



علم النباتات

الوصفي والتشريفي





منشورات جامعة دمشق
كلية الزراعة

علم النبات

الوصفي والتشريحي

الدكتور
عماد القاضي
مدرس في كلية العلوم

الدكتور
عبد العزيز الصباغ
أستاذ في كلية الزراعة

١٤٣٩ - ١٤٤٠
٢٠١٨ - ٢٠١٧

جامعة دمشق



الفهرس

الباب الأول - علم الخلية

١٣	الفصل الأول أهمية النبات في الطبيعة
١٧	تعريف علم النبات
٢٢	علم النبات وعلم الزراعة
٣٣	الفصل الثاني الخلية النباتية وطرائق دراستها
٤١	الفصل الثالث الغشاء البلاسمي
٥١	الفصل الخامس النواة
٥٣	الغلاف النووي
٥٦	النوية
٥٨	ال قالب النووي
٥٩	بنية الدنا
٦٧	تضاعف الدنا
٧١	الانقسام الخلوي
٧٧	الفصل السادس النظام البنائي للسيتوبلاسم
٧٧	الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة
٨٣	جهاز غولجي
٨٥	الجسيمات الحالة
٨٨	البيروكسيزومات
٩٠	الخنيدرات
٩٦	المانحات

١٦٨	الريبات
١٦٩	اصطناع البروتين
١٧٠	التنسخ
١٧١	الترجمة
١٧٢	الهيكل السيتوبلاسمي (النيببات الدقيقة، الخيوط الوسيطة، الخيوط الدقيقة)
١٧٣	التنظيم المورثي
١٧٤	الفصل السابع مشتقات البروتوبلاست
١٧٥	المواد الفيزيولوجية النشطة (الهرمونات النباتية، الفيتامينات، الصادات)
١٧٦	حاصلات الاستقلاب الخلوي (السكاكر، الليبيدات، البروتينات، القلويات، الغликوزيدات، المواد العفصية، الحموض العضوية وأملاحها)
١٧٧	الجدار الخلوي

الباب الثاني - علم النسج

١٥٣	الفصل الثامن النسج النباتية
١٥٤	التعابير الخلوي
١٥٥	النسج المولدة أو القسمة (القنبية، الجانبية، البينية، ميرستيم الجروج)
١٥٦	النسج الواقية (البشرة، ملحقات البشرة، القشرة)
١٥٧	النسج القسم الثاني
١٥٨	النسج الأساسية (اليخضورية، الادخارية، برشيم الامتصاص، البرنشيم الموافي)
١٥٩	النسج الاستنادية (الكولانشيم، الاسكليرنشيم، الاسكليريدات)
١٦٠	النسج الناقلة (الخشب، اللحاء، الحزم الناقلة)

الباب الثالث - علم الأعضاء النباتية

٢١١	الفصل التاسع تعضي الجهاز الإعاشى في البذريات
٢٤١	البادرة
٢٥٥	الجذر (وظائف الجذر، تصنیف المجتمع الجذري)
٢٢١	البنية المجهرية (البنية الابتدائية، البنية الثانية)
٢٣٣	تحورات الجذر
٢٤١	الفصل العاشر الجملة الفارعية
٢٤١	السوقة
٢٤٢	الساق
٢٤٥	البرام
٢٤٨	النظم الورقى
٢٥٤	أنواع السوق وتحوراتها (اللحمية، الورقية، المشوكة، المحالق، الجذامير، الدرنات، البصلات، الكورمات)
٢٦٤	البنية المجهرية للسان
٢٦٦	البنية الابتدائية للسان
٢٧٠	البنية الثانية للسان
٢٨٦	الورقة (أجزاؤها، التعدد الشكلي للورقة، الأوراق البسيطة، الأوراق المركبة)
٢٩٩	تسلیح الأوراق
٣٠١	البنية المجهرية للورقة
٣٠٦	تحورات الورقة

الأعضاء، المتشابهة والمتجلسة

المراجع

فهرس المصطلحات العلمية



مقدمة

بعد علم النبات الوصفي والتشريري أحد الفروع الأساسية لعلم الحياة *Biology* إذ يهتم بدراسة بنية الكائنات النباتية ووصفها.

ظهرت الكائنات النباتية لأول مرة، قبل نحو ٣٥٠٠ مليون سنة، في مياه الع溟يات، ثم انتقلت بعدها إلى اليابسة. وقد عاش العالم النباتي خلال ذلك، منذ بدایته حتى عصرنا الحاضر، أربع مراحل تطورية هامة: ١- مرحلة النباتات المائية (الطحالب). ٢- مرحلة النباتات البرية. ٣- مرحلة النباتات هربانة البذور. ٤- مرحلة النباتات مغلقة البذور.

لُمِّعَتْ مخلفات البذور أكثر النباتات تطوراً، إذ تملك نظاماً عضوياً معقداً، وينتمي إليها جميع النباتات الزراعية ومعظم النباتات الملائمة والحرجية، ويرتبط بانتشارها ظهور الطيور والثدييات. ولا غرابة في ذلك، فقد قدمت مخلفات البذور للعالم الحيواني الطعام الضروري لوجوده واستمراره في الحياة.

لقد بدأ الإنسان منذ القدم، وفي أول مراحل حياته، بالتعرف على النباتات العذائية والطيبة، وتمييزها عن السامة والضار. ظهر علم النبات قبل ٢٣٠٠ سنة تقريباً، تلبية لحاجات الإنسان اليومية، ولهذا السبب تطور علم النبات بسرعة كبيرة في البلاد التي ازدهرت فيها علوم الطب والزراعة.

استطاع السوريون القدماء، منذ القرن السابع قبل الميلاد، استئناس وزراعة عدد من النباتات الاقتصادية، كالقصص والشعير، حيث لا تزال أصول هذه الأنواع البرية ممثلة في نبيتنا الحالي. وقد قام العرب منذ أكثر من ألفي سنة بترجمة مؤلفات الإغريق (أرسطو^٤ - ٢٨٤ - ٢٢٣ ق.م)، والرومان (يليني ٧٩-٢٣ م) في علوم النباتات المختلفة. فكان للعرب فضل كبير في حفظ كثير من هذه المؤلفات المترجمة من الضماع. كما كان لهم باع طويل في إغنائها، بما أضافوا إليها من تجاربهم ودراساتهم ومعارفهم الخاصة. ومن أشهر علماء العرب الذين اهتموا بالنبات وعلومه، جابر بن حيان (٧٦٥-٧٠٠ م) وأبن سينا (٩٨١-١٠٣٧ م)، الذي ضمن

مؤلفاته الخواص الطبية لعدد كبير من النباتات. وقد ترجمت هذه المؤلفات في القرن الثاني عشر إلى اللاتينية والعبرية، وفي القرن السادس عشر إلى لغات مختلفة، وطبعـت أكثر من عشرين مرة. ثم ظهرت بعد ذلك مؤلفات ابن البيطار (1197-1248 م) في خواص الأشجار. وقد ترجم مؤلفه عن اليونان (Lemons) إلى اللاتينية، ونشر في الهندية (عام 1583 م) ثم في باريس (عام 1602 م)، كما ترجمته اليوتسكو مؤخراً إلى الإنكليزية. ويستخدم العطارون كتاب "الذكرة" لداود بن عمر الأنطاكي حتى يومنا الحاضر، في تركيب بعض الأدوية الطبية اعتباراً من النباتات المشببة.

وهكذا ترتبط حياة الإنسان بالنبات بصورة مباشرة. وبالمقابل، يكتب الناس الكائنات النباتية حسب حاجاتهم. فيؤدي الإنسان في عصرنا الراهن، دوراً كبيراً في تجديد الغطاء النباتي، وخاصة بعد استخدام الآلة والكمبيوتر في الزراعة على نطاق واسع. فيسمى علماء النبات حالياً، للاستفادة من الغطاء النباتي بشكل عام، واستثناءات الأنواع المفيدة منه بشكل خاص، لتوفير متطلبات العالم الزراعية (فذائية، طبية، صناعية).

