكان من الممكن لها أيضاً أن تتغلب على الجرابيـات فـي قارة اسيا لو تهيئات لها الفرصة . وتتميز هذه الحيوانات بوجود المشيمة placenta وهـو عضو يسمح ببقاء صغار الحيوانات النامية في جسم الأم مدة أطول . ويمكن لهذه الصـغار أن تحصل على غذائها وأكسجينها وأن تتخلص من الفضلات عن طريق المشيمة وفي هـذه الأثناء تنمو أدمغة هذه الصغار وتراكيبها المختلفة في بيئة الرحم الحافظة والمناسبة لها .

وتمثل أكلات الحشرات Insectivora ومنها الخلد moles والزبابة shrews اسلاف الثدييات المشيمية ، وحجم هذه الحيوانات كحجم الفار وهي تتغذى على الحشرات كما يدل الاسم . وقد تطورت خمسة عشر (١٥) رتبة من رتب الثدييات المشيمية التي تعيش حاليـاً من هذه المجموعة من الثدييات أكلة الحشرات .

ومن هذه الرتب رتبة الخفاشيات Chiroptera وتتكون أجنحة هذه الثدييات بواسـطة امتدادات جلدية بين العظام المكونة لها كمـا هـو الحـال فـي الزواحـف ذات الأجنحـة pterosaurs ويسند جناح هذه الحيوانات عظام الأصبع الطويلة ، وقد كونـت حيوانـات الخفاش أكلة الحشرات نظاماً يشبه نظام الرادار إذ تستخدم أصوات ذات ذبذبات عالية جـداً

تساعدها على القبض على الحشرات وتفادي العقبات . أما أنواع الخفافيش التي تتغذى على الثمار في أفريقيا فهي ليست بحاجة إلى مثل هذا النظام ولهذا فأنها لم تكونه .

وتشمل مجموعة الحافريات ungulates حيوانات كثيرة تابعة لعدة رتب من رتب الثدييات المشيمية . ومعظم هذه الحيوانات حيوانات عشبية ولهذا فقد تطورت أسنانها وتحولت رفيعة دقيقة حادة مميزة لأكلات الحشرات إلى أسنان كبيرة ذات سطوح عريضة مناسبة لجرش وسحق الغذاء المتمثل بالاعشاب . وقد تحولت الاطراف بحيث تساعد على الجري السريع كما تحولت المخالب إلى حوافر .

ويمشي الحيوان الحافري عادة على عدد قليل من الأصابع . وقد قل عدد أصابع الحافريات فردية الأصابع perissodactyla Odd-toed ungulates إلى واحد فقط . ولم تكن هذه الرتبة تشمل الخيول ووحيد القرن rhinoceroses والتابير tapirs رتبة ناجحة جداً ، فقد كانت الحافريات زوجية الأصابع Artiodactyla even-toed ungulates أكثر نجاحاً منهما . ففي مثل هذه الحيوانت تقف مجموعة الخنازير (الخنزير وفرس النهر) على ٤ أصابع كما تقف الحيوانات المجترة ruminants (ومنها الجمال والغزلان والزراقة والأبقار) على حافر ثنائي الأصابع . والحقيقة أننا لا نعرف بالتأكيد السبب الذي جعل هذه الحيوانات أكثر نجاحاً من الحافريات فردية الأصابع ولكن ربما يكون لأجهزة هضمها المعقدة أهمية في الحصول على فائدة أكبر من الغذاء العشبي الذي تأكله هذه الحيوانات .

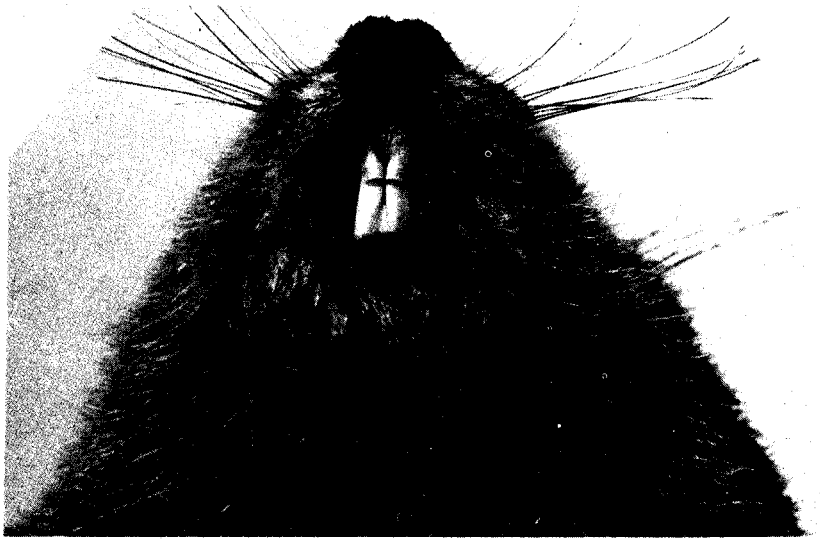
تتميز الثدييات المفترسة Carnivora بأزدياد في الحجم إذا قورنت مجموعة الثدييات المشيمية البدائية بتحور في الأسنان لتناسب الغذاء الذي تعيش عليه هذه الحيوانات ، وتضم الحيوانات المفترسة القطط والكلاب والدببة وعجول البحر seals وحيوانات الفظ walruses وغيرها . وأسنان هذه الحيوانات متخصصة للقطع والتمزيق فالقواطع الأمامية تقطع والأنياب تمزق . ولا يوجد لهذه الحيوانات حوافر وهي سريعة الجري ولو أنها لم تبدل مخالبها بحوافر .

أن أكثر عدد من الأنواع والأفراد يوجد في رتبة القوارض Rodentia وهي بهذا أكثر الرتب نجاحاً وقد تكيفت هذه الحيوانات للمعيشة في بيئات مختلفة متنوعة . ويوجد لها في مقدمة الفم ٤ أسنان قارضة مفصولة عن الأسنان

الشكل (١٤ ــ ١٧) : الابوسوم Opossum. **ويمكن لهذا الحيوان أن يلد ٢٥ صغيرا في المرة الواحدة وتشبه هذه الصغار عند ولادتها يرقات الذباب الى حد كبير . ولا يتمكن سوى نصف هذا العدد من الوصول الى حلمات أمها حيث تلصق نفسها بقوة وتنمو . وبعد حوالي شهر من المعيشة في جيب الام تقضي الصغار ثمانية أسابيع اخرى على ظهر أمها كما يظهر في هذه الصورة .**

المتخصصة في الطحن بفراغ عريض . وتختلف هذه الاسنان القارضة عن غيرها بنموها المستمر بحيث يمكن للحيوان أن يقرض المواد الصلبة الطبيعية بشكل منتظم كما هو الحال بالنسبة لحيوان القندس beaver الذي يقطع الكثير من الاشجار ليبني له مسكنا وليتغذى عليها دون ان يؤدي ذلك الى تلف اسنانه او صغرها الى الحد الذي تصل به الى اللثة . ومن هذه الثدييات القارضة السنجاب والجرذ والفار والنيص وخنزير غينيا . واما الارانب الاليفة والبرية فهي تابعة لرتبة أخرى هي رتبة الارنبيات order **Lagomorpha**.

وتمثل الخرطوميات **Proboscidea** الان الفيلة الا ان هناك ثدييات اخرى تابعة لهذه الرتبة قد كانت معروفة قديما كالماموث mammoths والمستودون mastodons وقد يصل وزن هذه الحيوانات العشبية الضخمة الى ما يزيد على ٥ طن وتأكل مثل هذه الحيوانات حوالي ٣٥٠ رطلا انكليزيا من المادة النباتية يوميا ، ولم يبق من هذه الانواع سوى الفيلة الافريقية والاسيوية التي تعيش في الاجواء الحارة ولكن قبل ان تأتي عصور الجليد الحديثة عاشت حيوانات الماموث على القارات الشمالية ، وقد وجدت بعض العينات منها محفوظة في طبقات الجليد في سيبيريا .



الشكل (١٤ ــ ١٨) : القندس Beaver. : وتظهر الصورة هنا فكي الحيوان. تتميز أسنان هذا الحيوان بنموها المستمر وذلك لان القندس يعيش على قرض الاشجار الامر الذي يؤثر في أسنانه ، ويحيط بالفم قطع جلدية مغطاة بالفرو تغطي الاسنان عند عدم استعمالهـــا .

وتنتمي الحيتان والدلافين الى رتبة الحيتان Cetacea وقد تكيفت هذه الحيوانات للحياة البحرية ومع أنها تتنفس الهواء الا أن اجسامها قد اخذت شكلا يناسب الحياة المائية فاجسامها شبيهة باجسام الاسماك ويساعد على حركتها ذيل على شكل زعنفة لها شكل أفقي بدلا من الاتجاه الرأسي المميز لزعانف الاسماك . ويغطي اجسام هذه الحيوانات طبقة كثيفة من الدهن تعمل على العزل الحراري بشكل فعال ، ولولا ذلك لفقدت حرارة الجسم بسرعة في البيئة المائية . وهناك تكيفات خاصة للغوص العميق حيث وجدت بعض الحيتان على أعماق كبيرة تزيد عن أية أعماق يمكن لاية غواصة ذرية أن تصل اليها . وقد وجد ان لهذه الحيتان القدرة على الحركة حتى على تلك الاعماق . ومن المثير للاهتمام ان الحوت الازرق الذي يصل وزنه الى حوالي ٢٠٠ طن يتغذى على كميات كبيرة من دقائق العوالق الدقيقة .

الثدييات الرئيسية *Primates*

ان بيت القرد هو من اكثر البيوت التي يشاهدها الذاهبون الى حديقة الحيوانات . هناك نجد امثلة مختلفة من الحيوانات التابعة للثدييات الرئيسية تذكرنا بحقيقة اننا تابعون لقبيلة الثدييات وان هناك اوجه شبه كثيرة بيننا وبين

الرئيسيات الأخرى وخصوصاً القرود الكبيرة .

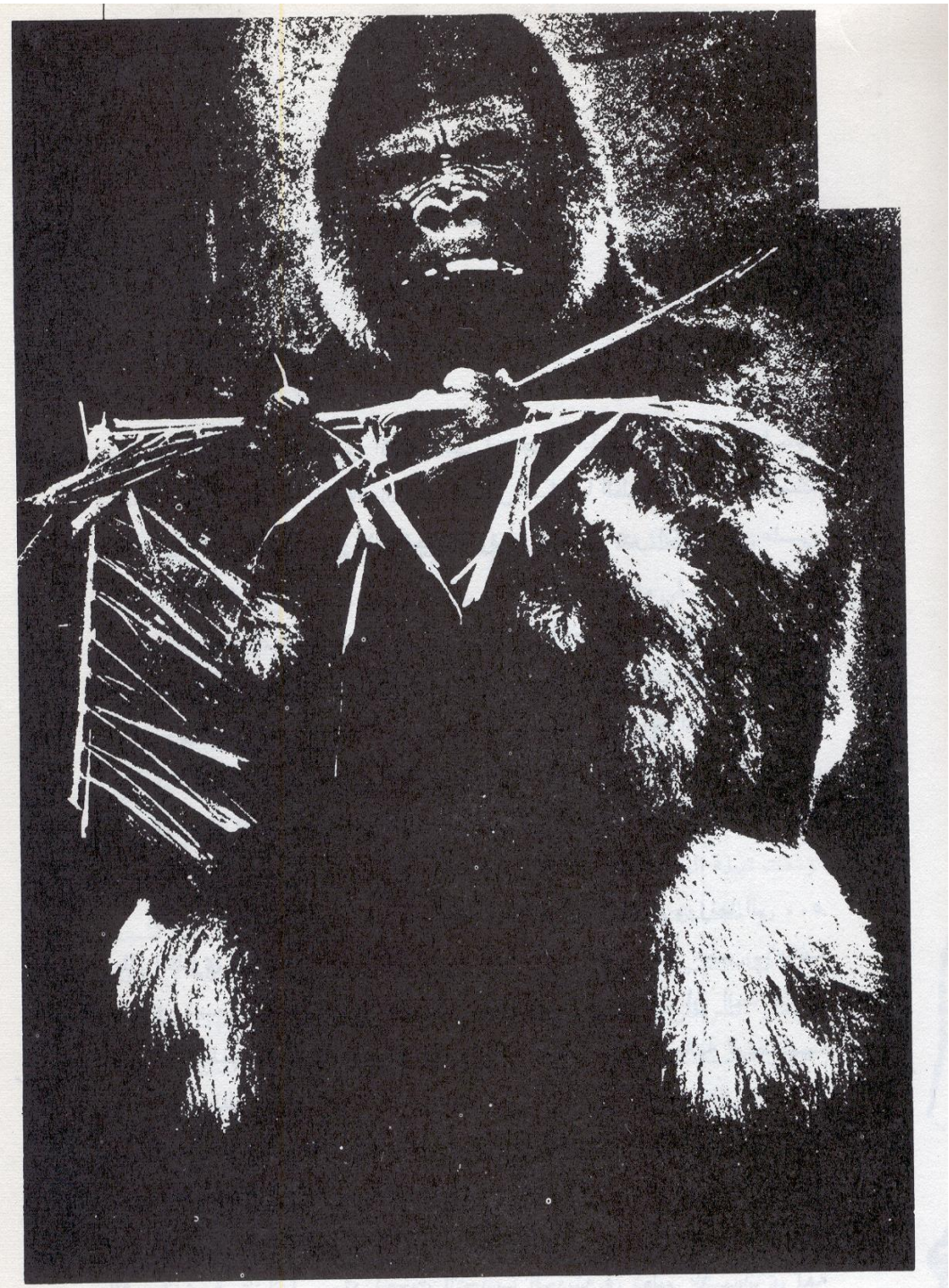
تعيش الثدييات الرئيسية أساساً متسلقة على الأشجار فهناك أنواع قليلة فقط تعيش على سطح الأرض . وقد أدت المعيشة على الأشجار وبين أغصانها إلى الحاجة إلى أقدام لها أصابع طويلة تمسك بالاغصان بدلاً من المخالب التي تميز الحيوانات التي تعيش في انفاق الأرض ، كما أدت عمليات القفز والتعلق بالاشجار إلى الحاجة إلى أن تكون حاسة البصر قوية ترى الأشياء ثلاثية الأبعاد ، ولهذا فقد تحول مكان العيون إلى أمام الجمجمة للسماح برؤية الأشياء من جهات مختلفة .

وأبسط الرئيسيات التي تعيش اليوم هي البروسيمات وهي تشمل حيوانات الليمور وهي حيوانات صغيرة تشبه القرود في أن أيديها لها أظافر مسطحة وفي أن لها ذيولاً تشبه إلى حد كبير ذيول القرود . إلا أن وجوه هذه الحيوانات ا زالت مستطيلة وتشبه إلى حد كبير وجوه الذئاب وأما حيوانات الترسير Trasiers وهي تابعة للبروسيمات أيضاً فلها وجوه أكثر تسطيحا ومراكز بصرية قوية في الدماغ . هذا ومن الصعب التمييز بين حفريات الليمورات والتراسيرات لأن بينها أوجه شبه كثيرة .

وتنتمي القرود monkeys والقرود الكبيرة apes والأنسان إلى تحت رتبة الأنسانيات أو أشباه الأنسان Anthropoidea وتنقسم أنواع القرود المختلفة إلى مجموعتي قرود العالم القديم وقرود العالم الحديث . وتشمل قرود العالم الحديث الأنواع الشائعة في حدائق الحيوان كالقرد والعنكبوت وهي تختلف عن قرود العالم القديم من عدة نواح أهمها وجود ذيل طويل لاقط . أما قرود العالم القديم فهي أقرب إلى الأنسان من ناحية تشريحية ولعل الأنسان والقرود الكبيرة قد تطورت من اسلاف لا علاقة بالعالم القديم . والقرود هي أكثر الرئيسيات نجاحاً بعد الأنسان وهي تسير في العادة على ٤ أرجل ولكنها غالباً ما تجلس معتدلة المر الذي يجعل أيديها حرة تستعمل في التقاط الطعام وغيره ، وقد ساهم في نجاح القرود رشاقتها ووجود حاسة بصرية قوية وحب الاستطلاع والقدرة على التقاط الاشياء . وتشمل قرود العالم القديم القرود ذات الخراطيم واللانجور والكلوبس والبابون والمكاكا .

هناك ٤ أنواع من القرود الضخمة pongidae or great ape هي قرود جيبوتي والاورانجوتان الشمبانزي والغوريلا . تمشي هذه القرود على الأرض بشكل نصف معتدل في بعض الأحيان على الأقل ، ولكنها تتميز بأنها تتأرجح

الشكل (١٤ ــ ١٩) : من النادر أن تسمح القرود بأن يجهل وجودها الناس فهي تقوم بحركات خفيفة الظل وتتصارع وتصدر أصواتا مزعجة أو تأخذ وقفات تأملية ملفتة للنظر . تظهر الصـــــورة القريبة الى اليسار قرداسنجابيا بوجه بائس منزلا ذيله الطويل الثقيل خلف أحد الاغصان . وتظهـر الصورة البعيدة الى اليسار قردا عنكبوتيا يتفحص شيئا وجده (الصورة العلوية) ، وقردالكبوتشن capuchin يحدق على كائن قريب منه بهيئة غير المصدق (الصورة الوسطى) وقرد المكاكا macaque ذا الذيل الطويل سائرا في الادغال ويتميز هذا القرد بسحنة أمامية مشابهة لقرد البابون baboon وبذيل مغطى بشعر كثيف وبطوق جميل حول رأسه . تعتبر القرود بالنسبة لمعظم الامريكيين الشماليين أنها كائنات للمشاهدة والتسلية في حدائق الحيوان ، ولكن الامر مختلف بالنسبة للقرود التي تعيشـــ في بيئاتها الطبيعية خصوصا عندما تسير بشكل جماعات ، اذ أن سلوكها الاجتماعي هناك يجعـــل منها مصدر ازعاج للسمع كما أن حبها للاستطلاع قد يحولها الى عصابة اخلاس أصيلة .



الشكل (١٤ ـ ٢٠) : جوريلا الاراضي المنخفضة : ان وجود خصلات من الشعر الرمادي متناثرة هنا وهناك بين الشعر الاسود يدل على أن الجوريلا ذكر بالغ .وقدوجد أنالجوريلا التيتعيش أسيرة تحت اشراف الانسان تملك قوى للذاكرة والفهم والوقع بالاضافة الى قدرة على حل بعض المسائل بنجاح . وقد يكون ذكاء الجوريلا مماثلا لذكاء قريبها الشمبانزي الذي درس بشكل أكثرمن

من غصن إلى أخر عن طريق أذرعها كما أن حركة أطرافها أكثر اتساعاً منها في حالة القرود العادية monkeys وتخصص أصابعها الطويلة للالتقاط والمسك بالاغصان الأمر الذي يجعل الاورانجوتان وقرد جيبوتي أقدر الكائنات على التأرجح بالأذرع .

ولكن الشمبانزي والغوريلا قد أثارتا اهتمام الناس أكثر ما يكون فهي تقضي كثيراً من الوقت على الأرض وتسير معتدلة نسبياً كما تمتلك أدمغة أكبر من أدمغة غيرها من القرود وقد تبرز إلى أذهاننا بعض المميزات التي كانت تميز أسلاف الرئيسيات التي تنتمي إليها . وقد أمكن التعرف حديثاً على الشمبانزي القزم في وسط افريقيا واعتقد أنه ربما يكون هذا الحيوان أكثر الكائنات الحية قرابة لنوعنا .

وقرود الغوريلا حيوانات ضخمة يصل طولها إلى ٦ أقدام ووزنها إلى ٥٠٠ رطل أنكليزي أو أكثر . وهي حيوانات لطيفة هادئة الطبع على عكس ما يكتب عنها في قصص الأدغال بأنها حيوانات مرعبة . ومن الممكن أن السبب في عدم حاجة الغوريلا إلى استعمال الأدوات أنها تعيش معشة نباتية لا تجعلها بحاجة إلى ذلك . أما قرود الشمبانزي فهي تستخدم الأدوات على الطبيعة وفي الأسر عند وجودها في الحدائق . وهي حيوانات ذكية إذ يمكن أن تتعلم الأشياء كاستخدام المزلاج (سقاطة الباب) ومسك الأشياء . وقد قامت الباحثة جان كودال Jane Goodall وزوجها بعدة بحوث في هذا المجال على الشمبانزي في تنزانيا وقد نجحت التجارب الحديثة في تعليم الشمبانزي لغة بسيطة تعتمد على العلامات . ولما كانت هذه الحيوانات هي أقرب الحيوانات إلينا فيه تستخدم الآن في كثير من الدراسات الهادفة إلى فهم سلوكها وقدراتها إذ يمكن من خلال ذلك أن نتعرف على كيفية تطور قدراتنا وسلوكنا .

ملخص الفصل الرابع عشر

تتميز المفصليات باعداداها الهائلة وبتكيفها لمختلف البيئات . ويتميز جسم الحيوان المفصلي بانقسامه إلى ثلاث مناطق واضحة هي الرأس والصدر والبطن وبوجود أطراف خارجية متمفصلة مخصصة للأحساس والتغذية والحركة . وتتصل هذه الأطراف بهيلك خارجي صلب مكون من صلب مكون من مادة كيتينية تنسلخ بانتظام . وتشير اصية تكوين جسم الحيوان المفصلي منحلقات ووجود أطراف خارجية إلى وجود صلة تطورية بين المفصليات والديدان الحلقية . تنقسم قبيلة المفصليات تبعاً لتراكيب منها قبيلة الكلابيات Subphylum Chelicerata وتشمل العناكب وتحت القبيلة الفكيات Subphylum Mandibulata التي تضم الحشرات والقشريات .

والمفصليات ثلاثية الفصوص Trilobites هي حيوانات منقرضةتشبه أنواعها القشريات إلى حد كبير . والقشريات تعيش معيشة مائية في الغالب وتضم السرطان والجمبري والاربيان والوبستر وهي تتميز بوجود زوجين من قرون الاستشعار وعيون مركبة وفكوك علوية مزدوجة وفكوك سفلية .

تشمل العنكبيات arachnids العناكب والعقارب والقراد والفاش وهي مفصليات متخصصة للمعيشة على اليابسة ، وتنقسم اجسامها إلى منطقتين رئيسيتين البطن والرأسصدر الذي يحمل ٦ أزواج من الأطراف منها ٤ أزواج كأرجل مشي . وتعيش العنكبيات على الافتراس في الغالب ولا يوجد لها قرون استشعار ولا فكوك وأنما يوجد لها كلابات على شكل مخالب شبيهة بالكماشة أو الكلابة .

وتعيش ذوات المئة قدم Centipedes كحيوانات مفترسة وتتميز أجسامها بانقسامها إلى رأس وجذع مكون من عدة حلقات تحمل كل منها زوجاً من الأرجل أما ذوات الألف قدم Millipedes فتحمل كل حلقة من حلقات جسمها زوجين من الأرجل هي حيوانات بطيئة

تعيش على النباتات وخصوصاً الأعشاب . وتسمح أرجلها العديدة بدفع أجسامها من خـــلال أوراق الشجر وذرات التربة بحثاً عن الغذاء .

أن الحشرات هي أكثر الحيوانات تنوعاً ونجاحاً وهي تتميز عن غيرها من المفصليات بوجود ثلاثة أزواج من الأرجل وزوجين من الأجنحة في العادة تتصل كلها بحلقات الصـــدر كما أن لها رأساً يحمل زوجاً من قرون الاستشعار وزوجاً من العيون المركبـــة . وتســـمح الأجنحة بهجرة الحيوان إلى أماكن بعيدة بحثاً عن الغذاء وبهذا يقل الضغط علـــى مصـــادر الغذاء المحلية بالاضافة إلى أن هذه الهجرية تسمح بالتلاقح بين فردين بعيدين عن بعضهما .

وتتميز الحيوانات الحبلية بوجود حبل ظهري في مرحلة ما من مراحل نموهـــا علـــى الأقل (الحبل الظهري هو حبل مرن قوي تتصل به العضلات) ، وحبل عصـــبي مفـــرغ وفتحات خيشومية مزدوجة ، وفي الفقاريات المتنفسة عن طريقة الرئات تظهر الفتحـــات الخيشومية في مرحلة الجنين فقط تم تفقد وظيفتها إلى الأبد . وتشمل الحبليـــات اللافقاريـــة تحت قبيلة الذيلحبليات Urochordata وتحـــت قبيلـــة الرأســـحبليات Cephalochordata وتمثل هذه الحيوانات مرحلة تطورية مبكرة في التطور نحو الفقاريت . وتتميز الفقاريـــت بوجود هيكل داخلي من الغضروف أو العظم يقوي الحبل الظهري أو يتكون بدلاً منه . وهي حيوانات جانبية الماثل ولها زوج من العيون وأخر من الأذان وجهاز دوري مغلق .

والأسماك عديمة الفكوك هي أقدم الأسماك المعروفة في السجل الحفري . يمثلها حالياً أنواع قليلة تعيش معشة طفيلية وهي تأخذ في أجسامها شكل ثعبان المـــاء . وأمـــا أســـماك القرش والشفنين والورنك فهي غضروفية تتميز بوجود زعانف مزدوجة وفكوك متمفصلة . وتناسب أجسام الأسماك العظمية لبيئتها المائية ، فهي ذات شكل انسيابي ومغطـــاة بطبقـــة مخاطية تسمح بالحركة السريعة في الماء . ويبدو أن أســـماك الســـويلاكانث coelacanth وهي أسماك لحمية الزعانف تمتلك زعانف فصية مزدوجة ورئات هـــي المجموعـــة التـــي تطورت منها البرمائيات .

والبرمائيات ومنها الضفادع والسلامندر وغيرها هي من بين أولى الحيوانـــات التـــي تكيفت للمعيشة على اليابسة . فباحتفاظها بالرئات وهياكل قوية وزعانف فصية لاسلافها من الأسماك طورت البرمائيات الأولى أرجلاً فعالة تسمح لها بالانتقال من بركة إلى أخرى في فترات الجفاف الموسمية . ولكن بمرور الوقت ظهرت الزواحف وسادت على البرمائيـــات

نظراً لأن الزواحف قد كانت أكثر تكيفاً للحياة على اليابسة . وقد طورت الزواحف القدرة على وضع بيوض ذات قشور صلبة على الأرض وأدى هذا التكيف الجديد إلى زيادة فرصة بقاء هذه الحيوانات . ولكن لم يبق من هذه الزواحف الأن سوى ٤ أقسام هي: الثعابين ولاسحالى (تابعة لقسم واحد) السلاحف والتماسيح والتواتارا والطيور التابعة لقسم الطيور calss Aves قط تطورت من الزواحف مباشرة . ومع أن الريش يختلف في تركيبه عن حراشف الزواحف إلا أن المكونات الكيميائية لكليهما متماثلة ، كما أن هياكل الطيور شبيهة إلى حد كبير بهياكل الزواحف البدائية . ألا أن هياكل الطيور هي أخف وهي متحورة لتناسب وظيفة الطيران . أن معدل التمثيل الغذائي للطيور عال ، كما أن لهذه الحيوانات درجة حرارة جسدية ثابتة وجهاز دوران فعالاً . ويغطي جسمها غطاء ريشي كثيف يعمل على عزل أجسامها عن البيئة حتى لا تفقد كميات كبيرة من أجسامعها . وتنتشر الأكياس الهوائية في أجسامها فتزيد من حجم الرئتين بمقدار ١٠ أضعاف وبهذا تزداد القدرة على التنفس بشكل كبير . وقد أدت التحورات الكبيرة الواضحة في تركيب المناقير والأقدام وعادات التغذية إلى تكيف الطيور إلى بيئات متنوعة ومتباينة .

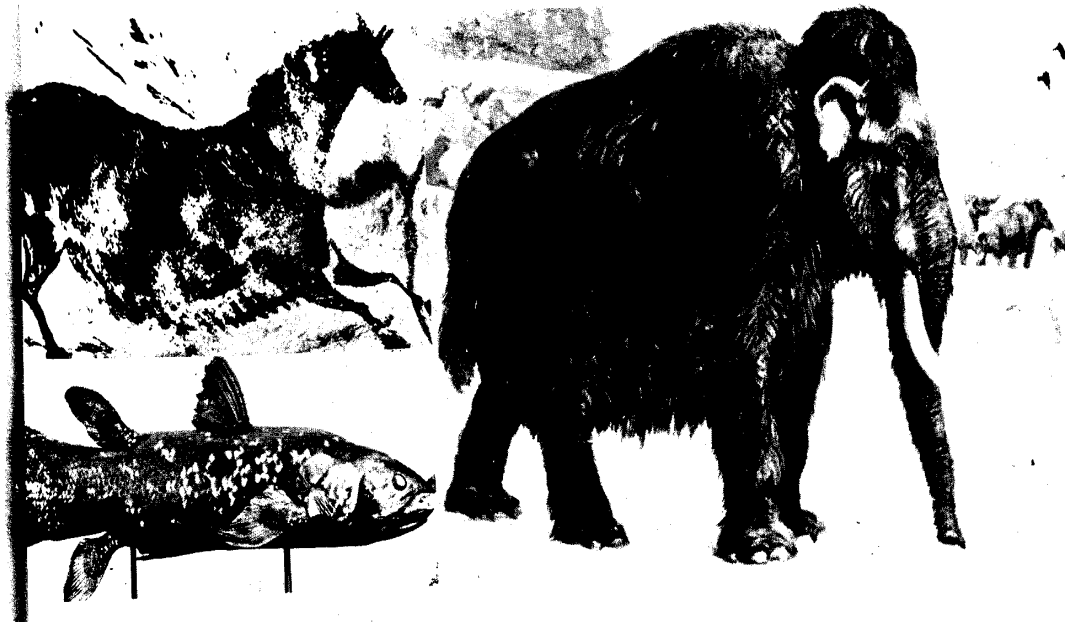
ومع أن الثدييات ممثلة في أنواع قليلة نسبياً إلا أنها انتشرت بنجاح في بيئات مختلفة كثيرة . والثدييات حيوانات ذات دم حار (أجسامها ثابتة درجة الحرارة) ولها غدد خاصة لأفراز الحليب وغدد عرقية وشعر . وتشمل مجاميع الثدييات أحاديات المسلك monotremes والجرابيات marsupials والثدييات المشيمية placental mammals وتتميز المجموعة الأخيرة بامتداد فترة نمو الجنيني في داخل الجسم حيث يحفظ الجنين في بيئة مناسبة لنموه في الرحم . ومن مجاميع الثدييات المتنوعة التي تعيش في البر والبحر والهواء أكلات الحشرات ومنها الخلد والزبابة والخفاشيات ومنها أنواع الخفافيش المختلفة والحافريات التي تتغذى على الأعشاب من ناحية رئسية ومنها الخيول والخنازير والغزلان والماشية والحيوانات المفترسة التي تتيمز بوجود مخالب وأسنان متخصصة للقطع والتمزيق والقوارض المتكيفية لقرض المواد الصلبة والخرطوميات التي تتمثل الأن بالفيلة والحوتيات ونها الحوت والدلفين .

الرئيسيات هي رتبة من ربت الثدييات والأنسان هو أحد الحيوانات التابعة لهذه الرتبة . والرئيسيات أساساً حيوانات متسلقة تعيش على الأشجار ولهذا فقط طورت هــذه الحيوانـــات أقداماً لها أصابع طويلة تسمح بالمسك بالأغصان كما أن لها حاسة بصرية قوية تمكنها من رؤية الأشياء بأبعاد ثلاثة وبهذا تستطيع التأرجح من شجرة إلى أخرى بفاعلية أكبر . ومن أبسط الرئيسيات التي تعيش الأن البروسيميات وهي تشمل الليمور والتارسير tarsiers وتتبع القرود Monkeys والقرود الضخمة apes والأنسان تحت رتبـــة الأنســـانيات أو شـــبيهات الأنسان Anthropoidea وقد ساهم في نجاح القرود قوة حاسة أبصارها ورشاقتها وحـــب استطلاعها وقدرتها على المسك بالاشياء وتحريكها أثناء جلوسها معتدلة . وأن أقرب أنواع القرود للأنسان هي قرود العالم القديم ومنها القرود ذات الخراطيم والبابون ، وأما قـــرود العالم الحديث فهي تتميز بوجود ذيول لاقطة لها وتشمل القرود الضخمة Pongidea great apes قرود جيبوتي والاورانجوتان والشمبانزي والغوريلا . ويعتقد أن الشمبانزي هو أقرب الحيوانات للأنسان .

العهد (والمدة)	الحقب	الدور	أهم الأحداث البيولوجية	أهم الأحداث الجيولجية	ملايين السنوات قبل الأن
		الحديث	الأنسان والحيوانات العليا		٠,١
الحديث (٧٠ مليون سنة)	الرابع	البلستوسين	ظهر الأنسان الأول- انقراض عدد كبير من الثدييات الكبيرة	امتداد الجليد وانحساره	٣
		البيوسين	الحيوانات المفترسة الكبيرة ظهور كثير من الثدييات	كثرة الشلالات	٧
	الثالث	الميوسيون	ظهور الحيوانات التي تتغذى على الأعشاب	برودة الطقس- تكون الهمالايا	٢٦
		الأوليغوسين	ظهور كثير من العائلات الحيوانة الحديثة	دفء الطقس	٣٧
		الايوسين	ظهور الثدييات الحديثة	تقلب الطقس	٥٤
		الباليوسين	ظهور الطيور الحديثة تنوع الحيوانات ذات الاحوافر		٦٥
	الكريتشي			ظهور الصخور	١٣٠
المتوسط (١٥٠ مليون سنة)	الجراسي		ظهور الطيور البدائية تشعب الحشرات . انتشار الزواحف والاموبيتس	دفء الطقس- ظهور سلاسل الجبال	١٨٠
	الترياسي		ظهور الديناصورات البدائية والبرمائيات	طقس دافئ شبه جاف	٢٢٥

	البيرمي		استبدال البرمائيات بالزواحف انتشار الحشرات	زحف الجليد	٢٨٠
	البنسلفاني (الكربوني)		ظهور الزواحف البدائية والأشجار ، سيادة البرمائات في مستنقعات الفحم والغابات	زحف الجليد في بعض مناطق العالم	٣١٠
القديم (٣٨٠ مليون سنة)	المسبسبي		سيادة السراخس والليكوبسيدات انتشار اسماك القرش والبرمائيات		٣٤٥
	الديفوني		ظهور النباتات معراة البذور- ظهور البرمائيات- سيادة الأسماك	ظهور جبال الابالاش	٤٠٠
	السيلوري		انتشار الأسماك ادمية الدروع انتشار الحزازيات والنباتات الوعاية البذور والحيوانات البرية	ظهور البحار الضحلة في أمريكا الشمالية	٤٤٠

العهدة (والمدة)	الحقب	الدور	أهم الأحداث البيولوجية	أهم الأحداث الجيولوجية	ملايين السنين قبل الآن
القـــديم (٣٨٠ مليون سنة)		الأردفيشي	ظهور الفقاريات لأول مرة (الأسماك البدائية) سيادة اللافقاريات البحرية		٥٠٠
		الكامبري	تنوع الطحالب- انتشار اللافقاريات		
مـــا بـــين الكامبري		الحقب هنـا غيـــــر معروفـــة بالتحديد	لافقاريات رخوة- حفريـات قليلة جداً	زحف الجليد على معظم القارات	٤,٥ بليون سنة (؟)



– كائنات العهود السالفة : غابـة في العهد الكربوني ، حيوان الماموث ذو الصوف الكثف الذى وجد في شمال سيبريا في قديم الزمن، احدى أسماك السيلاكانت coelacanth وهي سمكة بدائية كان يعتقـد بانقراضها لمدة طويلة ولكنها اكتشفت في القرن الحالي . لوحة فى أحد الكهوف رسمها سكان ما قبل التاريخ الذين كانوا يقطنون لاسوكس Lascaux في جنوب فرنسا .

نظرة فاحصة

الشمبانزي واللغة

Chimpanzees and Language

ما هي علاقة أنظمة الاتصال الحيواني بلغة الأنسان؟ وهل يتوقع أن يكون هناك أصول لسلوكنا اللغوي في الحيوانات الدنيا؟ وما هي العمليات المتعلقة بعمل واستخدام الإشارات التي نشترك فيها مع أشكال الحياة الأخرى؟ لقدعرفنا بعض الأجوبة عن هذه الأسئلة خلال النصف الأخير من القرن السابع ولعل الفضل يعود بشكل رئيسي إلى حيوانات الشمبانزي الصابرة والمتعاونة وإلى مجموعة العلماء الأميركيين الذين قاموا بتدريب هذه الحيوانات ودراستها .

لقد كانت أول دراسة للسلوك اللغوي للشمبانزي هي التي عملت في ثلاثينات القرن العشرين باستخدام أنثى شمبانزي أعطيت اسم جوا Gea فقد حاولت لولا وونثروب كيلوج Luelia and Winthrop Kollogg أن يربيا جوا مع ابنهما . وقد كان هذا الأمر يعتبر مثيراً وخطيراً في تلك الأثناء . وقد نضجت جو بسرعة أكثر من زميلها الأنسان وقد تعلمت بسرعة كيف تستجيب لحوالي ١٠٠ كلمة إنكليزية بشكل صحيح . ولكن مع أنها قد عملت بعض الأصوات غير المفهومة لم تتعلم كيف تتكلم وقد انتهت مدة تعلمها للإنكليزية بعد حوالي سنة ونصف . لقد وضح من تجربة جوا هذه أن الحيوانات الشمبانزي غير قادرة على التكلم بالطريقة التي يقوم بها الإنسان .

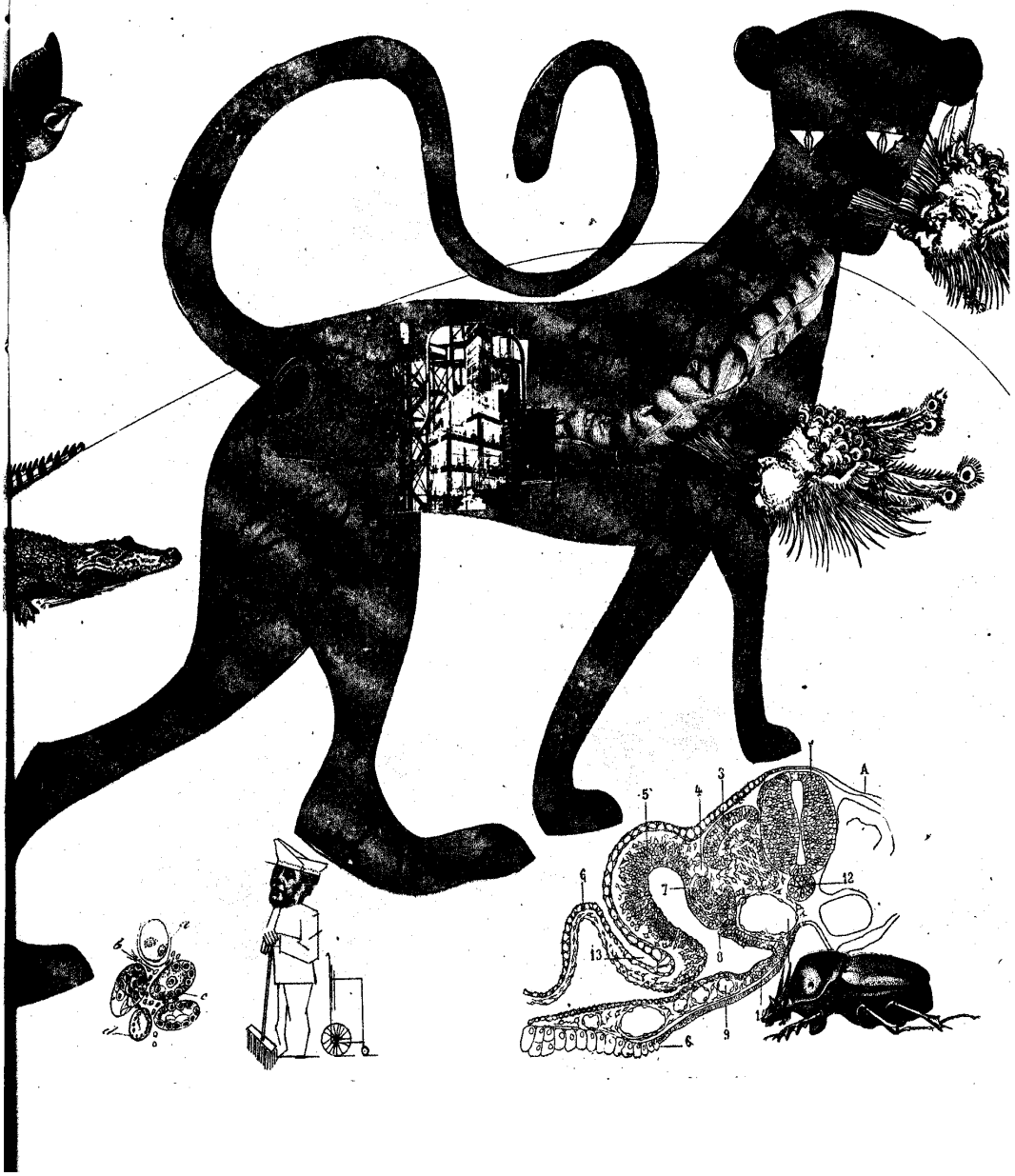
ولكن بعد ١٠ سنوات من تجربة جوا حاولت كاثي وكيث هيز لا يمكن للشمبانزي أن يتعلم لغة الإنسان عن طريق التقليد . ولهذا كان على الدراسات التالية أن تتخذ منهجاً جديداً مختلفاً .

وفي ستينات هذا القرن أخذت بتريس والين جاردنز Beatrice and Allen Gardiner اتجاها مختلفاً في البحث فاستخدمت هذه العائلة شمبانزي سمته واشو Washoe فقد قبلت هذه العائلة فكرة أنه لا يمكن للشمبانزي أن يتعمل لغة الأنسان وأن يتكلمها وكان لا بد من تجريب استعمال طريقة اخرى لتعليم هذا الحيوان اللغة باستعمال العلامات اليدوية المستعملة في تعليم الأطرش حسب نظام العلامات الأميركي . ونجحت هذه العائلة باستخدام هذا النهج إلى حد كبير فقد أمكن لواشو أن تضع سلسلة كاملة من الكلمات بشكل طلب أو سؤال أو جمل مفيدة . وقد كان مثيراً أن واشو قد اخترعت علامات جديدة خاصة بها . فمثلاً عندما شاهدت واشو بطة لأول مرة دون أن تتعلم العلامة ا لخاصة بالبط فقد اشارت إلى الأنسان المرافق لها بالعلامتين الخاصيتين بطائر مائي . وفي حالة ثانية علمت بتريس والن جاردنر واشو علامة خاصة مخترعة من قبلهما تعني صدرية لأنه لم يكن معروفاً لديهما ما يقابل هذه الكلمة في نظام الاشارات الأميركي وفي الحدى الأمسيات كان الجميع جالسين إلى مائدة الطعام ونسيت واشو العلامقة الخاصة بالصدرية فاخترعت اشارة منعندها حيث رسمت شكلاً للصدرية على صدرها مستخدمة اصابعها . وقد وجدت عائلة جاردنر بعد خمسة أشهر من ذلك التاريخ أن الإشارة التي رسمتها واشو للصدرة هي نفس الإشارة المستخدمة في نظام الأميركي للعلامات .

ومع أن أبعاد هذه البحوث ليست واضحة بعد إلا أن عائلة جاردنر تعيد حالياً تجربتها مستخدمة طرقاً جديدة أحسن من الأولى نوقد تعلم شمبانزيان هما بيلي Pili وموجا Moja لغة الإشارات منذ ولادتهما وما زالا يعلمان هذا النظام في الإشارات عن طريق أناس متخصصين في ذلك .

وعملت تجربة موازية للتي قامت بها عائلة جاردنر ولكن باستخدام منهج آخر . فقد استخدم كل من آن وديفيد بريماك Ann and David Premack في ستينات هذا القرن أيضاً شمبانزي سمياها سارة وعلماها وسيلة الاتصال عن طريق اختيار وتنظيم عدد من القطع البلاستيكية تمثل كل منها أسماً أو فعلاً أو صفة أو كلمة ارتباط . وقد وضحت تجربة سارة أن لهذه الشمبانزي قدرة على عمل بعض الجمل كما كان الأمر بالنسبة لتجربة واشو . كما أوضحت هذه التجربة أيضاً أن لهذه الرئيسيات قدرة على التفكير .

وهناك تجربة أكثر جدية يقوم بها داون رامبو Duane Rumbaugh مستخدماً شمبانزي سماها لانا ي مركز البحوث على القرود في اتلانتا بالولايات المتحدة الأميركية . وتستخدم لانا أشكال رمزية تمثل الكلمات والعلاقات بينها كما هو الحال في تجربةسارة ولكن أشكال لانا مطبوعة على أزرار ضاغطة متصلة بحاسب الكتروني . وباستخدام لغة حاسب الكتروني خاصة يسميها رامبو لغة اليركيش Yarkish يستطيع هذا الباحث أن ينظم ويضبط جميع السلوك اللغوي للانا . وتعيش لانا في غرفة خاصة كبيرة مع جهاز الأزرار الضاغطة المتصلة بالحاسب الإلكتروني ، كما يتصل حسابها الإلكتروني بحاسب آخر يراقبه فنيون مخصصون ٢٤ ساعة يومياً . فعندما تحتاج لانا إلى شيء مثل الماء أو الفاكهة فإنها تضغط على أزرار خاصة بترتيب خاص فيقوم الفني باحضار أي شي تطلبه . وقد حصل ما يلي حديثاً: استخدمت لانا الأزرار فظهرت نتيجة ضغطها للأزرار الجملة التالية "تيم يحك لانا" (تيم هو اسم الفني على ما يبدو) وأجاب تيم ضاغطاً على أزراره "حسناً سأقوم بذلك" ودخل غرفة لانا وحك جسمها . وعندما فرع من ذلك ضغطت لانا أزرارها فظهرت النتيجة كما يلي "لانا تحك تم" ووافق تيم وسمح للشمبانزي أن تحك جسمه . ولما كانت لانا قد استخدمت نفس الكلمات الثلاثة ولكن بترتيب مختلف فلا بد أنها عرفت أن التغيير في ترتيب الكلمات يعطي معنى مختلفاً . ولكن إلى أي مدى يمكن للانا ولغيرها من الشمبانزي أن تتعلم؟ بكل صراحة لا أحد يعرف حتى الآن بالتأكيد .


A
5
4
3
6
7
12
13
8
9
11
6

الفصل الخامس عشر

مبادئ الفسيولوجيا

Principles of Physiology

أن إحدى الصفات العادية للتطور هي تزايد التعقيد في الأجهزة الفسيولوجية كالأجزاء الداخلية للجسم ، والوسائل التي تساعد على استمرارية الحياة ، والاستجابة لمتطلبات المحيط الخارجي . ولا تكون هذه الزيادة في التعقيد أوتوماتيكية أو عن طريق الصدفة . إنما هي نوع من التأقلم الذي يرتبط مع الزيادة في الحجم ومع الحياة في المحيط غير الملائم للعيش . فلزيادة الحجم أهمية . فالنبات الذي ينمو أكثر فيزداد طوله عن النباتات الأخرى المجاورة له مثلاً عنده إمكانية أحسن للوصول إلى ضوء الشمس اللازم للتمثيل الكلوروفيلي . وكذلك بالنسبة للحيوانات فالحيوان كبير الحجم لا يكون الاعتداء عليه أو أكله سهلاً . ولكن ، زيادة الحجم هذه تحتاج إلى وسائل معقدة ومتطورة لتمكنه من التحكم في المحيط الداخلي للجسم .

وعلى كل الكائنات الحية أن تحتفظ بدرجة من الثبات في المحيط الداخلي حتى تتمكن من العمل بشكل طبيعي أو حتى تحافظ على استمرارية الحياة . كذلك عليها أن تتمكن من أن تأخذ من المحيط الخارجي الغذاء والغازات اللازمة لتنفسها والماء بالإضافة إلى إمكانية إخراج المواد الضارة والزائدة . فإذا كان المحيط الخارجي غير ملائم كأن يكون مالحاً أو جافاً أو حاراً أو رطباً أو بارداً أكثر من البيئة الداخلية ، فإن على الكائن أن يعوض ذلك وفي الحالات التي تكون فيها الخلايا بعيدة عن مصدر الغذاء الخارجي نتيجة شكل أو حجم

الحيوان ، عندها يجب تطوير الوسائل الكفيلة باحضار الغذاء لهذه الخلايا من مصادر خارجية .

وبالتالي ، فكلما ازداد تعقيد العمليات الفسيولوجية ، فإن هناك زيادة في الحاجة للمحافظة على محيط داخلي ثابت . وأكثر الكائنات نجاحاً هي التي تستطيع أن تحتمل أوسع التغييرات في المحيط الخارجي . فالبعض يستطيع أن يسمح بتغييرات داخلية أكثر من غيرها ، والبعض الآخر مثل الاشنات والصرصار "يغلق على نفسه" عندما يصبح المحيط الخارجي غير مناسب ، ويعود للنشاط عندما يصبح المحيط مناسباً له وللحرارة أهمية هنا: فعلى الكائنات التي لا تستطيع أن تتحكم بحرارتها الداخلية ، أن تخفف من نشاطها عندما تنخفض درجة الحرارة في الجو لأن أجهزتها الفسيولوجية لا تعمل بكفاءة تحت هذه الظروف . والكائنات ذات الدم الحار مثل الثديات والطيور تستطيع أن تحافظ على نشاطها الفسيولوجي بالمحافظة على الحرارة الداخلية ثابتة . والثمن الذي تدفعه هذه الحيوانات هي استهلاكها للطاقة وبالتالي فإن الحاجة إلى الغذاء الأكسجين تزداد للمحافظة على حرارة الجسم ثابتة . وكما سنرى فهناك أيضاُ علاقة مهمة مع نجاح أنواع مختلفة من الكائنات في التأقلم مع الحياة بمختلف أجوائها .

النباتات الدنيا Lower Plants

كما رأينا تتباين النباتات الدنيا والنباتات العليا بطريق تكاثرها ، وهي كذلك تختلف بدرجة تخصص أنسجتها الأخرى . ففي آخر التدرج نجد أن النباتات البحرية هي أبسطها ، وفي أعلى التدرج تكون النباتات الوعائية هي أعقدها . وسندرس الأجهزة بالتفصيل في الفصل القادم . أما هنا فسنعطي ملخصاً للنباتات الأقل تعقيداً وندرس أجهزتها .

النباتات المائية Marine plants

إجمالاً ، نقول أن الكائنات المائية القادرة على التمثيل الضوئي قد تجنبت الحاجة إلى أجهزة متخصصة . فالعيش في المحيطات حيث بدأت كل الحياة يوفر محيطاً خارجياً ذا حرارة وتركيب كيماوي مماثل لحاجة هذه الكائنات ، كما أن شكل جسمها الضيق الرفيع

يجعل كل خلايا الجسم متصلة مباشرة مع المحيط الخارجي . وبذلك فإن عمليات التغذية والتنفس وإخراج الفضلات يتم على مستوى الخلية .

وهناك أجزاء وظائفها ذات علاقة بشكلها مثل الماسك ، والعنق ، والشفرات لبعض الطحالب الكبيرة . ولكنها لا تملك أنسجة متخصصة كالجذور والسيقان والأوراق ، وحتى حجم الجسم يساهم في درجة التخصص "فعشب البحر" ، وهو أكبر الأعشاب البحرية يحتوي على جهاز بسيط ، لا يختلف عن الخلايا الغربالية في النسيج الوعائي –للماء– ويساعد في عملية نقل المواد النشوية الناتجة عن التمثيل الضوئي من الأجزاء العليا المعرضة للشمس إلى الأجزاء الأخرى البعيدة عن الضوء .

والنباتات التي تعيش في المياه الحلوة ، هي في الغالبية نباتات وعائية مثل النباتات مغطاة البذور التي تعيش على اليابسة ، فهي قد تأقلمت مع الحياة المائية وبذلك تعتبر نباتات عليا وليست دنيا .

الحزازيات Bryophytes

لقد احتاج النبات إلى زيادة في التخصص ليتمكن من غزو اليابسة . فحصلت بعض الحزازيات على جزء من هذا التخصص بينما بقي البعض الآخر في مناطق رطبة ومحمية . وهي مثل الطحالب تفتقر إلى النسيج الوعائي ولا تزال تمتص الماء والأملاح من خلال سطح معرض للخارج – وهذا يجعلها أكثر عرضة للجفاف . وبعض السرخسيات تملك بشرة شمعية ، وتمتص الماء من التربة بواسطة شعيرات تشبه الجذور تسمى بالجذيرات . وهناك حزازيات أخرى مثل حشيشة الكبد ذات جسك سميك يشبه الشفرة مما يمكنها من الاحتفاظ بالرطوبة داخل الجسم ، والجسم يقسم إلى طبقات متخصصة: للتمثيل الضوئي ولخزن الغذاء . فيتضح أذن أن هذه النباتات قد بدأت تتأقلم مع متطلبات الحياة على اليابسة وهذه هي البداية فقط .

الفطريات Fungi

تختلف الفطريات عن النباتات وعن الحيوانات في أنه حتى أكبر الفطريات حجماً يستطيع أن يعيش وبأجزاء فسيولوجية بسيطة . والفطريات متباينة الغذاء ، فهي تحتاج إلى غذاء عضوي مثل الحيوانات ، ولكنها تحصل على الغذاء بطريقة الامتصاص بدل الالتهام . فهي تفرز انزيماتها الهاضمة على المادة التي ينمو عليها الفطر ، فتذيب المادة

الشكل (١٥ ــ ١) : شقيق البحر تلتهم سمكه فشلت في الوقـــــت المناسب ان تتعرف على الدائرة الإسعة الانتشار من المجسات الفاتحـــــه اللون ، على اساس انها الاسلحة المميته التي كانت لها بالمرصاد .

وتحولها إلى سائل يتم امتصاصه من خلال الجدار الخلوي الرقيق . ومتى وصـلت هـذه المواد إلى داخل الخلية . فإنها تتوزع بواسطة الحركة السيتوبلازمية – وهي الحركة الدائمة في الخلية . وهذه طريقة بسيطة للنقل ولكنها تبدو كافية للحاجة وحتى في الخيوط الفطرية الطويلة .

ولكن ، كما في النباتات البحرية غير المتخصصة ، فإن هذه البساطة تفرض حـدوداً ، فمعظم الفطريات– عدا الأجزاء المثمرة القصيرة العمر أما أن تكون صغيرة الحجم (مثـل فطر الخبز) أو أن تكون منحصرة فقط بالمحيطات المحمية– تحت سطح الأرض المضيف . بهذه الطريقة فقط تحتفظ الفطريات بالرطوبة اللازمة . وتبقي أكبر سطح ممكن متعرضـاً

للاتصال المباشر مع المادة الغذائية . وبالإضافة إلى ذلك . فإن كل نوع من الفطريات ينو على المواد التي يمكن لانزيماته أن تهضمها . وفي بعض الحالات فإن هذا يسمح بتفاوت بسيط في البيئة ويلاحظ أيضاً أن فطريات الوحل التي تنتقل خلال جزء من دورة حياتها ، قد تأقلمت إلى حد ما مع غذاء متغير أكثر من باقي الفطريات التي لا تتحرك .

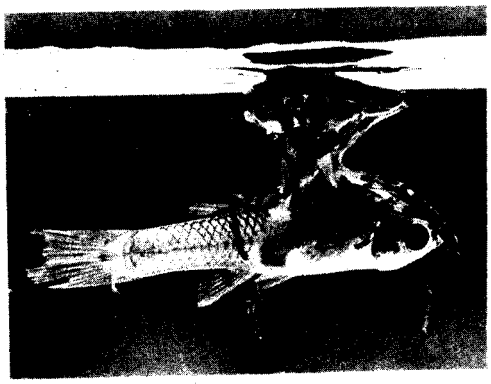
الحيوانات Animals

هناك صفة مهمة ومميزة للحيوانات ، وهي قدرتها على الحركة ، فنباتات اليابسة والفطريات تبقي في مكان واحد عندما تبدأ بالنمو حتى النباتات المائية التي تطفو حرة على سطح الماء لا تستطيع أن تتحرك بارادتها إذا جفت المياه أو اصبحت ملوثة . فإذا تغير المحيط حول النبات أكثر من درجة احتمالية فإن هذا الكائن يموت ، وبقاء الفصيلة يعتمد على البذور ذات الغطاء السميك أو على الأبواغ التي تبقى ساكنة لعدة عقود زمنية وحتى تتحسن الأحوال الخارجية . أما الحيوانات فستطيع أن تتحرك لتحصل على طعامها ، ولتهرب من الحيوانات المفترسة . ولتتزواج . وهذا يؤثر على الطريقة التي يتطور فيها لاجهاز الفسيولوجي أو ينتج عنها . صحيح أن بعض الحيوانات لا تتحرك قبل نضجها ، ولكن حتى هذه الأنواع تكون نشطة في فترات نموها الأولى ، ومعظمها يكون أنشط من النبات أو الفطريات حتى ولو ثبتت في مكان واحد .

الحصول على الغذاء Food Procurement

أن غذاء الحيوان وطريقة الحصول عليه تتعلق بالمنطقة التي يعيش فيها كما وتتعلق بتركيب الجسم . فمثلاً ، كل الحيوانات الثابتة هي حيوانات مائية وتعتمد على محيطها لجلب الغذاء إليها– والماء يفي بهذا الغرض . فكثير من هذه الحيوانات كالبطلينوس clams مثلاً هي من النوع الذي يعتمد على الغذاء الترشيحي filter feeders إذ تقوم الخياشيم أو أجهزة أخرى بترشيح الماء واستخلاص أجزاء صغيرة من الطعام وتدع الماء يمر . وهناك أنواع أخرى مثل الجوفمعويات التي تستعمل شكل جسمها المستدير مع مجموعة اللوامس لتساعدها على جلب الطعام إلى المنطقة المحيطة بالفم .

وهذه الطرق في الحصول على الطعام ليست خاصة بالحيوانات الثابتة . أن بعض الحيتان الضخمة تستعمل طريقة الترشيح في غذائها . فالحبار والسلطعان تجمع بين شكل الجسم ذات التشابه القطري مثل الجوفمعويات مع حركة بسيطة في السباحة . وكذلك فإن نماذج تركيب أخرى وأجهزة التغذية تعيد نفسها على مستويات مختلفة من التطور العرقي hylogenetic



الشكل (١٥ ــ ٢) : بقة الماء العملاقة والفريسه . ان البقة التي تتعلق تحت سطح الماء بواسطة فقاعة هواء تحت غطـــــاء اجنحتها ، تمسك بالفريسه بارجلطويله ثم تحقن انزيمات هضمية سريعة العمل خلال مخرزهـا لتحليلْ معظم انسجة جسم الضحية الى طعام سائلْ .

وحشرة المن هي من نوع المتغذي على السوائل fluid feeders فهي تدخل أبرتها الماصة داخل ساق النبات لسحب عصارته . والوطواط ، وهو نوع من الدبيات وليس من الحشرات ، يعض فريسته ويلوي لسانه الطويل على شكل قناة ويمتص الدم كما يصنع البعوض (ومن المعروف أن الوطواط نادراً ما يهاجم الأنسان ، إنما يفضل الماشية والطيور والثدييات الصغيرة) . وهناك مجموعة أخرى تعتمد أيضاً على الغذاء الترشيحي ، وتستعمل طريقة الفطريات بأن تفرز أنزيماتها الهاضمة خارج جسمها فتذيب الغذاء الصلب قبل أن تمتصه . فنجم البحر مثلاً ، يستعمل هذه الطريقة مع فريسته . وبعض الحشرات مثل ذبابة الماء الضخمة ، التي تتمكن من أن تقتل وتأكل حيوانات أكبر حجماً منها مثل الضفادع الصغيرة ، تعتمد على نفس الطريقة . وتصنيف الفقاريات لا يعتمد على طريقة حصولها على الغذاء (التي تكون عادة باستعمال الفك أو الأسنان) ، إنما على نوع الغذاء نفسه . وبالتالي نسميها آكلة الأعشاب herbivores وهي التي تأكل الأعشاب ، وآكلة اللحوم carnivores وهي التي تأكل اللحوم ، أو آكلة اللحوم والأعشاب omnivores وهي تأكل النوعين معاً .

أجهزة الهضم Digestive systems

بغض النظر عن نوع الغذاء أو نوع الجهاز المستعمل لهضمه فإن طريقة الهضم متشابهة . فالانزيمات تقوم بتحطيم الغذاء إلى جزيئاته (مكوناته) حتى يمكن امتصاصها بواسطة أنسجة الحيوان . وإذا كانت أجزاء الطعام كبيرة فيجب أولاً تكسيرها ميكانيكاً لإيجاد مساحة سطحية أكبر لتتعرض لعمل الانزيمات بعد ذلك . وفي بعض الحيوانات التي تأكل أجزاء الطعام الصغيرة يكون الهضم كله تقريباً داخل الخلية ، ولكن . وفي معظم الحيوانات فإن عملية الهضم أو جزءاً منها يتم في تجويف هضمي خاص .

الأجهزة داخل الخلية Intracellular systems

توجد في الأسفنج ، أبسط أجهزة الهضم تقريباً بالنسبة للحيوانات عديدة الخلايا . فهناك عدد كبير من الفتحات والقنوات التيتخترق جسم الأسفنج من جميع جهاته . وهذه القنوات تتجمع في تجويف مركزي رئيسي . فالقنوات هذه مبطنة بخلايا ذات أسواط تضرب بطريقة مسترمة فتدفع الماء الذي دخل من خلال الفتحات إلى القناة أو التجويف الرئيسي ومنه أيضاً إلى الخارج عن طريق فتحة أخرى . فعندما تدخل جزيئات الطعام مع تيار الماء فإنها تلتقط بواسطة الأسواط وتأخذ الغذاء أما عن طريق الخلايا الآكلة أو الخلايا التهمة . والهضم يكون داخل الخلاية – فالايسوسومات تتحد مع الفجوات الغذائية فتهضم جزيئاته بالطريقة العادية . وبمعنى آخر ، فإن الجهاز الهضمي للأسفنج هو جهاز للحصول على الطعام وبعض الخلايا ذات الأسواط يولد التيار فيدفع الطعام ليصل إلى الخلايا .

التجويف الدوري الهضمي The gastrovascular cavity

للجهاز الهضمي عند الأسفنج بعض السيئات : أبرزها هو أنها تتمكن فقط من استعمال قطع الغذاء الصغيرة جداً . فالانزيمات الهضمية التي تفرز عادة خارج الخلية تختلط مع تيار الماء في القنوات وتدفع خارج جسم الأسفنج حتى قبل أن تقوم بعملها فلو كان هناك طريقة أخرى للأمساك بالطعام فإن توليد تيار الماء لا يكون ضرورياً عند ذلك وعند ذلك يمكن أن يكون للحيوان تجويف داخلي ذو فتحة واحدة . أو ربما بفتحة يمكن أغلاقها

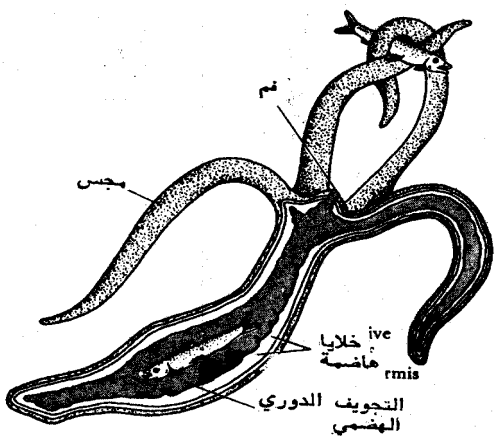
عند الإرادة . عندئذ فقط يمكن أن تحفظ الانزيمالت في التجويف فتستعمل لتحطيم جزيئات الطعام الكبيرة وهذا هو النظام الذي يجري في الجوفمعويات وهو جهاز هضمي ذو فتحة واحدة يعرف بالجهاز الدوري الهضمي gastrovascular والمثال على هذه الأجهزة ما نجده في الهيدرا وهي تعيش في المياه الحلوة . فالمنطقة الأمامية من الهيدرا محاطة بلوامس طويلة مسلحة باللواسع ، وهي سهلة الحركة ، فتمكن الهيدرا من الأمساك والوصول إلى الأسماك الصغيرة جداً وغيرها . وهي أيضاً توصلها بعد ذلك إلى التجويف الداخلي من خلال فتحة الفم الموجودة في وسط هذه اللوامس . وتفرز الانزيمات بواسطة الخلايا المبطة لتحطيم الجزيئات الكبيرة مسبباً من الطعام إلى جزئيات أصغر يمكن عندئذ ابتلاعها بواسطة الخلايا . بعد ذلك تتم عملية الهضم كما رأينا في الأسفنج أي داخل الخلية- والتطور الذي ظهر واضحاً هنا ، هو ظهور خلايا مختصة بافراز الانزيمات فالهضم خارج الخلية بواسطة الانزيمات هو جزء من عملية الهضم في جميع الأجهزة الهضمية المتطورة .

والكثير من لديدان المفلطحة ذات تجويف دوري هضمي والبلاناريا مثال جيد لذلك فهي تأخذ الطعام خلال البلعوم العضلي القوي الذي يمكنه أن يقذف خارج الجسم للحصول على الفريسة . وبعد ذلك يصل الطعام إلى التجويف الداخلي للجسم حيث تتم بعض عمليات الهضم الانزيمي . وتكتمل عملية الهضم بعد ذلك داخل الخلايا مثل الجوفمعويات . ولكن جهاز البلاناريا متطور أكثر من الهيدرا فالتفرع فيه أكثر ، وهذا يوفر سطحاً أكبر لامتصاص الغذاء إلى خلايا الجسم- وستظهر أهمية ذلك أكثر في الحيوانات الأكثر تطوراً- فالجهاز الهضمي في الديدان المفلطحة والجوفمعويات يحصل على معظم الجزء الداخلي للجسم .

الجهاز الهضمي الكامل The complete digestive system

يبقى حتى في أحسن الأجهزة الهضمية للجوفمعويات نقص مهم فهي لا تسمح بالتخصص في الوظائف ، فهنا يتخلص الحيوان من الفضلات من خلال نفس الفتحة المستعملة لإدخال الطعام وبالتالي فإن جميع النشاطات تختلفط في تجويف واحد . ويجب أن تفرز الانزيمات إلى كل التجويف ويجب أن يكون سطح الخلايا جاهزاً لعمليات الامتصاص .

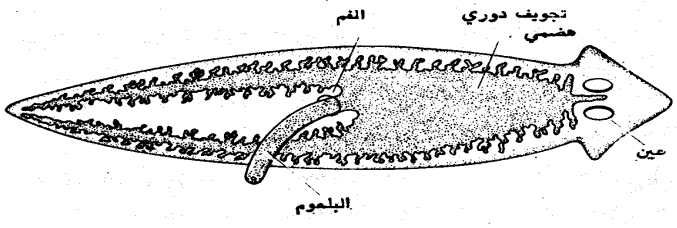
فربما كان أكثر فعالية لو أمكن تحريك الطعام في اتجاه واحد داخل جهاز هضم انبوبي . عند ذلك يكون هناك جزء أمامي لتحطيم الغذاء ميكانيكياً – بواسطة عمل عضلي – إلى أجزاء صغيرة وذلك يزيد من فعالية الانزيمات . وفي جزء آخر يليه يتركز عمل الانزيمات وتحطيم جزيئات الطعام الصغيرة إلى قطع ذات حجم يمكن امتصاصه بواسطة الخلايا . وأخيراً يجب أن يكون جزء تمر فيه فضلات الطعام التي لم تتمكن الانزيمات من تحطيمها – وبالتالي يتم إخراجها . وجهاز كهذا يجب أن يكون له فتحتان أولى لإدخال الطعام وأخرى لإخراج الفضلات . وفي الديدان الحلقية نجد أن مثل هذا الجهاز المتكامل قد بدأ بالظهور . وبالطبع مثل هذا الجهاز يجب أن يكون قد أثبت فعاليته وبالأخص أنه أصبح أساساً لأجهزة الهضم



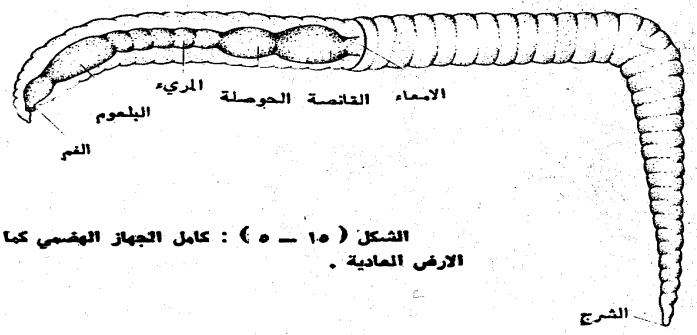
الشكل (١٥ – ٣) : الجهاز الهضمي للهيدرا . بما ان التجويف المعدي الوعائي يمتد خلال الجسم ، وحتى في اللوامس ، لهذا فهو يقوم بوظيفة نقل الغذاء بالاضافة الى الهضم .

أن دودة الأرض ، تمتص المواد العضوية المتعفنة بواسطة الفم ذي البلعوم العضلي فتمر المواد بعدها إلى الخلف خلال المرئ والحوصلة التي هي غرفة لحفظ الطعام بعدها تمر المواد إلى القانصة ذات الجدار السميك وهي تعمل علىطحن الطعام وخلطة بمساعدة أجزاء صغيرة . الحصى تمر مع الطعام إلى القانصة . وفي نفس الوقت يفرز الماء من أنسجة الدودة إلى التجويف الهضمي فيصبح الطعام سائلاً في الوقت الذي يترك فيه القانصة متجهاً إلى الأمعاء . وفي الأمعاء يبدأ عمل الانزيمات وتحطمها كلياً بينما في الهيدرا أو البلاناريا تتم عملية الهضم هذه في داخل الخلايا أما في دودة الأرض فتتم داخل التجويف للخلايا المبطنة للأمعاء التي تمتص الغذاء بشكل مركبات بسيطة جاهزة للاستعمال . ويتخصص الجزء الخلفي من الأمعاء باعادة امتصاص الماء الذي كان أصلاً قد أضيف إلى الغذاء وهذا

الماء لا تستغني عنه الدودة وإلا جفت . أما الفضلات الجافة فتخرج بعد ذلك من فتحة الشرج .



الشكل (١٥ ــ ٤) : الجهاز الهضمي للبلاناريا . لاحظ كيف يزيد التشعب المتزايد (الموسع) للتجويف المعدي الوعائي من المساحة السطحية لاجل الامتصاص .



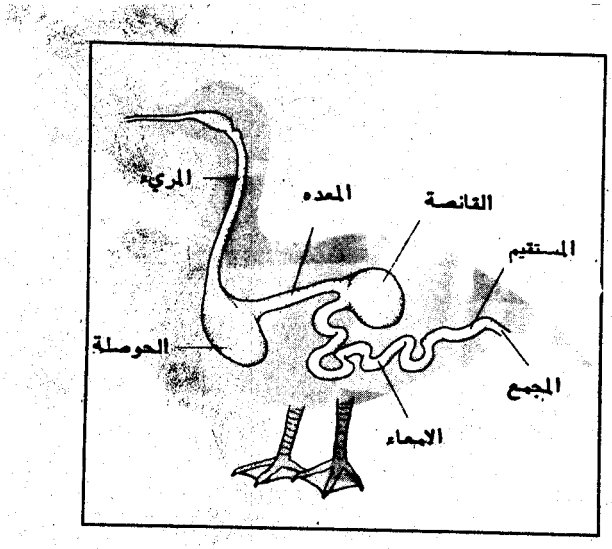
الشكل (١٥ ــ ٥) : كامل الجهاز الهضمي كما هو موجود في دودة الارض العادية .

تنوعات أجهزة الهضم Variations in digestive systems

هناك تنوعات في الجهاز الهضمي في اطار هذا النموذج الأساسي وهذه التنوعات تكون في نوع ومكان وجود أعضاء جهاز الهضم . ولهذه التغييرات عادة ، قيمة في التأقلم مثلاً : الأسنان الفك في الفقاريات تستعمل جزئياً للحصول على الغذاء ، ولكنها أيضاً تخدم في تقطيع الطعام قبل ارساله إلى عض الخزن وبالتالي فإنه يمكن للحيوان أن يأكل أجزاء كبيرة من الطعام وهذه يمكن أن تمر أيضاً بسهولة خلال المريء . ومن ناحية أخرى فإن لاطيور تبتلع الغذاء وتقطعه فيما بعد . فمن الواضح ، أنه من غير المناسب للطيور أن تحمل معها مجموعة ثقيلة من الفكوك والاسنان في رأسها بعيداً عن منطقة الأجنحة .

أن وجود عضو للخزن ، مثل الحوصلة ، يسهل عملية التغذية غير المتواصلة وهذه لها بالتأكيد قيمة في استمرار الحياة . فإذا كان الحيوان غير قادر على أن يأكل بسرعة أكثر من سرعة الهضم فإن عليه في تلك الحالة أن يستمر في أخذ الأكل طوال الوقت . أما عند جودالحوصلةأوالمعدة فإنه يستطيع خزن الفائض من الطعام ثميخرجه تدريجياً

للهضم فيبقي الحيوان حراً يستطيع القيام بأعمال أخرى على الأقل بعض الوقت . فـالطيور مثلاً تستطيع أن تملأ حوصلاتها بالحبوب والديدان أو أي نوع غذاء آخر ، ثم تترك بعدها



الشكل (١٥ ــ ٦) : الجهاز الهضمي للطيور . بشكل مختلف عما هو في الانسان ، الذي يبدأ بتحطيم الطعام حتى قبل ابتلاعه . تقوم الطيور بخزن الطعام اولا في الحوصلة ثم تمرره تدريجيا خلال معدة ضيقة الى القانصة القوية غشنة الجدران .

الأرض حيث يمكن أن تكون عرضة للأعداء ، وتعود إلى المناطق الأكثر أمناً مثل الأشجار حيث يمكن أن تكون عرضة للأعداء ، وتعود إلى المناطق الأكثر أمناً مثل الأشجار حيث يمكنها أن تتكاثر أو تبني الأعشاش أو تقوم بأشياء أخرى بينما يهضم الطعام . وتستعمل الحوصلة أيضاً عند الكثير من الطيور ككيس تنقل فيه الطعام لأطفالها . وقد كونت بعض الحيوانات الأخرى أعضاء للخزن ذات إمكانيات كبيرة . فانثى البعوض مثلاً تحتوي على كيس داخلي مغلق يدعى بالكييس حيث تخزن الدم الذي تمتصه من فريستها . وهذا الكييس يمكن أن يتمدد فيتسع لكمية من الدم تكفي لغذاء البعوض عدة أيام . وهذه ميزة مهمة للبعوض الذي يتعرض للقتل في كل وقت يهجم فيه على يد الأنسان لأخذ وجبته .

وأخيراً ، فإن بعض الحيوانات الأخرى قد تجنبت مشاكل الهضم . وأصبحت طفيليات كالدودة الوحيدة التي تمضي حياتها داخل الجسم أو القناة الهضمية للعائل . وعندها تكون محاطة باستمرار بالغذاء المهضوم الذي تستطيع ، ببساطة جمعه واستعماله . أي أنها تترك معظم العمل على عائلها .

تبادل الغازات والتنفس Gas exchange and respiration

يمكن للحيوان أن يحيط نفسه بالغذاء ، ولكن إذا أخذ منه الأكسجين فإنه يموت علىكل حال . فالأكسجين ضروري للتنفس الخلوي والنشاطات الحيوية كي يتمكن من إنتاج

الطاقة وبناء الخلايا وبالتالي بناء الجسم ، وبدون هذه النشاطات فإن الحياة تتوقف . فالحيوانات إذن بحاجة إلى جهاز للحصول على الأكسجين من المحيط الخارجي إلى الخلايا وكذلك للتخص من ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج عن النشاطات الحيوية – أي أنها بحاجة إلى جهاز للتنفس أو لتبادل الغازات .

وكل الحيوانات بحاجة إلى الأكسجين . وهناك أساساً موقعان يوجد فهيما الأكسجين : الهواء والماء . وتعتمد طرق الحصول على الأكسجين على حجم الجسم وتكوينه المحيط الخارجي وطريقة الحياة ، ومستوى النشاط الحيوي . ويبدو أن العامل الرئيسي الذي يؤثر في نوع وتكوين الجهاز المستعمل لتبادل الغازات يعتمد على مصدر الأكسجين : أهو الماء أم الهواء . فالأكسجين الموجود في الهواء يزيد عشرين مرة عن ذلك الموجود في الماء . ومن ناحيةأخرى فإن حالة تبادل الغازات يجب أن تتم عن طريق امتصاص الغاز من خلال غشاء رطب . وفي الهواء يكون هذا الغشاء عرضة للجفاف . إذن فإن طاقة أقل تلزم للحصول على كمية كافية من الأكسجين في الهواء ، إلا أن الغشاء المستعمل لتبادل الغازات يجب أن يكون هو أيضاً محمياً بشكل جيد . إذن كلا المصدرين ليس ممتازاً .

واحتياجات الأكسجين تختلف كثيراً بالنسبة لحجم الجسم مثلاً عن بلح البحر mussel يحتاج إلى عشر (١٠/١) من كمية الأكسجين التي يحتاج إليها الأنسان في حالة الراحة ، ويتفاوت احتياج السمك من النصف إلى الضعف ، والفراشة المرتاحة تحتاج إلى ٣ أضعاف والفأر المرتاح يحتاج إلى ١٢ ضعفاً إذن ، فإن بلح البحر يستطيع أن يعتمد على جهاز بسيط لتبادل الغازات ، بينما يحتاج الفأر إلى جهاز يمكنه من الاستفادة من كل جزيء أكسجين .

والتفاوت في الاحتياجات للأكسجين يؤدي إلى فروق في جهاز التنفس وهذا يظهر في أربع نقاط: مدى كثافة الغشاء المستعمل للتبادل ومدى تعرضه للغازات ، ومدى قدرته على استخلاص الأكسجين وإخراج ثاني أكسيد الكربون ، وأخيراً طبيعته الميكانيكية الموجوتدة لإيصال الهواء أو الماء إلى سطح الغشاء .

الأجهزة الغشائية الجلدية Integumentary ststems

الميكانيكيات المميزة لتبادل الغازات تظهر في درجات عليا من التطور بالمقارنة بالأجهزة الهضمية . فجسم الأسفنج والجوفمعويات والديدان المفلطحة مكون من بضع خلايا

وبالتالي فإن الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ينتشر رأساً ما بين المحيط والخلايا على كل سطح الجسم . ولا يوجد عندها حاجة إلى ترتيبات متميزة أخرى . وفي دودة الأرض أيضاً يكون التنفس بواسطة الانتشار خلال الجلد ، ولكن بوجود فارق : فالأكسجين هناك ينتشر مباشرة إلى أنسجة الجسم ولكنه يذهب إلى الدم أولاً ومن ثم يحمله الدم إلى أجزاء الجسم نوهذا يمثل ثورة في التطور . ومع أن هذه الدودة صغيرة الحجم إلا أنجسمها أسمك وأعقد كثيراً من الهيدرا أو البلاناريا . فالانتشار بين المحيط والخلايا لا يتم بسرعة كافية مما يدعو إلى الاعتماد على جهاز داخل آخر لنقل الغازات .

وهذه العلاقة بين تبادل الغازات والنقل في الدم موجود تقريباً في كل الحيوانات العليا– باستثناء الحشرات . وكما سنرى ، فإن بناء الكثير من الأجهزة الدورية صمم أولاً لنقل سريع للغازات التنفسية ولولا ذلك لكان وجود حيوانات ذات حجم كبير غير ممكن .

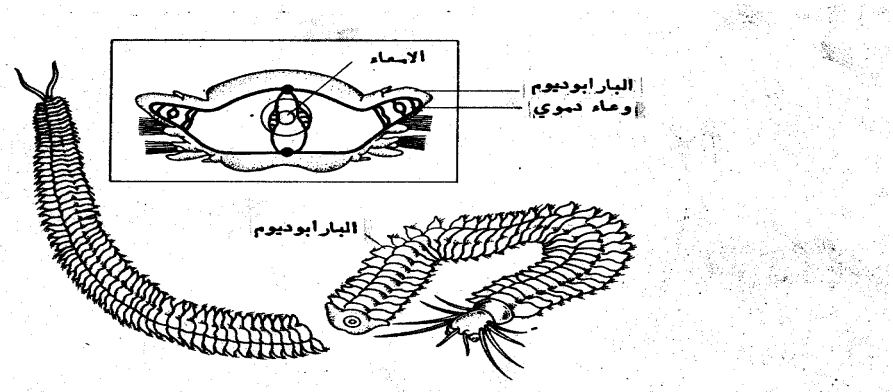
وهناك عدد كبير من الحيوانات العليا تستعمل الجلد أي التنفس الجلدي – لكل احتياجاتها أو لجزء منها لتبادل الغازات كما رأينا في دودة الأرض . فالضفادع توالايكليس eels مثلاً تتنفس جزيئياً بواسطة الجلد وأغسية الفم ، بالإضافة إلى الخياشيم أو الرئة . وبعض أنواع السلمندر تعتمد كلياً على التنفس الجلدي . وكما هو متوقع في التنفس الجلدي فإن الجلد هنا غني جداً بالدم . وتظهر هناك بعض العوائق في التنفس الجلدي . فعندما يمثل سطح الجسم غشاء يستعمل لتبادل الغازات فإنه يجب أن يكون هذا السطح رطباً طوال الوقت . أما بالغطس في الماء أو بإفراز مواد مخاطية وهذا يستهكل ماء الجسم الداخلي . إذن ليس بمفاجئ أن نجد أن الحيوانات وبمراحل مبكرة ، قد بدأت بإيجاد طرق أقل أزعاجاً للحصول على الغازات .

الخياشيم: Gills

أول تطور حدث هو أن جزءاً معيناً من سطح الجسم أصبح متخصصاً أكثر لتبادل الغازات . وأصبح أيضاً غنياً بالدم . وهذا طبعاً سمح لحماية الأجزاء الأخرى للجسم . والمرحلة التي تلت ذلك كانت توسعاً في الجزء المخصص للتبادل واعتمدت هذه الزيادة على الإنشاءات وأخيراً ، تطورت طرق حماية هذا السطح دون منع وصول الماء إليه .

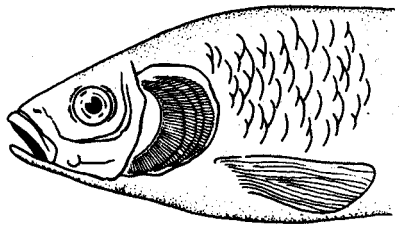
وتتمثل المرحلة الأولى في دودة التيوبفكس وهو دودة مائيةقريبة لدودة الأرض . ففيها طرف الجسم الأخير غني بالدم- يكون هذا الجزء عادة أحمر اللون- وتعيش الدودة في جحر محمية وتبقى مؤخرتها فقط خارج هذا الجحر وتحركه بنعومة . وهذا الجزء الجهاز- البسيط يفي بحاجة الجسم ويمكن هذه الديدان من العيش في مناطق ملوثة أو في مياه تحتوي كمية قليلة من الأكسجين .

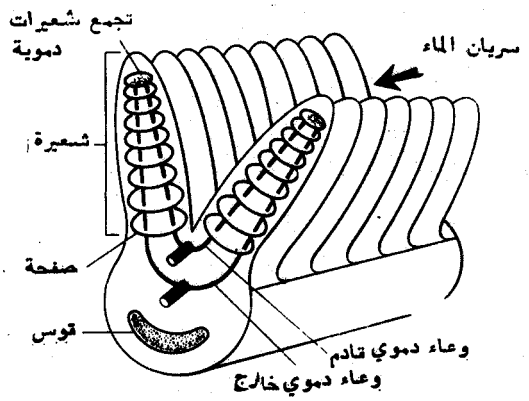
وتتمثل المرحلة الثانية في دودة أخرى من الديدان الحلقية تعيش في الماء النيريس – Nereis . وعند هذه الدودة أجزاء تعرف بالبارابوديا وهي رقيقة ، ذات غطاء ، ومزودة بأوعية دموية تمتد علىجانبي كل قطعة من الجسم فتوفر منطقة واسعة لتبادل الغازات أكبر بكثير من تلك التي يمكن أن يزودها سطح الجسم نفسه (ومع ذلك فإن هذه الدودة لا تزال تستعمل سطح جسمها لتبادل الغازات بالإضافة إلى استعمالها هذه الأجزاء).



الشكل (١٥ ــ ٧) : نظام الخيشوم البسيط في دورة النيرس على هذا المستوى المبكر من التخصص ، نجد ان انسجة التبادل الغازي لا تزال موزعة على طول الجسم ، بدلا من ان تكون مركزة في منطقة واحدة صغيرة او اثنتين كما ستكون الحال فيما بعد .

وهناك نوع آخر موجود في نجم البحر . فإن الخياشيم تتوزع في أجزائه الصغيرة الشبيهة بالأصابع علىمعظم أجزاء الجسم . ومثل الكثير من الشوكيات (القنفذيات) فإن نجم البحر يقوم بعمله بطريقة مختلفة . فالخياشيم الجلدية متصلة بالتجويف السيلومي وليس بالجهاز الدموي ، وهذا التجويف يفتقر إلى الصفات الموجودة في الدم وهي التي تحمل الأكسجين . لذا فإن هذا أقل قدرة على نقل الغازات وكما سيذكر فيما بعد . فإن الجهاز الدوري يتحمل معظم العبء ، التنفسي في الشوكيات .





الشكل (١٥ ــ ٨) : خياشيم سمكة عظمية نموذجية . لقد ازيل غطاء الخياشيم ليبين ترتيب الخياشيم .

وللأسماك ومعظم الحيوانات المائية المتطورةخياشيم محميةومقسمة إلى أقسام صغيرة جداً ذات كفاءة عالية . ففي الأسماك العظمية تكون الخياشيم محمولة على قوس داخل غرفة عظمية وكل خيشيوم يحتوي على عدد كبير من الخيوط الريبشية التي بدورها تكون مقسمة إلى إنشاءات أو طبقات ثانيوة مما يوفر مساحة سطحية كبيرن يمر الماء باستمرار في اتجاه واحد داخل الخياشيم فهو يدخل من فم السمكة عبر البلعوم مثيراً غطاءين خيشوميين خلف الخياشيم . وعند بعض الأسماك ميكانيكية دفع خاصة للحفاظ على استمرار مرور الماء . وهناك أسماك أخرى مثل الحوت والطون والاسقمري mackerel تفتقر إلى هذه الميكانيكية ، وبالتالي فعليها أن تزود الخياشيم بالمياه التي تحمل الأكسجين . ففي خياشيم السمك يكون التنظيم في مصدر الدم جيداً وكافياً . فأوعية الدم مرتبة بطريقة يكون فيها كل من ممر الدم وممر الماء في اتجاهين تعاكسين وينتج عن ذلك يزادة في استخلاص الأكسجين وإخراج ثاني أكسيد الكربون أكثر من الحالة التي يكون فيها المجريان في اتجاه واحد . وهذا مثل لمبدأ تبادل المجرى المتعاكس . وهو يستعمل في أجزاء أخرى من الجسم . فيتم تبادل الغازات بواسطة الانتشار السلبي أي أن عملية الانتشار تتم فقط عند وجود فارق في التركيز . وعندما يكون مجرى الدم في اتجاه مخالف عن اتجاه مجرى الاء في الخياشيم فإن ذلكيبين هذا الفرق عندما تكون المادتان متلاصقتين . أي عندما يمر الدم أولاً في الجزء الخلفي من

الطبقةالخيشومية فإن الأكسجين يكون قليلاً بحيث يستطيع الدم أن يأخذ الأكسجين من المـــاء الذي كان قد فقد أيضاً جزءاً من الأكسجين يكون قليلاً بحيث يستطيع الدم أن يأخذ الأكسجين من الماء الذي كان قد فقد أيضاً جزءاً من الأكسجين بينما يتجه إلى الأمام . وفـــي الوقـــت الذي يصل فيه الدم إلى الجزء الأمامي فإنه (أي الدم) يحتوي على نسبة أكبر من الأكســـجين عندما يتصل الماء بالغني بالأكسجين وهو الذي دخل لتوه حجرة الخياشيم وبذلك يستطيع الدم أن يأخذ المزيد . ونتيجة لذلك فإن ٨٠% من الأكسجين المذاب في الماء يكون قد انتقل إلى الدم . بينما لو كان الماء والدم يسيران في اتجاه واحد فإن نسبة الأكسجين المنقـــول تكـــون ١٠%.

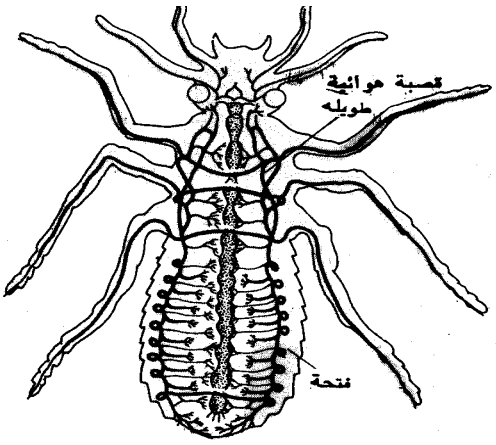
والحيوانات الرخوة مثل الصدفيات والمحار والحبار والمفصليات المائية مثل السلطعان والقريدس تستعمل أيضاً الخياشيم بقدرات مختلفة ولها طرق متنوعة في تزويدها بتدفق الماء الضروري.

الجهاز القصبي Tracheal systems

أن الخياشيم كافية جداً لتبالد الغزات في الحيوانات المائية . ولكن هذه الطريقة لا تفيد علىاليابسة . لأن وجود مجرى هواء مستمر وثابت بدلاً من المجري المائي خلال ســـطح الجسم الحساس يجففه بسرعة . وعندما بدأت الحيوانات محاولاتها للحصول على أكســـجين الهواء كان عليها أولاً أن تحل مشكلة الجفاف . فالمفصليات والفقاريات حلت هذه المشـــكلة بطريقتين مختلفين .

فالحشرات وهي أكبر مجموعة من المفصليات على اليابسة ، طورت جهـــازاً مـــن القصبيات ١- قنوات على سطح الجسم تحمل الهواء مباشرة إلى الأنســـجة ، دون جـــود اتصال مباشر بين الهواء والدم . فيدخل الهواء مباشرة إلى ا لأنسجة ، دون وجود اتصال مباشر بين الهواء والدم . فيدخل الهواء إلى القصبيات عبر فتحات spiracles وهي صفوف من الفتحات على طول جانب الجسم . تتفرع بعدها بقنوات في داخل الجسم باستمرار حتى تنتهي بقصيبات دقيقة يبلغ قطرها أقل من ميكرون . وتكون هذه القصيبات علـــى اتصـــال مباشر مع خلايا الجسم . وبذلك ينتشر الأكسجين وثاني أكسيد الكربون رأساً من خلالها مثل ما يجري في اللافقاريات البسيطة المائية .

وفي الأساس ، أن ما يؤثر على حركة الهواء إلى داخل أو خارج القصيبات هو تركيز الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وهذا أسلوب بطيء مما يجعل القصيبات غير ملائمة لنقل الغازات التنفسية لمسافات طويلة ، حتى لو كان انقباض العضلات يساعد على سرعة الحركة إلى حد ما . ومما لا شك فيه أن هذا هو أحد الأسباب التي تجعل الحشرات – كمجموعة– صغيرة الحجم .