تحتل الزراعة حالياً مكاناً بارزاً في بنية الاقتصاد العربي. إذ ما زالت الزراعة هي الصناعة الأساسية لمعظم الأقطار العربية. فيعيش ثلثا سكان الوطن العربي على الزراعة مباشرة ويقوم الثالث الباقى غالباً، بأعمال ترتبط بالزراعة أو تتعلق بها. وتعد الثروة الزراعية مصدراً أساسياً وهاماً من مصادر الدخل الوطني في القطر العربي السوري وفي بقية أقطار الوطن العربي. وبالتالي، فإن ارتفاع مستوى معيشة المواطن العربي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالتنمية الزراعية وبالصناعات القائمة على الإنتاج الزراعي.

لقد شهد القطر العربي السوري في الربع الأخير من القرن الماضي قذرة زراعية رائعة وشاملة، نتيجة التطور الكبير والتطبيق السليم لجميع العلوم الزراعية وتقنياتها الحديثة. كانت هذه القذرة ولidea تحطيط موجه للتلبية الاحتياجات المتزايدة للمواطنين من المواد الغذائية بسبب تزايد عدد سكان القطر من ناحية، ولرفع مستوى المعيشة من ناحية ثانية.

يمثل علم النبات "الوصفي والتشرحي" المصب الرئيس لدراسة معظم العلوم الزراعية.

فهو يقدم الأساس العلمي المضطري لدراسة مقررات الفاكهة والغفار والمعاصيل والنباتات الرعوية والعلفية والعطرية والطببية ونباتات الزينة والحراج وأمراض النبات وتقديرية الكائنات النباتية ... الخ. كما يمدُ الباحث الزراعي بمعلومات أساسية وهامة، يرتكز عليها عند قيامه ببحث علمي. ولا تقل بقية العلوم الأساسية، كعلم الحيوان والكيمياء والفيزياء والرياضيات أهمية من علم النبات. فهي تغنى الطالب والباحث الزراعي بمعلومات هامة، يستطيع بها عند دراسته لمختلف علوم الزراعة أو عند التخصص بأحدها.

أعزائنا الطلبة، نضع بين أيديكم اليوم هذا المؤلف الجديد، الذي يشمل معلومات مختصرة وواضحة في مجال علم الخلية، النسج النباتية وتعضي الجهاز الإاعشي في النبات، بما يتنق مع الخطة الدراسية الجديدة في كليات الزراعة. وقد استعنا للتوضيح الفكرة برسوم وأشكال وصور متعددة من أهميات المراجع العلمية. كما توحينا وضع المصطلحات والأسماء العلمية باللغتين الانكليزية والفرنسية بالإضافة إلى اللغة اللاتينية. واجتهدنا في إيجاد ترجمة واضحة لها باللغة العربية، وذلك بالتنسيق مع زملائنا في جامعات القطر أو بالاستعانة بالمصطلحات المطابقة المستخدمة في جامعات الوطن العربي، وهذا ما يجعل هذا الكتاب مرجعاً علمياً متتطوراً للمكتبة العربية في حقل تخصصه.

وبعد، فإننا نأمل أن تكون قد وفقنا في إصال مضمون هذا الكتاب إلى طلاب العلم والباحثين في العلوم الحيوية والزراعية، وأن يحقق الفائدة المرجوة منه، والله ولي التوفيق.

دمشق في ٢٥ / ٤ / ١٤٢٥ هـ

الموافق لـ ١٣ / ٧ / ٢٠١٤ م

المؤلفان



الباب الأول

علم الخلوة

Cytology



الفصل الأول

أهمية النبات في الطبيعة

تتمتع الطبيعة بأهمية كبيرة في حياة الإنسان، لا سيما كائنات نباتية متنوعة. تنتشر النباتات بصورة واسعة في جميع أرجاء الكورة الأرضية، ولللاحظ في المناطق التي تبدو بدون حياة: في الأقاليم الباردة أو الصحراوية، في القطب الشمالي أو الجنوبي، في مياه المحيطات أو في الهواء الجوي.

يحمل الهواء الجوي آلآفًا مؤلفة من الكائنات الدقيقة، كالبكتيريا والفطور والفيروسات، حيث تنتشر مع تيار الهواء إلى مسافات شاسعة. تشكل دراسة بنية هذه الكائنات، ومعرفة نشاطها الحيوي وانتشارها، علمًا خاصاً يدعى علم الأحياء الجوية.

يوجد عادة في متر مكعب واحد من الهواء الجوي، نحو عشرة آلاف إلى مئة ألف نموذج من البكتيريا والفطور والفيروسات. وقد انتصح، عند ارتفاع تركيز الأحياء الدقيقة في الهواء، استنشاق الإنسان في كل مرة مع هواء الشهرين من ٤٠٠ - ٦٠٠ كائن، وطرحه في الجو مع هواء الزفير من ٢ - ٣ كائنات فقط. كذلك الأمر، يحمل الغذاء والماء إلى معدة الإنسان أعداداً هائلة من النباتات المجهرية. يوجد القسم الأكبر من الميكروبات في التربة. تؤدي الأحياء الدقيقة دوراً هاماً في عملية تشكيل التربة وزيادة خصوبتها. يشتمل الحمأ من التربة حسب العالم E.Michostin ما يقارب مائة ألف وحتى ٨٠ مليوناً من هذه الكائنات. وليس الطحلبيات بأشد انتشاراً من الأحياء المجهرية السابقة إذ تشغّل حيزاً واسعاً في مياه المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات.

لقد كانت النباتات رائدة في غزو مناطق غذائية جديدة، خالية من أية حياة أخرى. فيمكن رؤية بعض الطحلبيات على سطح الثلوج، وفي مياه الينابيع الحارة، وعلى الصخور الملساء حتى على الزجاج. يُميز هذا الانتشار الواسع، الكائنات النباتية عن الحيوانية. إذ

تنشر الأولى في جميع المناطق الكرة الأرضية، وتشغل مساحات واسعة. تؤدي النباتات حسب العالم Timiriazev دوراً فضائياً هاماً، فيم ينحصر هذا الدور بما ترى؟ تلك معظم النباتات (باستثناء النباتات اللايخضورية، كالبكتيريا والفطور وبعض أنواع البكتيريا الطفيلية) منهاً أخضر، هو اليخضور Chlorophyll الذي يميز عادة، النباتات عن الحيوانات.

يوجد هذا الصبغ الأخضر في عصيات خلوية محددة، تسمى الصانعات الخضراء. ترتبط باليخضور تغذية موائمة هامة، تترافق بتشكيل مواد ضوئية. يطلق على هذه العملية، الاصطناع الضوئي Photosynthesis. يمكن توضيح شروط آلية الاصطناع الضوئي حسب العالم Gaston عام ١٩٦٧ بالمحظط التالي:

ضوء



نباتات خضراء

يختلف الاصطناع الضوئي عن بقية التفاعلات الكيميائية الضوئية، بكونه يتم بدون فقدان العضوية النباتية للطاقة. وعلى العكس، يحصل النبات بنتيجة هذا الاصطناع على مركبات مرجعة غذائية بالطاقة. تعد الأشعة الشمسية ينبع الطاقة الحقيقية في هذه العملية الحيوية، بالإضافة إلى أنها تؤدي دوراً هاماً في تنظيم عمليات تطور النبات.

تقوم النباتات المورقة باصطناع غذائها بدءاً من مصادر متعاكسين. تتجه الأجزاء الخضراء منها نحو أشعة الشمس، وتتفتح بانجذاب ضوئي Phototropism موجباً، وتم فيها عملية الاصطناع الضوئي.

وبالوقت نفسه، تُهدى جذور هذه النباتات انجداباً أرضياً Geotropism موجباً. فتمتص الماء، والمركبات المعدنية من التربة، وفي طليعتها المركبات الأزوتية، حيث يستخدمها النبات بعد ذلك في اصطناع البروتينات.

يشترك البخضور ولو جزئياً حسب الأبحاث الحديثة، في عملية الاصطناع البروتيني. وهكذا تجري في الخلية النباتية الخضراء، تفاعلات كيميائية حيوية هامة، تتشكل على وكسها مواد عضوية رئيسة (سكاكر، بروتينات، ليبيدات) بدءاً من مركبات لا عضوية. تتشكل مجموعات المركبات العضوية الثلاث السابقة، غذاء الإنسان والحيوان الرئيسي.

وهكذا تكون في الخلية النباتية البخضور، بدءاً من المواد اللاعضوية، مركبات عضوية مختلفة، تعد الغذاء الرئيسي لجميع سكان العالم. يحمل علماء القرن العشرين ومهندسو بإجراه مثل هذه العملية الحيوية في شروط المختبر، ولكنهم لم يفلحوا بذلك حتى الآن. إذ تتميز الخلية النباتية ببنية مدهشة منسقة، لا تملكون أحد ألة الكترونية مقدمة. كما تستطيع الخلية أو العضوية النباتية بكمالها تجديد نفسها ذاتياً، أي تشكيل عضوية مشابهة لها تماماً، وهذا ما لا تستطيعه أية آلة من الآلات.

لقد أطلق تيميريازيف Timiriazev على حاصلات الاصطناع الضوئي "معلمات الأشعة الشمسية". خلال التاريخ الطويل للحياة النباتية على الأرض (ملايين السنين)، استطاعت حاصلات الاصطناع الضوئي تشكيل احتياطي هائل من المواد الغذائية بالطاقة، كالكتريون الحجري والكتريون النباتي والنفط.

ينطلق غاز الأوكسجين خلال الاصطناع الضوئي، بصورة متوازية تماماً لعملية تشكل "معلمات الأشعة الشمسية". فيستخدم الإنسان والحيوان هذا الغاز في عملية التنفس. يضم العالم النباتي حالياً ما يزيد على ٥٠٠ ألف نوع، نصفها تقريباً نباتات زهرية. ويقدر تاريخ النباتات المزروعة بنحو ١٠٠٠٠ سنة. فقد وجدت الكرمة مزروعة في مصر منذ ٤٧٠٠ - ٤٠٠٠ سنة، والقطن مزروعاً في الصين منذ ٤٠٠٠ سنة. وقد تمت الخطوات الأولى في زراعة المحاصيل الحقلية ونباتات الزيمة والطبية في الهند واليونان وإيطاليا وغيرها.

يمكن تقسيم الكائنات النباتية، حسب طريقتها في التغذية، إلى مجموعتين كبيرتين:
١- ذاتية التغذية Autotrophic plants: وتضم بصورة رئيسية النباتات الخضراء. كما تشمل إليها جميع النباتات، التي تستطيع بناء عضويتها وتكوينها بدءاً من مركبات لا

عضوية، إذ لا تشكل النباتات ذاتية التغذية مجموعة متجانسة واحدة، فيميزون فيها زمرة رئيستين، حسب نمط تغذيتها الذاتية: نباتات ذاتية تغذية خضراء، ونباتات ذاتية تغذية عديمة اليخصوص، تضم الزمرة الأولى النباتات الخضراء، التي تقوم بالاستناع الضوئي، والشاملة للزمرة الثانية، عدداً قليلاً من الأنواع النباتية عديمة اليخصوص. ولكنها مع ذلك، تستطيع صنع غذائها ذاتياً، إذ تستمد الطاقة اللازمة لهذه الغاية، بدءاً من تفاعلات أكسدة، تحرر هذه التفاعلات طاقة كيميائية، لقابل الطاقة الشمسية في النباتات الخضراء. ينتهي إلى هذه الزمرة عدد من البكتيريا: كبكتيريا الألزات والبكتيريا الكبريتية والحديدية.

تسمى عادة، عملية تركيب المواد العضوية بمساعدة الطاقة الكيميائية الاستناع الكيميائي، تمييزاً لها عن الاستناع الضوئي.

٢- غير ذاتية التغذية Heterotrophic plants: تشمل هذه المجموعة كائنات نباتية عديمة اليخصوص أيضاً. ولكنها تستطيع بناء عضويتها وتأمين فذاتها على حساب المواد العضوية المصطنعة من قبل نباتات أخرى، مثلها في ذلك مثل الحيوانات تماماً. يستمد بعضها الغذاء، مباشرة من عضويات حية أخرى، كما في معظم النباتات الطفيلية Parasites و خاصة طفيلييات النباتات الزراعية والحيوانية وكذلك طفيلييات الإنسان. وتعتبر غالباً نباتات مجهرية، فطرية أو بكتيرية. والبعض الآخر رمي Saprophytes يستمد غذاءه من بقايا الكائنات النباتية أو الحيوانات الميتة. تقوم بذلك بعمل جبار حقاً، وتؤدي دوراً هاماً، سواء في الطبيعة أم في حياة الإنسان.

تسبب النباتات الرمية أحياناً، عفونة بعض المواد الغذائية وفسادها، وتؤدي إلى تشكك بروتينات البقايا النباتية والحيوانية. كما تقوم في حالات أخرى بتحليل المواد العضوية، مشكلة حمض اللبني أو حمض الخل، أو الكحول الإيثيلي. واستناداً إلى ذلك، يمكن تحليل الاستناع اللبني الرائب والجبن، والزبدة والكبيس، والوقف على آلية دبابة الجلد.

يتحول السكر في عملية التخمر الكحولي إلى غاز الكربون وكحول. وتنسند إلى هذا التفاعل صناعة العجنات والمشروبات الكحولية (بيرة، نبيذ... الخ). وهكذا تتمتع النباتات

الرمية، التي تتألف بشكل رئيسي من اللطور والبكتيريا، بأهمية حيوية كبيرة في دورة المواد في الطبيعة. فتقوم النباتات ذاتية التغذية باصطناع المواد العضوية، بينما تعمل النباتات غير ذاتية التغذية على تفكك هذه المواد وتحليلها إلى عناصرها اللاعضوية. فيدون هاتين المجموعتين من النباتات، ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية لا يمكن أن توجد حياة على الأرض.

ومن جهة ثانية، تؤدي النباتات غير ذاتية التغذية دوراً كبيراً في حياة النباتات الزراعية. فتشعافش بعض بكتيريا التربة كـ *Rhizobium leguminosarum* مع النباتات البقلية، وتعمل على إغناء التربة والنباتات بالوقت نفسه بالمركبات الأزوتية، وعلى وكس الأزوت الجوي. كما تملك معظم الفطريات أهمية كبيرة في ميادين صناعة الأغذية والمأow الطبيـة... وغيرها.

تعريف علم النبات وأقسامه

يعد علم النبات أحد فروع علم الحياة الرئيسية، وتعتبر الدائرة العامة لموضوعاته واسعة القطر. فتشمل نباتات اليابسة والمحيطات ونباتات الغضا، الجوي. ولذلك يُقسم علم النبات بدوره، إلى سلسلة كبيرة من العلوم المحددة، التي يدرس كل منها موضوعاً معيناً: كتطور النبات، تركيب النبات، حياة النبات والقطاع النباتي.

أ: **علم الشكل Morphology**: أحد الفروع الكبيرة لعلم النبات. ظهر وازدهر منذ زمن بعيد. يهتم هذا العلم بدراسة نشوء الكائنات النباتية وتطورها، سواء النبات بشكل كامل أو بشكل مجزئ إلى أجزاء متفصلة. تتم دراسة تشكل الأعضاء النباتية وتطورها وفق طريقتين:

أ: تستند الطريقة الأولى إلى دراسة تطور الأفراد النباتية المتفصلة، بدءاً من إنشاش البذرة ونمو البادرة، وانتهاءً بتشكيل بذرة جديدة. يسمى هذا التطور بالفردي *Ontogenesis*.

ب: وتعتمد الطريقة الثانية على دراسة التطور التاريخي لكامل أفراد النوع، أو لأية مجموعة تصفيفية أخرى ينتمي إليها الفرد النباتي موضع الدراسة. يسمى هذا الشكل من التطور،

بالسلال Phylogenesis.

أدى تقدم علم الشكل وتطوره، واتساع الموضوعات التي يدرسها، إلى انفصاله لعلوم متعددة أكثر تخصصاً: كعلم الخلية Cytology، الذي يدرس بنية الوحدة البيكيلية الأساسية للعضوية النباتية، بما في ذلك العضيات الخلوية المختلفة. وعلم التشريح Anatomy وعلم النسج Histology، اللذان يهتمان بدراسة تشكل النسج المختلفة وبنيتها وأآلية تطورها، التي تؤلف بمجموعها الأعضاء النباتية. وعلم الجنين Embryology، ويدرس بنية الجنين وتطوره في مختلف المجموعات النباتية. وعلم الأعضاء Organography ويهدف إلى دراسة تشكل الأعضاء النباتية المختلفة وبنيتها وتطورها (جذراً، ورقة، ساق، زهرة، ثمرة... الخ).