الشكل (١٥ ــ ٩) : الجهاز التنفسي القصبي في حشرة نموذجية . تماما كالشعيرات الدموية تقسم القصبات الهوائية الى مئات الانبيبات الصغيرة لتزود كل الانسجة والاعضاء الداخلية .

تفتح وتغلق ، مما يساهم في تقليل فقدان الماء . إذ يتشبع الهواء بماء الجسم يمكن حول القصبات فيجعل الأغشية رطبة . وتفتح الفتحات التنفسية فقط بقدر الحاجة للسماح بتبادل الغازات في اليرقات المائية لبعض الحشرات الأرضية . ففي يرقة ذبابة الدراجون dragonfly مثلاً ، تنتهي القصيبات في خياشيم وليس في فتحات تنفسية ، والخياشيم هنا تبرز في حجرة مملوءة بالماء . فالخياشيم تسحب الأكسجين من الماء وتنقله إلى القصيبات وبذا تبقى الأخيرة بعيدة تماماً عن المحيط المائي وتعمل كما لو كانت جزءاً منا لحشرة الناضجة (الكاملة النمو).

الرئات Lungs

الحيوانات الأخرى التي تتنفس الهواء تحتوي على الجهاز الرئيسي للتنفس –الرئات ومثل الخياشيم في الأسماك ، فإن الرئات أغشية مقسمة إلى أجزاء دقيقة ، غنية بالأوعية الدموية التي تمثل سطحاً واسعاً لانتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون . ولكن بدلاً من أن تكون العملية خارج الجسم فإنها تتم داخله . وبالتالي فإن الهواء يسير في ممر طويل حيث يرطب أو يدفأ (في الحيوانات ذات الدم الحار) قبل أن يصل هذا الهواء إلى أغشية التنفس. وهذا يمنع أحداث ضرر فيهذه الأغشية . وهو يختلف عن الجهاز القصبي بأنه مجهزة

بميكانيكية دفع نشطة لسحب الهواء إلى الممرات التنفسية ودفعها للخـــارج مـــرة أخـــرى . وبذلك فإنها تستطيع أن تؤمن كمية الأكسجين اللازمة للحيوانات كبيرة الحجم مثـــل الفيـــل والحوت كما كانت في الماضي تؤمن هذه الكمية للحيوانات الضخمة كالديناصور .

ومن الممتع ملاحظة أن الرئات لم تتكون فقط في حيوانات اليابسة بـــل أيضـــاً فـــي الأسماك الأولية التي تعيش في المياه الراكدة أو في البرك ذات الماء القليل والتي تتعـــرض للجفاف في بعض الأوقات . والأسماك القليلة التي ما زالت تعيش اليوم ، والتي تتـــنفس بواسطة الرئات تعيش الآن في مثل هذه المياه ، وبالتالي فإنها تحتاج إلى الرئات لمساعدة الخياشيم عندما يكون الأكسجين في الماء غير كاف .

أن درجة التشعب في أغشية الرئة– وبالتالي مساحة السطح القابل للانتشـــار تختلـــف كثيراً فمثلاً رئات الأسماك تشبه الأكياس الصغيرة البسيطة ، أما في الضفادع فهي أكثـــر توسعاً ولكنها لا تعمل بعد بطريقة غير إرادية . أما الزواحف وخاصـــة الزواحـــف علـــى اليابسة التي لا تستطيع أن تؤمن جلداً رطباً يفي بأغراض التنفس الجلدي ، فهي تملك رئات متطورة أكثر من الضفادع . وأما في الطيور ذات الدم الحار والثدييات وكلاهما يحتاج إلى كميات كبيرة من الأكسجين فإن الجهاز التنفسي أكثر تطوراً . سوف نركز علـــى عمليـــات التنفس في هذه الأجهزة المتقدمة في فصل آخر .

الرئات الكتابية Book lungs

هناك أعضاء تنفسية غير عادية . تدعى بالرئات الكتابية ، وهـــي موجـــودة فـــي العناكب وبعض الحيوانات العنكبوتية . وهي تتألف من مجموعة مـــن الصـــفائح الرقيقـــة مصفوفة جنباً إلى جنب مثل صفحات الكتاب ، ومعلقة في غرفة محمية . يدخل الهواء إلى الغرفة من خلال فتحات في البطن ويسير بين الألواح نفسها ويتم الانتشار بين الهواء والـــدم تقريباً مثل ما رأينا في الخياشيم .

التركيب الذي يشبه الورقة في الرئة الكتابية يمثل طبقات الخياشيم من ناحية أخرى ، ففي أكثر العناكب (وليس جميعها) تحل القصبات محل الجزء الخلفي للرئة الكتابية– وهـــذا يوحي بأن الرئة الكتابية ربما تمثل خطوة وسطى في التطور بين الخياشيم والقصبات.

النقل الداخلي Internal transport

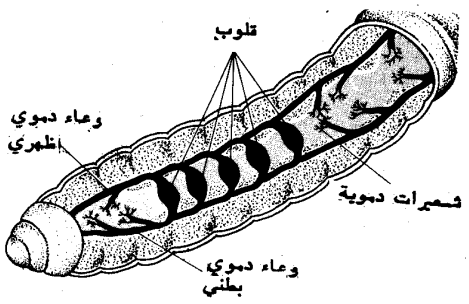
أننقل أية مادة من مكان إلى آخر في الجسم هي وظيفة جهاز النقل . وهنـــاك مـــواد أخرى غير الغذاء والغازات التنسفية تنقل لتصل إلى "موقع العمل" في الخليةحيث تلزم مثـــل الفضلات التي يجب أن تخرج والرسائل التي تنقل بواسطة كيماويات متخصصة أو بواسطة هرمونات والدماغ كذلك لطرد الكائنات المهاجمة .

فالحيوانات البسيطة ، مثل الأسفنج ومعظم الجوفمعويات ، والديدان المفلطحـــة . ينقيها جهاز للنقل الداخلي . وهذا يرجع لنفس السبب في تحديد الجهاز التنفسي فخلاياها كلها قريبة أو متصلة مباشرة مع المحيط . لذا فإنها لا تحتاج إلى مثل هذا الجهاز . فقنديل البحر Jellv fish ، له ترتيب خاص للحصول على الغذاء وإدخاله من خلال الطبقـــة الســـميكة المحيطة بالجسم والتي تشبه الجيلاتين ثمالهلام المتوسط غير الخلوي الذي يفصـــل النســـيج الخارجي عن الطبقة الداخلية حول التجويف المعوي الدوري . فتملك هذه الحيوانات عدد . الخلايا الأميبية المتحركة . التي تلتقط أجزاء الطعام من الخلايا المحيطية بالتجويف وتحمل معها خلال الهلام المتوسط إلى جدار الجسم الخارجي . مثل هذا الجهاز يعتبر جهاز نقـــل بدائياً بطيئاً لا يمكن الاعتماد عليه في أفضل حالاته . فجهاز النقل الذي يكون في الحيوانات الأخرى عدا الحيوانات البسيطة يعرف بالجهاز الدوري . فهناك سائل يـــدعى الـــدم يمـــر بطريق دائري خلال مجموعات من القنوات أو الفجوات تعود بعدها إلى نفس البقة ، وبذلك تلتقط وتعطي المواد خلال سيرها .

والجهاز الدوري الصحيح يظهر بعد ظهور الجهاز الهضمي رأساً . فحـــين تصـــبح عملية امتصاص الغذاء من جزء معين من الجهاز الهضمي بدل أن تكون في كل فجـــوة ، فيجب عندها أن يكون هناك بعض الوسائل لتوزيع الغذاء لأجزاء الجسم . ومع ذلك ، فإنه من الملاحظ أن أهمية الجهاز الدوري متعلقة بالجهاز التنفسي أكثر مـــن الهضـــمي ربمـــا للأكسجين أهمية وحيوية أكثر من الغذاء بالنسبة للجسم .

الجهاز الدوري المغلق Clossed circulatory systems

أن العناصر الرئيسية للجهاز الدوري النموذجي موجودة في دودة الأرض . فيضخ الدم بواسطة عدة أزواج من الحجيرات المكبرة (أو القلوب) إلى وعاء رئيسي يكون في الجهة البطنية أو السفلية للجسم . أما القلوب فإنها تكون بالقرب من لجزء الأمامي أو في رأس الحيوان . ويسير الدم باتجاه الجزء الخلفي – والأوعية بدورها تتفرع إلى أجزاء أصغر في ذلك الاتجاه حتى تصل إلى شعيرات صغيرة جداً تصل إلى كل الأعضاء والأنسجة في الجسم . ومن خلال هذه الشعيرات الدقيقة يتم تبادل المواد مع الأنسجة في الجسم . ومن خلال هذه الشعيرات الدقيقة يتم تبادل المواد المواد مع الأنسجة المحيطة . وبعد ذلك تتجمع هذه الشعيرات مرة ثانية في أوعية فرعية وهذه بدورها تكون وعاءاً رئيسياً أكبر يتجه إلى الأمام ليصل القلوب .



الشكل (١٥ – ١٠) : الجهاز الدوري المغلق لدودة الارض . ان الخمسة ازواج من القلوب هي اكثر بقليل من مجرد كونها اوعية دموية منخفضة التخصص ، ومختلفة جداً عن القلوب المعقدة والمقسمة الى غرف والموجودة في الفقريات الراقية .

والجهاز الدوري الذي تألف من القلب والأوعية الرئيسية والأوعية الفرعية والشعريات له نفس التركيب كذلك الذي في الأنسان بالإضافة إلى ذلك فإن دودة الأرض تستعمل دمها ، كالأنسان أيضاً ، لنقل الغازات التنفسية ، مع العلم بأن لدودة الأرض جهازاً دورياً متخصصاً ، والكثير من الشعيرات الدموية تسير ملاصقة لسطح الجسم . وبالتالي ، فعندما ينتشر الأكسجين من خلال الجلد من الخارج فإنه يلتقط بواسطة الدم داخل الشعيرات . وانتشار الأكسجين من الرئات إلى الدم يتم بنفس الطريقة .

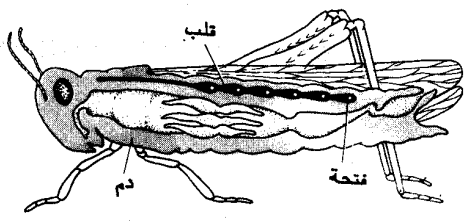
أن أهمية الغازات بواسطة الدم في الحيوان تظهر لوجود صبغات تنفسية متخصصة في الدم وهي جزيئات من البروتين تحتوي على عناصر يمكنها حمل كميات من الأكسجين أكثر بكثير من تلك الكميات التي تذوب في سائل البلازما وحده . وهذه الصبغات التنفسية تحتوي على الحديد وغيره عند حيوانات أخرى مثل النحاس والفانيدوم وعناصر أخرى .

وفي الحيوانات الدنية ، تكون هذه الصبغات مذابة في البلازما ولكنها في الحيوانات العليا تكون في داخل خلايا مثل خلايا الدم الحمراء في الأنسان فهذه الحيوانات تحتاج إلأى الكثير من الصبغات لتوفر لها الكميات الكبيرة من الأكسجين الذي تحتاجه هذه الحيوانات فلو لم تكن هذه الصبغات في الخلايا أي ل و كانت في البلازما فقط فإن مثل هذه لكيمات الكبيرة تجعل الدم كثيفاً جداً حيث لا يتمكن من السير داخل الشعيرات الدموية .

والجهاز الموجود في دودة الأرض يعرف بالجهاز الدموي المغلق . وهذا يعني أن الدم يبقى في أوعية ضيقة معينة ويسير بواسطة ضغط القلب أو القلوب الأخرى التي تنبض . وهذه الأجهزة المغلقة موجودة في لافقاريات أخرى ، وكذلك في كل الفقاريات والكثير من اللافقاريات طورت جهازاً بديلاً .

الجهاز الدوري المفتوح Open circulatory systems

هناك جهاز موجود في بعض الديدان الحلقية توالرخويات والمفصليات ويعرف بالجهاز الدوري المفتوح . في هذا الجهاز لا يبقى الدم داخل أوعية معينة ، بل يسير خارجاً إلى فراغات كبيرة كالجيوب hemocoels التي تشغل معظم التجويف الداخلي للجسم حيث تكون محاطة بالأعضاء والأنسجة ، أو تعود في النهاية وعادة من خلال فتحات ostia إلى الجزء الحلقي للوعاء الدموي الرئيسي الذي يمثل بدوره القلب .



الشكل (١٥ ــ ١١) : الجهاز الدوري المفتوح في الحشرات . يقوم وعاء القلب الظهري بالمحافظة على جريان الدم بانتظام وباتجاه واحد ، ولكن ليس هناك اوعية متفرعة أو شعيرات دموية كما في الجهاز الدوري المغلق .

من النظرة الأولى ، يظهر لنا بأن هذا الجهاز ليس كفؤاً . فالدم هنا ، يمر في فجوات كبيرة مفتوحة ، فكيف يمكن له أن يدور بسرعة كافية لنقل الكمية اللازمة من الأكسجين ، وأهم من ذلك كيف يوصله إلى الأنسجة وكيف يمكننا أن نؤكد بأن الدم يدور ولا يبقى راكداً فقط في مكان ما حتى يموت الحيوان؟

أولاً: أن نقل الغازات في الكثير من هذه الحيوانات لا يكون وظيفة رئيسية للدم . ففي بعضها ، وبخاصة في الحشرات ، تكون الصبغات التنفسية ليست موجودة أصلاً . فكما ذكرنا سابقاً أن الحشرات تتنفس بواسطة القصبات التي توصل الأكسجين رأساً إلى أعماق الجسم دون استعمال للأوعية الدموية . ويمكن نقل المواد الأخرى . كالغذاء ببطء أكثر . أضف إلى ذلك أنه حتى لو لم يتمكن القلب من أعطاء ضغط ودفع كافيين لتحريك لدم بسرعة ، فإن أعضاء أخرى من الجسم تقوم بذلك . فانقباضات عضلات الجسم أثناء حركتها العادة يدفع بالدم ويسبب له دوراناً أسرع .

ومع ذلك فهناك عدة عيوب للجهاز المفتوح . فهو بالتأكيد لا يفي بغرض جسم كبير الحجم . وإذا سألنا لم تكون هذه الجهاز في الأصل ونحن نعرف أن مثل هذه الحيوانات يكون في حالة أفضل لو كان لديه جهاز مغلق؟ نلاحظ أن الجهاز الدوري المفتوح موجود فقط في اللافقاريات وفي الحيوانات التي ليس لها هيكل داخلي مثل المفصليات والحلقيات فإن الجهاز الدوري يقوم بعمل الهيكل ويسمى عندها هيكل التوازن hydrostatic الذي يعتمد على ضغط السوائل . وباستعمال انقباضات العضلات في زيادة ضغط الدم في التجويف فإن بعض الحلقيات مثل العلق الطبي يتمكن من تحديد شكل الجسم الطري ويعطي عضلاته الأخرى أشياء تشد ضدها مثل عضلات الفقاريات التي تشد على العام المفصلية لتوليد حركة الجسم .

والمفصليات ، تستعمل الدم بطريقة مماثلة ، فحين تدفع الدم إلى أجزاء معينة من الجسم فإنها تساعد بذلك على رفع قرون الاستشعار وتحرك أرجلها أو تفتح الأجنحة المعلقة المتكونة حديثاً بعد أن تخرج من الكيس في طور العذراء ، والرخويات ذات الصدفتين bivalve mollusks تستعمل هذه الطريقة لتقوية حركة الدفن المقدم .

تغييرات المتأقلم Adaptive variations

أن الجهاز الدوري يعطي مثلاً جيداً في التأقلم التطوري لأوضاع مختلفة . فالمفصليات المائية مثلاً التي تعيش في محيط ذي تركيز أكسجين أقل من ذلك الذي في الهواء عليها أن تستعمل الدم أكثر لنقل الأكسجين . وتبعاً لذلك فإن جهازها الدوري يختلف فهو ما زال من النوع المفتوح إلا أن الجزء المغلق منه – الجزء الموجود في الأوعية

الدموية وليس في الفراغات الدموية hemocoles أو في الجيوب- هو الجزء الأكبر . مما يسمح بالمحافظة ، وإلى حد ما على ضغط أكبر وحركة أسرع للدم .

وفي العديد من القشريات التي تملك جهازاً دموياً أكثر كثافة بأوعيته الدموية يحـــرك الدم أيضاً خلال الجيوب المتصلة بالخياشيم لا لتقاط الأكسجين وطرد ثاني أكسيد الكربون في كل دورة للدم . وأخيراً فإن المفصليات المائية تختلف عن باقي الحشرات بأنها تملك عـــادة صبغات تنفسية .

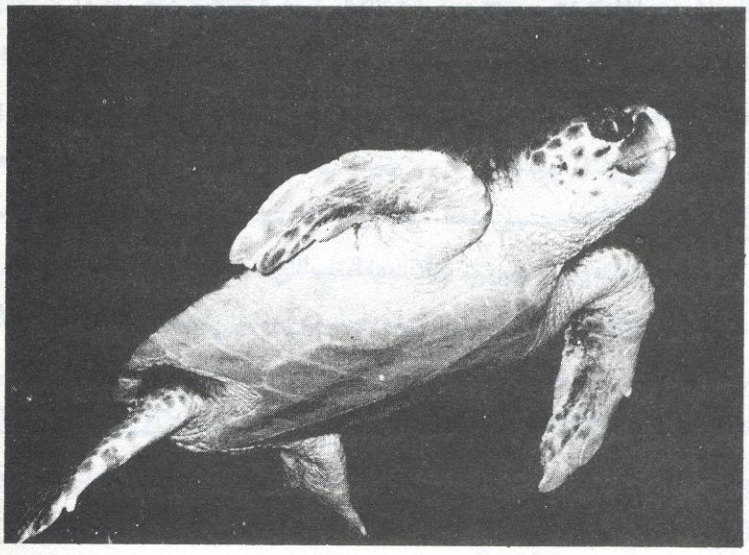
وفي الرخويات أيضاً يوجد مجموعة تختلف كثيراً عن غيرها بجهازها الدموي- وهذه المجموعة هي رأسيات الأرجل cephalopods والسبب في هذا الاختلاف هو أيضـــاً نقـــل الغازات . فنجد أن الحبار وهو سريع الحركة وكذلك الأخطبوط يحتاجان إلى كمية أكبر من الأكسجين من تلك التي يحتاجها المحار أو الحلزون قليلا الحركة وبالتالي فإنها تحتوي على جهاز دوري مغلق يحافظ على الدم تحت ضغط عال ، وأكثر من ذلك ، فإننا نجد أن لها قلوباً أضافية ، تعرف بالقلوب الخيشومية branchial hearts تقع في قاعدة الخياشـــيم . وهذه تدفع بضغط حين يمر الدم خلال الشعيرات الدموية الضيقة الموجودة في الخياشـــيم ، فترس الدم المؤكسد الطازج بسرعة عائداً على القلب الرئيسي لإعادة الدورة إلى باقي أجزاء الجسم . وبذلك تكون رأسيات الأرجل قد حلت مشكلة واجهت الحيوانات ذات الجهاز المغلق فعندما يمر الدم خلال الشعيرات في الخياشيم الضيقة أو في شعيرات الرئة لأخذ الأكســـجين وطرد ثاني أكسيد الكربون فإن حركة الدم تقل بسبب الاحتكاك مما يؤدي إلى انخفاض ضغط الدم . منتظمة فتوزع الأكسجين بطريقة غير متكافئة . وعند وجود ضغطين على الـــدم ، احدهما قبل أن يمر الدم خلال الخياشيم ، والآخر بعد أن يترك الخياشيم وقبل أن يوزع الدم إلى أجزاء الجسم الأخرى ، تكون رأسيات الأرجل قد أزالت منطقة تعرف "بعنق الزجاجة" الذي يعيق سرعة تسليم الأكسجين . وهذا التأقلم ليس موجوداً في الحيوانات الأخرى عـــدا الفقاريات المتقدمة كالثدييات والطيور والقليل من الزواحف التي استطاعت أن تقوم بـــذلك . أما الطريقة لذلك فسنراها في فصل (١٧) وهي تغيير بسيط على نفس الهندسة الأساسية .

تنظيم الضغط والإخراج Osmoregulation and exretion

بدأت الحياة في الماء ، ويمكن القول أنها ما زالت في الماء وأن حيوانات اليابســـة حتى تعيش وتعمل تحتاج إلى سوائل في الجسم- ليس فقط في الدم ، في داخل كل الخلايا وحولها . وهذه السوائل لا تتكون في الماء الصافي فقط ، بل تحتوي على مـــواد غيـــر

عضوية بعضها يكون جزءاً دائماً من السائل ، بينما ينتقل البعض الأخر من مكـــان إلـــى مكان . فوجود مثل هذه المواد يعطي بعض الضغط الأسموزي . وكما نعلم فإن اخـــتلاف الضغط على جهتين من الغشاء ، بسبب وجود فرق في تركيز المذاب ، فإن الماء عندها ينتشر خلال الغشاء . الجهة ذات التركيز الأكبر حتى يتساوى الضغطان . وحسب نفاذيـــة مثل هذا الغشاء ، فنجد أن المذاب أولاً من المسرور إلى الجهة المعاكسة . أن هذه حقيقة

الشكل (١٥ ــ ١٢) : طائر النؤ المعلاق والسلحفاة البحرية ــ كـــلا الحيوانين يقذف الاملاح الزائدة خلال غدد خاصة في الرأس . تلك الغدد فـــي طائر النؤ تعرفها خلال الفتحات الانفية البارزة على قمة منقارها الثقيل .



كيماوية بسيطة إنما ولكنها من جذور المشاكل التي على الحيوانات أن تجد لها حـــلاً لكـــي تستطيع أن تعيش في المحيط حولها وعليها إيجاد توازن مناسب بين الماء والمذاب بالنســبة للأنسجة أي الاتزان البدني homeostasis والذي قد يختلف عن ذلك الموجود في محيطهـــا الخارجي . والحيوانات تتفاعل مع المحيط ولذا فإن عليها أن تحتوي أغشية تسمح بالانتشار بين المحيط وأنسجة الجسم كتلك الموجودة في الخياشيم والرئات والقناة الهضمية وجـــدران الشعيرات الدموية وإذا لم تستطع الحيوانات إيجاد طريقة للتـــوازن بتغيـــر التـــوازن للمـــاء والمذاب فإنها تموت وهذه الطريقة في التوازن تعرف بالتوازن الاسموزي .

المحيط والتوازن الأسموزي Environment and osmoregulation

بما أن حياة الكائنات قد بدأت في البحار ، فإننا نتوقع أن الكائنات التي مـــا زالـــت تعيش في البحار اليوم ، لا تواجه مشاكل جدية في التوازن الأسموزي وأن التركيـــز فـــي سوائل الجسم مساو لذلك الذي في ماء البحر . وفي الحقيقة أن الأمور ليست بهذه البساطة . مثلاً عند الفقاريات المائية تركيز مشابه لذلك الذي في ماء البحر– أي أنها بالنسبة للمحـــيط تعرف بذات الضغط للأسموزية isosmotic ولكن هناك إمكانية بتغيـــر المحـــيط نفســـه ، وبالأخص في المستنقعات التي تنشأ بسبب المد والجزر . وفي مثل هذه الحالة فـــإن علـــى الفقاريات عمل أحد شيئين: أما أن تغلق نفسها عن المحيط الخارجي فـــي الظـــروف غيـــر المناسبة ، أو أن تتأقلم مع هذه التغيرات . والرخويات ذات الصدفتين مثلاً . تتبع الحـــل الأول وهو أن تغلق أصدافها . فعندما يصبح التركيز في الماء قليلاً جداً فإنها تـــتمكن مـــن الاستمرار بالعيش دون الأكسجين لفترة معينة أي إلى أن يتحســـن التركيـــز فـــي المحـــيط الخارجي . أما الجمبري واسمه palaemonetes varians فيتبع الطريقة الأخرى– فيفيـــر التركيب الأسموزي لسوائل جسمه لتتناسب مع مياه المحيط . مثل هذه الحيوانـــات تعـــرف بتابعه الأسموزية osmoconformers وهذا يتناسب إلى حد ما مع الحيوانات البسيطة ومع المحيطات التي يكون التغيير فيها محدوداً . أما التأقلم ذو الأهمية الأكبر فيكون في إمكانية التنظيم الأسموزي وبالتالي بالمحافظة على تركيب أسموزي داخلي ثابتداخلي ثابـــت بغـــض النظر عن التغيرات التي تحدث خارج الجسم . وقد استطاعت بعض الفقاريات الأوليـــة أن تطور قابليتها لذلك ومن هذه الحيوانات نشأت حيوانات أخرى استطاعت أن تعيش في المياه الحلوة وبالتالي على اليابسة .

والمثال على ذلك أسماك المياه الحلوة ، واللافقاريات التي هي من سلسلة اللافقاريات المائية ذات التنظيم الأسموزي التي وصلت إلى الأنهار عن طريق المصبات وبالتدريج ، نجد أن هذه الأنواع قد أصبحت ذات تركيز أسموزي أقل من ذلك الذي في البحار ، ولكنها لم تكن أبداً قادرة على الوصول إلى مستوى المياه الحلوة . وبالتالي فإن مثل هذه الحيوانات أصبحت ذات تركيز أعلى من المحيط الخارجي أي عالية الأسموزية hyperosmotic . وعليها أن تجد نوعاً من لحماية حتى لا تميل وباستمرار إلى امتصاص المياه إلى داخل خلاياها وإلا انتفخت ثم انفجرت وربما تسربت أملاحها ايضاً إلى الخارج .

أما الأسماك البحرية التي هي من سلالة الحيوانات التي كانت تعيش في المياه الحلوة ثم عادت إلى البحار ، فإنها واجهت المشكلة المعاكسة . فبينما كانت أسلافها قد كونت تركيزاً داخلياً أقل فأصبح ماء البحر بذلك أكثر تركيزاً فإنها تصبح عندها ذات تركيز أقل أي منخفضة الأسموزية hypoosmotic وبالطبع فإن خلاياها عندئذ ستفقد الماء وتأخذ الأملاح من المحيط الخارجي وعندها تموت ، كما قد يحدث للمسافر الذي يضيع في الصحراء .

أما الحيوانات التي تعيش على اليابسة فإنها تواجه نفس الخطر مثل الفقاريات البحرية ، مع أن السبب في ذلك يختلف . فوجود الجفاف في المحيط الخارجي يساعد على تبخر المياه من خلال سطح الجسم غير المحمي . فتفقد الخلايا الماء وبالتالي يرتفع تركيز المذاب في الجزء الباقي من سوائل الجسم ويصبح أعلى من المستوى الذي يسمح لعمل الجسم . وزيادة في تعقيد المشكلة ، فإن الحيوانات تحاول التخلص من المذابات الزائدة وبعض فضلات الجسم الأخرى . وحتى تقوم بذلك فإن عليها أيضاً أن تضحى بكمية من الماء الذي يخرج مع البول والبراز .

وهناك أنواع أخرى من الحيوانات تواجه مشكلة التركيز الزائد في المحيط الخارجي كالزواحف البحرية والطيور والثدييات التي كانت تعيش أصلاً على اليابسة ومن ثم انتقلت إلى مياه البحر الذي أصبح أكثر ملوحة من اليابسة . وأسلوب حماية هذه الأنواع هو أساساً متشابه ويعتمد على جعل أكبر جزء من سطح الجسم غير منفذ للماء قدر الإمكان ، مع تطوير أعضاء لإخراج الماء أو المذابات التي لا يرغب الجسم في إدخالها أو أبقائها في الجسم ، وإيجاد الطرق خاصة للغذاء تساعد على ذلك .

وبالتالي نجد أن الأسماك التي تعيش في المياه الحلوة لها قشور تغطي الجسم لمنع امتصاص الماء من خلال الجلد . ونادراً ما تشرب هذه الأسماك . كما أن لها قدرة على إخراج بول أكثر تخفيفاً من سوائل الجسم ، وبالتالي فإنها تتخلص من الماء الزائد الذي يمكن أن يتسرب من خلال الخياشيم .

وبالمقابل . نجد أن الأسماك البحرية . تشرب باستمرار لتأخذ ماء يحل محل ذلك الذي يتسرب باستمرار خارج الجسم . وهي بذلك أيضاً تدخل كمية من الأملاح إلى جسمها وللتخلص من هذه الأملاح فإن هذه الأسماك لا تستطيع أن تكون بولاً أكثر تركيزاً من سوائل الجسم لذلك فإنها تلجأ على الخياشيم لإخراج الفائض من الأملاح بواسطة ميكانيكية تعرف بالنقل النشط من خلال أغشيتها . والطيور البحرية والزواحف تستعمل طريقة مماثلة . ولديها بالإضافة إلى ذلك غدة خاصة للأملاح .

أما الثدييات وبنوعيها المائي والأرضي (على اليابسة) فإنها قد طورت قابلية مفيدة لتكوين البول المركز . وهذا يساعدها على التخلص من جزء لا بأس به من الأملاح الذي يزيد عن حاجة الجسم مع خسارة أقل ما يمكن من الماء . ومع هذا فإن الجهاز المركز له حدوده ، فالحيوانات البحرية تحدد من أخذ الأملاح بأنها نادراً ما تشرب من هذا الماء وبدلاً من ذلك ، فإنها تحل على ما تحتاجه من الماء من سوائل الجسم أو من الحيوانات الأخرى التي تكون غذاءها- وهي حيوانات ذات تركيز أسموزي أقل من الحيط والحيوانات التي تعيش على اليابسة ، بما فيها الأنسان ، لا تواجه عادة مشكلة أخذ أملاح زائدة . ولكنها بحاجة إلى طريقة منتظمة للوصول إلى الماء ليحل محل ما تفقده أثناء الأخراج أو عمليات التبخر . وتطوير إمكانية الاحتفاظ بالماء داخل الجسم يكون بإخراج البول المركز وهو خطوة مهمة في التأقلم مع حياة اليابسة .

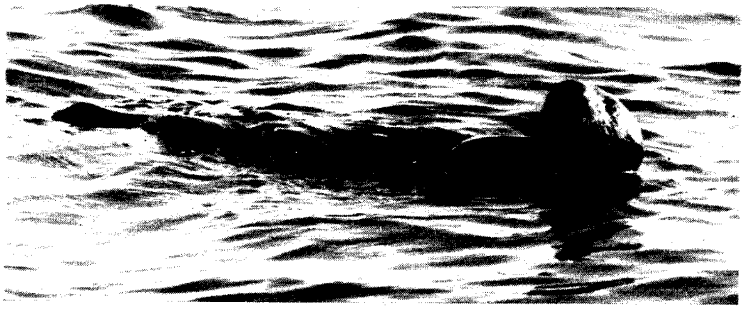
التنظيم الأيوني Ionic regulation

على الحيوانات ، بالإضافة إلى الحفاظ على توازن صحيح وكامل للماء والمذابات أن تحتوي على النوع الصحيح من المذابات وبالنسب المطلوبة . والكثير من المواد غير العضوية تستعمل في عمليات تنظيمية في الجسم . وعند وجود كمية أكثر أو أقل من ذلك قد يسبب مشاكل جدية . فالهيدروجين مثلاً قد يؤثر على حامضية الجسم وبالتالي قدرته على نقل الغازات التنفسية . فالصوديوم والبوتاسيوم تلزم في الكثير من العمليات : فمثلاً النقل الصحيح لسيالات الأعصاب . أن هذه المواد وغيرها تكون عادة في الجسم على شكل

أيونات ، أو تكون مشحونة كهربائياً . وعملية الضبط هذه تعرف بالتنظيم الأيوني . وهذا التنظيم مهم لكل الحيوانات ، حتى تلك التي يكون فيها التركيز الأيوني مشابهاً لذلك الـذي في المحيط الخارجي . وبالتالي فقد لا تحتاج إلى التنظيم الأسموزي .

إخراج النيتروجين Nitrogen excretion

أن على كل الحيوانات أن تتخلص من مركبات النيتروجين التي تشكل على هيئة فضلات ناتجة من النشاطات الحيوية وتحطيم البروتين . أن اعادة تركيب هذه المركبات في الجسم ربما يسبب أزعاجاً أو اختلافاً في التوازن أو أحداث تغييرات غير مرغوب بها في الجسم .



الشكل (١٥ ــ ١٣) : كلب الماء (القندس) يستلقي باسترخاء مريح مع ماء المحيط الهائج . ان هذا الحيوان الثديي اللعوب ، والذكي ، والذي يعيش غالبا كليا في البحر ، يتغذى على الاسماك قليلة الاملاح وعلى الرخويات العصيرية ، جاعلا مقدار ما يأخذه من الاملاح متناسبا مع المستوى الـذي يستطيع ان تصرفه كلياته .

وعندما تتحطم الأحماض الأمينية . يتحد النيتروجين من الجزء الأميني مع الهيدروجين فيكون الأمونيا ، وهي مادة سامة جداً جداً لا يمكن السماح لها بالتجمع في الجسم . ومعظم اللافقاريات المائية البسيطة يخرج الأمونيا مباشرة إلى الماء الخارجي المحيط بالجسم . والفقاريات عادة تحول الأمونيا إلى يوريا غير سامة ، يمكن ابقاؤها في الجسم لمدة ، وبعدها تخرج مع البول ، أن هذه ميزة مهمة بالنسبة للفقاريات وهي تقلل من سحب ماء الجسم . بينما الإفراز المتواصل للأمونيا يستلزم استهلاكاً متواصلاً للماء . والطيور والحشرات ومعظم الزواحف تقلل فقدان الماء بإخراج فضلات جافة جامدة- حامص اليوريك المتبلور. وأهمية وضع البيض عند هذه الحيوانات له علاقة بحامض اليوريك غير

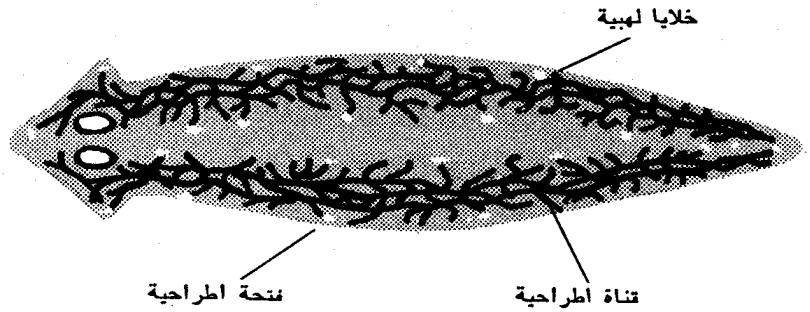
الشكل (١٥ ــ ١٤) : بينما هي لا تزال في البيضة ، فان هذه الافاعي السوداء الصغيرة تنتج كمية من الفضلات النتروجية كافية لتسميمها اذا بقيت بهيئة سائلة في سوائل البيضة . ولمعاملتها وتحويلها الى حامض البوليك غير الذائب ، فانها تتجنب هذا الخطر وتخلف ورائها قليلا من البلورات الصلبة في القشرة الفارغة .

القابل للذوبان في الماء ، فلا يتجمع في سوائل البيض فيسمم الجنين مثل ما قد تفعل اليوريا والأمونيا وهناك مجموعة من الأسماك البحرية صفيحية الخياشيم قد وجدت طريقة عملية لاستعمال اليوريا .

الأجهزة الإخراجية Excretory stysmes

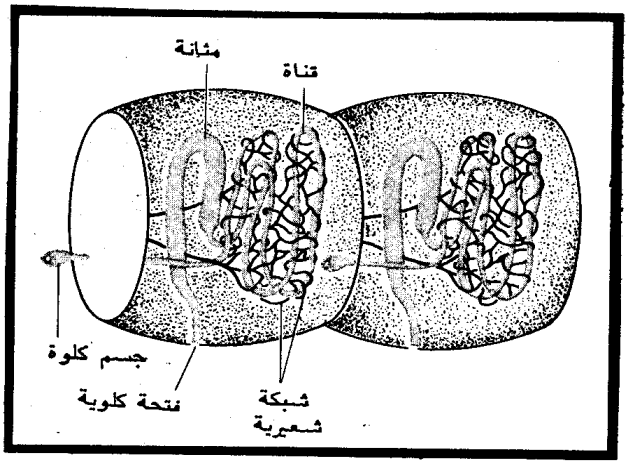
عند أبسط الحيوانات ، يتم إخراج المواد غير المرغوب بها بواسطة الانتشار خلال سطح الجسم مثل التنفس والتغذية . ونجد أن هناك بدايات لأجهزة إخراجية في مراحل أولية وهذه تتكون من نوع من التركيب الأنبوبي ، ترشح من خلاله سوائل الجسم . أما الأيونات والجلوكوز ، والمواد الأخرى اللازمة للجسم فيعاد امتصاصها ثانية وما تبقى من الماء والمذابات الأخرى اللازمة للجسم فيعاد امتصاصها ثانية وما تبقى من الماء والمذابات الأخرى فيتم اخراجه وسوف تدرس هنا بعض الأجهزة الأخراجية الرئيسية ففي البلاناريا وغيرها من الديدان الملفلطة– ما يعرف بأبسط الأجهزة الإخراجية الأنبوبية . فهناك أنبوبان أو أكثر عبر طول الجسم وتتغذى هذه الأنابيب بواسطة فروع قصيرة ينتهي كلم منها بتركيب

يشبه البصلة . فترشح سوائل الجسم إلى هذه الأجزاء حيث توجد مجموعة من الأهداب تولد تياراً يدفع بالسوائل خلال الفروع لتصل إلى الأنابيب الرئيسية وبعدها إلى الفتحات الإخراجية . أن الحركة المستمرة للأهداب تشبه حركة اللهب وبذلك فإن هذا الجهاز يسمى بجهاز الخلايا اللهبية . ومن الممكن أن يحفظ هذا الجهاز – الخلايا اللهبية– مبدئياً التوازن بين الماء والأملاح وبالأخص بوجود كميات كبيرة من الماء التي تدخل في جزيئات الغذاء من التجويف الوعائي الهضمي . ومعظم الفضلات النيتروجينية تخرج بنفس الطريقة .



الشكل (١٥ ــ ١٥) : نظام الاخراج بالخلايا اللهبية في البلاناريا .

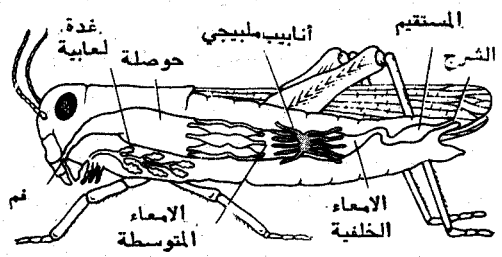
اما دودة الارض وغيرها من الديدان الحلقية فلها اعضاء اخراج متقدمة اكثر وتعرف بالكلية الصغيرة . فهذه الحيوانات اخذت الخلايا اللهبية فحسنتها . وهي تبدأ بشكل قمع مثل البصلة ويدعى بفتحة الكلية الصغيرة .nephrostome تدخل سوائل الجسم وتمر خلال انبوب ملتو محاط بشبكة من الشعيرات الدموية . وبعدها فان البول المخفف جداً يخرج الى المثانة وهي في الحقيقة



الشكل (١٥ ــ ١٦) : النفريديا دودة الارض . ان القمع النفريدي (يقع امام بقية النفريديين بحلقة واحدة) هو مفتوح النهاية ، وهو بهذا لا يشبه الخلية اللهبية ولا الاعضاء المناظرة في الحيوانات الارقى .

أن طول الأنبوب وما معه من شعيرات يمثل مفتاح التحسين التطور . فهذا يزيد من قدرة الحيوان على اعادة امتصاص الأملاح والماء وبالتالي تنظيم تركيب البول وتنظيم التوازن الاسموزي والأيوني . وعندما يكون الأنبوب أكثر طولاً فإن وقتاً أكثر يلزم لأعادة الامتصاص . والدم الذي يجري في الشعيرات يستطيع أن يلتقط المواد التي أعيد امتصاصها ويوزعها أما إذا بقيت هذه المواد في سوائل النسيج المحيط بالأنابيب ، فإنها سوف تكون ضغطاً اسموزياً عالياً وسريعاً مما يجعل اعادة الامتصاص غير عملية .

وفي الحيوانات ذات الجهاز الدوري المغلق . يستمر التطوير في الجهاز الإخراجي المماثل للكلية الصغيرة . وتكون هناك تغييرات وتعديلات تدريجية تساعد في تكوين البول المركز أو البول المخفف وبالتالي الحفاظ على محيط داخلي ثابت للسوائل بالرغم من وجود تغييرات في المحيط الخارجي . أما الحيوانات ذات الجهاز الدوري المفتوح فقد اتبعت طريقاً آخر .



الشكل (١٥ ــ ١٧) : أنبيبات ملبيجي في حشرة .

أما الأعضاء الإخراجية للحشرات فهي مجموعة من الأكياس الأنبوبية المتحركة (٢-١٠٠) متصلة بالممر المعوي . وهي تعرف بالأنابيب الملبيحية وتصل نهاياتها المغلقة إلى التجويف الدموي حيث تحاط بالدم . فترشح سوائل الجسم من الدم إلى داخل الأنابيب . ويمر البول المتكون بعدها إلى المستقيم ، وليس إلى مثانة بولية متخصصة ، وفي المستقيم يلتقي مع فضلات الجهاز الهضمي . وللمستقيم قدرة كبيرة جداً على اعادة امتصاص الماء ، فمتى وصل البول وتحول إلى حامض اليوريك الذي يترسب في السائل فعندها تكون هناك كمية كبيرة من الماء في المستقيم بالإضافة إلى ما يصل مع الطعام . ومع الامتصاص يعود ثانية إلى أنسجة الجسم ، وبذلك فإن ما يخرج في النهاية من الجسم يكون جافاً جداً عند معظم الحشرات .

أن استعمال مخرج عام واحد لكلا الجهازين البولي والهضمي قد يبدو غريباً بالنسبة للأنسان . ولكنها القاعدة- وليس الشواذ- بالنسبة للحيوانات العليا التي تعيش علىاليابسة . فهي موجودة في الطيور الزواحف بالإضافة إلى الحشرات وهذا يؤكد أن هذه الطريقة أثبتت أنها ذات قيمة كوسيلة للتقليل من ضياع الماء . فلم لا تتكون هذه الطريقة في الثدييات لا من الصعب الإجابة عن ذلك .

ملخص الفصل الخامس عشر

مع تزايد الحيوانات رقياً فإنها تأقلمت لتتحمل أوضاعاً متباينة في المحيطات الخارجية وذلك بالاعتماد على تركيباتها الداخلية والطرق التي بواسطتها تستطيع الاستجابة لمتطلبات الحياة . وهي بالتالي قد كونت ميكانيكيات مختلفة للحفاظ على الثبات في محيطها الداخلي .

والنباتات المائية تحاشت الحاجة إلى التخصص في أنسجتها فهي تعيش في محيط خارجي مشابه لذلك اللازم في داخل الجسم فلتلك النباتات جسم رقيق تكون فيه كل الخلايا على اتصال مباشر مع المحيط وبذلك تتمكن من القيام بعمليات التغذية ، والتنفس والإخراج على المستوى الخلوي .

والحزازيات بدأت بالتخصص لكي تعيش على اليابسة ، فطورت طرقاً لأخذ الماء من التراب والحفاظ على رطوبة جسمها . والفطريات ، استطاعت أن تعيش بجسم وفسيولوجية بسيطة للغاية ، معتمدة على الامتصاص بدلاً من الابتلاع في تغذيتها ، كما أن معظم الفطريات احتفظت بحجم صغير للجسم بحيث تقلل أو تحدد من خسارتها للماء وحتى يتمكن جسمها من أن يكون على اتصال سطحي مباشر مع المادة التي يتغذى عليها .

وتحتوي المملكة الحيوانية على حيوانات مختلفة: بعضها يتناول طعامه بواسطة الترشيح واستخلاص جزيئات الطعام من الماء ، والبعض الآخر يتغذى بالسوائل وتختصصت في استخلاص الطعام (من الكائنات الأخرى) . أما الفقاريات فهي تقسم عادة إلى آكلة لحوم ، أو آكلة النباتات أو آكلة كليهما omnivores أن أبسط جهاز هضمي عند الكائنات عديدة الخلايا يتكون من جهاز تعمل الخلايا فيه على أخذ قطع الطعام وتهضمها داخل الخلايا .

والتجويف الهضمي الوعائي: وهو تجويف داخلي ذو فتحة واحدة يسمح بإدخال قطع طعام أكبر ، ويمكن تحطيمها بفعل الأنزيمات الهضمية . ولكن مثل هذا التجويف لا يسمح

بالتخصص في العمل- كإدخال الطعام والإخراج وإفراز الأنزيمات والامتصاص فكل هذه العمليات تتم في مكان واحد . أما الجهاز الهضمي المتكامل فهو الجهاز الذي يدخل إليه الطعام من فتحة معينة ، ثم يحطم بطرق ميكانيكية وباستعمال الانزيمات ثم يمتص ، وتخرج الفضلات بعدها من فتحة أخرى . والطفيليات تخطت مثل هذه المشكلة فهي تأخذ طعامها المهضوم من المضيف .

الحيوانات بحاجة إلى جهاز آخر عدا الجهاز الهضمي ، يمكنها من تبادل الغازات وتسهيل أخذ الأكسجين والتخلص من فضلات ثاني أكسيد الكربون . والحيوانات هنا أيضاً تختلف بشكل واسع : فهي تحصل على الأكسجين من الهواء أو من الماء .