يحدد بعض العلماء، المورفولوجيا النباتية بمعناها الضيق، وذلك كعلم يهتم بدراسة شكل النبات وأعضائه المختلفة من الناحية الخارجية فقط. كما يحددون علم التشريح يكونه يدرس البنية الداخلية للأعضاء النباتية. إلا أن مثل هذا التقسيم ليس طبيعياً، فالنسيج الواقعي الأولى أي البشرة Epiderma يعطي السطح الخارجي لختلف الأعضاء النباتية، في حين أن البيضونات Ovules توجد داخل جوف أو عدة أجوف، يشكل مجموعها المبيض (في مخلفات البذور). مع ذلك، تمد البشرة نسيجاً من النسج الرئيسية التي يدرسها علم التشريح، بينما يدرس علم الشكل الخارجي البيضونات.

من الضروري تقسيم علم الشكل حالياً، إلى جزئين كباريين، استناداً إلى طريقة البحث والتجربة في كل منهما:

آ) يسلك الجزء الأول دراسة مجهرية، ويضم علم الخلية وعلم التشريح وعلم الجنين.

ب) ويسلك الجزء الثاني دراسة خارجية، ويشمل علم الأعضاء.

٢: علم تخطيط النبات Florography: أحد الأقسام الرئيسية لعلم النبات. يهدف هذا العلم إلى معرفة جميع الأنواع النباتية التي تعيش في العالم ووصفها، ثم تشخيصها بدقة وتوزيعها إلى زمرة، استناداً إلى علاقات القرابة فيما بينها.

يُعد هذا العلم شديد الصلة بعلم التصنيف النباتي، إذ يجمع بعض العلماء خلال

أبحاثهم ما بين هذين العلمين.

٣: علم التصنيف Systematic: يهدف التصنيف النباتي إلى وضع الكائنات النباتية المراهنة والمحجرة في وحدات تصنيفية متتالية ومتدرجة الحجم، استناداً إلى علاقات القرابة الحقيقية فيما بينها. كما يهتم بترتيب هذه الوحدات وتنسيقها في نظام علمي متكامل، يعكس المسيرة التطورية للعالم النباتي.

لجمع عادة الأنواع المتقاربة، باستخدام مجموعة كاملة من الطرائق التصنيفية، في وحدة تصنيفية أوسع تسمى الجنس *Genus* والأجناس المتشابهة في وحدة أكبر هي الفصيلة *Family* وهكذا. سيندرس هذا العلم بالتفصيل في الفصل الدراسي الثاني "التصنيف النباتي".

٤: الجغرافية النباتية Phylogeography: الفرع الكبير الرابع لعلم النبات. ويعتمد بدراسة انتشار الكائنات النباتية ومجتمعاتها الطبيعية، على اليابسة وفي المياه. انفصلت عن الجغرافية النباتية عدة علوم، كالجغرافية التاريخية، التي تدرس النبات في الأحقبات الجيولوجية القديمة. وعلم المجتمعات النباتية Phytocoenology الذي يعني بدراسة المجتمعات النباتية من حيث بنائها وتطورها وانتشارها واستخدامها وبمكان إعادة تشكيلها. يملك علم المجتمعات النباتية أهمية تطبيقية كبيرة، من أجل تحسين المزاري والمزروع والغابات واستخدامها.

٥؛ علم البيئة Ecology: إنفصل هذا العلم عن الجغرافية النباتية نظراً لأهميته، فترتبط حياة النباتات بصورة وثيقة، بعوامل الوسط المحيط من مناخ وترهبة... الخ. وبالمقابل، تؤثر الكائنات النباتية بدورها في مكونات هذا الوسط، إذ تسهم بشكل نشط في عملية تشكيل التربة وتعديل المناخ. تتحضر وظيفة علم البيئة في دراسة بنية النباتات المختلفة وحياتها، تحت تأثير عوامل الوسط الذي تعيش فيه. يترك هذا العلم أهمية تطبيقية كبيرة في الزراعة.

٦: علم الفيزيولوجيا النباتية **Plant physiology**: تدرس الفيزيولوجيا النباتية ظواهر النشاط الحيوى المختلفة، من استقلاب المواد والحركة والنمو والتكاثر والتطور والإثارة.

٧: علم الأحياء الدقيقة **Microbiology**: يهتم هذا العلم بدراسة الظواهر الحيوية عند الأحياء الدقيقة، كالبكتيريا والفطور وغيرها. يملك هذا العلم أيضاً، أهمية تطبيقية كبيرة في الزراعة.

٨: علم المستحاثات النباتية **Paleophytology**: ويُعنى بدراسة النباتات المتحجرة (المستحاثة)، التي عاشت في الأحقاب الجيولوجية الغابرة. نتيجة تطور علم النبات وازدهاره، وتقدم الطرائق التي يستخدمها في البحث والدراسة، فقد انفصلت عنه علوم متعددة، مثل الفيزياء الحيوية **Biophysics** والكيمياء الحيوية **Biochemistry** والوراثة **Genetics** واستخدام النظائر المشعة في العلوم الحيوية **Radiobiology** (بيولوجيا الإشعاع).

علم النبات وعلم الزراعة **Botany and Agronomy**

يرتبط علم النبات والزراعة بموضوعات دراسية مشتركة، وطرائق بحث عامة ملائمة، وتاريخ تطور واحد. فيهتم علم النبات بدراسة بنية النوع النباتي وتطوره في المجتمعات النباتية الطبيعية. ويتناول علم الزراعة دراسة الموضوعات السابقة نفسها في النباتات المزروعة.

تُطبق غالباً، أبحاث علم النبات على النباتات المزروعة. وبخاصة على تلك التي تدخل الزراعة لأول مرة. إذن من المستحول وضع فاصل عميق بين علمي النبات والزراعة. ولا غرابة في ذلك، إذ اشتق علم الزراعة من علم النبات، وبعد أحد فروعه الرئيسية في مجال زراعة الكائنات النباتية. يقف أمام علماء النبات والزراعة، هدف كبير واحد: الاستفادة التامة من الكائنات النباتية ووضعها تحت تصرف الإنسان بصورة مستمرة، وخاصة محاصيل الحبوب والثمار والخضار.

من الصعوبة في بعض الأحيان، التمييز بين موضوعات علم الزراعة وعلم النبات. ف Gund

دراسة المروج والراعي... الخ، يقوم علماء الزراعة والنبات على حد سواء، بوضع التدابير العلمية الزراعية لرفع إنتاجها وتحسين مردودها.

كما توجد بعض نقاط التعاكس والصلات المتداخلة ما بين طرائق البحث في كل من كيمياء، الأراضي والهندسة الزراعية وعلم النبات. فمن الضروري قبل زراعة النبات، دراسة صفات التربة وتركيبها الفيزيوكيميائي، ومياها الجوفية وطرائق الري فيها. يدرس علماء النبات حالياً، ما يقارب ١٥٠٠ نوع نباتي، تنتشر على سطح اليابسة وفي مياه المحميات والأنهار والبحيرات وفي الهواء الجوي. في حين لا يتجاوز نصيب علماء الزراعة من هذه النباتات ١٥٠ نوع فقط.

تعد المهمة الرئيسية لعلماء الزراعة وللمزارعين، العمل على جذب أكبر كمية ممكنة من المحاصيل الغذائية، أو من الكتلة النباتية الخضراء بشكل عام. إذ لا توجد مهمة أكثر إيجابية من ذلك، مادام الغذاء يشكل عنصراً أساسياً لاستمرار الحياة وكل تطور حضاري.

يجب على المهندس الزراعي القيام بتطبيق قواعد المراقبة والإشراف على الإنتاج. فيراقب بصورة خاصة، عملية تطور المحصول النباتي أثناء نموه وتشكله. تشمل هذه المراقبة جميع مراحل تشكيل الأعضاء وتطورها Organogenesis، ابتداءً من إنتشار البذور وتطور الدرنات، وتشكل الأعضاء الإعائية والتكتانية، حتى ظهور الشمار والبذور من جديد.

ويجب على المهندس الزراعي أيضاً، القيام بتنظيم جداول خاصة، يملؤها بمعلومات دقيقة عن مناخ كل مزرعة إنتاجية. ثم يدرس تأثير هذا المناخ في المراحل المختلفة للتطور النباتي الزراعي. يمكن الافتراض مسبقاً، عندما تجري مراحل التطور بصورة بطيئة، مرور النبات بمرحلة الإزهار وتشكل الشمار والبذور. بينما تغير الحالات الأخرى، التي تتم فيها هذه المراحل بسرعة شديدة، إلى تشكيل الفوارع الجانبية. من الضروري في كل حالة تنظيم تدابير زراعية ملائمة والقيام بمراقبة إضافية.

تشكل الأرضي المزروعة حالياً ما يقارب ١٠٪ من سطح اليابسة. وتتبادر هذه النسبة للأراضي المحروقة، حسب بلدان العالم. فأعلى نسبة لها تساوي ٧٨٪، بينما تنخفض إلى

الصفر في جاوا وإلى ٤٪ في أمريكا الجنوبية (من مساحتها العامة)، ولا تتجاوز ٥٪ في الدول الاسكندنافية، وترتفع إلى ١٠٪ في الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا الاتحادية، وتصل إلى أكثر من ٣٠٪ في أوروبا الغربية، وتبلغ مساحة الأراضي المزروعة في القطر العربي السوري نحو ٣٠٪ من المساحة العامة للقطر، وهي أعلى نسبة لثل هذه الأرضي في الوطن العربي. يمكن رفع نسبة الأراضي المزروعة لتصل إلى ١٧-١٦٪ من سطح اليابسة، بعد استصلاح البوادي الفضخمة. وبالفعل تم استصلاح كثير من البوادي في أنحاء عديدة في العالم، وأنشئت مكانها مزارع شاسعة للبطيخ والعنب والأرز والقطن. في حين كان يعتقد سابقاً، أنها غير صالحة للزراعة إطلاقاً.

كما بيّنت التجارب العالمية إمكانية رفع إنتاج المجتمعات النباتية الطبيعية بدرجات كبيرة، عند تنظيم تدابير زراعية ملائمة، فيمكن الاستفادة منها حينئذ، كمراجع أو مروج أو غابات.

لفت نظر العلماء حالياً، الإنتاج الحيواني الضخم لمياه المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات، فتقوم الطحلبيات المائية باصطناع الجر، الأكبر من المواد العضوية. ولذلك يحاول هؤلاء العلماء الآن استخدام النباتات البحرية، كغذاء للإنسان أو كعلف للمواشي، أو الاستفادة منها كأسدة عضوية أو مواد خام صناعية، وخاصة في الصناعات الطبية.

في كل عام، يكتشف علماء النبات أنواعاً جديدة، وفي كل عام يدخل علماء الزراعة نباتات مفيدة جديدة إلى حقولهم (علفية، عطرية، طبية، صناعية). فيعد الاستغلال الكامل للمصادر النباتية الطبيعية أو للنباتات المزروعة مقياساً هاماً لمستوى زراعة البلد ولمحصولها الهام.

بعد ستة آلاف سنة من عمر الزراعة في فرنسا، تمكن العلماء الفرنسيون منذ زمن قريب، اكتشاف زيت فعال جداً في بذور ثمار الكرمة. يستخدم هذا الزيت في علاج أمراض جهاز الدوران، وخاصة التصلب الشرياني.

الفصل الثاني

التركيب الكيميائي للخلية

تتركب جميع العضويات الحية، نباتية كانت أو حيوانية، وحيدة خلية أو كثيراتها من جزيئات تشبه من حيث بنيتها المنصرية، تلك الجزيئات التي تشكل الماء غير الحية. تخضع هذه الجزيئات بعد نزعها من عضوية ما ودراستها منفصلة بعضها عن بعض لجميع القوانين الفيزيائية والكيميائية المحددة لسلوكية الماء غير الحية.

تتفق العضويات الحية بصفات مميزة غير متوافرة في جميع الماء غير الحية. تقدم دراسة هذه الميزات الخاصة صورة واضحة للمشكلات الرئيسية التي تحاول الكيميا الحيوية حلها ووضع الإجابة عنها.

الصفات المميزة للمادة الحية:

يعتقد أن أكثر الصفات أهمية وبروزاً للعضويات الحية هي :

أولاًـ بنيتها العقدة ونظامها المتناهي في الدقة: تعد العضويات الحية، على مختلف أشكالها التي تکاد لا تمحى، في بنيتها مدهشة عجيبة. فتملك بنية داخلية معقدة وتشتمل عدداً هائلاً من المركبات الكيميائية المختلفة. وعلى العكس، بعد الوسط المحيط بها (أي الماء غير الحية، كالترية والماء والجيال الصخري) مزيجاً غير متجانس وغير منتظم لمركبات كيميائية بسيطة نسبياً، ويتمتع بنظام بنوي ضعيف جداً.

ثانياًـ يتفق كل جزء بنوي في العضوية الحية بوظيفة خاصة واضحة : ينطبق هذا الكلام على التشكيلات البنوية الداخلية للخلية الحية، كالنواة والقشرة السيتوبلازمي. ويشمل في انتسابه أيضاً مركبات الخلية الكيميائية المنفصلة مثل الليبيادات والبروتينات والحموض

النوية. دراسة وظيفة الجزيء الحيوي أمر منطقي وضروري، في حين تبقى دراسة جزيئات المواد غير الحية، من الناحية الوظيفية، بدون معنى.

ثالثاً- قدرتها على استخلاص الطاقة من الوسط المحيط واستخدامها في عمليات البناء والنمو : تعد من أهم الصفات التي تميز العمروية الحية بمقعدة التركيب، إذ تستخدم من أجل ذلك مواد أولية بسيطة. عدا ذلك تستطيع الكائنات الحية استخدام هذه الطاقة لتحقيق أشكال متعددة من الأعمال المفيدة، مثل ذلك قيامها بالعمل الآلي عند الحركة مستفيدة بالطبع من الطاقة التي اقتنتها من الوسط الخارجي. وبالمقابل، لا تملك المادة غير الحية قدرة مماثلة في استخدام الطاقة الخارجية لحفظ تركيبها العضوي الخاص وبنائه. وعلى النقيض من ذلك، ينتقل العالم غير الحي عند امتصاصه للطاقة الخارجية، مثل الضوء أو الحرارة إلى حالة أخرى، تتصف بدرجة أقل من الاستقرار أو التوازن.

رابعاً- قدرتها على تجديد نفسها تلقائياً : تعد هذه الصفة أدهى صفة للعمرات الحية وأعجبها. فهي فعلاً جوهر تلك الحالة أو الوضعية التي تسمى الحياة وأساسها. وبالمقابل، عندما درست المواد غير الحية، لم يكتشف لها القدرة على خلق ذاتها أو تجديد بناء عضويتها، فعلى امتداد قرون متعددة جداً، لم تستطع تركيب أشكال مماثلة ومطابقة لها تماماً في الكثافة والحجم والبنية الداخلية.

التركيب الكيميائي للخلية

لهم الكيميا الحيوية بدراسة التركيب الكيميائي للمادة الحية (الكيميا الحيوية الساكنة) Static Biochemistry، كما تدرس التحولات والتفاعلات الكيميائية التي تجري في خلايا الكائنات النباتية والحيوانية (الكيميا الحيوية الحركية) Dynamic Biochemistry.

سوف نكتفي في هذا الجزء بالاستعراض السريع للتركيب الكيميائي للخلية، نظراً لعلاقته المباشرة بدراسة تعضي الخلية النباتية.

يبين التحليل الكيميائي للمادة الحية أنها تتتألف من اثنين وعشرين عنصراً كيميائياً

فقط، وذلك من أصل أكثر من مئة عنصر موجود في الطبيعة، تؤلف العناصر الأربع: الكربون، والهيدروجين، والأزوت والأوكسجين ٩٩٪ من الكتلة العامة لمعظم العضويات الحية. ومن الجدير بالذكر أن ستة عشر عنصراً، تصادف في جميع الكائنات الحية، بينما توجد العناصر الست الباقية في بعض الأنواع فقط.