فالكثير من الحيوانات تعتمد أما كلياً أو جزئياً على عملية التنفس الجلدي حيث يتم تبادل الغازات مباشرة من خلال سطح الجسم . فالأسماك وغيرها من الحيوانات المائية المتطورة لها خياشيم مقسمة إلى أجزاء دقيقة محمية بشكل جيد ولها مساحة سطحية واسعة . يمر الماء وباستمرار في اتجاه معين واحد خلال هذه الخياشيم ، فيدخل إلى الفم ثم من خلال البلعوم إلى الخياشيم . ويكون مجرى الدم والماء متعاكسين- ويعرف هذا بالتبادل التعاكس للمجرى وهذا يسمح إلى ٨٠% من الأكسجين الذائب في الماء بأن ينتقل إلى الدم .

ومع أن هذه الخياشيم كافية للحيوانات المائية ، إلا أن هذه الحيوانات معرضة للجفاف على اليابسة بتأثير الهواء . والحشرات حلت هذه المشكلة ، فقد كونت القصبات وهي ممرات تحمل الهواء من فتحات خارجية توجد على سطح الجسم وتنقله مباشرة إلى الأنسجة . وحيوانات اخرى تتنفس أيضاً من الهواء ، كونت الرئات وهي أغشية مثل الخياشيم ومقسمة لتعطي سطحاً كبيراً لامتصاص الغازات . وتطور هذا الجهاز الرئوي كثيراً من الطيور ذات الدم الحار وفي الثدييات وهو جهاز ذو ميكانيكية للدفع لأخذ الهواء ومن ثم دفعه إلى الخارج مرة أخرى وهذا ما يعرف بالتهوية –المد- والجزر .

كما أن جميع الحيوانات- عدا البسط منها- تحتوي على جهاز نقل داخلي وهو جهاز دوري متصل بكل من الجهاز التنفسي والهضمي . فعند كل الفقاريات وبعض اللافقاريات جهاز دوري مغلق يبقى فيه الدم داخل أوعية ضيقة إلى حد ما ، ويسير الدم بفعل الضغط الناتج عن نبض القلب . ولكثير من الفقاريات جهاز دوري مفتوح حيث يجري الدم في

فراغات كبيرة تدعى الهيموسيلوم hemocoels وتحيط بالأنسجة والأعضاء ، وتعود في النهاية إلى الجزء الخلفي من الوعاء الدموي الرئيسي . ففي بعض اللافقاريات تقوم الأوعية بوظيفة الهيكل اعتماداً على ضغط السوائل ، وبذلك فإنها تدعم الجسم .

والحيوانات كلها تحتاج إلى سوائل الجسم وهي تحتوي على أنواع مختلفة من المواد العضوية وغير العضوية . وعليها أن تحتفظ بالتوازن الصحيح بين الماء والمذابات في الجسم المحيط ، وللحيوانات أغشية تنظم الأنتشار بين المحيط وأنسجة الجسم . والطريقة التي يمكن بواسطتها الاحتفاظ بهذا التوازن تعرف بالتنظيم الاسموزي .

وللافقاريات المائية تركيز مذاب مماثل لذلك الموجود في ماء البحر ، إلا أن المحيط الخارجي نفسه متغير والحيوان الذي له قدرة على تغيير التركيب الأسموزي لجسمه ليتناسب مع ذلك الذي في المحميط الخارجي يعرف بتابعه الأسموزية osmoconfromer والحيوانات التي تحتفظ بتركيب أسموزي داخلي ثابت رغم التغيرات في المحيط الخارجي ، استطاعت أن تتأقلم أكثر مع التغيرات الواسعة في المحيط . وهذه الحيوانات ذات التنظيم الأسموزي لها ميكانيكيات مختلفة للحفاظ على الاتزان البدني homeostasis والثدييات ، قادرة على الاحتفاظ بماء الجسم والتخلص من الأملاح الزائدة بإخراجها في بول مركز . والكثير من الطيور البحرية والزواحف تملك غدداً خاصة لإخراج الأملاح . أما الحيوانات الأكثر بساطة ، فتخرج الفضلات بواسطة الانتشار من خلال سطح الجسن . أما معظم الكائنات فقد طورت جهازاً إخراجياً خاصاً يحتوي على تركيب أنبوبي ترشح من خلاله السوائل ثم يعاد امتصاص مواد معينة منها بالإضافة إلى إمكانية إخراج الماء الزائد والمذابات .

والأجهزة الإخراجية أنواع: منها جهاز الخلايا اللهبية الأساسي للبلاناريا الوحودة الكلوية niephridia في الديدان الحلقية . والأجهزة المتقدمة في الحيوانات العليا أنبوب أطول وملتصق بعدد أكبر من الشعيرات الدموية مما يسمح بزيادة في اعادة امتصاص الأملاح والماء كما ينظم تركيب البول والتوازن الأسموزي والأيوني . والعلاقة بين طول هذا الأنبوب وزيادة الامتصاص يعتمد على أن وقتاً أطول يلزم لعمليات الامتصاص وبذلك يتمكن الدم من حمل المواد بعيداً وبسرعة أكثر .

نظرة فاحصة

كون الكائن بالحجم المناسب

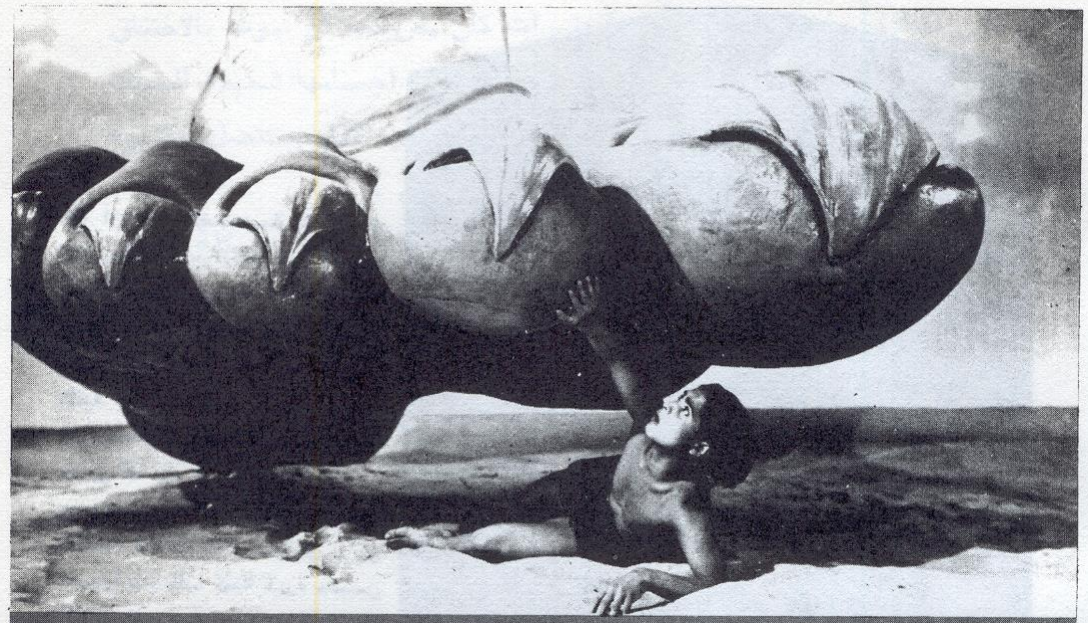
Being the Right Size

مسكين كنج كونج: إذا نجا من الكائن ذي الأصابع المجنحة فإنه لن ينجو من الأنسان ولهذا فإنه يبدو دائماً حاد الطباع . ولكن هل هذا هو كل السبب؟ أن هذا القرد العملاق عليه أن يضخ الدم إلى مسافات أطول مما هو في حالة القرد العادي ولهذا فإن ضغط دمه سيكون مرتفعاً جداً . وكنتيجة لذلك فإنه دائماً مهدد بالموت نتيجة لانفجار شريان . أن ضغط الدم العالي ربما يسبب له اجهاداً وصداعاً متكرراً وربما كان هذا هو السبب الحقيقي لتجهمه الدائم .

لو كان البرغوث بحجم الأنسان ، فهل يستطيع القفز إلى ارتفاع الف قدم في الهواء؟ والجواب ، كما أوضحه جاليليو منذ أكثر من ثلاث قرون ، هو لا . لماذا؟ لأن عضلات القفز إذا بقيت متناسبة مع بقية جسم العملاق ، فإن تقوى على توليد طاقة كافية لرفع البرغوث أكثر من أقدام قليلة عن الأرض .

وفي مقالة قصيرة بعنوان "كون الكائن بالحجم المناسب" ناقش عالم البيولوجيا هالدين J.B.S Haldane هذا الأمر كما ناقش بعض مضامين حجم الحيوان بالنسبة إلى الشكل . وبناء على أراء هالدين فإن كل حيوان له حجم مثالي ، وأن أي انحراف جدي عن ذلك سيؤدي إلى تقليل فرصه في البقاء .

خذ مثلاً ، الصورة الفوتوغرافية للقدم المعالجة بغرابة والتي تكاد تسحق الرجل الصغيرة . أن الشخص المتصل بتلك القدم سيكون ضخماً . لن يكون فقط بعشر مرات أطول من الصبي ولكنه أيضاً أعرض بعشر مرات كما أنه سيكون عشر مرات أكبر سمكاً . ولهذا فغن وزنه الكلي سيساوي (١٠٠٠) مرة قدر ذلك الرجل الصغير أوحوالي ٨٥ طناً . ولكنه بهذه النسب ، سيكون قطر عظام فخذه فقط حوالي ١٠٠ مرة أسمك منها لعظام الصبي ولهذا فإن كل أنش مربع من عظامه سيقوم باسناد وزن أكبر عشر مرات من الوزن



انش مربع من عظامه سيقوم باسناد وزن أكبر عشر مرات من الوزن المحمـــول على كل انش مربع من عظام الصبي . وبما انه واضح ان عظام الصبي ستتحطم عندما تحمل وزنا اكثر عشر مرات مما تحمله حاليا، لهـــذا فان عظـــام فخذ العملاق ستتحطم مع كل خطوة .

* ان هذه الضفدعة هى احدى المستحيلات البيولوجية لانها تتنفس حوالي ٨٠٪ من تنفسها بواسطة الجلد . ان ضفدعا بهذا الحجم لن يكون له مساحة جلدية كافية بالنسبة لحجم الجسم لكي يتنفس ، ولهذا فانه سوف يختنق كما هو الحال في الدبابير . وسوف تكون هناك مشكلة أخرى بالنسبة للتبادل الحراري . ان جسمها سيتطلب كمية كبيرة من الطاقة الحرارية ، ووقتا طويلا لتدفئته بعد ليله بادرة (او شتاء بارد) .

* ان هذه الدبابير كان مفروضا أن تختنق حال نمو اجسامها أكثرمن ١/٤ انش في السمك والا فان خالقها قد يزودها بالرئات .

أن نفس هذا الكلام صحيح بالنسبة لكنج كونج . كما أن ذلك الوحش مجنح الأصابع الذي يقبض على يده اليمني هواحدى العجائب العلميةن فمن أجل أن تكون له أجنحة بالسعة التي هي عليها ، فإن الحيوان يتطلب صدراً ضخماً ليأوي العضلات الضرورية لتحريك تلك الأجنحة .

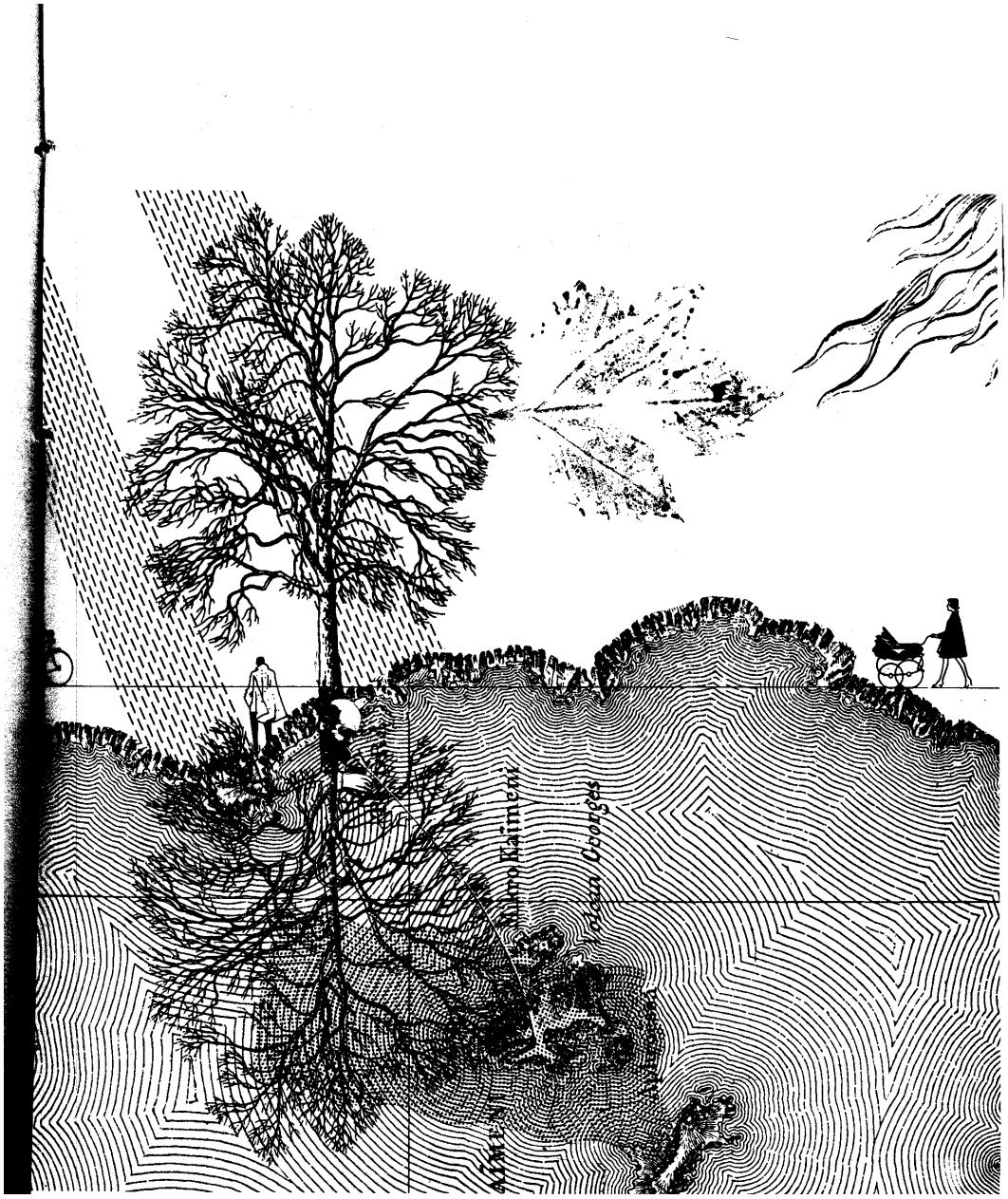
و بصورة مماثلة ، فإن الزنابير الضخمة التي تهاجم جلفر المسكين يمكن أن تأتي فقط من خيال الأنسان لأن الحشرات كان مفروضاً أن تموت بالاختناق منذ مدة طويلة قبل

وصولها إلى الوضع الحالي . أن أجسامها شديدة السمك بالنسبة لجهازها التنفسي ، والذي يعتمد على نظام من الأنابيب تتصل مباشرة مع الوسط الخارجي ، وهو فعال فقط لمسافة ربع أنش .

والضفدع العملاق الذي يدرأ جلفر خطره بالمجذاف يمثل مشكلة اخرى بالنسبة للحجم هل تستطيع حلها .

* "هل أنت مقتنع الآن" قالت اليرقة .

"حسناً ، أرغب في أن أكون أضخم قليلاً" قالت اليس "أن ثلاثة أنشات هو طول تعيس". "أنه طول جيد بالفعل" قالت اليرقة بغضب ، مادة نفسها إلى الأعلى عندما تكلمت (لقد كانت تماماً ثلاثة أنشات بالطول).



الفصل السادس عشر

أجهزة النبات

Plant Systems

أن المشاكل البارزة التي تواجه النباتات العليا في النمو والحماية ، ونقل المـــواد ، وإنتاج الغذاء ، والدم والتخزين ، واضحة في تركيب أجهزتها المتخصصـــة . وعلـــى الرغم من أن الخلايا هي الوحدات الأساسية التي تكون الكائنات الحية ، فإن الخلايا النباتية تختلف في أمور مهمة كما رأينا ، عن الخلايا الحيوانية . وترتبط هذه الفروق بـــالطرق التي تعمل بها النباتات وأن من المناسب مراجعتها هنا .

أن أول فرق رئيسي في التركيب الخلوي بين النباتات والحيوانات هو الجدار الخلـــوي الذي يحيط ببروتوبلازم الخلية النباتية . ومن وظائف الجدار الخلـــوي أولاً تحديـــد حجـــم البروتوبلازم . واعطاء الصلابة للخلية ، وأن يكون معبراً للنقل .

وهناك ميزة أخرى للخلايا النباتية هي وجود فجوة أو فراغ في وسط البروتـــوبلازم . وتمتليء الفجوة باختلاف نوع الخلية . وتتقرر كثير من خصائص الخلايا بنقـــل المـــواد ، وخاصة الماء من الفجوة وإليها .

فرق جوهري ثالث بين الخلايا النباتية والحيوانية هو الدور الرئيسي الذي تلعبه الخلايا الميتة في نشاطات النبتة ، تترك الخلايا الميتة خلفها جدرها الخلوية التي تعمل على تقوية النبتة أو على المساعدة في نقل الماء .

وهناك فرق خلوي أخير هو وجود البلاستيدات الخضراء في النباتات . توجد هذه الأجزاء غالباً في الأوراق الخضراء ، حيث تقوم بعملية التمثيل الضوئي .

أن تركيب النبات يقيم دليلاً على الحاجة إلى التكيف والبقاء بالنسبة للبيئة . فمثلاً ، كي تقوم النباتات بوظائفها الأساسية ، تحتاج أن تنظيم خسارتها للرطوبة ، بحيث لا تنشف تحت ظروف الجفاف . وتحتاج أيضاً أن تحتفظ بقساوة كافية كي تستطيع النمو إلى أعلى باتجاه الضوء وتحتاج إلى الغذاء من التربة . وهكذا فإن كل عنصر في النبتة– ساقها ، وجذورها ، وأوراقها يبين التخصصات التي مكنت النبتة من التكيف والبقاء .

التركيب الداخلي للنباتات Internal structure of plants

لكل من أجزاء النبتة الرئيسية الثلاثة مجموعة من الوظائف ، فالسيقان ترفع الأوراق عالياً في الجو حيث الضوء والهواء أكثر توافراً . وكذلك تمد الأوراق بالماء وتوزع الكربوهيدرات التي صنعتها الأوراق . أما الجذور ، فإنها تثبت النبتة في الأرض وتمتص الغذاء . وتقوم الأوراق بالوظفة الحيوية – التمثيل الضوئي . يضاف إلى ذلك أن الأعضاء الثلاثة ، يمكن في بعض الأحيان أن تخزن الغذاء ، فلنتذكر هذه العوامل ، ولندرس الخصائص التي تمكن كل جزء من القيام بدوره .

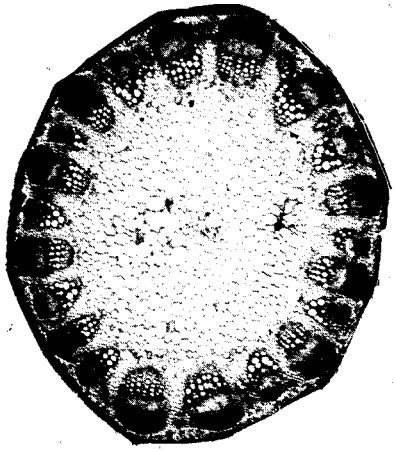
الساق The stem

أن التكيفات التركيبية في ساق النبات مرتبطة بشكل رئيسي بوظائف هذا العضو الرئيسي وهي: الدعم والنقل . ولكي تدعم ا لأوراق على الساق أن تكون فوق ولينة لمواجهة تأثيرات الرياح ، والجاذبية وظروف الطقس الصعبة ، والحيوانات الجائعة . وعلى السيقان أيضاً اعداد النبتة بالطرق اللازمة للنقل الفعال والسريع للماء من التربة للأوراق بدون خسارة ، وكذلك نقل السكريات من الأوراق لأجزاء أخرى من النبتة .

سيقان النباتات ذات الفلقتين Dicotyledonous stems

إذا أخذ مقطع من ساق نبتة حشيشية ذات فلقتين وفحص بالمجهر فإن الحزم الوعائية تبرز كصفة بارزة في التشريح الداخلي . أنها تكون حلقة واضحة بين مركز الساق والخارج . لكل حزمة وعائية خلايا كبيرة ذات جدران غليظة توجد في الجزء الداخلي (من الحزمة) وتكون الخشب الأولى primary xylem وخلايا صغيرة ، ذات جدران نحيفة في خارج

الحزمة ، وتكون اللحاء الأولى primary phloem أن هذه الخلايا هي وسائط النقل الرئيسية ، وهي مرتبة واحدة بجانب الأخرى لتكون أنابيب كما ذكر في الفصل الذي عالج التخصص الخلوي . أما الكامبيوم cambium الذي يتكون منخط من الخلايا الصغيرة التي تظهر في مقطع عري كالأبر ، فغنه يفصل بين الخشب واللحاء .



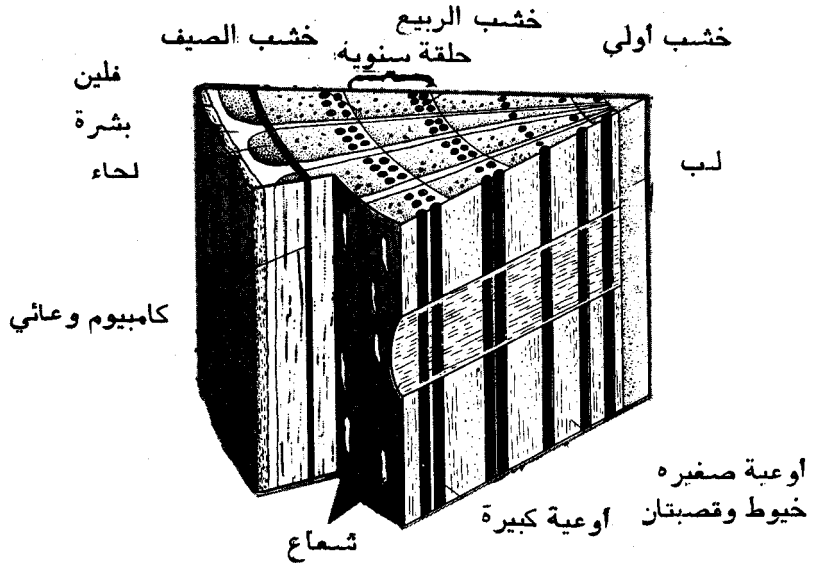
الشكل (١٦ ــ ١) : مقطع عرضي لساق نبات عشبي ذات فلقتين . وتبدو الحزم الوعائية بارزة بوضوح ، وهي تحيط المنطقة المركزية الغليظة المكونة من لب بارنشيمي .

ويتكون الجزء المتبقى من الساق من خلايا برنشمية paranchyma cells غير محورة . وتساعد هذه الخلايا السيقان الناشئعة باعطائها الصلابة وذلك عن طريق الضغط بعضها على بعض . ويمكن أن تقوم هذه الخلايا بتخزين المواد في الساق . والخلايا البرنشيمية الموجودة خارج الحزم الوعائية تكون القشرة certex ، بينما تكون تلك الموجودة داخل الحزم اللب وتوجد هذه الخلايا موزعة بين العناصر الموصلة للخشب وللحاء . أما الطبقة الخارجية في الساق فهي البشرة الحامية epidermis.

وتعطي الخلايا الكولنشيمية Collenchyma cells مزيداً من الصلابة للنبتة ، وتوجد هذه الخلايا تحت البشرة مباشرة . أما الخلايا السكلرنشيمية Sclerencyma cells الميتة والقاسية التي توجد على شكل خيوط مقوية فقد توجد كأجزاء من الأنسجة الخشبية واللحائية . ويبين مقطع من ساق ناضجة لنبتة ذات فلقتين ، مثل جذع الشجرة بعض الفروق البارزة في التكيف التركيبي للسيقان الخشبية واللاخشبية . فاللب يحتل على الرغم من أن حجمه هو نفسه في الساق اليافعة ، نسبة أقل بكثير من القطر الكلي . ويوجد حول اللب اسطوانة كبيرة من الخشب الذي يغطي بطبقة نحيفة من اللحاء bark ويتكون الخشب

من عناصر خشب ثانوية secondary xylem قديم يتخللها خيوط خشبية وخلايا برنشيمية ، ويقوم بشكل رئيسي بدعم الساق .

ويوجد بداخل الكامبيوم حلقة من الخشب تقوم بنقل الماء ، ويوجد خارج الكامبيوم اللحاء الذي يحتوي على حلقة داخلية من اللحاء الثانوي secondary phloem الذي يدفع اللحاء الأولي للحزمة الوعائية إلى الخارج ، مما ينتج عنه سحق الأنابيب الغربالية والخلايا البرنشيمية . أما خارج اللحاء فيستعاض عن القشرة والبشرة بطبقة سطحية من الخلايا الفلينية cork cells التي ينتجها باستمرار اللحاء الفليني الذي نما في القشرة . ومثل كامبيوم الحزمة فإن الكامبيوم الفليني يدفع الخلاي القديمة إلى الخارج في الوقت الذيت تنتج فيه خلايا فلينية جديدة تحتها . وتسمح العديسات lenticels للخلايا الموجودة تحت الطبقات الفلينية الجديدة بالتنفس. وبنضج الخلايا الفلينية تصبح جدارنا مشبعة بمادة سوبرين suberin



الشكل (١٦ ــ ٢) : مقطع من ساق خشبية لنبتة ذات فلقتين (بلوط). لاحظ الفرق في الحجم عناصر الخشب القديم في الربيع ، وتلك في خشب الصيف، مما ينتج عن ذلك حلقات سنوية . والاشعة هي قنوات برنشيمية تكونت من الكامبيوم ، وهي تسهل المرور العرضي للماء والمواد المغذية خلال الساق .

وتسمى عملية خلق أنسجة النقل والدعم للعدد المتزايد من الأوراق التي تدعمها الساق الخشبية بالتغلظ الثانوي secondary thickenng بهذا يصبح الكامبيوم الحزمي أسطوانة كاملة ويبدأ بالانقسام لينتج خلايا جديدة إلى الداخل (الخشب) وإلى الخارج (اللحاء) . وهكذا تتكون اسطوانات الخسب الثانوي واللحاء الثانوي . وتستمر هذه العملية خلال حياة النبتة لتبني المزيد من الخشب إلى الداخل ويزداد قطر جذع الشجرة أو الغصن .

أن عملية إنتاج خلايا جديدة بواسطة الكامبيوم هي وظيفة موسمية ، تحدث بشكل نشط في الربيع ، وتخف بتقدم الموسم إلى حين توقفها في الشتاء . وكذلك بتغير حجم عناصر الخشب ، وتكون تلك تنتج في الربيع أكبر من تلك التي تتكون في مواسم أخرى . وينشأ عن هذا الاختلاف في الحجم اسطوانات متراكزة من الخشب ما يسمى الحلقات السنوية annual rings التي ترى في كل مقطع عرضي لجذع شجرة . ويساعد عدد الحلقات في معرفة عمر الشجرة ويبين سمك هذه الحلقات التغيرات في ظروف النمو .

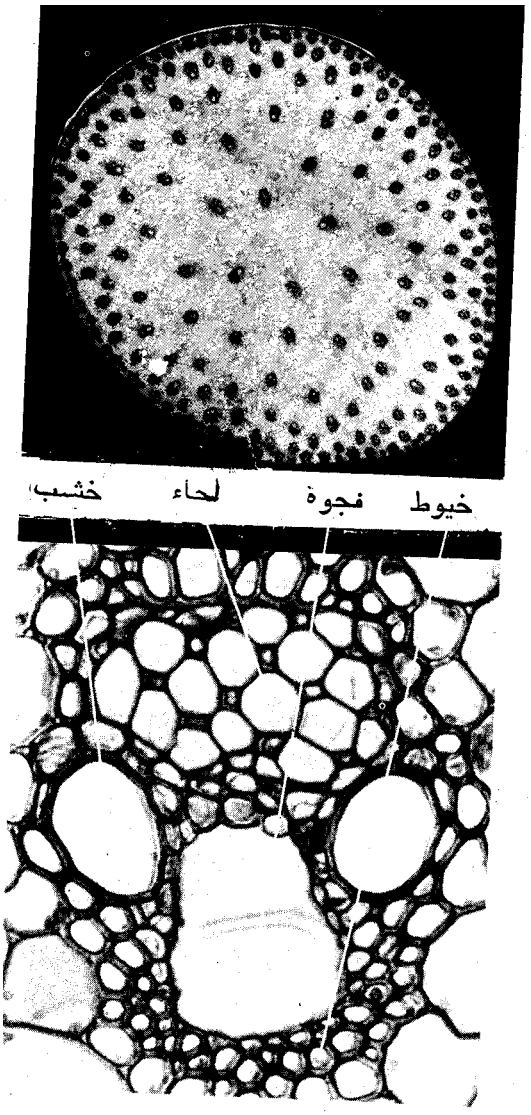
مهمة الحلقات السنوية الخارجية في الشجرة وتسمى بالخشب العصاري sapwood هي نقل الماء . أما الخشب القديم القريب من المركز فيسمى خشب القلب heartwood وهو متوقف عن العمل في النقل ، نظراً لترسب مركبات مثل التانين tannin بداخل الأنابيب التي سدت ، وبهذا يعمل هذا الخشب في زيادة الدعم لتركيب النبتة ، ولا توجد حلقات سنوية في اللحاء ، ويتفكك اللحاء القديم بتكوين لحاء جديد كل سنة .

سيقات النباتات ذوات الفلقة الواحدة Monocotyledonous stems

للنباتات العشبية ذوات الفلقة الواحدة ، كالذرة مثلاً ، سيقان تشبه سيقان النباتات ذوات الفلقتين وتختلف عنها . ففي مقطع عرضي ، تبين هذا السيقان نفس الحزم الوعائية البارزة . ولكن بدل أن تكون هذه الحزم منتظمة في حلقة ، فإنها تتبعثر خلال المنطقة الوسطى من الساق . فلكل حزمة منطقة من الخشب الأولى في الجانب القريب من مركز الساق ، ومنطقة من اللحاء الأولى باتجاه خارج الساق . وعلى جانب كل حزمة وعاء كبير وناضج من الخشب غليظ الحائط ، وبين الاثنين فجوة تحتوي خلال مراحل نمو الساق الأولية على عناصر الخشب البدائي protoxylem.

أن معظم الأشجار هي من ذوات الفلقتين . ويعود هـذا لأن النباتـات ذوات الفلقـة الواحدة تفتقر إلى الكامبيوم الذي بدونه لا تستطيع تكوين تغليظ ثانوي .

أما الشجرة القليل من ذوات الفلقة الواحدة ، مثل البلح ، فإنها محدودة الحجـم ، وذلك لأن نسيجها الوعائي مكون فقط بواسطة النسيج المرستيمي القممـي . ويعمـل هـذا النسيج على امداد الشجرة خلال حياتها ولا يستعاض عنه (ولهذا السبب ، فـإن الأشـجار ذوات الفلقة الواحدة محدودة العمر والحجم . فأطول عمر للبلح هو ١٠٠ عام).



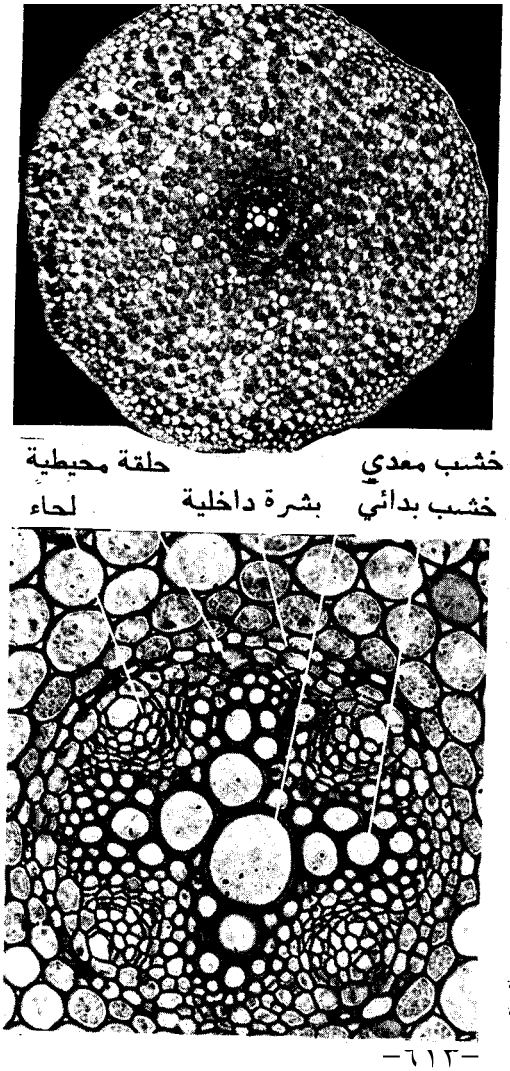
الشكل (١٦ ــ ٣) مقطع عرضي لساق نبتة ذات فلقة واحدة (الذرة) ، حيث تبـدو حزمة وعائيـة . لاحظ اتجاهات الحـزم .

الجذر The root

أن الوظيفة الرئيسية لجذور النباتات هي امتصاص الماء المواد الغذائية ونقلها للساق وتكون الجذور قوية لتثبيت النتبة في الأرض ، وتتكيف بحيث تنحني لتنمو حول أية عوائق: ومثل الساق ، فإن الجذر ينمو وينشأ من خلايا متخصصة من القمة المرستيمية . ولكن تنظيم الأنسجة في الجذر الناضج تختلف عن تلك الموجودة في الساق .

جذور النباتات ذوات الفلقتين Dicotyledonous roots

يوجد النسيج الوعائي في جذر النباتات ذوات الفلقتين في الوسط ، ولا يوجد حزم م



الشكل (١٦ ــ ٤) : مقطع عرضي لجذر يافع من نبتة ذات فلقتين ، في تكبير للاسطوانة الوعائية المركزية .

حزم منفصلة كما في الساق . ويوجد الخشب الأولى في المركز ، كما يرى في مقطع عرضي ، ويكون عادة على شكل نجمة . ويوجد بين نقاط النجمة اللحاء الأولى ويوجد الكامبيوم بين الخشب واللحاء . يوجد خارج النسيج الوعائي بعض الخلايا البرنشيمية التي تكون الحلقة الحولية pericycle وهذه تحاط بدورها بأسطوانة من الخلايا تسمى البشرة الداخلية endodermis وعلى كل جانب من خلايا البشرة الداخلية يوجد جسم مضاد للماء يسمى شريط كاسبر Casparian strip.

وتكون جميع الأنسجة بداخل البشرة الداخلية لب الجذر . ويوجد خارج اللب القشرة cortex ، ثم البشرة epidermis التي يكون سمكها خلية واحدة .

وتنمو من البشرة شعيرات جذرية Root hairs عند قمة الجذر . وتزيد هذه الشعيرات من مساحة الجذر لأخذ الماء والمواد الغذائية من التربة . ونظراً لطبيعتها الهشة فإن الشعيرات تعيش لأيام قليلة ، ويستعاض عنها بنمو الجذر في التربة .

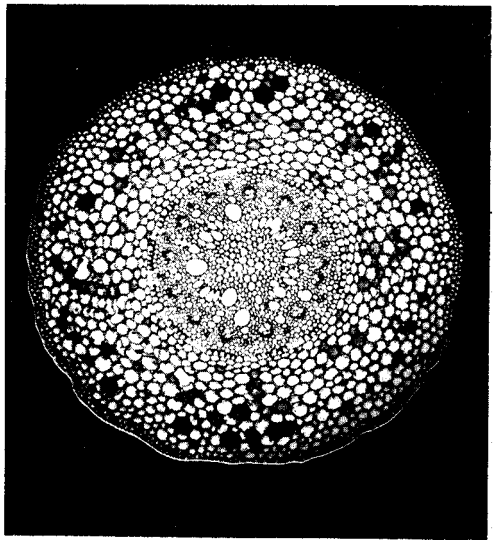
وعندما تكبر الجذور ، يتحول دورها من الامتصاص إلى نقل الماد . وتساهم أيضاً بشكل أكثر في دعم النبتة . كذلك ، فإن نسبة الجذر التي يحتلها الخشب ، الذي يقوم بدوري نقل الماء اولدعم ، تزداد نتيجة التغلظ الثانوي . وتبدأ خلايا الكامبيوم التي تقع بين الخشب الأولي واللحاء الأولي لتكون خشباً ثانوياً إلى الداخل ولحاء ثانوياً إلى الخارج ويتكون المزيد من الخشب داخل أقواس النجمة أكثر منه في الأطراف ، بحيث يختفي شكل النجمة وتصبح الحزمة الوعائية رزمة من الخشب المركزي يحيط به اسطوانة ا للحاء . وخارج الحزمة يتكون الفلين كما في الساق ليعطي طبقة واقية للجذر الناضج .

جذور ذوات الفلقة الواحدة Monocotyledonous roots

كما هي الحال في الساق فإن جذر ذوات الفلقة الواحدة له اختلاف تركيبي عن جذر ذوات الفلقتين . فالخشب واللحاء يوجدان كحزم منفضلة وتتبادل لتكون حلقة تحت البشرة ، بحيث يوجد لب في الوسط .

الورقة The Leaf

صممت الأنسجة العاملة في الورقة بحيث يكون إنتاج الكربوهيدرات ذا فاعلية قصوى.



الشكل (١٦ ــ ٥) : مقطع عرضي لجذر نبتة ذات فلقة واحدة.

وهنا ، يتفرع كل من الخشب واللحاء كشبكة من العروق لجمع السكر المصنع ولتوزيع الماء لكل أعضاء الورقة . تكون الأوراق عريضة ونحيفة لتتسلم أكبر كمية من الضوء ، وتحتوي على ثغرات في سطحها الخارجي لتسمح بتبادل الغازات أثناء عملية التمثيل الضوئي . ويساعد شكل الورقة في بعض الأحيان للتقليل من مقاومة الريح وتعرضها للتمزق.

أوراق ذوات الفلقتين Dicotyledonous leaves

يمكن وصف ورقة نبتة ذات فلقتين وكأن لها سطحين ، علوي يستلم الضوء ، وسفلي يستقبل ثاني أكسيد الكربون . ويحمي السطح الخارجي بشرة مكونة من خلايا مكتظة بدون فراغات بينها ، ويغطي البشرة طبقة شمعية من الادمة cuticle التي تخفف من فقدان الماء . ويوجد تحت البشرة العليا طبقة أو طبقتان من الخلايا الأسطوانية التي تكون عمودية بالنسبة للبشرة وتسمى بالنسيج المتوسط العمادي palisade mesophy IIوخلايا هذه الطبقة غنية بالبلاستيدات الخضراء ، وبهذا تكون مخصصة لعملية تمثيل ضوئي فعالة .

وتحت الطبقة المذكورة من الورقة يوجد النسيج المتوسط الأسفنجي Spongy mesophy II وتتصل خلايا هذه الطبقة بعضها ببعض بدون اكتظاظ ، بحيث يوجد كمية كبيرة من الهواء بينها لتعطي منظراً اسفنجياً ، أما على السطح السفلي للورقة فتوجد البشرة السفلى التي تحتمى ، مثل البشرة العليا ، بطبقة من الأدمة .

ويوجد فيها ثغرات stomata محاطة بخلايا حارسة guard cells وصفت في الفصل الخامس . ويسمح التركيب المفتوح للطبقة الاسفنجية للغازات لتنتشر بين الثغرات والخلايا العمادية .

أما الأنجسة الوعائية في الورقة التي تكون على شكل عروق ، فإنها تتكون من عناصر الخشب إلى أعلى واللحاء إلى أسفل . وتتفرع هذه الأنسجة في الورقة ، وتتصل بالنسيج الوعائي الرئيسي في الساق .

أوراق ذوات الفلقة الواحدة Monocotyledonous leaves

أن الشكل الواضح المؤلف من طبقتين في أوراق ذوات الفلقتين لا يوجد بوضوح في أوراق ذوات الفلقة الواحدة . ففي النوع الثاني ، تسير العروق الرئيسية بشكل متواز من قاعدة الورقة إلى قمتها دون ان تكون نظاماً متفرعاً .

اجهزة النقل: Transport systmes

أن تنقل المواد بين البيئة والخلايا وبين خلية وأخرى هو الدور الأساسي لجهاز النقل . وفي النباتات الوعائية صمم هذا الجهاز ليوزع الماء والأملاح المعدنية التي تمص من التربة وكذلك نواتج التمثيل الضوئي المكونة من الأوراق .

حركة الماء: نقل الخشب Water movement: xylem transport

أن الممر الرئيسي لرحكة الماء في النبتة هو الخشب . تمتص شعيرات الجذر الماء فيدخل خشب الجذر ، وبعد ذلك يصعد في الساق لجميع أجزاء النبتة .

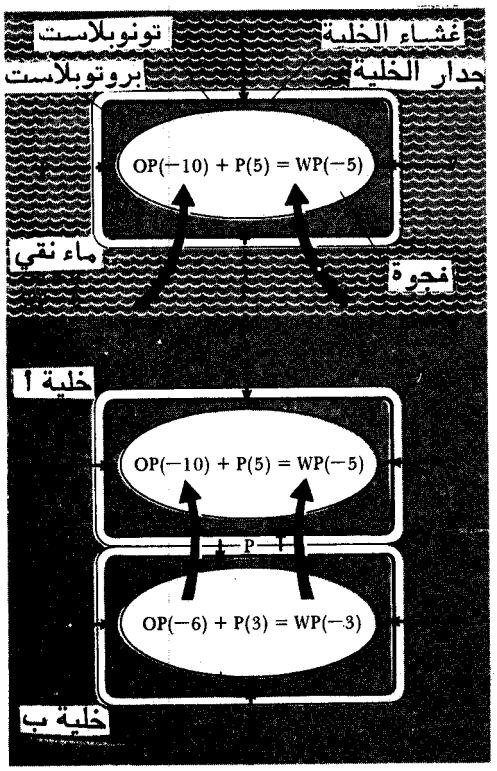
الماء المتوفر في التربة Available water: the soil

التربة هي قطع صخرية صغيرة نتجت من الصخر الصلد نتيجة العوامل الجوية التي ينتج عنها تحلل مود الأرض بسبب تفكك عناصرها . وتصنف جسيمات التربة الناتجة بالنسبة لحجمها حيث يكون الرمل أخشنها ، والفخار أنعمها . وبالاضافة إلى جسيماتها ، فالتربة تحتوي على مواد عضوية متينة ، وماء وأملاح مذابة ، ومجموعة من الكائنات الحية . وبالنسبة لتغذية النبات فإن الإملاح والماء فقط هي الأساسية ، أما المواد الأخرى

فإنها تعطي التثبيت ، وضبط التوازن الغذائي ، وتساعد في إيصال الأكسجين إلى الجذور.

لا تمتص التربة كل الماء الذي يصل إليها ، ولا يتوفر للنتبة كل الماء الذي تمتصه فهناك اشكال عددية من الماء ليست لاستعمال النتبة ، كالماء الذي يفقد بالجاذبية ، والماء الذي تمتصه جسيمات غروية مثل الفخار والمواد العضوية ، وبخار الماء .

يدعى الجزء الأكبر من الماء الذي يستعمله النبات بالماء الشعيري capillary water وهو الذي يبقى في الثغور بين جسيمات التربة نتيجة قوى التوتر السطحي . وتختلف القدرة التي تعمل بها هذه القوى باختلاف احجام جسيمات التربة . فالتربة الرملية تحتفظ بماء قليل وما تحفظه يكون متوفراً لكل النبات . أما التربة الفخارية النقية فإنها تمسك بكميات كبيرة من الماء ولكنها نقلت القليل منه . أما أحسن نوع تربة لتزويد النبتة بالماء فهو مزيج من جسيمات مختلفة الأحجام تدعى بالطفال الرملي loam ولهذا النوع كمية متوسطة من الماء الذي يتوفر بسرعة (للنبتة) . واضافة مادة عضوية لهذا المزيج تكون ذات قيمة كبيرة لأنها تساعد في تليين التربة وتهويتها .



الشكل (١٦ ــ ٦) : مرور الماء على مدى تدرج مائي كامن بين ماء نقي وخلية ، وكذلك بين خليتين . ان الماء الكامن لكل خلية (WP) هو مجموع الضغط الاسموزي الكامن (OP) لعصارة الخلية ، وضغط الجدار الخلوي (P) الذي يزداد كلما اصبحت الخلية اكثر انتفاخا .

العلاقات بين الخلية والماء Cell-water relations

كما هي الحال في كل الكائنات ، فإن دخول الماء إلى النتبتة وتوزيعه على كل الأجزاء هو جزئياً عملية انتشار عبر أغشية الخلايا . وعلى الرغم من أن الانتشار منتظم بواسطة القدرة الاسموزية والتركيز المتدرج ، فإن جهازاً آخر يعمل في خلايا النبات ، كما لاحظنا في فصول سابقة . أنه ضغط الانتفاخ turgor pressure أو قدة الضغط pressure potential الذي يتكون عند دخول الماء للفجوة ، إذ يخلق ضغطاً على الجدار الخلوي غير اللين . ويتوقف انتشار الماء عبر الغشاء عندما يتوازن ضغط الانتفاخ مع نزعةالماء لدخول الخلية . وفي هذه الحالة تصبح الخلية منتفخة turgid وتعطي قساوة للنسيج الذي يحتويها .

وتسبب الصلابة التي تشاهد في السيقان والأوراق ، واعناق أزهار الشجيرات عندما يكون هناك رطوبةكافية . ويسبب فقدان الرطوبة – كما في عصر يوم حار في حقل جاف– نقصاينا في ضغط الانتفاخ ، مما ينتج عنه حالة ترهل وذبول .

أن تأثير ضغط الانتفاخ هو لتغيير قدرة الماء في الخلية ، وقدرة الماء هذه هي مقياس للطاقة الحرة الناتجة من جزيئات الماء التي تتأثر بالمواد الذائبة في الماء وبالضغط الذي تمارسه ، وعندما تكون الخلية منتفخة ، تكون لعصارة الخلية في الفجوة قوة اسموزية سالبة ، وذلك لأن الطاقة الحرة لجزيئات الماء في عصارة الخلية ازدادت بواسطة ضغط الانتفاخ الإيجابي الذي يسببه الجدار الخلوي .

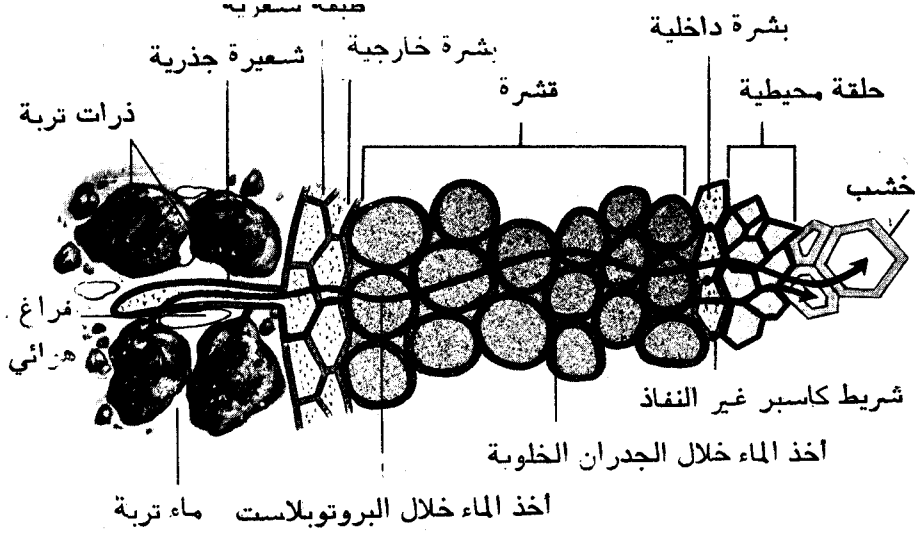
أن قوة الماء في خلية منتفخة جزئياً تكون سلبية أقل من الضغط الاسموزي لعصارة الخلية . وينتشر الماء مع تدرج قوة الماء ، التي هي الفرق في قوة الماء في داخل الخلية وخارجها ، أو بين الخلايا . أن هذا التدرج هو الذي يقرر حركة الماء إلى الجذور من التربة وبين الخلايا المتجاورة في النبتة ومن النبتة إلى الهواء .

امتصاص الماء: الجذور: Water uptake: the roots

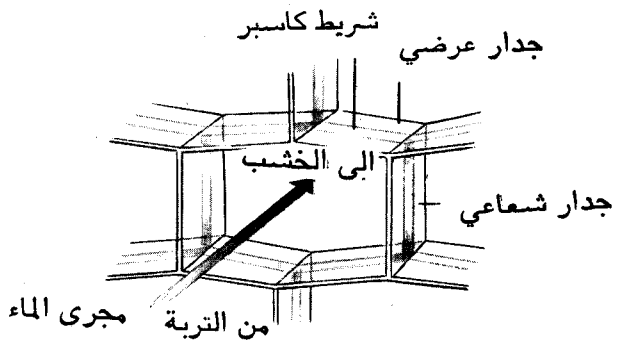
ما دامت قوة الماء في الشعيرات الجذرية أكثر سلبية من قوة الماء في محلول التربة ، فإن الماء يمتص من التربة بواسطة الشعيرات ، وينتشر بعد ذلك خلال النسيج الجذري الخارجي إلى الخشب متبعاً بذلك قوة ماء متدرجة .

وخلال معظم هذه الرحلة يمكن أن يتحرك الماء أما خلال جدران الخليـــة أو خـــلال بروتوبلازم الخلايا الحية . ولكن في رحلة الماء بين القشرة والحزمة الوعائية ، يواجـــه الماء البشرة الداخلية وبداخلها أشرطة كاسبر التي تجعل جميع الجدران الجانبية لخلايا هـــذه البشرة غير نفاذة للماء . ولذلك فإن الماء هنا يمر خلال الخلية الحية . وبسبب هذا ، فإن الجذر يقوم مقام الجهاز الأسموزي ، حيث يكون محلول التربة والقشرة فـــي الخـــارج ، والخشب وأنسجة أخرى من الداخل ، بينما تكون البشرة الداخلية للغشاء بينهما .

ولخشب الجذر قوة ماء سالبة- بسبب الأملاح الموجودة في عصارة الخشب وكـــذلك الضغط السلبي الذي سنفسره بعد قليل- بحيث ينتشر الماء إلى داخل النتبة خـــلال البشـــرة الداخلية بنفس الطرقة التي تمر بها إلى داخل النبتة . ولكن في حالات الرطوبة العاليـــة ، كما في الليل ، فإن الضغط الاسموزي لمحلول الخشب يمكن أن يسبب استمرارية انتشار



الشكل (١٦ ــ ٧) : مرور الماء خلال الجذر ، من التربـــــة للخشب ، مع تكبيـــــر لخلية بشرة داخلية تبين شريط كاسبر . ان هذا الشريط غير النفاذ الذي يرغم الماء على عبور غشاء الخلية من هـــــذه النقطة ، بحيث يخلق النظـــــام الاسموزي للجذر ككل . ان الطبقة الشعرية ، وهي الطبقة الخارجية للبشرة ، هي التي تعطي الشعيرات الجذرية .



الماء في الخشب حتى بعد أن تنتفخ خلايا الورقة كلياً . ينتج عن هذا ضغط جذر موجب يدفع الماء إلى الأوراق في الشجيرات ، ويسب أفراز نقط ماء عند نهاية العزوق في أطراف الورقة– وتسمى هذه الظاهرة بالتقطر guttation.

فقدان الماء: الأوراق Water loss: the leaves

في الوقت الذي يدخل فيه الماء إلى النبتة من خلال الجذور . فإنه يترك الأوراق من خلال الثغرات . وكما بينا سابقاً ، فإن الثغرات هي عبارة عن فتحات في الورقة محاطة بخليتين حارستين تسمحان بدخول ثاني أكسيد الكربون ليستعمل في عملية التمثيل الضوئي ، وخروج الأكسجين الذي ينتج عن هذه العملية . ونظراً لأن الثغرات تكون مفتوحة خلال معظم النهار لتتم عملية التمثيل الضوئي ، فإن بخار الماء ينتشر خلال الثغرات في نفس الوقت . ويسمى فقدان بخار الماء من الورقة النتح transpiration.

ويوجد تحت الثغرات بداخل النسيج الوسطي الأسفنجي حجرة هوائية تسمى الفتحة تحت الثغرية substomatal cavity ويتبخر الماء من جدران الخلية إلى هذه الفتحة ومن ثم ينتشر من خلال الثغرات إلى الهواء الجاف في الخارج . وهكذا فإن قدرة الماء السلبية العالية في الهواء خارج الورقة تدفع بعملية النتح . وتتقرر قدرة الماء في الهواء بوسطة الرطوبة النسبية للهواء وتكون عادة منفخضة . وتكون قدرة الماء السلبية في هواء غير مشبع كلياً بالماء عدة مئات من البارات تحت الصفر أمراً عادياً .

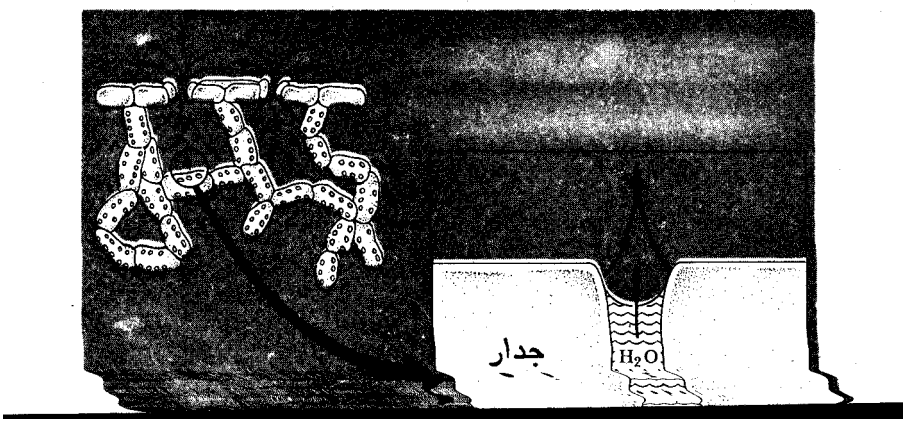
وعلى الرغم من أن الماء يستطيع أن يخرج من خلال الثغرات فقط ، فإن الورقة يمكن أن تخسر كمية ماء كما يخسر سطح ماء مفتوح مساو لسطح الورقة ، ويعود هذا للتنظيم شبه المبعثر الذي يسمح بالانتشار الجانبي والعمودي إلى الهواف الجاف . ولو لم يكن الأمر كذلك ، فإن مناطق من الهواء المشبع ستتجمع بالقرب من الثغرات مما ينتج عنه تخفيض قدرة الماء وأبطاء عملية النتح .

وتتأثر سرعة النتج بعدة عوامل ، والتغيرات في درجة حرارة الهواء ، وكمية الرطوبة ، وأي شيء آخر يغير من الرطوبة النسبية للهواء المحيط (بالورقة) يؤثر في الفرق في مستوى الجهد المائي بين الهواء والفراغات بين الخلوية في الورقة . وتتأثر هذا الفرق أيضاً بوضع الماء water status في الورقة الذي به يتقرر استلام النبتة لكمية وفيرة

من الماء ، من تربة رطبة ، أو كمية ماء غير كافية من تربة جافة . وتلعب الريح دوراً في هذا الأمر ، إذ بإمكانها زيادة النتح نتيجة تحريكها للحواء المشبع بعيداً عن الورقة ، وبالتالي يزداد تدرج قوة الماء .

وهناك عامل آخر يؤثر في النتح وهو مركز الثغرات . فالأوراق تختلف من نوع لآخر بالنسبة لثغراتها من حيث أنها مكشوفة أو محمية . فالفتحات التي تكون غارقة داخل الورقة تكون محمية بشعيرات الورقة ويكون لها سرعة نتح أقل .

وسواء أكانت الثغرات مفتوحة أم مغلقة ، فإنها تلعب دوراً حيوياً في سرعة النتح..



وعلى الرغم من أن ذبول الورقة الشديد سيسبب أغلاق الثغرات بغض النظر عن الظروف الضوئية ، فإن هذه الثغرات تكون عادة مفتوحة خلال النهار ومغلقة خلال الليل . وتتحرك الثغرات بواسطة تبادل الماء بين الخلايا الحارسة وخلايا البشرة المجاورة ، كما شرحنا في الفصل الخامس .

ويسبب هذا التبادل التغيرات في القدرة الاسموزية للخلايا الحارسة (أي التغيرات في تركيز المواد المذابة في عصارة الخلية) . ولقد افترض سابقاً أنه نتيجة لعملية التمثيل الضوئي في الخلايا الحارسة فإن السكريات التي تنتج تخفض قدرتها الاسموزية ، لينشأ عن ذلك دخول الماء لهذه الخلايا ، وبالتالي إلى فتح الثغرات . ويتم هذا الفتح بسرعة أكثر من عملية تصنيح السكريات . ولقد اكتشف أن الضوء يسبب الضخ النشيط لأيونات البوتاسيوم إلى داخل الخلايا الحارسة حيث تخفض قدرتها الاسموزية ، ويسبب فيا ندفاع

الماء إلى داخل الخلايا وفتح الثغرات ، ويساعد الإنتاج المستمر للسكريات في استمرارية فتح هذه الثغرات . أما الأغلاق فيتم بعكس هذه لعملية وتحت ظروف نقصان الماء الحادة بتكوين مركب في الأوراق يسمى حمض الأسقاط abscisic acid ويسبب هذا طرد أيونات البوتاسيوم من الخلايا الحارسة ، وبهذا تغلق الثغرات ويمنع المزيد من خسارة الماء .

وخلال النهار ، تمنع خسارة الماء المستمرة بواسطة النتح خلايا النبتة من أن تمتليء حتى تحت ظروف ورطوبة مناسبة في التربة . وخلال الليل تقل عملية النتح بحيث يزداد دخول الماء للنبتة عن الماء . وعندما يحدث ها تتفتح الخلايا بالتدريد إلى أن تصبح ممتلئة بعد ذلك يتوقف امتصاص الماء (من التربة).

ويمكن أن تسبب عمليةالنتح خطراً على بقاء النبتة ، إذ أنه بجفاف التربة ، فإن خسارة النبتة تفوق امتصاصها له ، وعندما يحدث هذا ، ينكمش البروتوبلازم ونيقص ضغط الانتفاخ إلى حد الصفر . وبهذه الحالة تذبل النبتة وتصبح الخلية في حال تدعى الانكماش الأولي incipeint plasmolysis وإذا استمرت الحالة ، فإن المزيد من الانكماش سيسبب انفصال البروتوبلازم عن جدار الخلية ، وتسمى هذه الحالة الانكماش plasmolysis وهنا تصبح النتبة في حالة ذبول دائم ومن غيرالمحتمل أن تشفى من ذلك ، حتى بعد زيادة الماء .

لا تستطيع عملية فتح الثغرات وأغلاقها منع الذبول تحت ظروف قاسية ، ولكنها فعالة في تمكين النتبة من التعامل مع ظروف انتقالية مثل ساعات بعد الظهر المتأخرة . والذبول المرحلي الذي يحدث عادة متأخراً في النهار يمكن تحاشيه في المساء عندما تزداد الرطوبة النسبية . وبعد ذلك تغلق الثغور ، ويقل النتج ، ويستمر امتصاص الماء الذي يربو على خسارته ويختفي النقص في الماء .

فقدان الماء في المحاصيل Water loss in crops

أن مقياس خسارة الماء عن طريق النتح هوأمر مهم بالنسبة للمزارعين ، وخاصة أولئك الذين يروون أراضيهم بالري . والتبخر من التربة مهم أيضاً . وعند قياس العمليتين معاً ، تسمى الخسارة الكلية بالتبخر النتحي evapotranspiration وعندما يكون سطح

التربة رطباً ، فإن التبخر يحدث من التربة ، ولكن عندما يجف السطح ، فإن كل خسارة الماء تقريباً تتم من خلال النبات .

وعند تقييم كمية الماء التي يجب أن تستعاض في الحقول بسبب الخسارة الناجمة عن التبخر فإنه يجب اعتبار عدة ظروف . فعندما تغطي النباتات سطح الأرض ، كما في حقل . العشب فإن السطح العلوي لمجموعة النبات يمكن اعتباره كسطح النتح ، وسيخسر الحقل ماء بسرعة شبيهة بسرعته في سطح ماء مكشوف ذي مساحة مشابهة . وإذا لم تكن مجموعةالنبات كثيفة ، أو لم يكن لها سطح أملس فإن سرعة الخسارة تعتمد على مساحة النباتات بالنسبة إلى الأرض التي تقيم عليها ، وتخسر نباتات صغيرة تعيش على أرض شبه عارية كمية ضئيلة من الماء ، بينما تخسر أشجار فاكهة كمية كبيرة وذلك بسبب المساحة الأكبر المعرضة من جميع جوانب الشجر .

ولحساب خسارة الماء بسبب النتح يجب قياس الخسارة من سطح ماء مفتوح له نفس المساحة . ويمكن قياس هذا مباشرة ، أو يمكن حسابه من كمية الطاقة المتوافرة للتبخر . ويمكن حساب الأخيرة من معلومات الأرصاد الجوية مثل كمية الأشعاع الشمسي . وعند إيجاد كمية خسارة الماء فإنه يمكن معرفة الفرق بين الخسارة وسقوط المطر وأي نقص ماء في التربة يمكن تقديره حتى يستطيع المزارعون تقرير متطلبات الري .

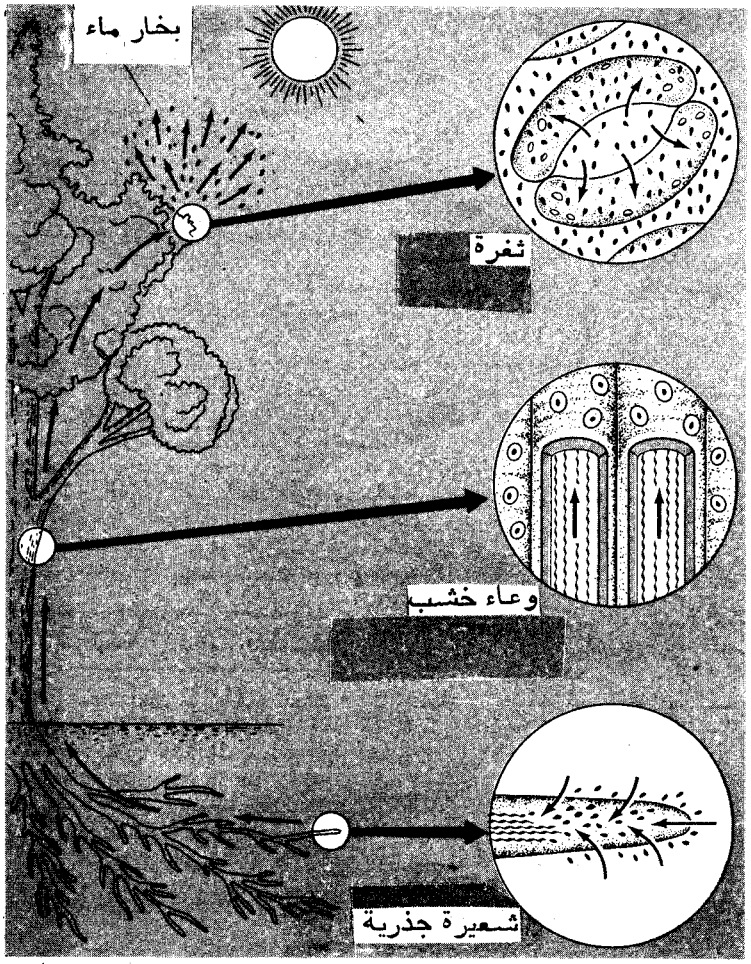
حركة الماء: الخشب Water momement: the xylem

بعد اختراق الماء للبشرة الداخلية ودخولة النسيج الخشبي للجذر ، فإنه يتوزع خلال هذا الخشب إلى أعلى ، أي إلى الساق والأوراق ، إذ يجري مرتفعاً خلال أنابيب مكونة من حلقة من خلايا أوعية الخشب ذات الأطراف المفتوحة . ونظراً لأن لهذه الخلايا مساحات على جوانبها غير ملجننة unlignified ، فإن بعض الماء يتحرك جانباً لأمداد الأنسجة المجاورة إلى أن يصل الباقي إلى الأوراق لتستعمل عند الحاجة أو للخروج من النبتة بواسطة النتح .

والسؤال الذي حير علماء فسيولوجيا النبات لمدة طويلة كان : ما هي القوة التي تدفع هذا المجرى عالياً؟ أن مضخة شفط ميكانيكية تستطيع رفع الماء لارتفاع ١٠ أمتار ، ولكن الماء يجري عالياً خلال أنابيب الخشب إلى قمم الأشجار التي يمكن أن تصل إلى ارتفاع

١٠٠ متر . ولرفع الماء إلى هذا الارتفاع فإن ضغطاً مقداره ١٠ بارات ، على الأقل ، عند القاعدة ، أو وجود توتر مماثل في قمة الشجرة ، يجب أن يتوافر . ومن المعروف الآن أن الماء في الخشب يكون تحت ضغط نتيجة القدرة المائية السلبية التي تزيد من −١٠ بارات في قمة الشجرة . وسبب هذا الضغط السلبي هو قدرة الماء السلبية في الجو التي يمكن أن تصل إلى −١٠٠٠ بار .

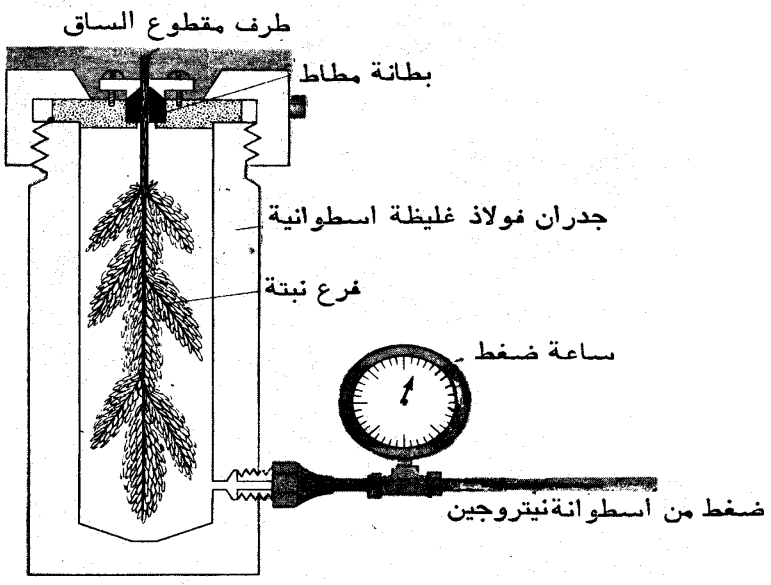
هذه هي ، إذا القوة الدافعة التي تمتص الماء إلى أعلى الشجرة من محلول التربة. أن



الشكل (١٦ ــ ٩) : ممر دفع النتح في شجرة نموذجية .

بخار الماء في الفتحات تحت الثغرية قريب من التشبع ، ولذلك فإن الماء يترك الثغرات إلى الجو . ويستعاض عن هذا الماء من جدران الخلية تولكن قوة التشرب (وهي ميل المـــواد الغروية لامتصاص الماء) في الشعيرات الدقيقة لجدران الخلية تمسك بالماء ، بحيث يـــأتي الماء إليها من خلايا أبعد (تنتقل خلالا الجدران الخلوية لأنها تكون الممر الأقل مقاومـــة) . وتستمر العملية في خشب الورقة ، وبعد ذلك إلى الجذر حيث تؤدي إلى امتصاص المـــاء من التربة وبعد هذا يسحب الماء بواسطة قوة التبخر في الجو إلى أعلى النبتة . وتسمى هذه القوة بسحب النتح transpiration pull.

وعندما اقترحت هذه الفكرة أصلاً ، أعترض بأن عموداً من الماء كهذا تحت تـــوتر كبير ، يمكن أن يتمزق . ولكن أثبت بأن جزيئات الماء تلتصق بعضها ببعض وبجـــدران الخشب المحبة للماء ، بقوى تماسك تزيد عن التوتر في الخشب .



الشكل (١٦ ــ ١٠) : وسيلة جيدة لقياس الماء الكامن لفرع نبتـــة ، والضغط السلبي في ساق ، هي وعاء ضغط . عند قص فرع نبتة ، فان التوتر داخل الخشب يطلق ، وبذلك تستطيع الخلايا المحيطة أن تأخذ الماء . ويسبب هذا تراجع الماء الى داخل خشب الطرف المقطوع . ويوضع الفرع في الوعاء ويوجه ضغط من غاز النيتروجين ليضغط الخلايا الى حجمها السابق . ويساوي الضغط الذي يجبر عصارة الخشب على التراجع الى الطرف المقطوع ، التوتر الذي كان موجود أصلا في الخشب ، وبذلك يعطي قياسا للماء الكامن في الفرع.

نقل المواد المذابة: اللحاء solute translocation: the phloem

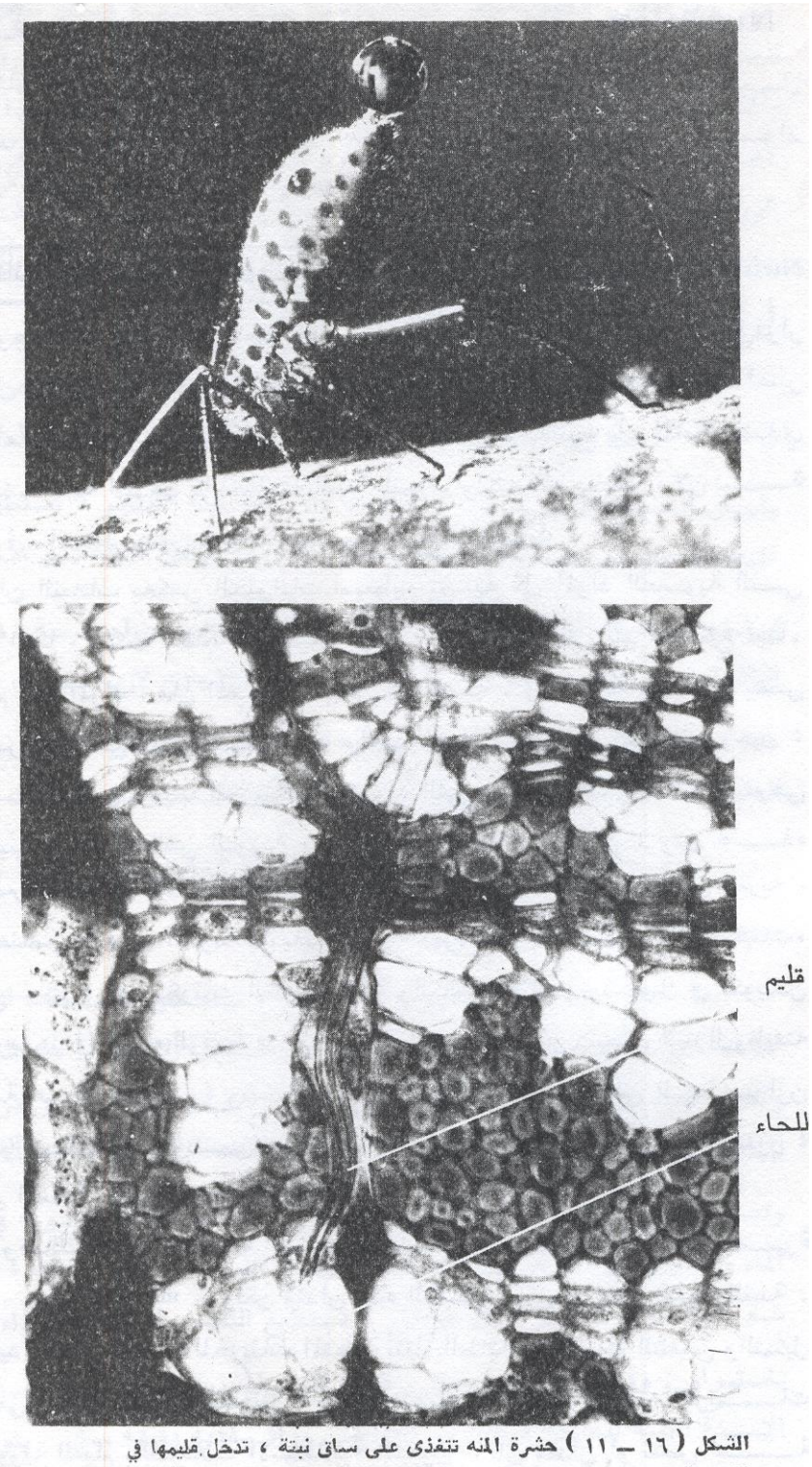
في الوقت الذي ينتقل فيه الماء داخل النتبة في الخشب ، فإن السكر الذي يتم صنعه بواسطة التمثيل الضوئي في الأوراق ، ينتقل إلى أجزاء النتبة الأخرى بواسطة اللحـــاء . نتيجة لذلك تبقى الأوراق في حالة جيدة ، ولكن جزء الساق فوق الشق ينتفخ نتيجة تجمـــع السكريات ، وتموت الجذور . وبالإضافة إلى السكريات فـــإن اللحـــاء يمكـــن أن ينقـــل الأحماض الأمينية ، والهرمونات ، والمعادن .

والنقل في اللحاء هو من الأصل إلى المصرف "أي من الأوراق أو مخزن الغذاء إلـــى أي نقاط في النبتة حيث تستعمل السكريات" . ولفهم هذا النقل ، يجـــب تـــذكر التشـــريح الخلوي للأنابيب الغربالية في اللحاء . تتكون هذه الأنابيب من خلايا مستطية نحيفة الجدران ذات أطراف مثقبة تسمى صفائح غربالية sieve plates . وتكون أغشية هـــذه الأنابيـــب فجوات أسموزية تصل مكان تصنيع السكر إلى أجزاء النبتة إلى أجزاء النبتة التي تحتاج إلى هذه السكريات .

وتنتقل السكريات خلال هذه الفجوات في عملية سيلان تسمى السيلان الجماعي mass flow ويزيد امتصاص السكر في لحاء الورقة قدرة الماء في خلايا اللحاء بحيث يسحب الماء من خلايا الورقة المجاورة لتكون ضغطاً يدفع محمتويات خلايا اللحاء في طريقها إلى أسفل . وفي الطرف الآخر ، يخرج السكر وينتشر الماء خارجاً .

ولقد استعملت طريقة لبقة لتبين أن محتويات اللحاء تقع تحت ضغط يتبع حركة هـــذه المحتويات فقد سمح لحشرة المنه aphid بأن تولج منقاشها stylet إلى داخل أنبوب غربالي . وبعد ذلك قص المنقاش ، وأزيلت الحشرة ، فأخذت عصارة اللحاء تخرج من المنقاش مما بيبن وجود ضغط في اللحاء .

والسيلان الجماعي هو عملية مدفوعة اسموزياً . فإذا قتلت خـــلال اللحـــاء أو منـــع استقلابها باستعمال موانقع تنفسية ، فإنه ينشأ عن ذلك منع نقل الســـكر . ولكـــن بعـــض العلماء يقولون بأن نقل اللحاء يبين استعمال طاقة أكثر من المطلوب لصيانة الأغشية اللازمة للعملية الأسموزية . أن الامتصاص النشط للسكر لازم في الأوراق لعمل السيلان الجماعي ، ولكن يبدو واضحاً أن آلية أخرى يجب أن تساهم في نقل اللحاء . ولحد الآن ، لم تفهم طبيعة هذه الآلية النشطة .



الشكل (١٦ ــ ١١) حشرة المنه تتغذى على ساق نبتة ، تدخل قليمها في عمق اللحاء لتستخرج السائل الحلو ، لتعطي العلماء وسيلة لدراسة آلية نقل المواد المذابة .

التغذية Nutrition

على الرغم من أنه معروف بشكل عام أن النباتات تقوم بعملية التمثيل الضوئي ، وأن المحاصيل تحتاج إلى أسمدة ، فإن القليل معروف عن المواد الغذائية اللازمة للنبتة ، وكيف توزعها وتستعملها .

متطلبات التغذية والتربة Nutrient requirements and the soil

وجد عالم متقدم كان يعمل على تغذية النبات أن شجرة صفصاف في قوار نمت من ٢ إلى ١٠٠ كيلو غرام ، في حين فقد التربة ٣٠ غراماً فقط . لقد اعتبر ذلك العالم أن الوزن الأخير يقع ضمن الخطأ العملي واستنتج بأن الماء الذي استهلكته النبتة أمد كل ما حتاجته النبتة للنمو . ولكنه كان مخطئاً : لأن نبتة تعيش في ماء مقطر بدون تربة سوف تمرض بسرعة وتموت .

أن النباتات بعكس الحيوانات تستطيع تصنيع كل المواد العضوية التي تحتاج إليها ، ولكنها بحاجة لأن تزود بالمواد اللاعضوية التي يتم التصنيع فيها . ولمعظم هذه المواد ، فإن المصدر الطبيعي هو التربة . ولقد رأينا سابقاً أن بعض العناصر ، وخاصة الكربون والهيدروجين والأكسجين ، والنيتروجين ، والفوسفور تكون تركيب الجزيئات العضوية التي تعمل كلبنات بناء الحياة ، وهي البروتينات ، والأحماض النووية ، والكربوهيدرات ، والدهون . ومن هذه العناصر تستطيع النباتات الحصول على النيتروجين والفسفور فقط من التربة ، أما العناصر الأخرى اللازمة بكميات صغيرة فهي الكبريت الضرورية للبروتينات ، والمجنيسيوم ، أحد مكونات الكلورفيل ، والكالسيوم الذي يستعمل في تكوين مركب يوجد في الجزء الوسط من الجدار الخلوي . وعنصر رئيسي لا تزال وظيفته غامضة هو البوتاسيوم ، ويمكن أن يكون مهماً في المحافظة على التوازن الأسموي للخلايا . وتسمى هذه العناصر ، بما فيها النيتروجين والفوسفور ، بالمواد المغذية الكبيرة macronutrients.

وهناك عناصر تحتاجها النباتات بكميات ضئيلة تسمى المواد المغذية الصغيرة micronutrients ولكن فقدان هذه العناصر يمكن أن يكون كارثة للنبتة . فالحديد مثلاً ، ضروري للجزيئات المتعلقة بنقل الطاقة في عمليات التنفس والتمثيل الضوئي ، والنحاس ، والمنجنيز ، والزنك تعمل كمنشطات لبعض الأنزيمات الضرورية للقيام بالتفاعلات

الاستقلابية الحيوية . أن فقدان أو نقص أية عناصرة غذائية تسبب عوارض أمراض النقص (في العناصر).

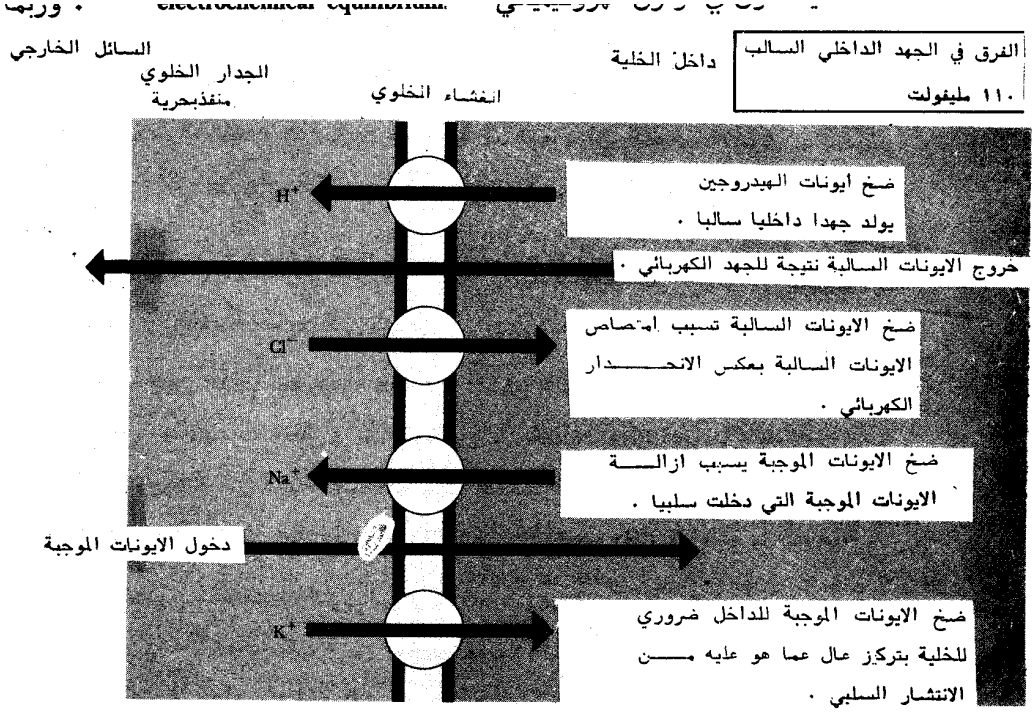
وفي بعض الأحيان تفتقر التربة لبعض هذه العناصر ، فيمكن تأمين هذه العناصر بواسطة إضافتها للتربة . ولكن في بعض الأحيان يوجد العناصر في التربة . ولكنه لا يتوافر للنبتة لأن حموضة التربة غير مناسبة أو لأنه يكون متحداً مع مادة عضوية . وفي هذه الحالة يجب إصلاح وضع التربة . أو اضافة المركب مباشرة إلى الأوراق . وفي حالات أخرى يمكن أن يكون العنصر موجوداً بكميات كبيرة ، وهذا أيضاً يمكن أن يكون ضاراً وحتى مميتاً للنمو ، أما لأن التأثيرات الأسموزية في التربة تمنع أخذ الماء أو لأن وجود المعادن كثيرة بوفرة تسمم النبتة .

لم يكن تقدير متطلبات التغذية في النبات أمراً سهلاً . فكل العناصر الموجودة في قشرة الأرض هي تقريباً موجودة في النباتات ، ولكن هذا لا يثبت أنها ضرورية . ولتبيان الحاجة لعنصر ما ، يجب الأثبات أنه بدون هذا العنصر لا تستطيع النبتة المحافظة على نمو صحيح . ويمكن تحقيق ذلك بأن نجعل النبتة تنمو بماء مقطر ، ثم تمنع أو تضاف أملاح معدنية مختارة (أحياناً بكميات ضئيلة) ثم تلاحظ التأثيرات على النمو . وفي الحالة التي تكون فيها المعادن لازمة بكميات ضئيلة جداً ، فإن طرقاً دقيقة جداً تكون ضرورية لاستبعاد أي اتصال عضوي بذلك العنصر . ولكي يبين أن الكلور مادة مغذية أساسية مثلاً ، فإن النباتات تنمو في بيوت زجاجية ذات هواء مرشح ، ذلك لأن الهواء العادي يعطي كلوراً كافياً يسد حاجات هذه النباتات .

وكما تبين هذه التجارب ، فإنه من الممكن ، تحت ظروف معينة ، أن تنمو النباتات في محلول ماء مقطر وأملاح معادن . والسؤال الآن هو : هل التربة والمواد العضوية غير لازمة للنمو الصحي للنبات ؟ وبكل دقة أنها غير لازمة . وفي الحالة الطبيعية أهمها ما يلي: جسيمات المعادن تدعم النبتة ، وتسمح للجذور بالحصول على الهواء والماء . وتساعد المادة العضوية في أمساك الماء وتحتوي على كمية كبيرة من المواد المغذية للنبتة . وبنقيض ذلك ، عندما تنمو النباتات في محلول ، فإن الجذور لا تستطيع التنفس إلا باضافة الماء المحلول باستمرار . وفي الوقت الذي توفر فيه كل المواد المغذية للنبتة بشكل سماد ، فإن الأسمدة النقية الحديثة لا تحتوي عادة على مواد مغذية دقيقة مما يتوافر طبيعياً من بقايا نباتات وحيوانات أخرى .

توجد العناصر المعدنية في التربة بشكل أيونات . فسرعة انتشار هذه الأيونات واتجاهاتها عفوياً مرتبطان بتركيزها النسبي داخل الخلية وخارجها ، وبالقدرة الكهربائية داخل الخلية . ولهذا فإن امتصاص الأيون يحدث بالانتشار على تدرج قدرة كهروكيميائية electrochemical potential gradient يضم كلا من العوامل الكهربائية والتركيزية .

ولداخل الخلية النباتية قدرة كهربائية سلبية نتيجة إزالة أيونات الهيدروجين من الخلية بواسطة مضخة نشطة في الغشاء الخلوي . وتسحب هذه اقدرة السلبية الأيونات المشحونة أيجابياً (مثل +K) إلى داخل الخلية ، بحيث تتجمع هذه الأيونات بتركيز أكثر داخل الخلية من الخارج . وعندما يتساوى التدرج التركيزي الكيميائي المتجه خارجياً مع التدرج الكهربائي المتجه للداخل فإن الخلية تكون في توازن كهروكيميائي electrohemical equilibrium . وربما يكون هذا مشابهاً لخواص علاقات الخلية والماء التي بحثت سابقاً.



الشكل (١٦ ــ ١٣) : بعض من العمليات النشطة وغير النشطة المتعلقة في المحافظة على التركيز الايوني المناسب داخل الخلايا . ان الضخ النشط لبعض الايونات خلال الغشاء النووي يخلق تدرجا كهروكيميائيا مناسبا من اجل الانتشار غير النشط للايونات الاخرى ، من والى الخلايا .

فهناك توازن القدرة الأسموزية السلبية داخل الخلية مع الضغط الانتفاخي الأيجابي ، وينتج عن ذلك التساوي ، وهنا تتوازن القدرة الكهربائية السلبية مع التدرج التركيزي الأيجابي ، أو تزيد عنه .

أن المبادئ العامة للنقل النشط ، والامتصاص غير النشط ، بحثت في فصل سابق . فهنا يجب الإشارة إلأى أن معظم الأيونات المشحونة سلبياً الهامة في تغذيـــة النبـــات ، مثل النيترات(NO_3^-) والفوسفات ($H_2PO_4^-$) تؤخذ بنشاط ضد تدرجات كهربائية وتركيزية . وفي بعض الحالات يدخل أيون غير مغذ ومشحون إيجابياً مثل الصوديوم Na^+ إلى الخلية بكميات كبيرة ، وبعد ذلك يضخ ذلك الأيون خارج الخلية .

وبعد امتصاص المواد الغذائية إلى داخل الشعيرات الجذرية فإنها تمر بنفس المجـــرى الذي يمر فيه الماء ، ومن ثم تحمل إلى كل أجزاء النبتة ، وفي الجذر ، وبعد وصولها الأوراق ، تدخل إلى الخشب وتخرج منه بواسطة النقل النشط للخلايا المجاورة . وفي كل أجزاء النبتة تصنع الأيونات في مركبات مختلفة ، أو تستعمل في ضبط الاستقلاب الخلوي .

استقلاب النيتروجين Nitrogen metabolism

على الرغم من أن النيتروجين متوافر بكثرة في الجو بشكل غازي ، فإنه غير مفيد للنبات بهذا الشكل . فالنتروجين الذي تستعمله النباتات يؤخذ من التربة كمركبات أيونية .

وتساهم عمليات كثيرة في توفير هذه المواد للنبتة . واحدى هذه العمليات هي زيـــادة مركبات النيتروجين إلى التربة من الجو . وأهم هذه المركبات هو النيترات الـــذي يتكـــون عندما يسبب الاشعاع فوق البنفسجي أو البرق اتحاد النيتروجين بالأكســـجين فـــي الجـــو . وهناك طريقة أخرى لتوفير النيتروجين للتربة وهي اعادة المادة العضوية للتربـــة بواســـطة البكتيريا . وتلعب الكائنات الحية دوراً في تحويل النيتروجين الجوي إلى مركبات عضـــوية بواسطة عملية تدعى تثبيت النيتروجين nitrogen fixation ويتحقق هذا بواسطة البكتيريا التي تعيش حرة في التربة ، أو تلك التي لها علاقة تكافلية مع جذور النبات ، خاصة تلك التي تنتمي إلى عائلة البازيلا (العائلة القرنية (Leguminosae) ، تحول البكتيريا الحـــرة النيتروجين الجوي إلى النشادر الذي يدخل في مركبات عضوية تغزو البكتيريا التكافلية

الشكل (١٦ ــ ١٤) : عقد تكونت من بكتيريا متكافلة مثبتة النيتروجين على جـــذور البازيلاء . وغالبا ما يزرع المزارعون البازيلاء أو محاصيل قرنية أخرى لتشجيع هذا النوع من البكتيريا ، وبذلك يزداد محتوى التربة مـــن النيتروجين .

شعيرات جذور النبتة المضيفة وتخترق الأنسجة إلى القشرة حيث تتكاثر وتسبب تزايد خلايا الجذر لتكون عقدة جذرية . وهناك تسحب البكتيريا الكربوهيدرات من النبتة كمصدر غذاء لها ، وبنفس الوقت تثبيت النيتروجين الذي يطلق إلى النبتـــة كأحمـــاض أمينيـــة . وبالاضافة إلى البكتيريا ، فإن الطحالب الخضراء المزرقة تستطيع تثبيت النيتروجين .

يؤخذ النيتروجين من التربة عادة بشكل نيترات . وقبل نقله في النبتـــة ، تحـــول النيترات إلى نيترات ومن ثم إلى نشادر وهذه لا تستطيع التجمع في النبتة .

الجدول ١٦-١١ المعادن

العنصر المواد المغذية الكبيرة	تأخذ النبتة بشكل	نسبته المئوية بالنسبة لوزن النبتة الجافذ	وظيفته
النيتروجين	NO_3^-	٢,٥	مكان للأحماض الأمينية ، البروتينات الأحماض النووية ، والكلوروفيل والهرمونات .
الفوسفور	$H_2PO_4^-$	٠,٣	مكون بروتينات ، أحماض نووية دهون مفسفرة ، استقلاب
البوتاسيوم	K^+	١,٥	الطاقة ATP وأنزيمات مساعدة الدور غير مؤكد . يحافظ على التوازن الأسموزي للخلايا ، مثل الخلايا الحارسة للتغيرات ، تصنيع البروتينات وعمل بعض الانزيمات .
الكالسيوم	Ca^{++}	٠,٥	أحد مكونات جدران الخلية ، وكذلك في الصفيحة الوسطية بمركب بكتيت الكالسيوم.
المجنيسيوم	Mg^{++}	٠,٣	أحد مكونات الكلوروفيل ، له علاقة بتفاعلات أنزيمية كثيرة ، يثبت الريبوسومات .
الكبريت	SO_4^{--}	٠,٢	أحد مكونات البروتينات والأنزيم المساعد.
الحديد	$Fe^{++(+)}$	٠,٠٥	يلزم في جزيئات نقل الطاقة في التنفس والتمثيل الضوئي ، وكذلك في تصنيع الكلوروفيل.
الكلور	CI^-	٠,٥	يلزم في التمثيل الضوئي
النحاس	CU^{++}	٠,٢	مكون ومنشط لانزيمات عديدة .
منغنيز	Mn^{++}	٠,٠٠١	مكون ومنشط لانزيمات متعلقة بالتمثيل الضوئي والتنفس واستقلاب النيتروجين.
الزنك	Zn^{++}	٠,٠٣	مكون ومنشط لانزيمات مختلفة ، يلزم في تصنيع الأكسجين (هرمون) وبروتينات.
موليدينوم	MoO_4^{--}	٠,٠٠٠١	متعلق باستقلاب وتثبيت النيتروجين
بورون	BO_3^{--}	٠,٠٥	غير مؤكدة- يمكن أن يكون: نشيطاً في نقل السكر، وفي امتصاص واستعمال الكالسيوم .