أهمية الكربون:

تشتمل جميع العضويات الخلوية بدون استثناء، على مركبات الكربون، بينما ينتشر هذا العنصر في الكورة الأرضية بشكل محدود. من المعتقد أن يكون سبب ذلك هو قدرة الكربون الكبيرة على تشكيل الهيكل البنائي للجزيئات الحيوية، وذلك بفضل موهبة ذراته الرائعة في تكوين روابط مشتركة مستقرة مع ذرات الهيدروجين، والأوكسجين، والأزوت أو ذرات كربون أخرى. (إذن من السهل على ذرة الكربون تشكيل روابط مشتركة مستقرة بدءاً من الغلاف الإلكتروني الخارجي في كل منها).

وهيما يلي ترتيب الاثنين والعشرين عنصراً حسب نسبتها في المادة الحية.

Macroelements		Microelements	
العناصر الكبيرة	نسبةها ٩٩,٩٪	العناصر الصغرى	نسبةها ٠,١٪
عناصر أساسية نسبتها نحو ٩٩٪	ثوار، محدودة بنسبة ٠,١٪	Mn Fe Co Cu Zn B	Al V Mo I Si
O C N H P S	Na ⁺ K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Cl ⁻		

التركيب الكيميائي الجزيئي للخلية

يتشكل النظام الجزيئي للخلية (مجموع الجزيئات ذات التأثير المتبادل في الخلية الحية) بدءاً من جزيئات أم بسيطة، مصدرها الوسط الخارجي. تتحول الجزيئات البسيطة بمساعدة تفاعلات أنيزيمية إلى أحجار بنائية، حيث ينحد بعضها مع بعض بروابط مشتركة

مشكلة جزيئات ضخمة أو علامة Macromolecules هي بدورها يتحد بعضها مع بعض لتشكيل مركبات فوق جزيئية Macromolecules حيث تكون في النهاية العبيبات الخلوية. تشكلت الخلايا الأولى بدءاً من ثلاثة جزيئاً حيوياً أولياً وهي عشرون حمض أminoic وخمسة أنس أزوتية ببورينية وبيريميدينية، وسكرين خماسيين وحمض دسم واحد بالإضافة إلى الغليسرين والخلين. من هذه الجزيئات الحيوية الثلاثين تتشكل مئات الجزيئات الأخرى التي تقوم بوظائف مختلفة على أعلى مستوى من التخصص. يوضع المخطط المرفق المراحل التدريجية في تشكيل النظام الجزيئي للخلية.



يفترض بأن المركبات العضوية البسيطة قد وجدت لأول مرة في مياه المحيطات القديمة وبنكهة مرتفع مما أدى إلى تشكيل جزيئات حيوية Biomolecules كان لها الفضل في وجود العضويات الأولية. تقوم هذه الجزيئات في الخلايا الحية بالرغم من بساطتها، بتحقيق الكثير من الوظائف الهامة والمختلفة.

أصبح من السهل حالياً تحديد الجزيئات الحيوية التي توجد في الخلية النباتية، ومعايرتها كمياً. وهي كما رأينا في المخطط السابق: البروتينات، الليبيدات، السكريات، الحموض النووي وغيرها من المركبات العضوية الهامة، بالإضافة إلى الماء والأملاح.

تصنف هذه المركبات في ثلاثة مجموعات رئيسية:

- ١: الماء: ويحصل عن الأعضاء النباتية بعد تجفيفها الكامل بدرجة 10^7-10^3 مئوية، تتفاوت نسبة الماء كثيراً وهي تتراوح من ٧٪ إلى ٩٠٪ من الوزن العام.
- ٢: الأملاح أو المركبات المعدنية: وهي الأملاح المعدنية وبعض العناصر الحرة المتبقية في الرماد بعد ترميم المادة النباتية الجافة، وتبلغ نسبتها نحو ١٪ من الوزن الجاف.
- ٣: المركبات العضوية: وتشكل كتلة المادة النباتية الجافة، إذ تبلغ نسبتها نحو ٩٠٪ من الوزن الجاف.

سندرس في هذا الفصل الماء والأملاح في الخلية النباتية على أن نتابع دراسة المركبات العضوية في المستقبل.

الماء The water

يعد الماء، بصورة عامة، من أكثر المركبات انتشاراً في خلايا الكائنات الحية. تتفاوت نسبة الماء كثيراً حسب النوع النباتي والعضو النباتي وعمر النبات. فقد تصل نسبة الماء في الأوراق الخضراء إلى ٩٥٪ من الوزن العام، بينما تنخفض هذه النسبة إلى ١٣ أو ٧٪ في بعض البذور والأذواق.

من السهل تحديد كمية الماء في وزن معين من المادة النباتية، إذ نعمد إلى تجفيف

الأعضاء النباتية في محم كهربائي بدرجة ١٠٣-١٠٧ ملوية وذلك حتى ثبات الوزن. يمثل الفرق ما بين الوزن الرطب للنبات والوزن الجاف كمية الماء في المادة النباتية. يوجد الماء في الخلية النباتية بحالتين رئيسيتين:

١: الحالة الحرجة: يُشكّل الماء الحر العصارة الخلوية في الفجوات، إذ تتحلل فيه مواد عضوية وغير عضوية مختلفة، تعد من نواتج النشاط الخلوي. يتوسط الماء في حالة الحرجة لتفاعلات الاستقلاب المختلفة.

٢: الحالة المرتبطة: يدخل الماء في هذه الحالة في تركيب المادة الحية للخلية ويدع جزءاً منها حيث يتحد مع بروتينات السيتوبلاسم بروابط هيدروجينية.

يملك الماء، بالمقارنة مع السوائل الأخرى، درجة تجمد وانصهار وغلتان عالية ونحوذجية. كما يتمتع بحرارة نوعية وحرارة التبخر مرتفعة، وتتوتر سطحي كبير (يملك أكبر توتر سطحي بعد الزنيق). يمكن تفسير صفات الماء هذه، بوجود قوى تجاذب شديدة بين جزيئات الماء السائل، مما يؤدي إلى تماسك جزيئات الماء بصورة قوية. فعلى سبيل المثال، تعد حرارة التبخر للماء أعلى بكثير من مثيلتها عند جميع السوائل المعروفة كالមيتابول، والإيتانول، والبروبانول، والأسيتون، والبنزول، والكلورفورم. وتحدد حرارة التبخر بكمية الطاقة اللازمة للتغلب على قوى التماسك بين جزيئات الماء المتجاوحة، ونتيجة لذلك تتفصل هذه الجزيئات بعضها عن بعض وتنتقل إلى الحالة الغازية.

يعد الماء من السوائل المحلة الرائعة، بسبب طبيعته القطبية وقدرته على تشكيل روابط هيدروجينية سواء مع الجزيئات القطبية أو المعتدلة.

بهذا الشكل يمكن الوقوف على بعض جوانب أهمية الماء في الخلايا الحية فهو:

١- محل رائع لكتير من المركبات القطبية والمعتدلة.

٢- وسط هام تجري فيه جميع التفاعلات البيوكيميائية خلال عملية استقلاب المواد. وهذا يلاحظ تباطؤ التفاعلات الحيوية في البذور، بصورة موازية لقدرتها للماء.

٣- يتمتع بأعلى حرارة نوعية، وهو يفضل ذلك يؤدي دوراً هاماً في عمليات التنظيم الحراري.

- ٤- يؤمن نقل المواد الغذائية وتوزيعها، كما يقوم بحمل الفضلات وطرحها.
 - ٥- يملك درجة تجمد وغليان مرتفعة نسبياً، كما يملك أكبر توتر سطحي بعد الزئبق.
- كل هذه المزايا تساعد في الحفاظ على الصفات الفيزيوكيميائية للمادة الحية.

الأملاح في الخلية النباتية

تؤدي الأملاح دوراً هاماً في حياة الخلية النباتية. فالتنفسية المعدنية للكائنات النباتية معروفة ومدرستها منذ عشرات السنين، إذ من الضروري وجود عدد من العناصر المعدنية في وسط النبات المغذي، لكي يستمر في نموه وتطوره.