لأنها سامة . وبدلاً من ذلك ، فإنها تتحول بسرعة إلى حمض جلوتاميك (حمض أميني بسيط) ، وبهذا الشكل تنتقل خلال النبتة وتصنع أحماض أمينية أخرى في الخلايا حيث الحاجة إليها ، باستعمال النيتروجين الموجود في حمض الجلوتاميك .

التمثيل الضوئي: تأثيرات البيئة Photosynthesis: environmental influences

يعتمد التمثيل الضوئي ، كغيره من العمليات التي عالجنا ، على توفر مواد معينة ضرورية في البيئة . والمواد المهمة في هذه الحالة هي تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو وقوة الضوء الذي يصل للورقة .

توفر ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide supply

أوراق النبات فعالة جداً في أخذ ثاني أكسيد الكربون من الجو ، بحيث يؤدي عدم توفر كميات كافية من هذا الغاز خلال الصيف الذي يوجد فيه أوراق كثيرة إلى سرعة منخفضة في التمثيل الضوئي . وبعكس ذلك ، فإن تركيزاً عالياً لثاني أكسيد الكربون يمكن أن يزيد من سرعة هذه العملية . وتستعمل هذه الفاعلية في تدبير محاصيل البيوت الزجاجية مثل البندورة ، في أوروبا . ويمكن زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون في البيوت الزجاجية بشكل صناعي لزيادة مستوى التمثيل الضوئي ، وخاصة في شمالي أوروبا ، حيث الاشعاع الشمسي غير قوي .

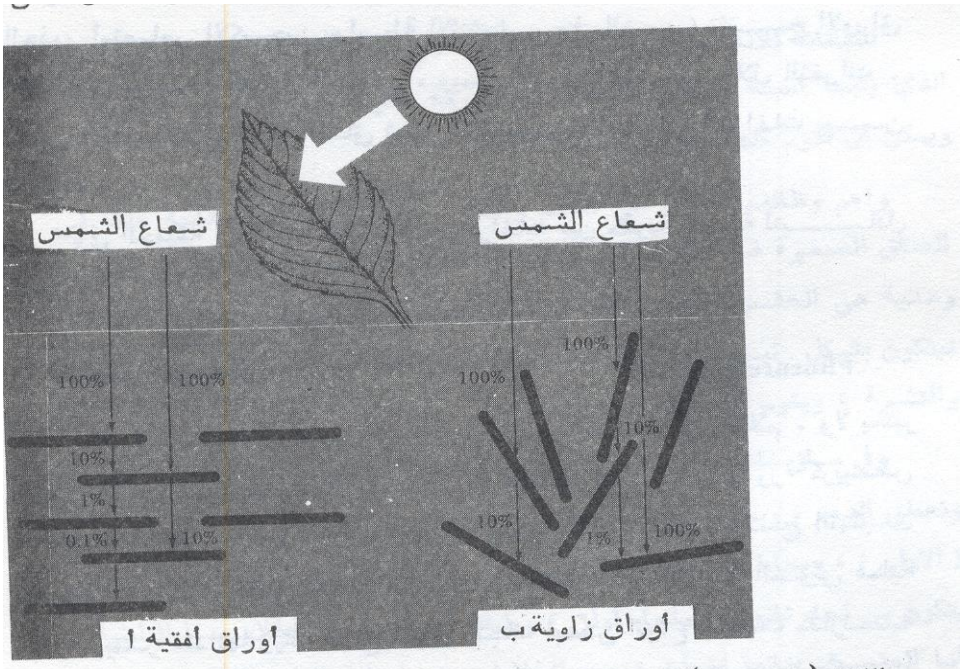
قوة الضوء Light intensity

كما تزيد المستويات العالية من ثاني أكسيد الكربون في عملية التمثيل الضوئي فكذلك تفعل قوة الضوء الزائدة . فالتمثيل الضوئي لا يحدث بغياب الضوء ، وبهذه الحالة يتكون ثاني أكسيد الكربون نتيجة للتنفس . وإذا كانت قوة الضوء قليلة ، فإن عملية التنفس تفوق عملية التمثيل الضوئي . ولكن بزيادة قوة الضوء . يزداد التمثيل الضوئي وأخيراً يتوصل إلى مرحلة تسمى نقطة التعويض compensation piont وهي النقطة التي يكون فيها التمثيل الضوئي متعادلاً مع التنفس وهنا لا يحدث تبادل غازات .

إذا استمرت زيادة الضوء ، فإن التمثيل الضوئي سيفوق عملية التنفس ، إلى أن يوصل إلى نقطة تصبح فيها النبتة مشبعة بقوة الضوء . بعد هذا فإن أي زيادة في قوة الضوء لن تزيد من التمثيل الضوئي .

وفي الحقل ، عندما تكون ورقة واحدة مشبعة بالضوء فإن العديد من الورقات أسفل منها تتلقى ضوءاً غير كاف . والضوء الذي ينتقل إلى الأوراق السفلى يكون جزءاً بسيطاً من الضوء الذي يصل إلى الأوراق العليا . وتستلم الطبقة الثانية من الأوراق في الجزء الأعلى من الغابة حوالي ١٠% من الضوء الذي يسقط على الطبقة العليا ، بينما تستلم الطبقة الثالثة ١% فقط ولهذا فإن قوة الضوء الأمثل لمحصول ما ، أكثر بكثير من القوة المطلوبة لورقة وحيدة .

أن ترتيب الأوراق وزاوياها تساعد في تقرير كم من قوة الضوء ستمر على طبقات



الشكل (١٦ ــ ١٥) : تستطيع النباتات أن تحسن استعمالا كاملا من ضوء الشمس الذي تستلم اذا ما نمت أوراقها بحيث تعمل زوايا مع الساق ، وليست بشكل أفقي . في النبتة على الشمال ، تستلم معظم الاوراق السفلى ضوءا شمسيا أقل بكثير من تلك التي في النبتة على اليمين .

الأوراق السفلى . فكلما كانت الأوراق أكثر انتصاباً ، كان الضوء الذي يصل الأوراق الدنيا أكثر ، وبالتالي تكون النباتات أكثر فاعلية باستعمال الضوء ، وتكون مساحة الأوراق التي يمكن دعمها على مساحة معينة من الأرض أكثر . ومن ناحية زراعية تعتبر هذه المبادئ هامة في اختيار المحاصيل وتوقيت الزراعة ، وإنتاج نوعيات محاصيل جديدة

ويمكن انماء المحاصيل بشكل أكثر فاعلية إذا كان لها المساحة الورقية القصوى عندما تكون قوة الضوء في أوجها بسبب الارتفاع العالي للشمس في سماء منتصف الصيف .

التنفس Respiration

بعكس الحيوانات العليا ، فإن النباتات لم تكون جهازاً دقيقاً لتبادل الغازات . وعلى الرغم من ذلك ، فإنه يتوجب عليها تزويد خلاياها بالأكسجين لأمداد عملية التنفس بالوقود كما ذكر سابقاً . وهذا ممكن نظراً لأن السطح الكلي للنبتة له ثغور كافية تسمح بمرور كمية كافية من الأكسجين . وتستطيع الجذور امتصاص الأكسجين بواسطة الانتشار . وفي الضوء ، تنتج الأوراق الأكسجين بواسطة التمثيل الضوئي . ويمكن أن يمر الأكسجين خلال الثغرات . وحتى العديسات في لحاء الساق تمرر الأكسجين خلالها إلى الفراغات بين الخلوية .

وفي الحقيقة أن النبتة ككل تمتلئ بفراغات بين خلوية متصلة لتبادل الغازات .

التنفس الضوئي Photorespiration

لقد ثبت حديثاً أن تنفس النباتات في الضوء أكثر منه في الظلام . ولا يعتبر هذا التنفس حقيقياً – بشمل تفكك الجلايكوجين ودورة كربس glycolysis and the krebs cycle ولكنه تفكك مباشر لنواتج التمثيل الضوئي ، وإخراج لثاني أكسيد الكربون . وهكذا فإن التنفس الضوئي عملية مبذرة ويفسر فقدانها زيادة إنتاج الوزن الجاف لبعض أنواع النباتات مقارنة بالبعض الآخر فمثلاً ، تتنفس فول الصويا ضوئياً ، بينما لا تفعل ذلك الذرة ، ولذلك فإنها منتجة أكثر فعالية .

وحاول مربوا النباتات أن ينتجوا أنواعاً جديدة من النباتات التي تتنفس ضوئياً وتستطيع أن تتنفس أقل لتزيد من تمثيلها الضوئي الصافي . ويمكن أن يثبت في نهاية المطاف أنها وسيلة هامة لزيادة إنتاج المحاصيل .

ملخص الفصل السادس عشر

للنباتات ثلاثة أجزاء رئيسية :الساق التي ترفع الأوراق في الجو ، والجذر الذي يثبت النبتة ويمتص الغذاء ، والورقة التي تقوم بالتمثل الضوئي . ويمكن أن تقوم كلها بتخزين الغذاء .

وأهم وظائف الساق هي الدعم والنقل . وتكون الجزم الوعائية حلقة في الساق الصغيرة غير الخشبية في ذوات الفلقتين . وأهم عناصر النقل في حزمة وعائية هي الخشب الأولى واللحاء اللذان يفصلهما الكامبيوم ، أما بقية الساق فيتكون بشكل رئيسي من خلايا برنشيمية تكون اللب في داخل الحزم الوعائية والقشرة ، ويقوم اللب بتخزين الغذاء .

وفي ساق ناضجة لنبتة ذات فلقتين ، تحيط أسطوانة من الخشب بالوسط وتعطي الدعم ، ويحيط الخشب الثانوي الذي لا يزال نشطاً في نقل الماء بالخشب (الأولى) ، ويحاد هذا بدوره بالكامبيوم . وخارج الكامبيوم يوجد اللحاء ، الذي يتكون من لحاء ثانوي ، ولحاء أولى ، وطبقة إخراجية من الخلايا من الخلايا الفلينية . أما العديسات فإنها ثغرات تسمح للخلايا تحت طبقات الفلين الجديدة (والتي تتكون من الكامبيوم الفليني) بالتنفس ، وتتشبع خلايا الفلين الناضجة بمادة سوبرين غير النفاذة التي تعطي الحماية .

أما التغلظ الثانوي فإنه يمد الساق بخشب ولحاء ثانويين . ويتم هذا عندما يكون الكامبيوم الوعائي أسطوانة كاملة ويبدا بالانقسام ليكون خشباً إلى الداخل ولحاء إلى الخارج . وينتج عن هذا العمل الفصلي حلقات سنوية .

وللسيقان غير الخشبية في ذوات الفلقة الواحدة ، حزم وعائية مبعثرة في المنطقة المركزية . ولكل حزمة خشب ، ولحاء ووعاء خشبي ، وفجوة لعناصر الخشب الأولى التي تنضج .

ووظائف الجذر الرئيسية هي امتصاص ونقل الماء والمواد المغذية ، ويقع النسيج الوعائي في وسط جذر ذوات الفلقة الواحدة ويكون الخشب الأولى في المركز على شكل نجمة . ويقع بين نقاط النجمة اللحاء . وأما الكامبيوم فإنه يفصل بين الخشب واللحاء . وتحيط طبقة الحلقة الحولية المكونة من خلايا برنشيمية النسيج الوعائي ، وتحاط هذه الطبقة بدورها بالبشرة الداخلية . ولكل خلية من هذه البشرة خطوط كاسبيرية مضادة للماء . ويوجد خارج البشرة الداخلية القشرة المكونة من خلايا برنشيمية ، والبشرة الخارجية التي تنمو منها الشعيرات الجذرية . ولجذور ذوات الفلقة الواحدة خشب ولحاء على شكل حزم منفصلة تتبادل في حلقة تحت البشرة الداخلية .

ووظيفة الورقة هي تكوين الكربوهيدرات . ويتلقى السطح الأعلى للورة ذات الفلقتين الضوء أما السطح السفلي فيستلم ثاني أكسيد الكربون . ويغطي السطح العلوي البشرة الخارجية المطلية بادمة شمعية . ويأتي تحت السطح العلوي نسيج وسطي عمادي غني بالبلاستيدات الخضراء ، ونسيج وسطي أسفنجي . وتوجد الثغرات على سطح الورقة السفلى . ويكون النسيج الوعائي في ورقة ذات الفلقتين على شكل عروق متفرعة . أما في أوراق ذوات الفلقة الواحدة فتكون هذه العروق متوازيية .

يسمى معظم الماء الذي تستعمله النباتات بماء الشعيرات الذي يكون مثبتاً في المساحات بين جسيمات التربة بواسطة التوتر السطحي . وعملية دخول الماء للنبتة وتوزيعه فيها هي جزئياً عملية انتشار عبر أغشية الخلايا . والذي ينظم الانتشار في خلايا النبات هو القدرة الاسموزية ، والتدرج التركيزي ، وضغط الانتفاخ . ويؤدي دخول الماء إلى فجوة الخلية إلى زيادة ضغط الانتفاخ ، إلى أن يتوازن ذلك مع اتجاه الماء للدخول إلى الخلية . هنا تصبح الخلية ممتلئة .

تتعادل قدرة ماء الخلية مع القدرة الاسموزية لعصارة الخلية بالإضافة إلى قدرة الضغط للخلية نفسها . وينتشر الماء باتجاه تدرج قدرة الماء . ويقرر الفرق في قدرة الماء داخل الخلية وخارجها حركة الماء إلى الخلية وخارجها .

يسمى فقدان الماء من الخلية بالنتح . ويتبخر الماء من جدران الخلية إلى داخل الفتحة تحت الثغرية ويترك الثغرات نتيجة لقدرة الماء في الهواء الخارجي . وعندما تجف التربة ، ويمكن أن تفوق خسارة الماء بواسطة النتح دخول الماء للنبتة . وإذا حدث ذلك ، فإن

الضغط الانتفاخي سوف يهبط إلى أن يصل الصفر بحيث ينكمش البروتوبلازم وتذبل النبتة . وإذا استمرت الحالة فإن البروتوبلازم ينفصل عن جدار الخلية وتصبح النبتة ذابلة بشكل دائم وتسمى هذه العملية بتفكك بروتوبلازم الخلية .

يتوزع الماء الذي يرتفع في الخشب إلى الساق والأوراق . ويرتفع الماء في الخشب نتيجة التوتر الذي ينشأ عن قدرات الماء السلبية التي تزيد عن –١٠ بارات في أعلى الشجرة وتسمى قوة التبخر في الجو قوة سحب النتح .

ومن ناحية أخرى يتوزع السكر من الأوراق إلى بقية أجزاء النبتة بواسطة اللحاء . وتتحرك السكريات خلال الفجوات الاسموزية التي تتكون من خلال أغشية الخلايا ، في أنابيب اللحاء الغربالية في عملية اسموزية مدفوعة تسمى السيلان الجماعي .

ويلزم النباتات عناصر غير عضوية ضرورية لتصينع عناصر عضوية . ومن ضمن العناصر التي تحتاجها النباتات المواد الغذائية الكبيرة والصغيرة ويلزم النوع الثاني بكميات ضئيلة جداً .

توجد عناصر المعادن في التربة بشكل أيوني . ويتم امتصاص الأيونات إلى داخل النبتة بواسطة الانتشار مع تدرج كهروكيميائي ، الذي ينتج عن عوامل كهربائية وتركيزية وتخرج مضخة نشطة في الغشاء النووي أيونات الهيدروجين من الخلية ، لتخلق بذلك قدرة كهربائية سلبية ، ويسحب هذا الشحن السلبي الأيونات المشحونة ايجابياً إلى داخل الخلية إل أن يصبح التركيز الأيوني داخل الخلية أكثر منها خارجها ، ويحدث التوازن الكهروكيميائي عندما يتساوى التدرج التركيزي الكهركيميائي مع التدرج الكهربائي المتجه للداخل .

تزيد قوة الضوء الكبيرة والتركيزات العالية لثاني أكسيد الكربون عملية التمثيل الضوئي ، وتوصل الأوراق العليا جزءاً بسيطاً من الضوء الذي يقع عليها إلى الأوراق السفلى . ولهذا فإن ترتيب الأوراق وزواياها مهمة في تعزيز كمية الضوء التي تصل إلى الأوراق السفلى . ويشمل التنفس الضوئي إخراج ثاني أكسيد الكربون نتيجة التفكك المباشر لنواتج التمثيل الضوئي .

نظرة فاحصة

هل عليك أنتغني لحديقتك ؟

Sould Yor Serenada Your Garden?

في مدينة دونزبري Doonesbury لا يتحدث زونكر هاريس الفائز بجائزة بوليتزر للتسلية pulitzer Prize لنباتاته فقط ، بل ويعاملها كأناس خضر ، تقريباً .

ويبالغ راسم الكاريكاتورجاري ترودو بالفكرة لاقت شعبية منذ فترة ، والقائلة بأن النبات يستجيب للمنبهات ، كما يفعل الناس . فمثلاً ، قامت شبكة التلفزيون الأميركية CBS بنشر موضوع تجربة نمت فيها النباتات باتجاه مستقبل يبث موسيقى هندية ، بعيداً عن مستقبل آخر يبث موسيقى الهز (الروك) الصاخبة . لقد بدأت التجربة ، التي قامت بها سيدة عادت للجامعة بعد أن كبر أولادها ، بتعريض مجموعة من النبات لنوتات "ب" و "د" لخمس دقائق ، متناوبة مع خمس دقائق من السكوت . واسترمت التجربة لمدة عدة أسابيع . وتركت مجموعة أخرى من النبات بسلام . بعد نهاية التجربة ، ذبلت النباتات التي تعرضت للخصب وماتت ، أما النباتات الأخرى فإنها انتعشت . وتحت ظروف أكثر تحكماً ، تعرضت مجموعات من النباتات لنوتة "ف" مستمرة . وأخرى لنوتة "ف" لمدة ثلاثة ساعات في اليوم ، وثالثة للهدوء التام . أما المجموعة الأولى فإنها ماتت ، وأما الثانية فإنها ازدهرت أكثر من تلك التي كانت في المنطقة الهادئة . ويبدو أن بعض الصوت حفز النباتات للنمو ، بينما قتلها الصوت الكثير . وتتابعت بعد ذلك الاكتشافات للاستجابات المختلفة لأنواع مختلفة من الموسيقى إذ تبين أن النبات ينمو باتجاه مستقبلات ثبت الموسيقى الكلاسيكية ، والجاز ، والأغاني الهندية ، ولكن بعيداً عن الموسيقى الصاخبة . أما عن الموسيقى الصاخبة . أما الموسيقى الشعبية فلم يكن لها أي تأثير .

أن فكرة فحص افتراض يقول بأن "النباتات تستجيب للموسيقى" تبدو وكأنها محالـــة . فليس للنباتات آذان أو مستقبلات أخرى حاسة للصوت . ولكن داروين لعب المزمار أمـــام نبات الميموزا الحساس ليرى ما إذا كانت الموجات الصوتية مثيرة للأوراق المتجعدة ، كما يفعل أقل لمس لها . وكان الجواب سلبياً .

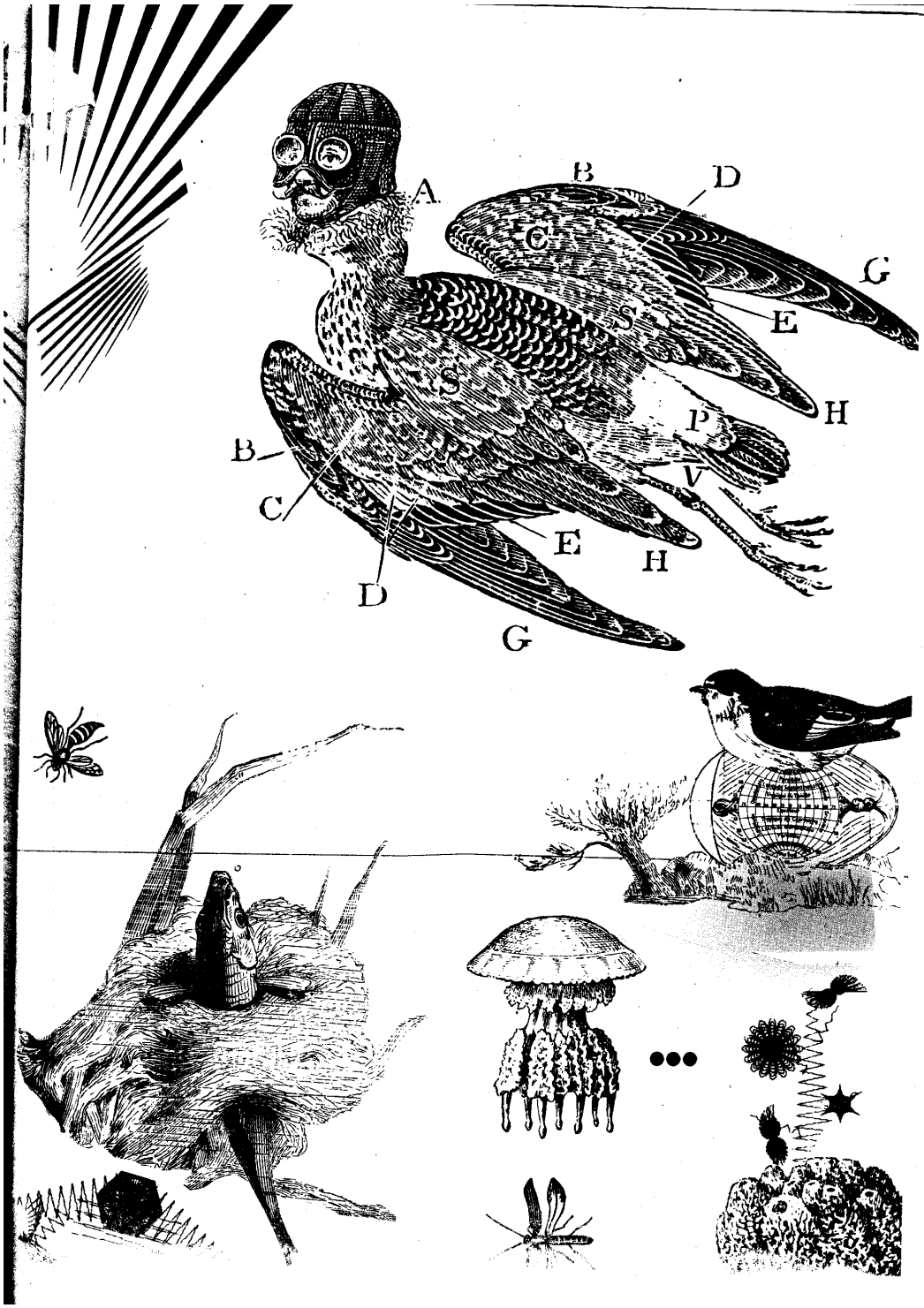
عندما يتحدث الناس عن تأثير الموسيقى على النبات ، فإنهم عادة يفكـــرون بنتـــائج أكبر من تلك التي كان يبحث عنها داروين . أنهم يقصدون بأن الموسيقى تجعل النبات ينمو بسرعة أكبر ، ويزهر أبكر ، أوينتج بذور أكثر– وبعبارة أخرى– يفكرون بأن الموسيقى تجعل النبات أكثر افادة أو سروراً للناس ، فمثلاً ، بدأ بائع زهور من مدينـــة ميلـــووكي Milwaukee بعزف الموسيقى لبيته الزجاجي لأن نباتاته "نمت أكثر اســـتقامة ، أنبتـــت بسرعة أكثر ، وأزهرت بوفرة أكثر . لقد كانت ألوان النباتـــات أكثـــر اثـــارة للعـــين ، وعاشرت الأزهار مدة أطول" . وبنفس الصورة ، فغن مزارعاً كندياً كان يلعب موسيقى باخ لقمحه ، الذي أعطى محصولاً أكثر من لمعدل بـــ٦٦% وبذوراً أكبر وأثقل . ومـــن سوء الحظ ، فإن تلك النتائج تثبت الشيء القليل ، نظراً لأنه لم يكن هنـــاك مجموعـــات تحكم ، أو أية محاولات أخرى للحد من العوامل المتغيرة .

وقام مجرب آخر أكثر حذراً بتربية الذرة وفاصولية الصويا في بيتين زجاجيين كانت درجة الحرارة والرطوبة فيهما متطابقة . لقد لعب في إحدى البيتين تسجيل Rhapsody in Blue لجيرشوين ، ولم تعزف أية موسيقى في البيت الآخر . وفـــي البيـــت الزجـــاجي الموسيقى برعمت النباتات أبكر وكانت أثقل (ويفترض أنها ذات صحة أحسن) من تلك التي في البيت الهادئ . وفي تجارب أخرى عن الذرة في الأرض ، قورنت تأثيرات الموسيقى بتلك الناتجة عن أصوات ذات درجات نغم عالية وأخرى منخفضة . وتبـــين بـــأن الـــنغم المتواصل كان أكثر فعالية في إنتاج محاصيل اكبر ، ولكن ، لا يمكن معرفة أسباب هذه النتائج من التجارب الغنائية .

أن استعمال الأصوات المسموعة لتنبيه النباتات أثار اهتمام بحاثة آخرون . فلقد وجد عالماً أحياء من جامعة أتاواً بأنه تحت ظروف معينة ، فإن تكرار يبلغ ٥٠٠٠ دورة فـــي

الثانية يحفز محاصيل القمح ، ويبعث على الأمل بمضاعفة محاصيل القمح . وقامت مجموعة أخرى من العلماء بجامعة كارولينا الشمالية في جوبنز بورو Greansboro بتعويض بذور رطبة وجافة من اللفت للصوت الذي يوصف بأنه "صوت طائرة بوينج ٧٢٧ تسير بسرعة ٣٠كم/الدقيقة" لقد كانت البذور الجافة غافلة عن الصوت ، أما البذور الرطبة "فطارت" ، حيث أنبتت بوقت أقل ١٠% ، وبسرعة ١٠٠% أعلى ، مقارنة ببذور التحكم . وإذا كان الأزعاج محفزاً للانبات ، فإن البحاثة يقترحون قذف حقل ما بالصوت قبل حرثه ، لتحضير البذور . ولكن ، ربما يكون مستوى ازعاج صوت محرك الطائرة عالياً ، إلى الحد الذي لا يتحمله المزارع أو جيرانه ولهذا ، فإن البحاثة يبحثون عن الفترة الصغرى (من الأزعاج) لتشجيع الاثبات ، وكذلك عن أطوال الموجات التي تعمل على الأحجام الصغرى .

وللآن ، لا توجد أية مجموعة أبحاث قادرة على تفسير الأسباب الكامنة وراء المنبهات السمعية لنمو النبات . وتقترح مجموعة جامعة كارولينا الشمالية أما تأثيراً ميكانيكاً بغير غلاف البذرة يسمح بدخول ماء وأكسجين أكثر ، وتأثيراً بيوكيميائياً يحدث موجات داخل الخلية ترفع من متسوى الطاقة وتحفز الانبات بوسائل غير معروفة حتى الآن . ومعظم ما يقال عن هذه النقطة هو أن محركات الطائرات يمكن أن تكون أفضل لنباتاتك من الدندنة لها . ولكن تبقى الاسئلة لماذا وكيف يتم هذا التأثير بحاجة إلى تفسير .


A
B
D
C
G
E
S
S
H
P
B
V
C
E
H
D
G

الفصل السابع عشر

أجهزة الفقاريات

Verebrate Systems

تحتاج جميع الخلايا الحية إلى أمدادات من مواد لتكوين المركبات الحيوية ، ولإنتاج الطاقة . وتحتاج هذه الخلايا طرقاً لتبويب هذه المواد ولتوزيعها في الخلية وللتخلص من الفضلات . وبالنهاية فوجود ميكانيكية معينة تدير وتسيطر على العمليات الحيوية في الجسم أمر ضروري.

فبالنسبة للكائنات وحيدة الخلية جميع هذه الظروف مهيأة داخل الخلية نفسها ، أو في الوسط الذي تعيش فيه . فالمواد تمر مباشرة من خلال الغشاء الخلوي ، أو تحول خارجياً بواسطة افرازات خاصة من قبل الخلية ومن ثم يتم امتصاصها . فنقل المواد وطرح الفضلات لا يعتبران مشكلة في هذه الحالة لأن المسافة قصيرة جداً . وعملية التنظيم هنا تتم بطريقة ضمن لخلية نفسها .

أما الكائنات متعددة الخلايا فتواجه مشاكل أكبر بسبب حجمها . وسبب تعدد التخصصات لخلاياها . فبعض هذه الكائنات لا تستطيع القيام بهذه الوظائف وبعضها يستطيع . ولبعد بعض هذه الخلايا عن المواد الخام فإنها ستجوع أو تختنق أو تتسم بفضلاتها لولا وجود جهاز للتزويد والتوزيع فالانتشار وحركة السيتوبلازم لا تكفي بهذه الحالة .

لقد شاهدنا في الفصل الخامس عشر الطرق التي حلت بواسطتها بعض الحيوانات وخصوصاً الدنيئة منها هذه المشاكل . والآن سنوضح الأشكال التي تتخذها أجهزة الثدييات

وخصوصاً الأنسان ، وسنتطرق قليلاً إلى حيوانات راقية أخرى . ومع أن لكل نوع من هذه الكائنات تكيفه الخاص ، إلا أن النمط العام متشابه . فإذا استطعنا فهم ما يحصل في أجسامنا فإن ذلك يعطينا انطباعاً مفهوماً أساسياً عما يحدث في أجسام المخلوقات الأخرى .

التغذية والهضم: Nutrition and digestion

تتكون الخلايا من مجموعة كبيرة من المركبات العضوية مكونة من أثنى عشر عنصراً أو ما يقاربها من عناصر الأرض . وبسبب عجز الكائنات غير ذاتية التغذية عن تكوين هذه المواد من المواد غير العضوية الموجودة ي البيئة كما هي الحال في النباتات الخضراء ، فإنها تحصل على هذه المواد عن طريق تغذيتها على كائنات أخرى أو عن طريق أخذها نواتج الحيوانات الأخرى . والمشكلة هنا تكمن في أن المواد العضوية التي يحصل عليها تبنى أصلاً لاستعمالات الكائن الأصلي وليس للكائن الذي يتغذى عليها . وتتكون هذه المركبات من جزيئات عملاقة كالبروتينات والنشويات والدهون وهذه لا تستطيع المرور من خلال الغشاء الخلوي لخلايا الحيوان الذي يأكل أو يهضم هذه المواد . تأمل ماذا سيحدث لو استطاعت هذه الجزيئات الانتشار من خلال الأغشية الخلوية . فالخلايا ستكون غير قادرة على الاحتفاظ بسيتوبلازمها الذي هو بالأساس بروتين . والمواد الغذائية لا يمكن أن تخزن في الخلايا لاستعمالها فيما بعد . وإذا حصل وتم امتصاص البروتين من أحدى الكائنات دون تحول في خلايا الكائن الآخر ، فإن سيرفض باعتباره جسماً غريباً وذلك نتيجة لاستجابات الجهاز المناعي في المستقبل . فواضح أن هذه المركبات يجب أن تتحول إلى أشكال يمكن الاستفادة منها– أي يجب أن تهضم .

وكما رأينا في أغلبية الكائنات متعددة الخلايا أن الهضم يكون أساساً خارج الخلايا . ويجب أن يتم تكسير أجزاء الطعام ميكانيكياً إلى أجزاء ذات أحجام ملائمة لعمل الأنزيم . في كل الكائنات متعددة الخلايا ما عدا البسيطة منها يحدث هذا الهضم الميكانيكي والانزيمي في قناة هضمية ذات اتجاه واحد كتلك الموجودة في دودة الأرض ، فهناك أنبوب مجوف وبه فم لاستلام الطعام في أحد طرفيه ، وينتهي بالطرف الآخر بفتحة الشرج لخروج الفضلات . وبما أن الغذاء يمر باتجاه واحد ، فإنه يبوب في سلسلة من المراحل في مناطق معينة ذات وظيفة متخصصة .

القناة الهضمية العليا: The upper digestive tract

يستلم الفم الطعام ويهيئه لرحلته خلال القناة الهضمية . فتقوم الأسنان بكسر أو طحن الطعام إلى أجزاء صغيرة ، وتقوم الغدد اللعابية بإفراز اللعاب ، وهي مـــادة مخاطيـــة ترطب وتعمل على تليين أجزاء الطعام . وتحتوي المادة اللعابية في الأنسان علـــى أنـــزيم الأميليز (تيالين) الذي يبدأ بهضم النشا .

يعمل اللسان على مزج الطعام باللعاب مكوناً كتلة بشكل الكرة تدعى البلعة ، يدفعها إلى البلعوم ومن ثميقوم المرىء بنقل البلعة إلى المعدة بواسطة التقلصات الموجية (الدودية) لعضلاته . ولا يقوم البلعوم والمرىء بوظيفة الهضم وإنما يقومان بوظيفة النقل .

المعدة : stomach

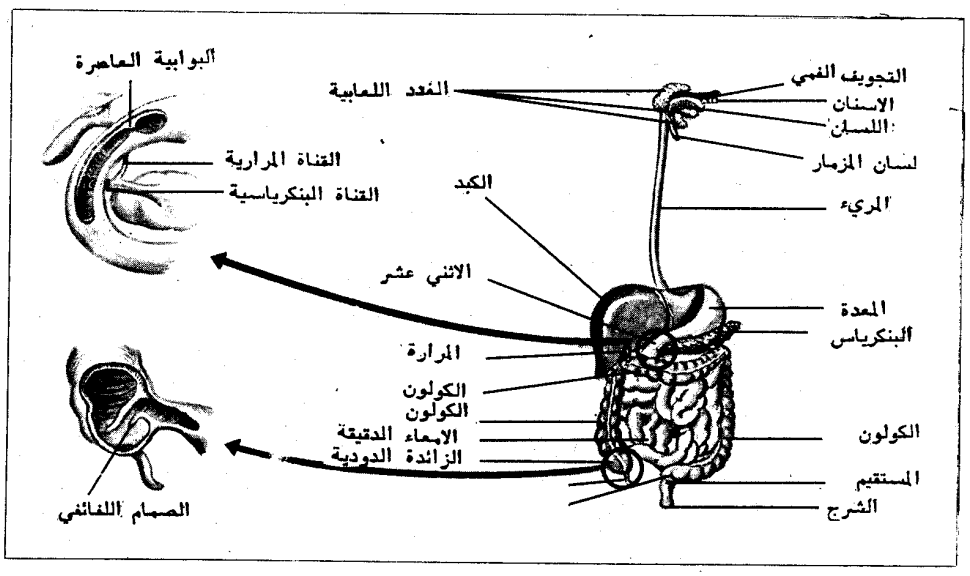
بعدها يدخل الطعام إلى المعدة وهي كيس عضلي يعمل في الأنسان والثدييات كعضو خازن . تعمل المعدة على طحن ومزج المواد التي شرع بتكسيرها الفم وتقـــوم بالمراحـــل التميهيدية من الهضم الأنزيمي . ويتكون الجدار المعدي من غشاء مخاطي داخلي من خلايا طلائية تحوي عدداً من الغدد ، وطبقة متوسطة من عضلات ملساء وطبقة خارجيـــة مـــن نسيج ضام . وتفرز غدد البطانة الداخلية المادة المخاطية التي تعمل على حماية بطانة المعدة وتمزج مع الطعام . وتقوم بإفراز العصارة المعدية عالية الحموضة (وهذه الحموضة مهمـــة لأسباب ستبين فيما بعد) . كما أنها تحوي الأنزيمات التي تبدأ بهضم البروتين .

أن النتاج النهائي لنشاط المعدة هو تكوين كتلة شبه سائلة تسمى الكيمـــوس . ويقـــوم الصمام البوابي الذي يقع في نهاية المعدة بالتحكم بمرور الكيموس إلى الأمعاء الدقيقة .

الجهاز الهضمي في الأنسان:- The human digestive system

سيستغرب الكثير من الناس إذا قيل لهم بأن هضم أحدث وجبة طعام يتناولونها يحدث خارج أجسامهم . وهذا إلى حد ما حقيقة . فمع أن القناة الهضمية تكون داخل الجسم إلا أن سطحها الداخلي أو ما يسمى الجزء الطلائي وهو السطح الذي يلامس الطعام يكون استمرار لسطح الجسم الخارجي .

لهذا يعتبر تجويف الأمعاء امتداداً للبيئة الخارجية تماماً كالنفق داخل الجبل الذي يعتبر امتداداً للطريق . ولهذا يستطيع الجهاز الهضمي التعامل مع المواد الغريبة (أي الطعام) بمساعدة أنزيماته القوية دون أن يتأثر بردة فعل الجهاز المناعي أو أن يهضم ذاتياً .



الشكل (١٧ ــ ١) : الجهاز الهضمي للانسان ، مبينا الاجزاء المختلفة لقناة الهضم والاعضاء الرئيسية المساهمة في عملية الهضم . لاحظ العضلة البوابية العاصرة ، حيث القناة البنكرياسية تقع تحتها تماما عند بداية الامعاء الدقيقة . لاحظ ايضا تركيب الصمام اللفائفي ــ الاعوري ذي الاتجاه الواحد والذي يساعد على ضمان أن المواد ما أن تدفع الى القولون فانها لن تعود الى الامعاء الدقيقة . ان صمامات تسمح بالمرور باتجاه واحد مثل هذ االصمام هي شائعة الوجود في مناطق أخرى من الجسم .

الأمعاء الدقيقة The small intestine

تعتبر الأمعاء الدقيقة الجزء المهم في الجهاز الهضمي ، وذلك لأن كل الهضم الأنزيمي تقريباً يحصل في هذا الجزء وكذلك تتم هنا عملية امتصاص المواد الغذائية التي تم تكسيرها تماماً إلى أنسجة الجسم ، ولولا عملية الامتصاص لما كان لعملية الهضم أية فائدة . وتقوم الغدد المجاورة للأمعاء وخصوصاً البنكرياس والغدد الموجودة في الطبقة المخاطية للأمعاء بإفراز الأنزيمات الضرورية . وتعمل الحركة العضلية على مزج الكيموس بالانزيمات الهاضمة وتعمل على تحريك الكتلة الغذائية خلال القناة المعوية . وتقوم العضلات الموجودة في جدار الأمعاء بنوعين من الحركة : الحركة الدودية والحركة الموضعية الدائرية التي تؤدي إلى عصر وفرك الكيموس ومزجه مع العصارات .

الأمعاء الغليضة: The large intestine

للقولون والأمعاء الغليظة وظيفة رئيسية وهي امتصاص الماء والأملاح من البقايا غير المهضومة التي تمرر من الأمعاء الدقيقة . وتبدأ من الجهة اليمنى السفلية للبطن حيث تلاقي الأمعاء الدقيقة . وفي نقطة الالتقاء هذه يوجد كيس مع بروزات تشبه الأصابع وهذه هي الزائدة الدودية (الأعور) غير المرغوب فيها . ولا يوجد وظيفة مهمة للزائدة الدودية في الأنسان ، ولكنها مهمة في الثدييات .

ويدعى الجزء الأخير من القولون بالمستقيم ويعمل كمنطقة نهائية لخزن الفضلات قبل طرحها خارج الجسم عن طريق الشرج .

الاختلافات في الأجهزة الهضمية: Variations in digestive systems

مع أن القناة الهضمية للأنسان كما تم وصفها سابقاً تعتبر كنموذج عام للأجهزة الهضمية في بقية الحيوانات الراقية ، إلا أن هناك بعض الأختلافات الخاصة لمتطلبات غذاء خاص . والاختلاف أكثر وضوحاً هو الأسنان ، كما يظهر في الرسم التوضيحي التالي . وهناك اختلافات أخرى أيضاً كتلك الموجودة في الحيوانات المجترة كالبقر والخفرفان والغزلان إذ لهما أربع معد لتقوم بعملية الهضم السليلوزي .

والأمعاء الدقيقة في معظم أكلات الأعشاب تكون أطول عادة من أمعاء أكلة اللحوم وهذا يساعد على بقاء المواد في القناة الهضمية لفترة أطول ليعوض عن تداخل السليلوز مع هضم الخلايا النباتية . وبالعكس فأكلة اللحوم تكتفي بإمعاء دقيقة قصيرة نسبياً . أما الحيوانات التي تتغذى على النباتات والحيوانات ، مثل الأنسان والدب ، فتمتلك أمعاء دقيقة ذات طول متوسط .

الهضم الأنزيمي Enzymatic digestion

كما شاهدنا ، يحدث الهضم الأنزيمي بشكل رئيسي في الأمعاء ، وبشكل أقل في الفم والمعدة . ولا تمتلك الأمعاء الغليظة أية وظيفة هضمية على الأطلاق . هضم الكربوهيدرات : تعمل جميع الانزيمات الهاضمية على التحلل المائي ، ومعظمها ذات تخصص عال تحطم نوعاً أو نوعين من الجزيئات فقط . فتتحلل الكربوهيدرات مائياً

بواسطة الكربوهيدرايتيزات أو الأميليزات التي تعمل على تحطيم جزيئات السكريات المتعددة الطويلة أو النشا ، ويفسر وجود الأميليز في لعاب الأنسان الشعور بالحلاوة في الفم عند مضع قطعة من الخبز مضغاً كافياً ولمدة طويلة نسبياً . ولكن يبقى هضم النشا غير تام عندما يتوقف عمل الأميليز عند دخوله البيئة الحامضية للمعدة . وتستأنف عملية هضم

الشكل (١٧ ــ ٢) أسنان ثلاث ترتيبات نموذجية . السطح المنبسط لاسنان البقرة هو مهيأ تماما لقضم وطحن الاعشاب ولكنه ليس ذا فائدة في تمزيق وجبة لحمية تقدم لقط مثلا .

الكربوهيدرات عند دخول الكيموس للأمعاء الدقيقة . يفرز كل من الغشاء المخاطي المعوي والبنكرياس مادة قلوية تخفف من حامية الكيموس ، ويفرز البنكرياس اميليزا جديداً يعمل على اتمام تكسير الكربوهيدرات إلى سكريات احادية بسيطة وسكريات ثنائية مثل الجلوكوز والمالتوز بالترتيب . وتمر السكريات الثنائية بمرحلة أخرى من عملية التحطم ، وذلك بفعل انزيمات خاصة موجودة في الخلايا الطلائية للأمعاء وذلك قبل أن يتم امتصاصها نهائياً لمجرى الدم . فإذا اختفى أحد الانزيمات مثل اللاكتيز الذي يعمل على تحلل سكر الحليب فإن ذلك السكر الثنائي لن يتم امتصاصه .

هضم البروتين: Protein digestion

يبدأ هضم البروتوين في المعدة عندما يتم تحويل إفرازات الببسينوجين غير الفعال إلى أنزيم الببسن (وهو بالحقيقة مجموعة من الأنزيمات) وذلك بالملامسة بالعصارة المعدية الحامضية . ويقوم الببسن بفصم القليل من الروابط بين الأحماض الأمينية في جزء البروتين المعقد . ويتم هضم البروتين في الأمعاء الدقيقة بفعل الأنزيمات المفرزة من البنكرياس (وهي التربسن والكيموتربسن) ومن غدد الأغشية المخاطية المعوية . وكل أو معظم هذه

الانزيمات كالببسن تفرز في أشكال غير نشطة والكن تنشط بملامستها مـــواد أخـــرى فـــي التجويف المعوي . (الببسن غير عادي في متطلباته للبيئة الحامضية وهذه البيئة تمنع عمل معظم الانزيمات) . وهذه على ما يبدو هي الوسائل التي يستخدمها الجسم لمنع هضم مواده من قبل الانزيمات . فالانزيمات غير نشطة وغير مؤذية ما دامت موجودة فـــي الخلايـــا . ففي الوقت الذي تصبح به نشطة وقابلة للأذى فإن وجودها يضمن بشكل أمين فـــي أمـــاكن عملها بوجود الافرازات من قبل جدر المعدة والأمعاء .

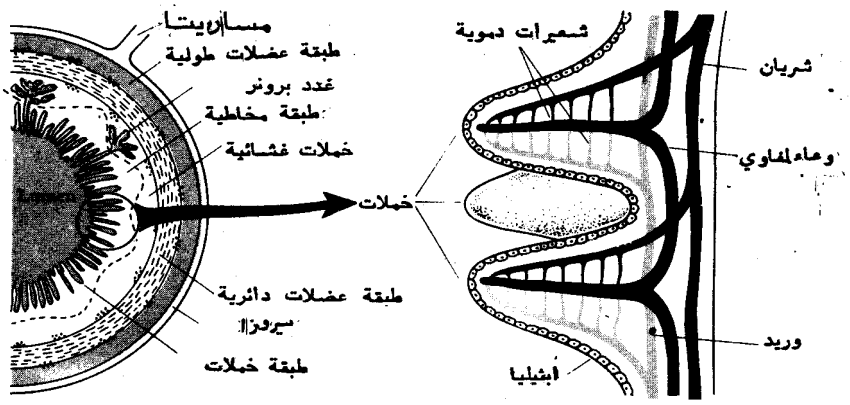
هضم الدهون: Fat digestion

أن هضم الدهون أو اللبيدات يشكل مشكلة خاصة وذلك لأن الدهون غير قابلة للذوبان في الماء . وحتى تهضم فعلياً فيجب أن تتحول إلى مستحلب وتتكسر إلى قطرات صـــغيرة كافية لحملها في محلول . وهذا هو عمل أملاح الصفراء التي تفرز من الكبد وتخزن فـــي حوصلة الصفراء لحين الحاجة . بعدها يحصل للدهون عملية التحلل المائي بواسطة أنـــزيم بنكرياساسي آخر يسمى اللايبيز . ويتم امتصاص المواد الناتجة وذلك بمساعدة أخرى مـــن أملاح الصفراء إلى خلايا جدار الأمعاء حيث يتم ترتيبها من جديد إلى مركبات أو جزيئـــات ملائمة للكائن قبل انطلاقها خلال الدورة الدموية ليستفيد منها الجسم .

امتصاص المواد الغذائية: Absorption of nutrients

أن السطح الداخلي للأمعاء الدقيقة مكيف بشكل خاص لامتصاص المـــواد الغذائيـــة . فعدد ا لطيات والحواجز الكبير يزيد من مساحة السطح . والسطح كله مغطـــي ببـــروزات أصبعية تدعى بالخملات وسطح الخملات طبقة من الخلايا الطلائية العمودية ، وكل خملة مغطاة بآلاف من الزوائد الميكروسكوبية التي تدعى بالخملات . فمحصلة المساحة الممتصة حوالي ٤٥٠٠م٢ في أنبوب لا يزيد طوله على أربعة اضعاف الأنسان وقطره أكثر قليلاً من سماكة أبهامه . فهذا لسطح ضروري إذا أريد إتمام عملية امتصاص الغذاء بكميـــة كافيـــة ولمواجهة احتياجات الجسم التمثيلية بسرعة كافية . وتحتوي كل خملة على وعـــاء دمـــوي

دقيق وقناة ليمفاوية . وعند تكسير المواد الغذائية يمكنها المرور خـــلال أغشـــية الخلايـــا الطلائية . أن معظم المواد الغذائية القابلة للذوبان في الماء كالأملاح المعدنية و السكاكر



الشكل ١٧ ــ ٣) رسم عام لداخل الامعاء الدقيقة حيث الجزء المبكر يرى تركيب الخملات. ان الافرازات من غدد برونر تساعد على معادلة الكيموس الحماضي عند قدومه من المعدة . ولهذا فان هذه الغدد اكثر تعددا في الاثني عشر بالقرب من العضلة البوابية المعاصرة . انفشل هذه الغدد في العمل بصورة طبيعية قد يساهم في تكوين القرحات الاثني عشرية .

البسيطة والأحماض الأمينية يتم امتصاصها مباشرة في مجرى الدم . أما الدهون فيتم نقلها عادة بواسطة الليمف .

الكبد: مخزن وموزع: The liver: storehouse and dispensary

لا يستطيع الجسم الاستفادة من المواد الغذائية التي يتم امتصاصها بواســطة الامعــاء الدقيقة فوراً . فبعضها يجب أن يحول إلى اشكال أخرى لتخزن مؤقتاً ، وهذا هو عمل الكبد فقيام الكبد بتحويل الجلوكوز الزائد إلى جلايكوجين يساعد في الحفاظ على مستوى السكر في الدم بشكل صحيح وتحمي الكائن من الحمل الزائد الذي يلي كل وجبة فيما لــو تمكــن كــل الجلوكوز الممتص أن يمر مباشرة إلى مجرى الدم . وبعد ذلك وعندما يتدنى مستوى السكر في الدم يقوم الكبد بتحويل الجلايكوجين إلى جلوكوز . وعندما تستنفذ سعة الكبــد لتخــزين الجلايكوجين ، يقوم الكبد بتحويل الجلوكوز الزائد إلى دهن ليخزن فــي النســيج الــدهني المنتشر في الجسم . وعند الضرورة ، كما يحدث في أوقات المجاعة فسيعتمد على الدهن المخزون وعلى تحويل بعض الأحماض الأمينية إلى جلوكوز لتثبيت مستوى السكر في الدم ضمن حدود التحمل .

عملية استعادة الامتصاص النهائية والإخراج Final reabsorption and elimination

عند وصول الطعام إلى القولون يكون ا متصاص المواد الغذائية قد انتهـــى . ولكـــن كمية هائلة من الماء والأملاح تكون قد افرزت في الأمعاء خلال عملية الهضم والآن يجـــب أن يتم استردادها . يحتوي الكيموس في هذه المرحلة على مواد غير قابلة للامتصاص مثل السليلوز بالاضافة إلى مواد غذائية غير مهضومة وخلايا مطروحة من الطبقة المخاطية في الأمعاء وافرازات هاضمة وبقايا مادة الصفراء .

يقوم القولون بامتصاص معظم الماء والأملاح المعدنية وكذلك يمتص أملاح الصفراء لإعادة استعمالها . وتقوم مستعمرات كبيرة من البكتيريا الموجودة في الأمعاء بتخمير المواد غير المهضومة وتعمل على تقليلها لتصبح مناسبة للتخلص منها . فالأنسان البـــالغ الـــذي يتغذى على طعام أميركي متوسط يتخلص عادة من ١٥٠ مليلتر من الفضلات يومياً . وثلثا هذه الكمية مكون من الماء وتكون البكتيريا ١٠-٢٠ من الجزء الصلب .

التخمير البكتيري: Bacterial fermentation

ظاهرة التخمر البكتيري ليست مهمة لعملية الهضم في الأنسان ، ولكنها تلعـــب دوراً مهماً في أكلة الأعشاب . أما الحيوانت المجترة فتحوى كرشتها الأولى علـــى مســـتعمرات كبيرة من البكتيرا التي تقوم بهضم السليلوز وجعله غذاء جاهزاً . وبمـــا أن الطعـــام يمـــر بالكرشة الأولى قبل مروره في السطح الماص للأمعاء الدقيقة ، فإن الحيوان يحصل علـــى الفائدة القصوى من عملية التخمر .

الشكل (١٧ ــ ٤) : ان البقرة وهـــي تجتر تستفيد من جهاز هضمي كفء بصورة غير اعتيادية . فالبكتيريا في الكرش أو ((المعدة)) الاول تخمر السليلوز الى صورة قابلة للهضم وبصورة منتظمة فان المواد غير المتخمرة تعاد الى الفم لكي تقضم ثانية (تجتر)قبل أن تمر بدورة جديدة من التخمر . ويمر الطعام بعـــد التخمر خلال (المعدات) الثلاث الباقية والتي تعتبر اخرها ، المنفحة المعدة الحقيقية .

ومن ناحية أخرى ، فالتخمير البكتيري في الحصان يتركز في الأعور البعيد جداً عن القناة الهضمية للامتصاص الملائم . ولهذا يحصل الحصان على فائدة غذائية أقل من الغذاء السليلوزي عما تحصل عليه الحيوانات المجترة .

التنفس والتبادل الغازي Respiration and gas exchange

حال وصول المواد الغذائية إلى الخلايا ، يجب أن يتم تمثيلها بواسطة عملية التنفس الخلوي لاستخلاص واستعمال طاقتها . والأكسجين أساسي لحصول هذه العملية .

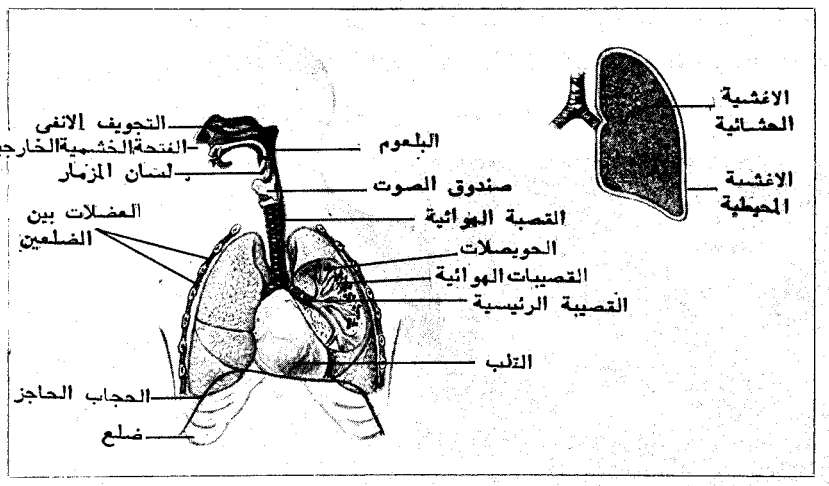
والمطلوب هو جهاز للتبادل الغازي يقوم بإيصال الأكسجين للخلايا (وبنفس الأهمية للقيام بابعاد فضلات ثاني أكسيد الكربون . وبهذا فالجهاز التنفسي يمكن اعتباره جهازاً اطراحياً) . ولقد تم استعراض مكونات هذا الجهاز في الحيوانات الدنيئة وفي بعض الفقاريات ، وسنقوم بمراجعتها هنا . فالمطلوب هو سطح غشائي رطب ذو مساحة كبيرة نسبياً يتم خلاله عملية التبادل ووسيلة لتحريك الوسط المحتوي على الأكسجين خلال السطح وجهاز نقل بين السطح وخلايا الجسم ، وجهاز سيطرة يستطيع التحكم بسرعة التبادل ليواجه متطلبات الخلية .

فبينما تقوم البيئة البرية بتسهيل مشاكل التنفس وذلك بتزويد مصدر أغنى بالأكسجين من البيئة المائية ، إلا أنها تخلق مشكلة جديدة وهي بقاء غشاء التبادل الغازي رطباً . وأكثر أجهزة التبادل الغازي انتشاراً بين الفقاريات الربية هي الرئة الحقيقية . وبما أنها مغمورة عميقاً في الجسم ، فإنها ممحمية ليس ضد الجفاف فقط ، ولكن ضد التغيرات في درجة الحرارة والعطب الميكانيكي أيضاً ، وتستطيع العمل بكفاءة عالية رغم التغيرات الكبيرة في المحيط .

التبادل الغازي في الأنسان: The human gas exchange system

قبل السماح للهواء بالمرور إلى الرئة يجب أن يشبع بالرطوبة حتى لا تجف الرئة وليستطيع الأكسجين الانتشار خلال الأغشية . وبالتالي فعلى الهواء أن يتخذ مساراً مبدئياً طويلاً نسبياً . فيبدأ بالأنف ويستمر إلى الحنجرة ومن ثم على القصبة الهوائية . وخلال هذه الرحلة فإن الهواء يترطب ويسخن ويرشح بملامسبته الغشاء المخاطي المبطن للممرات .

وتتكون القصبة الهوائية من حلقات غضروفية تعمل على حمايتها من الانكماش واغلاق مصدق الهواء . وتقسم القصبة الهوائية إلى فرعين رئيسيين هما الشعبتان الرئيسيتان المؤديتان إلى الرئتين . وتتفرع كل شعبة (وهي مكونة من الغضاريف) المرة بعد المرة حتى تنتهي بالعشيبات الدقيقة وهي ذات قطر لا يتجاوز بضع مليمترات . ويدعى جميع جهاز الشعب والشيبعات الهوائية بالشجرة القصبية . وبعد عشرين تفرعاً أو أكثر من التفرعات هناك التفرعات النهائية وتقدر بحوالي ٢٠,٠٠٠ إلى ٨٠,٠٠٠ في كل رئة ، وتؤدي إلى أكياس دقيقة تدعى بالحويصلات الهوائية .



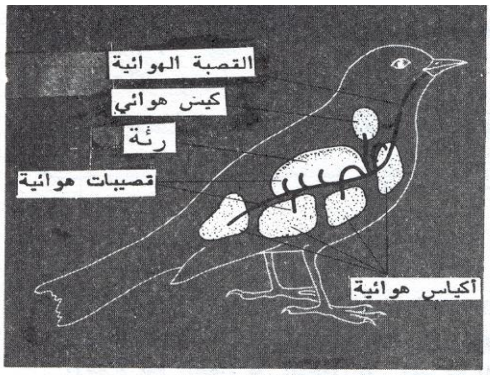
الشكل (١٧ ــ ٥) الجهاز التنفسي في الانسان . لسان المزمار يقوم بالاغلاق اثناء الابتلاع لمنع الطعام من الدخول الى الممرات التنفسية . القفص الصدري يضم القلب والتراكيب الاخرى التي تملا الفراغ بين الرئتين .

ففي هذه الحويصلات فقط تحدث عملية التبادل الغازي ، وكل ما سبق هو عمليات نقل وتحضير . وقد تحتوي رئتا البالغ على حوالي بليون حويصلة هوائية وكل منها مائة إلى مائتي مايكرون ، وبسطح تبادل غازي يقدر بحوالي ١٠٠ م٢ وهو أكثر بكثير من مساحة سطح الجسم . ولكبر هذه المساحة ، فإن التبادل الغازي يتم بسرعة كبيرة .

يتكون جدار الحويصلات الهوائية من ط بقة من الخلايا الطلائية وهذه مغاطة بطبقة مجهرية دقيقة من الرطوبة لتسهيل الانتشار الغازي . وتحاط الحويصلات الهوائية بشبكة من الشعيرات الدموية . ويحمل الدم إلى الشعيرات الدموية بواسطة الشرايين التي تأتي مباشرة من القلب . ويرجع الدم المؤكسد حديثاً إلى القلب ومنه ينقل إلى جميع أجزاء الجسم.

آلية التنفس Mechanics of ventilation

عملية التهوية أو التنفس التي عن طريقها يدخل الهواء إلى الرئة ويخرج ، تحدث في الحيوانات اللبونة بواسطة نظام الضغط السالب . فتنقبض عضلات الصدر ويتسع القفص الصدري وفي نفس الوقت ينقبض الحجاب الحاجز (وهو صفيحة عضلية بشكل القبة تفصل التجويف الصدري . التجويف البطني) ويتحرك للأسفل . والمحصلة النهائية هي اتساع التجويف الصدري والرئتين ، وهذا سبب انخفاض ضغط الهواء في التجويف الصدري وفي الرئتين عن ضغط الهواء الجوي ، فيمر الهواء باتجاه الرئتين .



الشكل (١٧ ــ ٦) حجم الرئة في الطيور هو صغير نسبيا ولكن مزيدا من الهواء يدخل الى جهاز موسع من الاكياس الهوائية والتي يرى بعضها فقط هنا . فعند الزفير ، يعود بعض من هذا الهواء مارا خلال الرئتين ولهذا فانه بالنتيجة يشكل مصدرا جديدا للاكسجين الذي يسلمه الى الشعيرات الدموية مرتين خلال عملية تنفس بدلا من مرة واحدة كما في الثدييات .

أن الرئتين والقفص الصدري مرنان ولذا فإن عملية الزفير عملية سلبية . فعضلات الصدر والحجاب الحاجز تسترخي ويرجع القفص الصدري والحجاب الحاجر إلى وضعهما الطبيعي وبذلك يصغر حجم التجويف الصدري . ويسبب هذا ارتفاعاً في الضغط داخل الرئتين أكثر من الضغط الجوي ، فيخرج الهواء .

والرئتان لا تلتصقان بالجدار الداخلية للقفص الصدري . وبدلاً من ذلك فإن الأغشية المحيطة بالرئة (الأغشية الاحشائية) تلامس في كل مكان تقريباً الأغشية المحيطة بالجدار الداخلي للقفص الصدري والحجاب الحاجر والمسماة بالأغشية الجدارية . وبين هذين الغشائين توجد طبقة رقيقة من سائل يمنع الاحتكاك . فلو انفصل هذان الغشائين تووجد طبقة رقيقة من سائل يمنع الاحتكاك . فلو افصل هذان الغشاءان ، فإن الضغط الجوي بينهما سيكون أقل من الضغط الخارجي . وبالتالي فإنهما عادة لا ينفصلان وارتباطهما معاً يمنع

انهيار الرئتين خلال عملية الزفير . وتظهر الأهمية التلاؤمية لهذا الجهاز بأنها تسمح للرئتين بالتمدد والتقلص بسهولة بدون أن تسبب أي تلف لأغشية الحويصلات الهوائية الدقيقة التي يمكنها أن تعطب بسهولة نتجية شد وضغط الاتصالات العضلية .

والتهوية في الكائنات التي تتنفس بالرئة موجية ، أي أن الهواء يدخل ويخرج وليس باتجاه واحد كما هي الحال في الكائنات التي تحتوي على الخياشيم . ولا يطرد كل الهواء من الرئة في عملية الزفير فيبقى دائماً حوالي ١,٥ لتر . وبما أن سعة الرئة عند تمددها هي ٥,٥ لتر فإن مجموعة كمية الهواء المستعملة للتهوية (السعة الحيوية) تبلغ ٤ لتر . والتنفس الطبيعي يحتاج إلى ٠,٥ لتر تقريباً .

وتستخدم بعض الحيوانات التي تتنفس الهواء نظام الضغط الموجب . فالضفدعة مثلاً تلجأ إلى خفض أرضية الفم لإدخال الهواء ، وبعدها تغلق فتحات الأنف وترفع أرضية الفم ، مسببة فرقاً في الضغط يدفع الهواء أرضية الفم لإدخال الهواء ، وبعدها تغلق فتحات الأنف وترفع أرضية الفم ، مسببة فرقاً في الضغط يدفع الهواء إلى الرئة . وتعمل الأسماك الرئوية نفس الشيء بالفقاعات الهوائية التي تبتلعها أثناء رحلتها إلى سطح الماء .

التبادل الغازي والنقل **Gas exhange and transport**

عندما ينتشر الأكسجين خلال الحويصلات الهوائية إلى الشعيرات الدموية ، فإن مشكلة التوصيل للأنسجة تبدأ . أن ذوبان الأكسجين بالماء منخفض والكمية التي يمكن أن تذاب في البلازما أقل من ٥٠% مما يحتاجها جسم الأنسان لعمليات التمثيل الغذائي . فواضح أن هناك حاجة إلى طريقة أكثر فعالية ، وهي عن طريق كرات الدم الحمراء . وتحتوي كرات الدم الحمراء على الهيموجلوبين وهو مركب بروتيني يحتوي على أربع ذرات حديد وكل واحدة ترتبط مع جزئ واحد من الأكسجين بشكل رجعي وتحمله من الرئات إلى الأنسجة . وبهذه الطريقة يمكن زيادة قابلية حملة الدم للأكسجين إلى ٧٠ مرة . ويسمى جزئ الهيموجلوبين المشبع تماماً الذي يحمل ٤ جزيئات أكسجين بالاوكسيهيموجلوبين . وبوصولها للأنسجة فإن الهيموجلوبين يحرر الأكسجين ويأخذ ثاني أكسيد الكربون لرحلة العودة إلى الرئة .

وثاني أكسيد الكربون أكثر ذوباناً في الماء بثلاثين مرة من الأكسجين ، وعلى الرغم من هذا فإن ٥% من ثاني أكسيد الكربون ينتقل بواسطة الدم ذائباً في البلازما . فعندما يدخل ثاني أكسيد الكربون إلى الدم القادم من الأنسجة يتحد مع الماء في البلازما لتكوين حامض الكربونيك الذي يتحلل بسرعة لتكوين أيونات البايكربونات وأيونات الهيدروجين . فحوالي ٨٥% من ثاني أكسيد الكربون في مجرى الدم يسير بهذه الطريقة . وفي الحويصلات الهوائية يحدث عكس هذه العملية إذ يتحرر ثاني أكسيد الكربون والماء . والنسبة الباقية من ثاني أكسيد الكربون والماء . والنسبة الباقية من ثاني أكسيد الكربون والهيموجلوبين الذي يدعى بالكاربوكسى هيموجلوبين .

الضغط الجزئي **Partial pressure**

لماذا يحتاج متسلقو الجبال لتنفس كمية من الأكسجين أكبر مما يحتاجه الموجودون على مستوى البحر؟ ولماذا يحتاج الغواصون لكمية أقل؟ ومفتاح الجواب عن هذا هو كون النظام الهيموجلوبيني يعمل على قواعد لا تعتمد على الكمية المطلقة للأكسجين المتوافر ، وإنما على ما يعرف بالضغط الجزئي .

الشكل (١٧ ــ ٧) عندما تهاجر الثدييات من الهواء الى الماء فان عليها أن تتزود بالاكسجين . فالغواصون يحملون معهم خزانات من الهواء في جهاز مصمم ليزود الاكسجين الى الرئتين بمعدل أوطأ من الضغط الجزئي العادي وهذا يكافيء الانضغاط الناتج عن وزن الماء. والثدييات الاخرى التي تغوص بها تكيفات طبيعية . فالدلافين ، التي تستطيع البقاء تحت الماء لمدة ١٢ دقيقة او ما يقاربها ، لها حجم دم أكبر ضعفين ، بالنسبة لحجم الجسم ، مما هو في الانسان . الهيموجلوبين في الدم الزائد يشكل ((مكان خزن)) للاكسجين الاحتياطي .

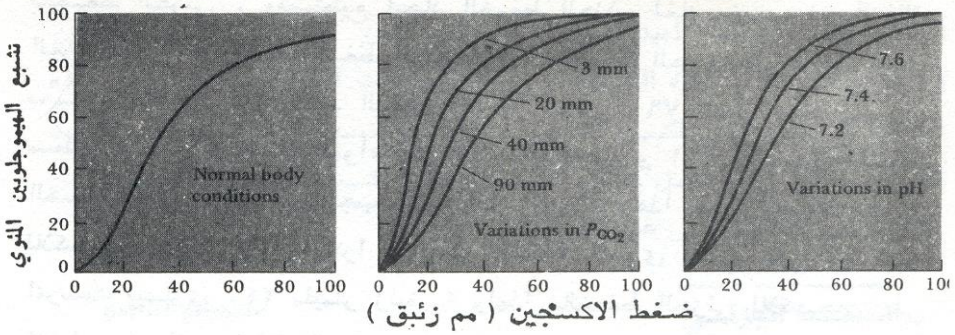
ففي مزيج من الغازات عند ضغط معين يمكن اعتبار ان كل غاز يضغط لوحده نسبة معينة من ذلك الضغط ويعبر عن هذا بالمليمترات الزئبقية ويدعى بالضغط الجزئي . وتستيطع إيجاد الضغط الجزئي لغاز يضرب نسبة ذلك الغاز الموجود في المزيد بضغط

المزيج كله . فالضغط الجوي على سبيل المثال يحسب بدلالة ارتفاع عمود الزئبق ، وهو حوالي ٧٦٠ مليمتراً عند مستوى سطح البحر . ويحتوي الهواء على ٧٩% نيتروجين و٢١% أكسيجين فلأيجاد الضغط الجزئي للأكسجين يجب ضرب ٠,٢١×٧٦٠ وهذا يعطي الضغط الجزئي للأكسجين وهو ١٦٠ ملمتراً . ولكن الضغط الجوي الكلي على قمة جبل افرست يساوي ٢٤٠ مليمتر زئبق ، ولهذا فالضغط الجوي الكلي على قمة جبل افرست يساوي ٢٤٠ مليمتر زئبق ، ولهذا فالضغط الجزئي للأكسجين على افتراض أن النسبة المئوية تبقى كما هي ، تساوي ٥٠ مليمتراً . وكما سنلاحظ فيما بعد ، فإن هذا أقل بكثير من الضغط الذي يحتاجه هيموجلوبين الأنسان . وللحصول على ضغط جزئي يساوي ١٦٠ مليمتر زئبق ، يجب على المتسلق أن يتنفس مزيجاً من الهواء يحتوي على ٦٦% أكسجين . أن الضغط الجزئي للأكسجين الحويصلات الهوائية يقارب الضغط الجزئي للأكسجين الجوي وهو أكبر من الضغط الجزئي لأكسجين الدم الوريدي الذي يدخل الرئات (لأن الأكسجين في الدم الوريدي يكون نسبة أقل من مجموعة خليط الغاز) ، فلهذا يدخل الأكسجين الدم من الحويصلات الهوائية إلى أن يتعادل الضغطان الجزئيان . ولكن ضغط ثاني أكسيد الكربون الجزئي في الدم الوريدي أكبر من ذلك الموجود في هواء الحويصلات الهوائية ، ولذلك ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الشعيرات الدموية إلى الحويصلات الهوائية حتى يتساوي الضغطان الجزئيان .

منحنى تحلل الأكسجين oxgyen dissociation curve

تحدد درجة تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين بواسطة الضغط الجزئي لأكسجين الرئة . فعند الضغط الجوي الجزئي ، يكون الهيموجلوبين مشبعاً بنسبة ٩٥% . وعند ضغوط جزئية منخفضة ، كالتي في الأنسجة ، فإنها تعطي الأكسجين وبذلك تصبح أقل تشبعاً . وقابلية الهيموجلوبين لتحرير الأكسجين عند ضغوط جزئية مختلفة يمكن توضيحها بواسطة منحنى تحلل الأكسجين . وهذا المنحني يوضح أنه عند مستويات معينة فإن أي انخفاض قليل في ضغط الأكسجين ، كالذي يحدث بين الرئات والأنسجة ، يجعل الهيموجلوبين يعطي معظم أكسجينه . وفي مستيوات أخرى ، قلما يواجهها الكائن الحي فإن تغيرات كبيرة في الضغط يكون لها تأثير قليل .

والزيادة في حامضية الدم تعمل على تغيير اتجاه المنحنى إلى اليمين.



الشكل (١٧ ــ ٨) منحنى تفكك الاكسجين في هيموجلوبين الانسان الطبيعي ، مبينا نتائج التغيرات في الحموضة وفي الضغط الجزئي لثاني اوكسيد الكربون على مستويات مختلفة من ضغط الاكسجين الجزئي .

وهذا يعني أن الهيموجلوبين أكثر تهيؤاً لأعطاء الأكسجين . تذكر بأن ثاني أكسيد الكربون المعطى من خلايا الأنسجة ينتج حامض الكربونيك ، وهذا يؤدي إلى زيادة حامضية الدم في الأنسجة حيث يكون الأكسجين ضرورياً . ومن نانحية أخرى ، ففي الرئات ، المكان الذي يجب أن يؤخذ فيه الأكسجين ، فإن انتشار ثاني أكسيد الكربون للخارج يحفض حامضية الدم ويساعد الهيموجلوبين على حمل كمية أكثر من الأكسجين . ولهذا فالتمرين العنيف يسبب زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الدم ، ويساعد الهيموجلوبين على إيصال الأكسجين أكثر من العادة للأنسجة التي تكون في حاجة له خاصة في مثل هذه الأوقات . هذا الاعتماد المتبادل للأكسجين وثاني أكسيد الكربون في جهاز نقل الغاز في الدم ، يعتبر واحداً من عجائب الهندسة البيوكيميائية في الجسم . فكل يساعد في تحرير ونقل الآخر في المكان الذي يكون في حاجة إليه .

الاختلافات Variations

تختلف منحنيات تحلل الأكسجين في الأنواع المختلفة والبيئات المختلفة . أن المنحني في جنين الأنسان يكون إلى اليسار بالنسبة له عند البالغ ، مشيراً على تشبع أكبر عند ضغط أكسجين منخفض . وهذا يساعد الجنين لأخذ الأكسجين من دم الأم حيث يكون ضغط الأكسجين أقل من المستوى الجوي . والحيوانات المائية أيضاً تظهر تشبعاً أعلى عند

ضغوط أكسجينية منخفضة . مثل الأنسان والحيوانات المستوطنة في المرتفعات الأعلى حيث يكون الهيموجلوبين أكثر فعالية لأخذ الأكسجين .

الشكل (١٧ ــ ٩) : تعيش الفكونة Vicunas بصورة نموذجية على ارتفاعات عالية حيث الضغط الجزيئي للاوكسجين منخفض،ولهذا فقد طورت هيموجلوبين يستطيع امتصاص كميات كبيرة من الاكسجين على هذه الضغوط . وبالرسم البياني فان منحنى تفكك الاكسجين سيكون باتجاه اليسار اذا ما قورن بمنحنى تفكك الإكسجين للانسان .

السطيره Control

يجب أن يكون هناك تنظيم مستمر لمعدل التنفس كي يتمشى مع اختلاف التركيز في غازات الدم ومع الاحتياج إلى الأكسجين عند مستويات مختلفة من النشاط . ومعظم هذا التنظيم لا أرادي رغم أن معدل التنفس وحجم الهواء المتناول يمكن السيطرة عليه أرادياً إلى درجة ما .

ويظهر أن مركز السيطرة اللاارادي للتنفس يكون في النخاع المستطيل وهو الجزء الأسفل من الدماغ . فالاليات معقدة ، ومن المعروف أن المستقبلات الكيماوية في النخاع المستطيل حساسة جداً لتغيرات مستوى ثاني أكسيد الكربون . وهذه التغيرات لمستويات ثاني أكسيد الكربون وليس لمستويات الأكسجين هي الأكثر أهمية في تحديد معدل وعمق التنفس ، كما هي مهمة في تنظيم تسليم الأكسجين بواسطة جزيء الهيموجلوبين . لذا فإن أجهزة مختلفة ولكن متداخلة ، ضرورية لتحويل الأكسجين وهي تنظم بنفس الآلية- أي وجود ثاني أكسيد الكربون .

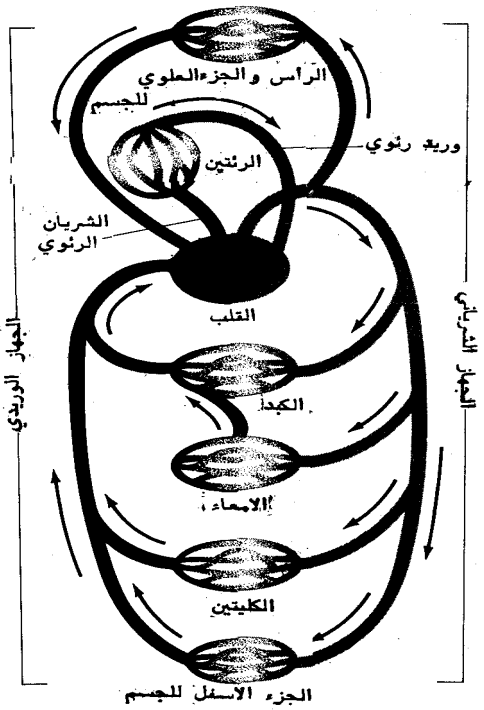
النقل الداخلي- الجهاز الدوري Internal transport: the circulatory system

في الفصول السابقة رأينا أن كلا من الهضم وتبادل الغازات يحتاج إلى وسائل نقل . وجهاز النقل يجب ان يكون ذا صلة قريبة مع كل خلايا الكائن الحي ، ويكون ذا قابلية على نقل المواد وخصوصاً الأكسجين وبسرعة . وبالاضافة إلى المواد الغذائية والغازات التنفسية ، يجب ان يكون مهيا لحمل أنواع مختلفة من المواد الأخرى التي تخدم في تنظيم البيئة الداخلية .

أن جهاز النقل في الأنسان كما رأينا يكون مغلقاً ، وله طرق وممـــرات محـــددة أو أوعية معينة . فيندفع الدم خلال الجهاز بواسطة طريقة الضخ العضلي- القلب- ويجـــري الدم في اتجاه واحد فقط . وهناك دورتان رئيسيتان في الجهاز الدوري للأنسان: أ-الـــدورة الرئوية pulmonary circulation التي توصل الدم المستنزف أكسجينه من القلـــب إلـــى الرئتين ، والدم المؤكسد عائداً إلى القلب .

ب- الدورة الجهازية Systemic circulation التي تحمل الدم المؤكسد من القلـــب إلى جميع خلايا الجسم وترجع الدم المستنزف أكسجينه والمحمل ثاني اكسيد الكربـــون إلـــى القلب .

وتوصيل الدم خارجاً من القلب يتم عن طريق شريان كبير ، عضلي ذي مرونة عالية وهذا يتفرع إلى شرايين اصغر ومن ثم إلى أوعية شريانية دقيقة ومن هذه يتوزع الدم إلـــى الخلايا بواسطة شبكة هائلة من الشعيرات الدموية الدقيقة التي يتم من خلال أغشيتها تبـــادل المواد الغذائية والغازات والمواد الأخرى بين الدم والأنسجة . ويتجمع الدم الخـــارج مـــن الأوعية الشعرية في اوردة صغيرة تفرغ محتوياتها إلى أوردة اكبر ومن ثم ترجع الدم إلـــى القلب



الشكل (١٧ ــ ١٠) : الخطة العامـــة للجهاز الدوري في الانسان مبينا انفصال الدورة الرئوية والدورة الجهازية .

قلب الأنسان: The heart

القلب هو عضو الضخ ، الذي ينبض في معدل حياة الأنسان حوالي ٢,٥ بليون مرة . وهو أساس مكون من عضلة مجوفة مقسمة إلى نصفين ايمن وأيسر بواسطة أجزاء تسمى حواجز . وكل نصف مقسم إلى ردهة عليا وسفلى هما الأذنين والبطين . لذا فإن قلب الأنسان وقلوب جميع الفقاريات ذوات الدم الحار مكونة من أربع ردهات . مثل هذا القلب يمكن القول إلى حد ما أنه قلبان لأن الدم الموجود في النصف الأيسر مفصول كلياً عن الموجود في النصف الأيمن . وهذا يؤكد أن الدم الغني بالأكسجين الأتي من الرئة لا يمتزج من الدم الفقير إلى الأكسجين الأتي من الجسم . وهذا يعتبر من الحاجات الأساسية لحفظ توازن معدل عمليات البناء والهدم في الكائنات ذوات الدم الحار .

ردهات القلب: Chambers of the heart

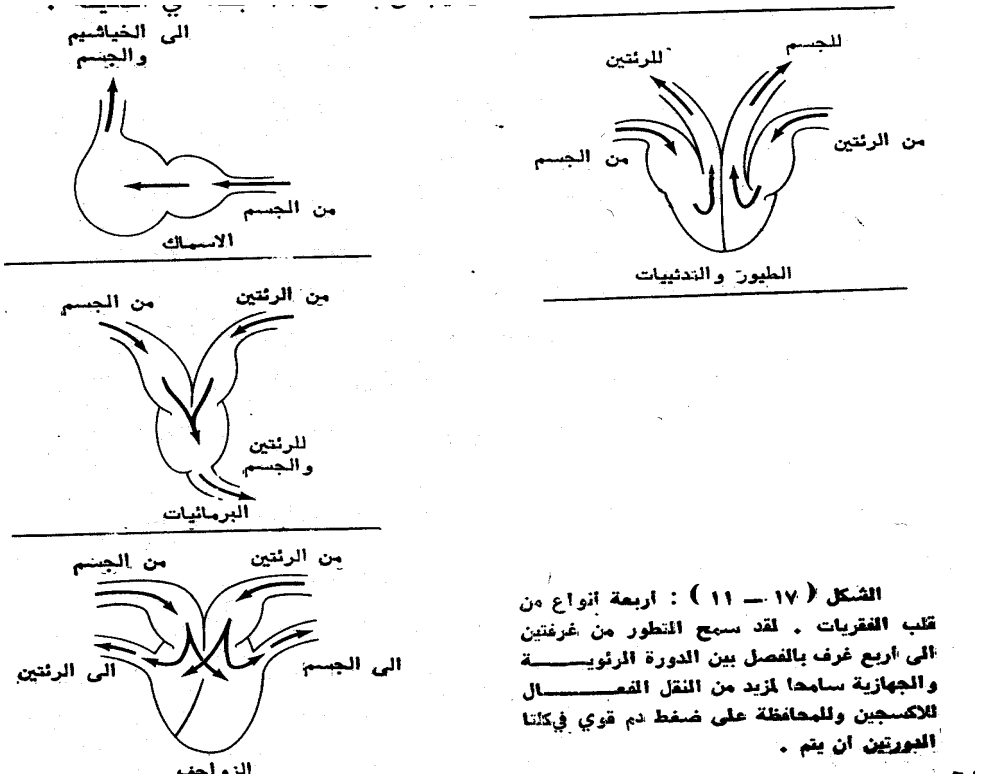
يأتي الم من الدورة الجهازية إلى الأذين الأيمن بواسطة الوريد الأجوف العلوي والسفلي ، وهما أكبر الأوردة في الجسم ، وعندما يمتلئ الأذين ينقبض دافعاً الدم إلى البطين الأيمن . وانقباض البطين الأيمن بدوره يدفع الدم إلى الشريان الرئوي ، الذي يتفرع إلى كل رئة . وبعد مرور الدم خلال الأوعية الشعرية في الرئة ، يرجع الدم الغني بالأكسجين إلى القلب عن طريق الوريد الرئوي ، ويدخل الأذين الأيسر . ويضخ مرة أخرى بانقباض الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر . وهذه الردهة تعتبر الجزء الفعال في كل الهاز الدوري ، ولها وظيفة ضخ الدم إلى الشرايين تحت ضغط عال بحيث تبقى تحت ضغط معين عندما تصل الشعيرات الدموية . لذا فإنه من المفهوم أن البطين الأيسر هو الردهة التي تصاب بالتلف في حالة السكتة القلبية heart attack.

ضربات القلب (نبضات القلب) Heartbeat

تنشأ ضربات القلب المتناسقة من القلب نفسه . بخلاف معظم النشاطات العضلية ، إذ أنها لا تعتمد على الجهاز العصبي المركزي . ولولا ذلك لكانت عمليات زرع القلب مستحيلة ، إذ أن الجهاز العصبي للجسم المستقبل لا يمكن أن يتصل بكفاءة مع الأعصاب في العضو المزروع .

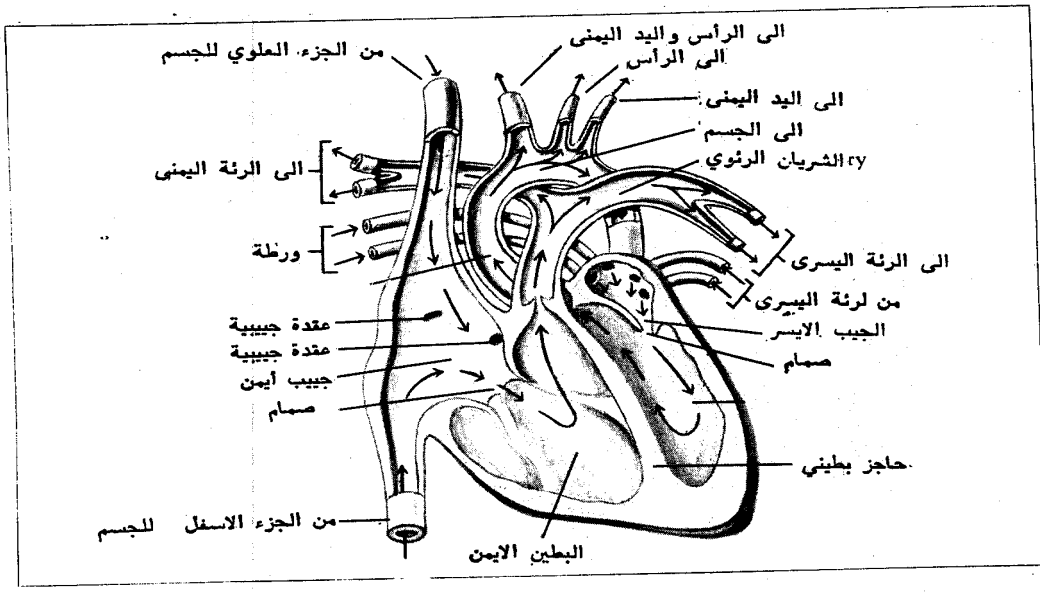
ومع أن القلب ينقبض ذاتياً ، لكن يجب أن يكـون هنـاك تنسـيق معـين لتحـدث الانقباضات في إيقاع وتناسق معين . وهذا العمل يسيطر عليه جهاز توصـيل ينشـأ فـي عقدتين من الأنسجة التي تعمل كمنشيء للايقاع pacemakers أولها عقدة الجيب الأذينـي sino-atrial وتقع هذه في الأذين الأيمن تحت الوريد الأجوف العلوي . وتلود عقدة الجيب الأذيني تلقائياً نبضات كهربائية متناسقة تنتشر عبر الألياف العضلية لكل من الأذينين مولـدة موجة من الانقباض وبأقل من ثانية ، تصل هذه النبضات إلى العقدة الثانية المسماة (العقـدة البطينية atrio-ventricular (A-V) node) وتقع هذه العقدة في الجزء الأسـفل للاذيـن الأيمن بالقرب من الحاجز الفاصل . وهذه العقدة الأذينية البطينية بدورها تولد نبضات تنتشر إلى جميع أجزاء البطينين مسببة انقباضهما . وأي تأخير وجيز بين النبضات يعتبر حيويـاً لأنه يسمح للأذينين باتمام انقباضهما وملء البطينين بالدم قبل أن يبدأ انقباض البطين .

وكل دورة لنبض القلب تتكون من فتـرة انقبـاض systole تتبعهـا دورة انبشـاط diastole وقلب الأنسان ينبض بمعدل ٧٢ نبضة في الدقيقة .



الشكل (١٧ ــ ١١) : اربعة انواع من قلب الفقريات . لقد سمح التطور من غرفتين الى اربع غرف بالفصل بين الدورة الرئويـــة والجهازية سامحا لمزيد من النقل الفعـــــال للاكسجين وللمحافظة على ضغط دم قوي في كلتا الدورتين ان يتم .

يتحرك الدم ، تاركاً البطين الأيسر ، متوجهاً إلى الأعلى في الأورطة الذي يتفـرع إلى عدد من الفروع الشريانية الرئيسية: أولها التي توصل الدم للرقبة والرأس وهي الشريان السباتي الأيمن والأيسر common carotid وبهذه الطريقة يضمن أن يكون للدماغ ما يلزمه من الأكسجين .



الشكل (١٧ ــ ١٢) : مقطع عرضي في قلب الانسان مبينا الغرف ، والاوعية الدموية الرئيسية ومجرى تدفق الدم . ان العقد لا تبدو بالضبط كما هي موضحة هنا ولكنها مرسومة لكي تعطي فكرة عن مواقعها النسبية .

أما الشريان التحت الترقوي الأيمن والأيسر فيخدم الذراعين ويتفرع من الأورطة قبل أن ينحني إلى الأسفل من خلف القلب . وبعد أن ترسل تفرعات أخرى لأعضـاء وأنسـجة الجسم المختلفة ، ينقسم الأورطة أخيراً إلى فرعين هما:الشريان الفخذي femoral والشريان الحوضي اللذين يمونان الساقين والقدمين .

والدم العائد إلى القلب يتبع طرقاً مشابهة خلال الأوردة ، ولكن يـتم التجميـع بـدل التقسيم (التفريع) . وبينما يخدم شريان واحد يحمل الدم خارجاً من القلب ، يعمل وريـدان على ارجاعه إلى القلب : الوريد الأجوف العلوي من الأجزاء العلوية من الجسم ، والوريد الأجوف السفلي من الأجزاء السفلية .

الشرايين: Arteries

نظراً لأن الشرايين تستلم دماً تحت ضغط عال ينتج من الانقباضات القوية للبطين ، فإن لها جدراناً قوية مرنة مع طبقات من الأنسجة الطلائية والعضلية والرابطة . وكل موجة من الدم الآتي من القلب تسبب تمدد الشريان ، وبعدها يرجع الشريان إلى قطره الطبيعي . وهذا التراجع يؤدي إلى تقوية ضغط ضربات القلب ويرسل الدم باتجاه دفع الموجات النابضة وعندما تصبح الشرايين أصغر ، تصبح جدرانها أرق حتى أن الطبقة الخارجية المرنة تختفي في الشرايين الدقيقة . والطبقة العضلية المتبقية تسمح للتفرعات الشريانية الدقيقة بالاغلاق تماماً أو بالتمدد تبعاً لاحتياجات الأنسجة المجاورة للأكسجين .

الشكل (١٧ ــ ١٣) : مقطع عرضي في الوريد (يسار) وفي شريان صغير (يمين). ان الجدران القوية للشريان تساعد في المحافظة على ضغط الدم . أما جدران الوريد الارق نسبيا فانها تستجيب لضغط العضلات من حوله.

ضغط الدم Blood Pressure

ينشأ ضغط الدم نتيجة الانقباض القوي للبطين الأيسر وهو دوري يصل إلى أعلى حد وهو حوالي ١٢٠ ملم زئبق اثناء الدورة التقلصية systole وأثناء الدورة الانبساطية diastole تحافظ انقباضات الشرايين المتمددة على ضغط حوالي ٨٠ ملم زئبق . عندما يتحرك الدم من الأورطة إلى التفرعات الشريانية الدقيقة ، ينخفض الضغط ، ولكن هناك مقاومة كبيرة لسريان الدم في هذه التفرعات الشريانية الضيقة ، وبتبدل هذه المقاومة من خلال التمدد والتقلص ، تساهم التفرعات الشريانية الدقيقة في ثبوت الضغط .

الأوردة: vains

يتشابه تركيب الأوردة والشرايين ولكن جدران الأوردة أرق لذا فمن السهل امتلاء الوريد بحجم كبير من الدم ومن السهل أيضاً عصره بالضغط عليه . والأوردة أكثر عدداً من الشرايين وقطرها الداخلي أكبر . وفي الحالة الطبيعية فإن من ٦٠-٧٠% من مجموع حجم الدم يكون موجوداً في الأوردة .

وفي الوقت الذي يصل فيه الدم إلى الأوردة يكون ضغطه منخفضاً جداً وعملية ضخ القلب لا تستطيع أن تجعله مستمر الحركة . إذن هناك حاجة لوسائل أخرى لارجاعه إلى القلب . والأوردة مقارنة بالشرايين أكثر رقة وضعفاً وهذا يعتبر ذا فائدة . فعندما تنقبض العضلات في الحركة العادية فإنها تضغط على الأوردة فتضيق جدرانها دافعة الدم أماماً بفعل ما يسمى (عملية الحلب) . ويحافظ نظام الاتجاه الواحد للصمامات على سريان الدم في الاتجاه الصحيح .