توجد الأملاح المعدنية في الخلية النباتية غالباً على شكل شوارد مختلفة، كما توجد على شكل بلورات متباينة الأشكال (إبرية، مושورية، عنقودية..) فمتاز بذلك عن الخلية العيوانية التي تكون فيها الأملاح بشكل منحل. من أهم هذه الأملاح، فوسفات البوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم، ونترات البوتاسيوم، الصوديوم. وكلور البوتاسيوم، الصوديوم. وسلفات الكالسيوم، اليود، البير، وتكون هذه الأملاح حرقة متشردة، أو مرتبطة بهماد عضوية وخاصة مع البروتينات حيث تشكل الأنزيمات. فهي تقوم بالحفاظ على التوازن الشاردي أو تسهم في بناء المادة الحية نفسها.



الفصل الثالث

الخلية النباتية وطرائق دراستها

وظيفة علم الخلية

يهم هذا العلم بدراسة البنية المجهرية والبنية الفائقة ومظاهر النشاط الحيوى للخلايا الحية كافة، ويقصد بالبنية الفائقة دراسة الخلايا الحية وعضياتها الدقيقة تحت المجهر الإلكتروني بكثير عشرات الآف المرات أو مئات آلاف المرات.

الطرق الرئيسية في علم الخلية

تتضمن دراسة الخلية الحية عدداً من الطرق الأساسية، من أهمها:

- **الدراسة البصرية الضوئية:** وتهتم بدراسة البنية المجهرية لمقاطع شفافة أو طبقات رقيقة أو نسج سميكة أو خلايا متفرقة وذلك بعد أن تجذبها الأشعة الضوئية وتتكبيرها من ٦٠ إلى ١٨٨٠ مرة.

- **الدراسة المجهرية الإلكترونية:** توضح لنا بنية العضيات الخلوية التي لا تتجاوز أبعادها ١,٥ نانومتر، وذلك بعد تكبيرها من ١٠٠ إلى ٢٠٠ ألف مرة على شاشة مفلورة أو على فيلم تصوير (نانومتر $= nm = 1,000$ ميكرومتر أو ميكرون $= \mu m = 1,000$ مليمتر mm).

- **الدراسة المجهرية متضادة الأطوار:** وتقام باستخدام مجهر بصري ضوئي يشتمل على نصب خاص يسبب تضاداً في الأمواج الضوئية، وتنعيتنا بالوقوف على بنية عضيات الخلية مع دليل انكسار متماثل.

- **زراعة النسج:** تتضمن هذه الطريقة دراسة بنية ونشاط الخلايا الحية المزروعة في وسط مخبر خارج العضوية.

- **التحليل الخلوي الكيميائي:** يسمح لنا بتمييز المركبات الخلوية المختلفة وتحديدها،

كالبروتينات والحموض النوية والليبيدات والسكاكر والهرمونات والفيتامينات .. الخ. كما نستطيع معايرة المركبات السابقة كعماً باستخدام مقياس الطيف الخلوي Spectrocytophotometer.

الخلية النباتية The Plant Cell

الخلية هي وحدة النشاط الحيوى الأصغر القادر على إبراز خصائص الكائن الحي. ترکيب الخلية مكوناتها بالاعتماد على العناصر التي تحصل عليها من الوسط الخارجي، وتتضمن عدداً من العضيات، وتحاط بذلة سيتوبلاسمى لدى الخلايا الحيوانية، يدعم بجدار خلوي عند الخلايا النباتية.

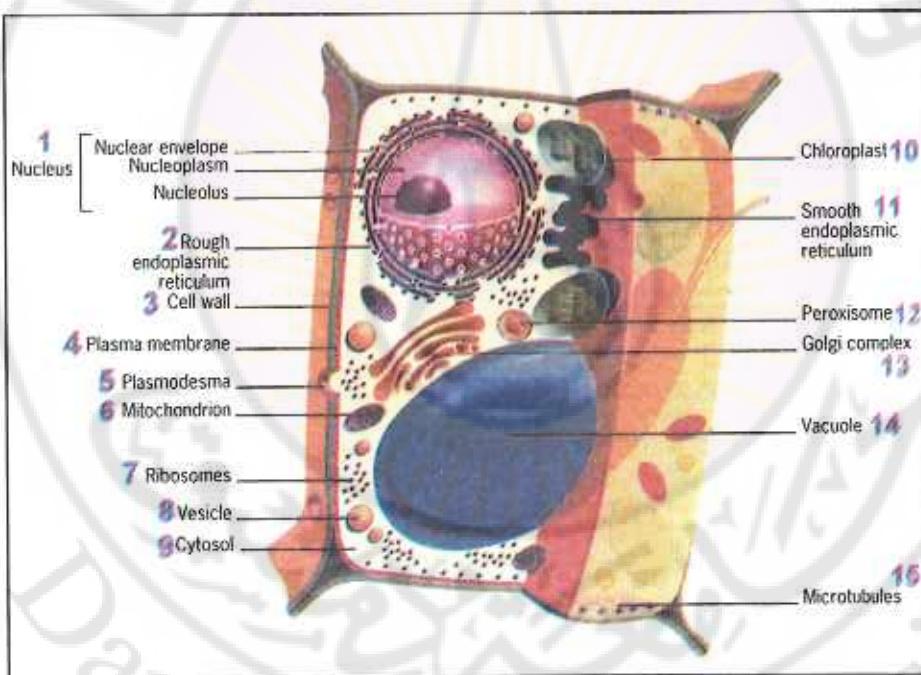
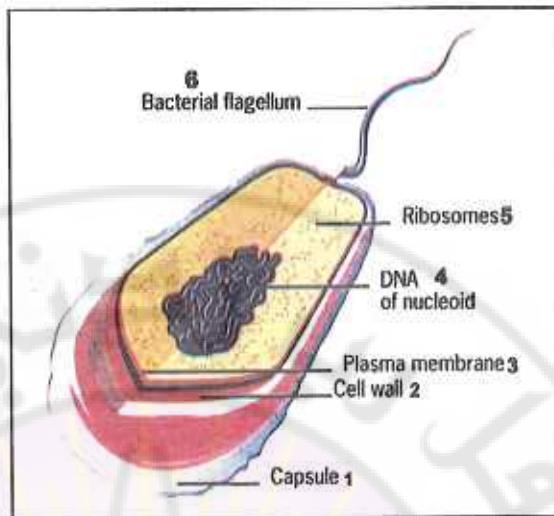
الخلايا حقيقة النوى وطائعياتها:

عندما أصبح المجهر الإلكتروني أداة شائعة لدى علماء الحياة، واستُخدم لفحص البنية الدقيقة لسمائر متنوعة من الخلايا، اتضح أن هناك نوعين أساسيين من الخلايا طلائعية النوى prokaryotic cells والخلايا حقيقة النوى eukaryotic cells. وهما يختلفان عن بعضهما: بالحجم، والبنية الداخلية وبالعضيات (شكل ١-٣).

النمط الخلوي الأكثر بساطة هو خلايا طلائعيات النوى، ويتمثل بالجراثيم. تشبه خلايا طلائعيات النوى المشاهدة اليوم، تلك التي عثر عليها في مستحاثات تعود لأكثر من ٣,٥ مليار سنة (شكل ٢-٣). يعتقد علماء التطور بأن الخلايا طلائعية النوى كانت هي الأحياء الوحيدة التي سكنت الأرض ما يقارب ٢ مليار سنة، قبل ظهور أول خلية من حقيقيات النوى.

ويعود المبدأ في تقسيم الأحياء إلى طلائعية النوى و حقيقياتها إلى أن المادة الوراثية عند طلائعيات النوى تمثل بجزيء من الدنا DNA يأخذ شكلاً حلقياً، ولا يفصله أي غشاء عن المكتفات السيتوبلاسمية الأخرى. على النقيض من ذلك فإن الدنا عند حقيقيات النوى يحاط ببنية معقدة تدعوها الغلاف النووي.

- ١: الكبسولة
 ٢: الجدار الخلوي
 ٣: الشاء البلازمي
 ٤: الدنا
 ٥: الريبيسات
 ٦: الماء



شكل ١-٣: شكل تخطيطي لبنية الخلايا لدى ملائجيات النوى (أ) وحقيرياتها (ب).
 (١) النواة، (٢) الشبكة سينتوبلازمية الباطنة، (٣) الجدار الخلوي، (٤) الشاء البلازمي، (٥) الواصلات البلازمية، (٦) الخنيدر، (٧) الريبيسات، (٨) حويصلة، (٩) المساررة الخلوية، (١٠) مصلحة خضراء، (١١) شبكة سينتوبلازمية باطنة، (١٢) البيروكسيزومات، (١٣) جهاز غرافيجي، (١٤) فجوة، (١٥) التبيبات دقيقة.