الأوعية الشعرية (الشعيرات الدموية): Capillaries

كل التباد الذي يحدث بين الأنسجة والدم ، يحدث عبر شبكة هائلة من الأوعية الشعرية تكون على صلة قريبة بكل خلية من خلايا الجسم . وتقدر عددياً بعشرة بلايين . وهي أنابيب دقيقة مجهرية جدرانها بسمك خلية واحدة وبقطر ضيق حتى أن خلايا الدم الحمراء عندما تمر من خلالها تعصر ويختلف شكلها . وعدد الأوعية الشعرية في أي نسيج معين يعتمد على نشاط هذا النسيج- فعلى سبيل المثال تحتوي أنسجة العضلات والرئة والكلية على عدد أكبر من الأوعية الشعرية من التي تحتويها الأربطة والغضاريف .

ويحيط بالأوعية الشعرية السائل البيني الذي تسبح به كل خلايا الجسم . وهذا له دور مهم في عملية التبادل . فدفع الدم خلال الأوعية الشعرية ينظم جزئياً بواسطة التفرعات الشريانية الصغيرة التي بانقباضها تستطيع قطع تموين الشعيرات الممتدة منها . وفي أي لحظة معينة تكون معظم الأوعية الشعرية مغلقة وفارغة والدم يجري عبر ممرات متبادلة خلال الشبكة الشعرية معتمداً على الحاجة المحلية للأكسجين).

وعندما يكون الدم في الأوعية الشعرية ، فإن هناك عاملين مبدئيين ينظمان عملية التبادل بينه وبين السائل النسيجي المحيطة . احدهما الضغط الهيدروستاتيك المتبقي . إذ

يدخل إلى الأوعية الشعرية بضغط حوالي ٣٠ ملم زئبق وفي الوقت الذي يصل فيه نهاية الوريد يكون الاحتكاك قد قلل الضغط إلى ١٠ ملم زئبق . الضغط في نهاية الفرع الشرياني يدفع الماء والمواد المذابة خارج الأوعية الشعرية إلى السائل النسيجي . وهذه وحدها تخلص الدم من الماء والمواد المذابة بينما تصبح ممتلئة بالماء وهذا بالطبع يشكل خطورة عليها . إلا أنه ينشأ أختلاف في الضغط الاسموزي بين الدم والسائل البيني ، وتعمل جدران الأوعية الشعرية كأغشية شبه منفذة فتسمح بالمرور الحر للغازات التنفسية والماء والجلوكوز وغيرها من المواد التي تكون جزيئاتها صغيرة . ولكنها أقل نفاذية كجزيئات البروتين الكبيرة لذلك تبقى هذه في الدم . وعندما يضغط الماء أو يدفع بواسطة الضغط الهيدروستاتيك يصبح تركيز البروتين في الدم المتبقي أعلى من تركيزه في السائل النسيجي ، مسبباً تدرجاً في الضغط الاسموزي الذي يعمل على ارجاع الماء إلى الأوعية الشعرية .

مكونات الدم **Composition of the blood**

السائل الأحمر الذي يخرج حين تجرح الأصبع ويبدو متجانساً هو في الحقيقة بعيد عن التجانس . لاحظنا في فصل سابق أن الخلايا الأساسية المتخصصة التي يحويها وهي **خلايا حمراء** مملوءة بالهيموجلوبين لنقل الأكسجين . **وخلايا بيضاء** هي التي تدافع عن الجسم ضد الغزو الأجنبي . **والصفائح** تتحطم حول الجرح في حالة حدوثه لتعمل على تجلط الدم . والخلايا الحمراء تشكل عادة حوالي ٤٥% من المجموع الكلي لحجم الدم (٤ إلى ٦ مليون/ملم٣) بينما الخلايا البيضاء والصفاح معاً لا تشكل أكثر من ١%.

البلازما ومكوناتها: **Plasma and its components**

هذه الخلايا مسؤولة عن جزء بسيط بالنسبة لوظائف الدم ، أما البقية فهي تعود لسائل البلازما الذي معظمه ماء ، ولكن المحتويات الأخرى لها أهمية أكبر من المتوقع بالنسبة لحجمها .

يشكل بروتين البلازما ٧% من وزن البلازما ، وهذه غير الأحماض الأمينية . وهي الأغذية التي تنقل من جانب إلى آخر في الجسم . أن بروتينات البلازما أكثر تعقيداً وتبقى في الدم . وأصغرها وأكثرها هو الالبومين الذي وظيفته الأساسية هي بقاء فرق الجهد الاسموزي ثابتاً للدم . وبروتينات البلازما الأخرى معظمها يكون عادة من الجلوبيولين .

وتحتوي البلازما أيضاً على الأجسام المضادة innunogloproteins وهي عدد من المواد التي تساعد في عملية التخثر . وهناك أيضاً عدد من البروتينات الناقلة وهي ترتبط بجزئيات لمواد أخرى لنقلها عبر الدم ، ومعظم الدهون تحمل بهذه الطريقة ، ومثل هذه أيضاً الأيونات المعدنية: الحديد والنحاس ، وفيتامين ب١٢ ، الالبومين أيضاً يمكن ان يعمل كناقل لعدد من الجزيئات .

والأيونات غير العضوية هي أيضاً مكونات أساسية في البلازما . الأيونات الموجبة مثل : الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم ، هي أساسية في تنظيم فعالية العضلات والأعصاب . وأيونات الصوديوم التي هي من أكثر هذه الأيونات ، لها تأثير قوي أيضاً على الكمون الأسموزي . وأكثر الأيونات السالبة هي : الكلور والبايكربونات . والبايكربونات بالاضافة إلى عملها في نقل ثاني أكسيد الكربون- تساعد أيضاً على حفظ تركيز الهيدروجين في الدم . وهذه تكون عادة ٧,٤ أو قاعدية قليلاً .

والهرمونات التي تفرزها الغدد الصماء مهمة كمنظمات لوظائف الجسم وهي تنقل بواسطة البلازما . والفضلاتت النيتروجينية التي تفرزها الخلايا تحمل إلى الكلى للإخراج . هذا بالاضافة على مواد أخرى مختلفة تعلق بالمواد الناقلة ، هناك أغذية منوعة وغازات تسير حرة ومذابة في بلازما الدم .

الجهاز الليمفاوي The lymphatic system

لقد ذكرنا بأن جدران الأوعية الشعرية هي عادة غير منفذة للبروتينات ، ولكن بالحقيقة وبسبب الضغط الهيدروستاتيكي العالي في الأوعية الشعرية هناك تسرب قليل من بروتين الدم إلى السائل البيني . وأن لم يعالج هذا التسرب سيؤدي إلى حدوث اختلال في توازن سوائل الجم ويسبب أذى كبيراً . ولكن البروتين لا يستطيع أن ينتشر عائداً مرة أخرى إلى الأوعية الشعرية ، لأن السوائل النسيجية لا يتوفر فيها ضغط كاف ، اذن يجب أن يتخذ مساراً غير مباشر وهذا يكون عن طريق الجهاز الليمفاوي .

يتكون الجهاز الليمفاوي من أوعية لا تختلف عن التي تحمل الدم إلا في كونها لا تحتوي على شرايين . أن جدران الأوعية الشعرية اللميفاوية أكثر نفاذية للجزيئات الكبيرة وبالتحديد البروتينات- من الأوعية الشعرية الدموية . وتتجمع الشعريات الليمفاوية في

الأوردة اللميفاوية وهذه تجري بموازاة الأوردة الدموية وبالنهاية تتصل بـــالأوردة الكبيـــرة بالقرب من القلب .

وبسبب نفاذيتها الكبيرة للبروتينات ، ولأن السائل بينها ذو ضـــغط هيدروســـتاتيكي منخفض ، فإن الأوعية الشعرية الليمفاوية تستطيع امتصاص البروتين المتسرب والســـائل النسيجي الفائض وتعيدها إلى مجرى الدم في الوقت المناسب . واعادة البـــروتين الضـــائع يعتبر من أهم وظائف الجهاز الليمفاوي . وبالحقيقة يتكون الليمف أساساً من هذا السائل ومن البروتين ، أي أنه بالأساس هو نفس بلازما الدم ولكن يكون البروتين والمواد المذابة بتركيز أقل . وبالاضافة يحوي الليمف مجموعة من الخلايا البيضاء والليمفوسايت التي تعتبر مهمة في مقاومة الجسم لأي عدوى .

العقد الليمفاوية: Lymph nodes

هي كتل من النسيج الليمفاوي وتقع أما على طول الأوعية اللميفاوية او مستقلة عنها . وتظهر وظيفتها بالاساس كوظيفة دفاعية . وتحتوي على مجاميع كبيرة من الليمفوســـايت . وتعمل أيضً كمرشحات تلتقط وتخزن الجزيئات الكبيرة مثل ذرات الغبار التي لا يســـتطيع الجسم التخلص منها . وفي حالات العدوة تستطيع حمل البكتيريا إلى أن يتم تكوين الأجسام المضادة للقضاء عليها . وبعض الأنسجة اللميفاوية تظهر وكأنها غير مرتبطة مع الأويعـــة الليمفاوية . هناك عدد من العقد المفردة (المستقلة) نجدها في القناة الهضـــمية . والطحـــال والغدة الزعترية thymus أيضاً تتكون من أنسجة ليمفاوية مفردة وكذلك اللوزتـــان وعقـــد البلعوم الليمفاوية adenoids.

التنظيم الكيماوي : Chemical regulation

لقد سبق وأكدنا على أهمية التوازن الأسموزي المناسب . وهذا موضوع معقد لا سيما في الحيوانات البرية لأن الماء أساسي جداً لكل العمليات الحيوية ، وهو يفقد تدريجياً خلال التنفس ، والعرق ، والتخلص من البراز والبول .

ويعتمد الضغط الاسموزي على تركيز المواد العالقة أو المذابة في المحلول ، وتحافظ الحيوانات على تركيز أسموزي مناسب في سوائل الجسم بواسطة العديد من المواد المذابـــة solutes وعلى الأخص الأيونات غير العضوية والجزيئات العضوية . والتوازن الأيـــوني المناسب هو الاحتفاظ بقدر محدود من الأيونات للحاجة والتخلص من الزوائد . وهذا بحـــد

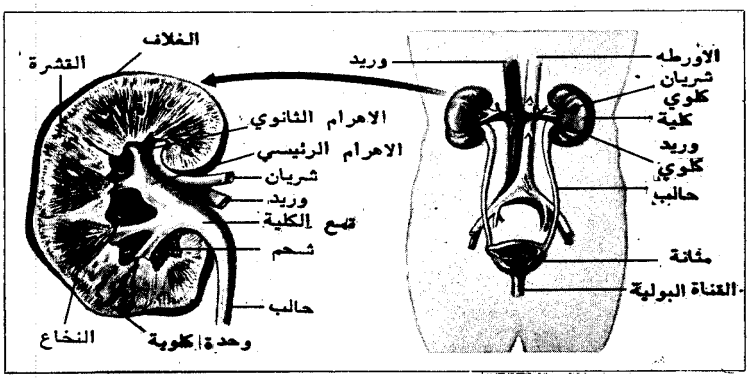
ذاته جزء حيوي في التنظيم الكيماوي للجسم . والتوازن الحامضي – القاعدي المناسب مهم أيضاً بنفس المقدار . وبسبب العمليات التمثيلية الحيوية المختلفة ، يحدث تغيير في قيم درجة تركيز الهيدروجين لسوائل الجسم . ولكن قيمة درجة تركيز الهيدورجين بحدود معينة هي ضرورة مطلقة لبقاء الكائن الحي . والوسائل الرئيسية للإبقاء على هذا التوازن هي نظام الجهاز المحايد buffer system والذي فيه تتحد المادة في الدم وأنسجة الجسم مع الزائد من أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل OH^- لمنع أي تغيير يمكن أن يحدث لقيمة درجة تركيز الهيدروجين .

وعملية نزع الأمين للحوامض الأمينية التي تحدث في الكبد ، وينتج عنها فضلات نيتروجينية وبالتحديد الأمونيا . ففي الثدييات تحول هذه بسرعة إلى يوريا ويمكن أن تحفظ في الجسم لفترة من الوقت . ولكن حتى اليوريا يجب ان تخرج بشكل سائل وهذا يقلل من الماء الاحتياطي في الجسم . والطيور والزواحف والحشرات تخرج حامض اليوريك غير الذائب وهذا يقلل من فقدان الماء .

والكلية وملحقاتها الأخرى ، مسؤولة عن تنظيم محتويات ماء الجسم والتوازن القاعدي الحامضي والتوازن الأسموزي . بالاضافة إلى ذلك فهي المسؤولة الوحيدة عن التخلص من الفضلات الناتجة بعمليات التمثيل للبروتينات . ولذا تعتبر الكلى حيوية في المحافظة على التوازن الداخلي .

جهاز الإطراح في الأنسان The human excretory system

يتكون هذا الجهاز في الأنسان من كليتين وتقعان في أعلى التجويف البطني واحدة على كل جانب من جانبى العمود الفقري . وهى حمراء بنية اللون وتشبه حبة الفاصوليا. وعلى



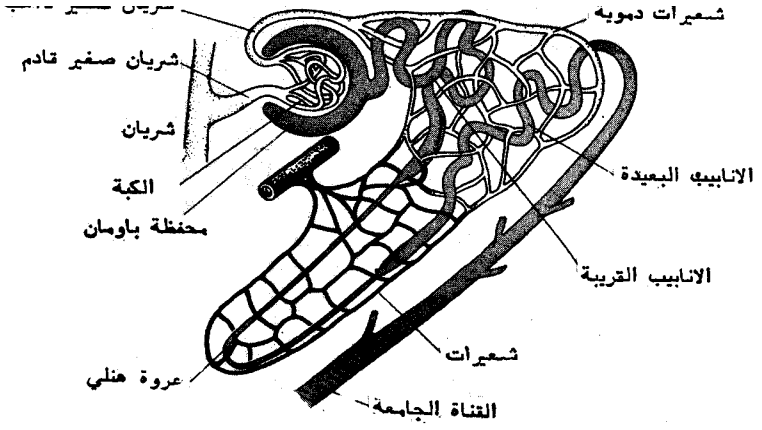
(١٧ – ١٤) : الجهاز الاخراجي للانسان : المقطع العرضي يبين بوضوح اتجاهات الوحدات الاخراجية والتي تصب في فروع حوض الكلية والتي تدعى بالكؤوس .

وعلى الجانب المقعر باتجاه النخاع نجد الشريان الكلوي الذي يتفرع من الأورطة ، والوريد الكلوي متجهاً إلى الوريد الأجوف السفلي والأوعية الليمفاوية والأعصاب .

وكذلك يتصل بالكلية عند هذه النقطة الحالب الذي يحمل البول من الكلية إلى المثانة ومن المثانة إلى القناة البولية التي تمرر البول إلى خارج الجسم . وفي الذكور ، وليس في الأناث ، تكون القناة البولية جزءاً من الجهاز التناسلي أيضاً . يتكون البول فقط في الكلية أما الأعضاء الأخرى فمسؤولة عن الخزن والنقل .

الكلية: **The kidney**

تتكون الكلية من تراكيب متخصصة لترشيح الدم ولتركيز وجمع البول . فالحوض الكلوي pelvis تجويف كبير في الجزء المقعر للكلية ويعمل كمخزن أولي للبول . وحول الحوض يوجد النخاع الكلوي وهو بلون باهت ، يتكون من كتل نسيجية مخروطية الشكل تسمى الاهرامات pyramids وتمتد رؤوسها إلى الحوض الكلوي . وهناك طبقة قائمة من الأنسجة بين الاهرامات والسطح الخارجي وتعرف بالقشرة الكلوية . وسنتبين أهمية هذا التركيب للقشرة والنخاع عندما نعتبر كيف تقوم الكلية بوظائفها .



الشكل (١٧ ــ ١٥) : تركيب الوحدة الاخراجية في الانسان .

تمر تفرعات الشريان الكلوي على طول قواعد الاهرام بين النخاع والقشرة ، وتقسم هذه التفرعات أيضاً مكونة شبكة من الشرايين الدقيقة والشعيرات وهذه تغمر مرة ثانية في الجزء الفعال للكلية وهو النفرون .

تركيب النفرون: **Structure of the nephron**

هناك حوالي مليون من الوحدات الكلوية في كل كلية . وهي في الحقيقة التي تعمل على إنتاج البول . وهي أنبوب طويل مجهري رقيق أحد طرفية مغلق ومثنى بشكل فنجان ويسمى محفظة بومان Bowmans' capsule ويقع في القشرة . ومن المحفظة يمتد أنبوب ملتو يسمى بالأنبوب الملتوي القريب proximal tubule ثم يستقيم هذا الانبوب ويمتد إلى الأسفل وباتجاه أو داخل النخاع ثم ينحني إلى الأعلى مرة أخرى مكوناً شكل U ويعرف باسم عروة هنلي Loop of Henle ثم يستمر بشكل ملتو مكوناً ما يسمى بالانبوب الملتوي البعيد distal convoluted tubule وهذه تعود إلى النخاع ومن ثم تمتد إلى حوض الكلية . وجميع الوحدات الكلوية (النفرونات) قائمة بطريقة واحدة فالمحافظ والانابيب الملتوية في القشرة بينما عرى هنلي والقناة الجامعة تتجه نحو قمة الاهرامات .

وكما أن النفرونات مهمة ، فإن الأوعية الدموية المتصلة بها هي مهمة أيضاً . ومنها فرع شرياني يسمى الشريان الوارد يجلب الدم إلى كتلة من الشعيرات الدموية وتدعى الكبة وتوجد في داخل محفظة بومان . ويمر الدم خلال المجمع ، ثم يحمله الشريان الصادر إلى شبكة أخرى من الشعيرات الدموية تحيط بالانابيب الملتوية وبعروة هنلي ومن هذه الأوعية الشعرية تذهب إلى أوردة صغيرة وهذه تؤدي إلى الوريد الكلوي الرئيسي .

تكوين البول: **Urine formation**

الدم ا لذي يدخل المجمع (الكبة) يكون قد قطع مسافة قصيرة من الأورطة وهو بالتالي تحت ضغط عال . وكما هو الحال في الشعيرات الدموية الأخرى ، يدفع الضغط كمية معينة من البلازما والمواد المذابة خارجاً خلال جدران الأوعية . وعندما يدخل هذا الراشح المحفظة ويبدا رحلته خلال النفرون (الوحدة الكلوية) يكون مشابهاً للبلازما ويحتوي نفس الأيونات ولجلوكوز وكل المواد ما عدا البروتين .

وأول شيء يحصل للراشح عندما يمر خلال الأنابيب الملتوية القريبة هو أنه يفقد معظم الماء والمواد المذابة الأخرى ، إذ يعاد امتصاصها إلى الدم خلال الأوعية الشعرية المحيطة وهذه هي اعادة امتصاص اختيارية : تخرج كل أنواع المواد المذابة في الأنبوبة الملتوية ثم يعود الجسم ليأخذ الشيء الذي يمكن أن ينقل ويستفاد منه تاركاً وراءه الفضلات والزوائد كي تخرج . ويحدث هنا كل من النقل النشط والنقل السالب . فعلى سبيل المثال : يضخ

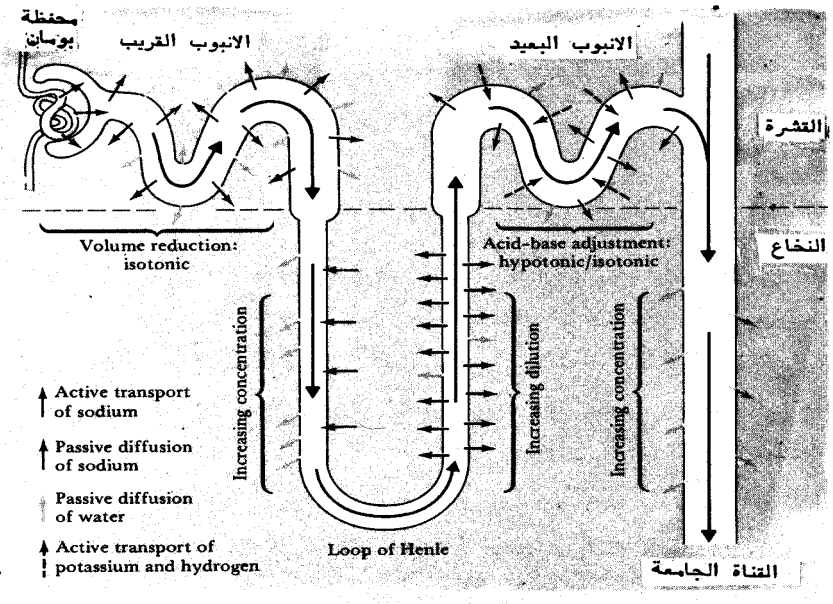
الصوديوم إلى الدم بالنقل النشط عكس فرق التركيز . فيلحق به الماء والكلوريد بالنقل السالب باتجاه الفرق الجديد ، بالطريقة الأسموزية للماء والالكتروكيماوية بالنسبة للكلور . أما الجلوكوز والأحماض الأمينية فتؤخذ بطريقة النقل النشط .

وعندما يصل الراشح إلى نهاية الأنبوب الملتوي القريب يكون قد خسر ٧٥% من الماء والمواد المذابة . ولكن حتى الـ٢٥% المتبقية ، إذا حصل إخراجها فإن ما قيمته ١٠-١٢ جالون من البول تخرج كل يوم وهذه الكمية كافية لأحداث الجفاف والموت لأي فرد يعيش على اليابسة . إذن يجب أن يكون هناك طريقة لإعادة معظمها إلى الجهاز مرة أخرى . وأسهل طريقة لذلك تكون بامرارها على طول أنبوب شبه منفذ خلال محيط مالح جداً بحيث أن الضغط الاسموزي يدفع الماء خارجاً خلال جدران الأنبوب وتاركاً كل شي وراءه . ولحدوث ذلك يجب أن يحدث فرق في الضغط الاسموزي في الأنسجة التي تمر الأنابيب خلالها . وفرق الجهد هذا يولد في عروة هنلي وخاصة في الجزء الثاني للعروة (الأنبوبة المتهجة للأعلى) . وعندما يمر الراشح خلال هذا الجزء يضخ الصوديوم بالنقل النشط إلى الخارج . ويبقى بعض الصوديوم في السائل البيني ولكن معظمه ينتشر سلبياً أي (النقل السلبي) عائداً إلى الجزء النازل جاعلاً الراشح أكثر تركيزاً في طريقه إلى الأسفل . ويعتبر التركيز أكبر ما يمكن عند منطقة انحناء العروة ويقل تدريجياً باتجاه القشرة الخارجية إذ أن الصوديوم يضخ إلى الخارج وتمتص كمية قليلة من الصوديوم والنتيجة أنه عندما يدخل الراشح المخفف إلى العروة ويواجه محيطاً أكثر تركيزاً ، تترشح كمية قليلة من الماء وتمتص كمية قليلة من الصوديوم . والآن صار الراشح أكثر تركيزاً . ولكنه ما زال يتحرك في وسط بيئة أكثر تركيزاً منه إذن سيزال ماء أكثر حتى يمتص صوديوم أكثر . وهذا يستمر حتى يصل منطقة الالتواء حيث يكون الراشح مركزاً تماماً .

ولكن الآن عندما يبدأ الالتواء بالانحناء للأعلى ، يبدأ بالمرور راجعاً إلى مناطق أكثر تخفيفاً . إذن لماذا لا يأخذ الراشح الماء المفقود ببساطة ويرجع مخففاً كما كان؟.

في الحقيقة أن الراشح يصبح أكثر تخفيفاً أيضاً عندما يترك الأنابيب الملتوية القريبة . ولا يحدث هذا بواسطة أخذ الماء ولكن بواسطة الضخ النشط للصوديوم للخارج والماء

المفقود لا يمكن أن يستعاد لأن جدران الجزء الصاعد من التواء هنلي يكون تقريباً غير منفذ للماء . وهكذا يصل الراشح إلى الأنابيب الملتوية البعيدة ناقصاً في الحجم وتنخفض الاسموزية بالنسبة للدم .



الشكل (١٧ ــ ١٦) : عملية تكوين البول .

وفي الأنبوبة الملتوية البعيدة يفقد ماء أكثر ويخضع الراشح لنوع من التخزين الدقيق فيضخ العديد من الأيونات للداخل والخارج ويثبت التوازن القاعدي الحامضي على مستوى أكثر حامضية من الدم بقليل وتتكون كمية قليلة من الامونيا ويصبح السائل الآن بولاً حقيقياً ولكنه ما زال مخففاً ، يدخل الأنبوب الجامعة .

وعندما يمر البول إلى أسفل الأنبوبة الجامعة ، التي تمتد موازية لالتواء هنلي ومجاورة له يواجه الزيادة في الفرق الاسموزي المتكونة من الالتواء . ولأن جدران القناة الجامعة تعمل كغشاء شبه نفاذ ، فإن الماء يخرج من البول باتجاه التدرج الاسموزي . وتبقى كل المواد المذابة . وعندما يمر البول ويصل قمة الالتواء فإنها تصل نفس التركيز كما في النخاع الكلوي وعند نقطة تركيز .

يبتين أن طول التواء هنلي عامل مهم في تكوين بول مركز . فكلما كان الالتواء أطول كان تدرج التركيز الناتج أكثر وبالتالي يتكون بول أكثر تركيزاً . فالكنغارو الذي

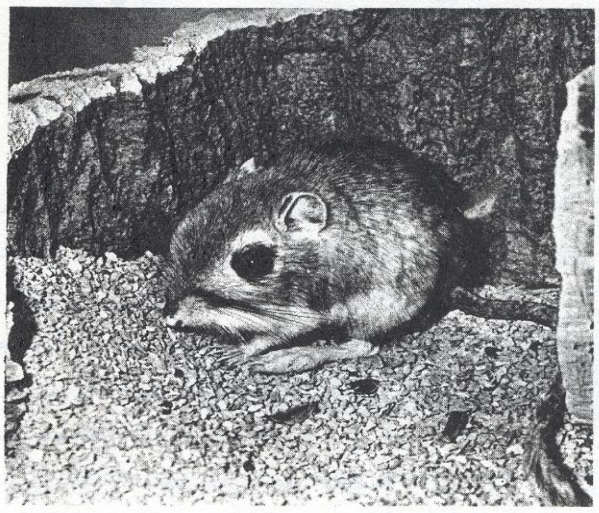
يعيش في الصحراء ، له التواء هنلي طويل بحيث يستطيع أن يحافظ على جميع الماء في جسمه وهكذا لا يحتاج أبداً للشرب .

والضغط الاسموزي في قمة الالتواء يكون عالياً بحيث أن معظم الماء تقريباً يستخلص في القناة الجامعة ويكون البول المخرج أكثر تركيزاً من ماء البحر . وطبعاً من السهل معرفة قيمة هذا للحيوانات الصحراوية .

السيطرة Control

الكليتان موضوعتان تحت السيطرة العصبية والهرمونية ، وتقومان كذلك بالعمل ذاتياً فتستمر الكلية في عملها عندما تقطع الأعصاب ، كما يحدث مع القلب . وهذه الخاصية تجعل عملية النقل والزرع ممكنة .

ومن الميكانيكيات المهمة التي يستخدمها الجسم للمحافظة على التوازن المائي نظام هرمون مانع ادرار البول (ADH) فالانبوبة الجامعة تختلف في نفاذيتها للماء وتسيطر عليها كمية الهرمون المانع لأدرار البول الموجود في الدم .



الشكل (١٧ ــ ١٧): يمتلك فأر الكنغاروجهازا للحفاظ على الماء كفء ا لدرجة أن الحيوان لا يحتاج الى شرب الماء . فكل الماء الذي يحتاجه ينتج من عمليات الايض للطعام الجاف الذي يتناوله . وهو يمكن اجباره على شرب ماء البحر ومع ذلك فانه لا يعاني من نتائج سيئة نتيجة لذلك .

وهذا الهرمون يفرز من الغدة النخامية كاستجابة للتركيز الاسموزي لسوائل الجسم . فإن مادة في التركيز الاسموزي تعمل أو تؤدي إلى الزيادة في إنتاج هذا الهرمون ، وهذا

يجعل الأنابيب الجامعة أكثر نفاذية للماء وهذا بالنتيجة يعطي بولاً أكثر تركيزاً . ومن جهة أخرى إذا انخفض تركيز الدم فإن إنتاج الهرمون المانع لأدرار البول أيضاً ينخفض وهذا يجعل القناة الجامعة أقل نفاذية ، ويصبح البول أكثر تخفيضاً ويخلص الجسم من السوائل الزائدة . وهذا يفسر تأثير شرب كمية كبيرة من البيرة ، فالكحول في الدم تمنع إنتاج الهرمون المانع لأدرار البول وكيميائية الجسم تستجيب بأن تأخذ مجراها الطبيعي .

ملخص الفصل السابع عشر

الجهاز الهضمي للفقريات هو نظام أنبوبي تسير فيه المواد الغذائية باتجاه واحد وهو يعامل هذه المواد على طريقة خط التجميع . فالفم يقطع الطعام إلى قطع صغيرة بينما يقوم في الوقت نفسه بعملية التليين لتسهيل مرور الطعام في القناة الهضمية . فيدخل الطعام بعدئذ إلى المعدة حيث يطحن ويمزج ويحطم أكثر . ويحتوي العصير المعدي المفرزة من غدد في جدار المعدة على انزيمات تبدأ بهضم البروتين . والطعام الذي هو الآن نصف سائل ويدعى بالكيموس ، يمر إلى الأمعاء الدقيقة حيث يحدث معظم الهضم وكل الامتصاص للمواد الغذائية المهضومة ، بمساعدة الانزيمات المفرزة من جدار الأمعاء ومن البنكرياس ويسهل فعل الحركة الدودية للأمعاء الدقيقة عملية مزج الطعام بالعصارات المعوية .

ويتم هضم الكربوهيدرات بواسطة انزيمات تدعى الانزيمات المحللة للكربوهيدرات Carbohydrases وكبقية أنزيمات الهضم فغن الانزيمات المحللة للكربوهيدرات تعمل بطريقة التحلل المائي hydrolysis فهي تقسم جزئيات النشا إلى سكريات أحادية أو سكريات ثنائية . ويبدأ هضم البروتينات في المعدة حيث يحول أنزيم الببسنوجين pepsinogen إلى أنزيم الببسين pepsin بواسطة حامض ا لمعدة . ويكتمل هضم البروتين في الأمعاء الدقيقة بواسطة الانزيمات المعدية وبواسطة انزيم البربسين trypsin والكيموتربسين chymotrypson المفرزة من البنكرياس . وتهضم الدهون بواسطة انزيم الليبيز lipase وهو انزيم مفرز من البنكرياس ، بعد تحويلها إلى مستحلب بواسطة املاح الصفراء المفرزة من الكبد .

ويتم امتصاص المواد الغذائية المهضومة في الأمعاء الدقيقة حيث تشكل ثنيائتها المتعددة بالاضافة إلى الخملات مساحة امتصاصة هائلة . وتصل المواد الغذائية إلى سطح

الخملات التي تحتوي على شعيرات دموية وقناة لمفاوية ، وتمتص المواد الغذائية الذائبة في الماء إلى الدم بينما ، دخل الدهون إلى الليمف . ويعمل الكبد كمخزون للجلوكوز الزائد الممتص من قبل الأملاح خازنة أياه على صورة جلايكوجين .

وتتم عملية اعادة امتصاص ثانية للماء والأملاح المعدنية في الأمعاء الغليظة كما تقذف المواد غير القابلة للامتصاص كالسليلوز ، ومستعمرات البكتيريا والخلايا المنسلخة إلى الخارج عن طريق فتحت الشرج كبراز .

وتتطلب عملية التنفس الخلوي (التي تتم لدهم المواد الغذائية) الأوكسجين واطلاق ثاني أوكسيد الكربون . ويتطلب التبادل الغازي سطحاً رطباً ذا ماسحة كبيرة . وتستلم رئة الأنسان الهواء الذي رطب ودفيء وصفي مروره خلال الأنف والحنجرة والقصبة الهوائية . وتنقسم القصبة الهوائية إلى شعبتين أساسيتين وهذه تتفرع إلى شعيبات تقود إلى الحويصلات الهوائية alveoli بعد حوالي ٢٠ انقساماً اضافياً وهناك يأخذ التبادل الحقيقي للغازات مجراه.

ويتم التنفس بواسطة جهاز ضغط سالب . فعضلات الصدر تمدد قفص الأضلاع ويتحرك الحجاب الحاجز نحو الأسفل وبهذا يتوسع تجويف الصدر . والنقص الناتج في ضغ الهواء في الرئتين يسمح للهواء الجوي أن يتدفق إلى الداخل . أما ارتخاء عضلات الصدر والحجاب الحاجز فيقلل حجم تجويف الصدر ويزيد الضغط داخل الرئتين فيطرد الهواء إلى الخارج . وعند انتشاره خلال الشعيرات الدموية فإن الأكسجين يحمل بواسطة الهيموجلوبين في الدم إلى خلايا الجسم حيث يتم تبادله مع ثاني أكسيد الكربون . وينقل ثاني أكسيد الكربون عائداً إلى الرئتين على هيئة أيون البيكربونات وعلى هيئة كربوكسيهيموجلوبين carboxyhemoglobin ويسيطر على تبادل الغاز بين الرئة والدم وبين الدم وخلايا الجسم الضغوط الجزئية للغازات الداخلة . ويتحكم النخاع المستطيل بمعدل التنفس ، حيث أنه عالي الحساسية للتغيرات في مستوى ثاني أكسيد الكربون .

وجهاز النقل أو الجهاز الدورية للأنسان يتألف من دائرتين مغلقتين : الدورة الرئوية والدورة الجهازية . والأولى تبادل الأكسجين وثاني أوكسيد الكربون مع الرئتين والأخيرة تبادل هذه الغازات مع الرئتين ومع خلايا الجسم بالاضافة على نقلها للمواد الغذائية .

ويتكون قلب الأنسان من أربع ردهات . فالدم الجهازي (القادم من أجهـزة الجسـم المختلفة باستثناء الرئتين طبعاً) يصل إلى الأذين الأيمن خلال الوريدين الاجـوفين العلـوي والسفلي ، ويمر بعد ذلك إلى البطين الأيمن حيث يضخ إلى الرئتين خلال الشريان الرئوي . ويعود الدم إلى القلب بواسطة الأوردة الرئوية التي تدخل الأذين الأيسر . ويضخ الدم بعـد ذلك إلى البطين الأيسر حيث يغادر القلب بطريق الأورطة . ويسيطر على نبضات القلب . وباستقلال عن الجهاز العصبي . عقدتان من الأنسجة في القلب نفسـه : العقـدة الجيبيـة الأذينية والتي تقبض الأذينين والعقدة الاذينية البطينية التي تقبض البطينين .

ويتدفق الدم من الشرايين إلى شرايين أصغر ثم إلى شعيرات دموية دقيقة ومن هنا يمر الدم إلى أوردة صغيرة ثم أوردة أكبر ثم إلى الوريد الأجوف . والشرايين لها جدران قويـة مطاطة أما الأوردة ، فإنها مشابهة في التركيب ولكن جدرانها أرق من ذلك بكثير . وسمك جدار الشعيرات الدموية خلية واحدة ولها قطر قد يكون أقل من ذلك للخلية الدموية . والتدفق الخارجي من الشعيرات الدموية يسببه الضغط الهيدروستاتيك بينما الامتصـاص مـن قبـل الشعيرات الدموية هو نتيجة للضغط الاسموزي .

والدم سائل مركب يحتوي على خلايا حمراء وخلايا بيضاء وصفائح دمويـة . أمـا سائل بلازما الدم فيحتوي على بروتين وأيونات غير عضوية . ويقوم الدم بنقل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون ، كما يقوم بالدفاع عن الجسم من الغزو ، وينقل المـواد الغذائيـة ويحافظ على التوازن الاسموزي بين نفسه وسوائل الأنسجة . والجهاز الليمفـاوي يـوازي الجهاز الدوري ولكنه لا يمتلك وسيلة ضخ ، وهو يقوم باعادة سوائل الدم التـي تسـربت خارجاً من الشعيرات الدموية بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي . والخلايا اللمفية – خلايـا بيضاء محتواة في اللمف– تهاجم الغزو بالاحاطة بالكائنات الصـغيرة الغازيـة والأجسـام الغريبة الأخرى .

أن المحافظة على التوازن الاسموزي والأيـوني والتـوازن الحامضـي القاعـدي ، والمحافظة على ماء الجسم يتم بواسطة الكليتين . والوحدة الوظيفية الفعالة في الكلية هـي النفرون فتترشح سوائل البلازما من الدم خلال النفرون هذه حيث يزال المـاء كمـا تـزال الأيونات بصورة اختيارية استجابة للتغيرات في التراكيز الاسموزية كما تزال أيضاً اليوريا . ويسمح الفرق الاسموزي العالي المنتج في عروة هنلي للماء بأن يزال معظمه من الراشـح

مخلفاً فقط الأيونات الزائدة واليوريا . عندما يصل البول إلى الأنابيب الجامعة فإنه يكون قد اصبح مركزاً جداً وهكذا يسمح للجسم بالحفاظ على الماء . ويتجمع البول المركز في الحوض الكلوي ومن هناك يمر خلال الحالب إلى المثانة ثم خلال المجري البولي . وتحدث السيطرة الهرمونية على عمل الكلية خلال ميكانيكية التغذية الراجعة التي من خلالها يسبب افراز الهرمون المانع لأدرار البول (والذي يزيد اعادة امتصاص الماء) ، يسبب ارتفاع أو انخفاض التركيز الأسموزي للدم .

نظرة فاحصة

كم يضر الكحول

How Harmful Is Alcohol?

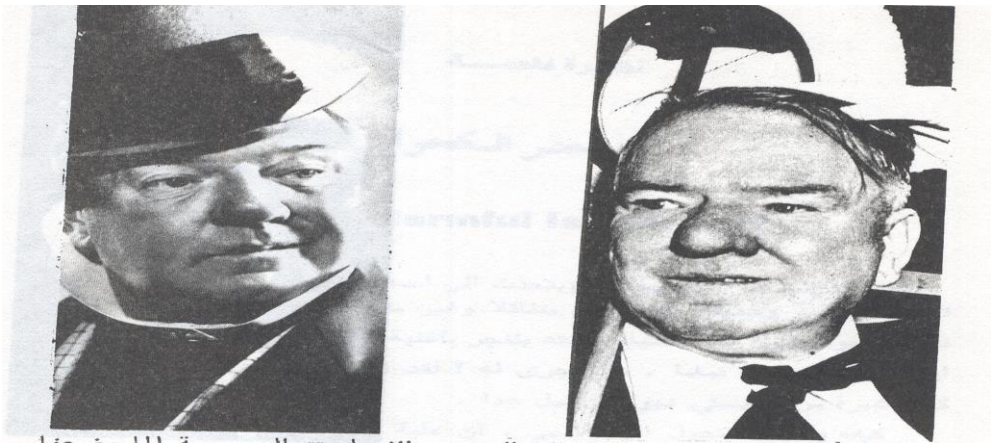
يستند الشاب إلى الجدار ، ويتحدث إلى أصدقائه ولا يستطيع الوقوف إلا بصعوبة . وحديثه يكاد يكون متثاقلاً وغير مترابط . وفي أية لحظة فإنه قد يقوم بواحد من عدة أشياء . فقد ينفجر بأغنية ، ويبدأ بالعراك أو بالتقيؤ أو حتى قد يصمت تماماً . ماذا جرى له؟ لقد غادر لتوه حفلة شرب خلالها كمية كبيرة من الوسكي فهو الآن ثمل جداً .

كيف يحدث الكحول أثره المدمر . أن علبة من البيرة أو المارتيني تمتص بسرعة بالغة في المعدة والأمعاء الدقيقة والغليظة . وبعد فترة قصيرة نسبياً من الوقت يرفع الكحول في الدم إلى معدل عال ويوزع على أعضاء مختلفة في الجسم . أما ازاحة الكحول في الدم فهي أبطأ بكثير من امتصاصه الأولي: فبعض الكحول يظل في تيار الدم بعد ١٨ ساعة من تناوله ولحد ما فإن درجة السكر هي بمقدار تركيز الكحول في الدم .

أن معدلات الكحول في الدم يمكن أن تتأثر بعدة عوامل . فإذا وجد الطعام في الأمعاء فإنه يبطيء من امتصاص الكحول . والكمية الإجمالية الممتصة من الكحول قد تكون واحدة ولكن ذروة التركيز تكون أدنى وتصل مداها بصورة متأخرة . ولهذا فإن كميات صغيرة تستهلك عندما تكون المعدة خالية وقد يكون لها تأثير أشد من كميات كبيرة تشرب خلال أو بعد وجبة ثقيلة . كما أن امتصاص الكحول يمكن أن يعاق بالشرب بمعدل منخفض أو بتخفيض النسبة المئوية الحقيقية للكحول في المرطبات المشروبة . فنسبة مئوية واطئة للكحول في المرطبات يعني كمية صغيرة من الكحول الممتص . ومع ذلك فإن التركيز العالي من الكحول يهيج بطانة القناة الهضمية ويقلل فعلاً من الامتصاص . أن معدل الامتصاص البالغ السرعة يحدث مع تخفيف مقداره ١٠-٣٠% للكحول الموجودة في الخمور والمشروبات .

وخلافاً للاعتقاد الشعبي ، فالكحول ليس مادة منبهة بل هو مادة مثبطة للدماغ . وتتأثر أولاً الوظائف الأعلى والأكثر تعقيداً . أن نقص التثبيط (تسلطه عادة المراكز الدماغية العليا) يؤدي إلى شعور بالاثارة والنشاط بالاضافة إلى الافتقار إلى القدرة على الحكم . وفيما بعد فإن وظائف شبه تلقائية تضطرب ويصبح الشخص الشارب أقل استثارة ، كما يعاني من اضطراب في التناسق العضلي ويمكن أن يذهب في نوم عميق . ومع ارتفاع كميات الكحول ، تتعطل مراكز الرؤية مؤدية إلى عمى مؤقت . وأخيراً فإن الوظائف الحيوية- التنفس ، معدل نبض القلب ، ضغط الدم- يمكن أن تتأثر . وشرب كميات أكبر من الكحول يمكن أن يؤدي إلى الموت نتيجة لإخفاق تنفسي وصدمة ترتبط بانخفاض ضغط الدم . كما أن الخصومات نتيجة للشرب في البارات المحلية قد أثبتت أنها قاتلة أحياناً .

وينتج الإفراط في الشراب عدة أعراض طبية وحالات مرضية مختلفة فمبدئياً تلتبه بطانة المعدة والأمعاء ، وتعاق عملية الهضم ، والغثيان قد يحدث بشكل متكرر . والأعصاب وخصوصاً تلك التي في الأرجل تتحلل مسببة ألماً وضعفاً ويعاني الكبد من تغيرات حادة- الضمور وتضخم حجم العضو مؤدياً إلى اليرقان والتراكم المتزايد للسوائل في البطن . وفي النهاية قد يحدث اخفاق في الكبد .



وأعراض التأرجح المعروفة جيداً ، كالصداع الشديد ، والنعاس ، والغثيان والتقيؤ تعزي جزئياً إلى التهاب المعدة أو التهاب بطانة المعدة . إلا أن السبب الرئيسي للتأرجح قد يكون نتيجة تأثير الكحول على الأذن الداخلية التي تساعد في تنظيم توازن الجمس . فعندما تضطرب القنوات نصف الهلالية في الأذن الداخلية قد ينتج انعدام التوازن والغثيان والتقيؤ والام الأعصاب ويمر الشخص المدمن على الشراب خلال سلسلة من التغيرات السلوكية . فقد يخضع لنوبات من فقد الذاكرة كما تتعطل لديه القدرة على تركيز الانتباه والذاكرة الحديثة نتيجة إلى تأثيرات مدمرة للكحول على المراكز الدماغية المعروف بالهيبوكامبس Hippocampus.

ويمكن أن يسبب الشرب على فترة سنوات اضطراباً في الفص الأمامي للمخيخ مؤدياً على المشي المترنح واهتزاز الجذع عند السير وعدم تناسق في الجسم وأن درجات مختلفة من تحلل الخلايا في الجبهة الأمامية للقشرة المخية قد يؤدي إلى اضطرابات سلوكية . والشخص الذي يشرب بصورة مزمنة قد يبدي تعطلاً في التفكير ، وأهمالاً في الاستعداد والتنفس وأهمالاً في الأمور العائلية ، وعدم مسؤولية اجتماعية واضطراباً اخلاقياً . وبعبارة أخرى فإن كل الوظائف العليا للدماغ التي يعتقد أنها تستقر في القشرة المخية الأمامية تتأثر .

أن شرب الكحول المزمن يأتي في المرتبة الثانية بعد الأدمان على النيكوتين ويعتبر مشكلة صحية رئيسية في الولايات المتحدة . ويقدر عدد مدمني الكحول من ٥-٩ مليون أميركي . ولسوء الحظ فإن الكحول يستهلك بكميات ضخمة من قبل اعداد متزايدة من شباب المدارس العليا والشباب بالعمر الجامعي . والأسباب متعددة ، فقد اقترح البعض وضع تشريع يمنع تناوله باعتباره عقاراً ضاراً ومع ذلك ، فإن المنع قد جرب مرة ولكنه فشل ، وأن حلا أكثر فاعلية يجب ان يهاجم المشكلة على أسس طبية واجتماعية وشرعية . أن الكحول قد استعمل وحبذ من قبل النوع الأنساني منذ آلاف السنين ولهذا فإن معاملته كمجرد شر ليس نظرة ضيقة على قيمته الثقافية والمشكلة ليست في الاستعمال ولكنها في سوء الاستعمال وأن أي اتجاه آخر أبسط من ذلك لن يشفي منها *.

* نحن ننقل على كل حال رأي المؤلف ، ولكن الكحول محرم في الإسلام ن