شكل ٢-٣: المستحاثة الأكثر قدماً في العالم تعود إلى 3.5 مليار سنة وتمثل بخطف من الجراثيم الزرقاء . *Cyanobacterium*



تلخص القائمة التالية أوجه الاختلاف بين طلائعيات النوى وحقفياتها :

حقفيات النوى	طلائعيات النوى	الصفة
يصل حتى ٤٠ ميكرون	بين ٥ - ١٠٥ ميكرون	حجم الخلية
وحيدة الخلية، أو كثيرة الخلايا	وحيدة الخلية	الشكل
دنا صغير الحجم، حلقي، يتوضع في البروتينات في تكون الصبغات التي لها القدرة على التكاثف بشكل كبير وتوجد ضمن النواة، كما توجد نوية.	دنا كبير الحجم، حلقي، يتوضع في السيتوبرلاسم، لا توجد نواة حقيقية ولا صبغيات، ولا نوية.	المادة الوراثية (الدنا DNA)
تتضمن نسخة واحدة من الدنا "صبغي مفرد"	تتضمن نسخة واحدة من الدنا "صبغي مفرد"	
ريبيات كبيرة من النموذج 80S، ترتبط مع الشبكة الميتوبرلاسمية الباطنة وتفاصيل التركيب مختلفة	ريبيات صغيرة من النموذج 70S، ترتبط العضيات الخلوية قليلة العدد، ولا توجد عضيات محااطة بنشاء أو بخلاف (مثل السلامة، المصانعات، الخيدرات، الشبكة الميتوبرلاسمية الباطنة ..) يستثنى من ذلك المقد الغشائي الذي يقوم بالتركيب الضوئي في البكتيريا الزرقاء.	العصيات الخلوية الغشاء
يحتوي على عديدات السكاريد مع حوض أمينية، تند مادة المبورين سكاريد (سيالوز). بينما يكون البكتيرن للمركب الأنسامي الذي يقرن الجدار	يتحقق بالميزوزومات (طيات داخلية من البرك الرئيسي لدى القطريات	الجدار الخلوي
ويتحقق داخل الخيدرات من أجل التنفس		التنفس

الصلة	النوع	النوع	الصلة
الأصنفان الفضلي	فتشاء الخلوي للسطح	فتشاء الخلوي للنوى	الهولاني.
القسام الخلوي	لا توجد صلائف، يتم في حال وجوده فوق الأغشية التي لا تشكل أكواماً	يستحقق لدى النباتات داخل المصايف	الحاوية أغشية يمكن من بعضها فوق بعضها.
القسام مباشر	قسمة Mitosis يتضمن حلزنة المصيغات المتخاضعة، تتفصل لاحقاً بوساطة ديبقet دقيقة تدعى خروط المغزل.	القسام خطي	القسام خطي ينعكس بعضها فوق بعضها.
الكتاف الجنسي	الستكلار الجنسي للحقيقي مفرد، نصالف	الستكلار الجنسي للحقيقي مفرد، نصالف	الستكلار الجنسي للحقيقي مفرد، نصالف
ثبيت الآزوت	الآزوت يتم خلاله تبادل جزء من الدنا بين خلقيين،	الآزوت يتم خلاله تبادل جزء من الدنا بين خلقيين،	الآزوت يتم خلاله تبادل جزء من الدنا بين خلقيين،
	بعضها يملك هذه الخاصية	بعضها يملك هذه الخاصية	بعضها يملك هذه الخاصية

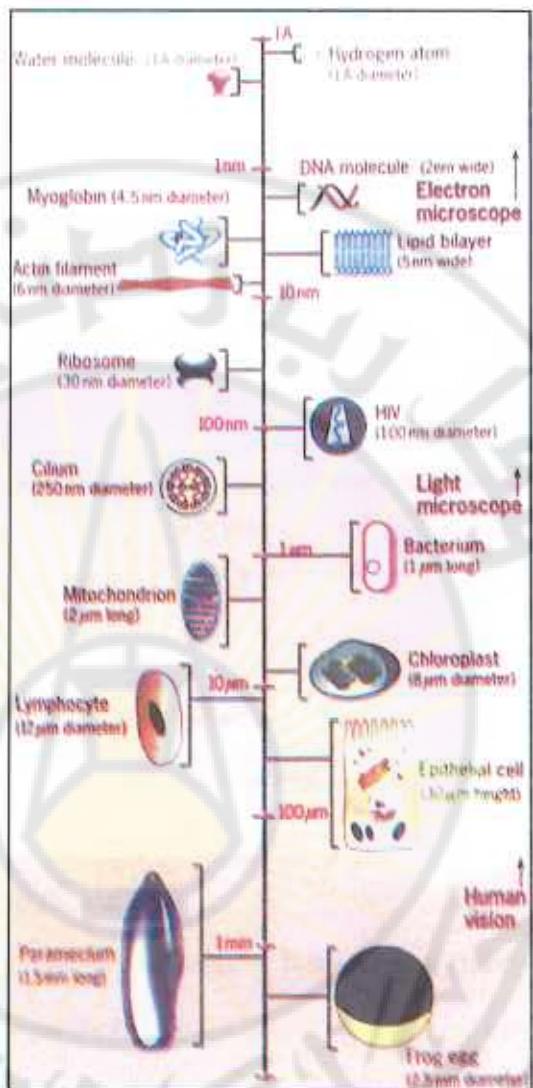
أما أهم الصفات المشتركة بين طلائعيات النوى وحققيات النوى فهي:

- للعشاء البلازمي بنية متباينة يقوم بدور حاجز ذي نفاذية اصطفارائية.
- المعلومات الوراثية المشفرة في الدنا DNA تعتمد الرمز الوراثي نفسه.
- نسخ وترجمة المعلومات الوراثية وفق آليات متباينة.
- طرق استقلالية مشتركة مثل التحلل السكري، رغم حدوثها في أمثلة متباينة (في العشاء البلازمي للطلائعيات وفي عشاء الخنيدرات للحققيات).

حجوم الخلايا:

للخلية عادة أبعاد مجهرية ويوضح الشكل ٣ - ٣ أبعاد بعض الخلايا والمعويات التي تتضمنها. الوحدة التي تستخدم عادة لوصف أبعاد الخلية هي الميكرومتر micrometer (أو الميكرون micron) ويرمز له بـ μm والنانومتر nanometer (يرمز له nm). يساوي الميكرون 10^{-6} متر، والنانومتر 10^{-9} متر. أما الانغستروم فيساوي جزء من عشرة أجزاء من النانومتر.

شكل ٤-٣: الحجم النسبي للخلايا
ومكوناتها



تتراوح أطوال الجراثيم من ١ إلى ٥ ميكرون (شكل ٤-٤). أما خلايا حقيقيات النوى فتتراوح بين ١٠ و ١٠٠ ميكرون. ويمكن في بعض الحالات أن يصل طول الخلايا البرونشيمية في مختلفات البذور إلى عدة مليمترات كخلايا الثمار العصيرية والدرنات، كما في الليمون والبندورة والبطاطا، أما الخلايا البرونشيمية *Prosenchyma* فهي أضخم من ذلك بكثير، إذ تصل أوبار القطن الخشن *Gossypium hirsutum* إلى ٦٥ م. وفي هذه الحالات يبقى عرض

الخلية مجهرياً.

يمكن للمutations حقيقية النوى أن تكون وحيدة الخلية، مثل بعض الفطور والطحالب، أو كثيرة الخلايا، مثل الحيوانات والنباتات، حيث تجتمع الخلايا في أنسجة يتخصص كل منها بأداء وظيفة محددة، مع العلم بأنها جمِيعاً تملك الجينوم Genome نفسه. تتميز الخلية النباتية عن مثيلتها الحيوانية باحتواها عدداً من العضويات التي تفتقد لها الخلية الحيوانية وهي :

- الصانعات، التي تقوم باقتناص أشعة الشمس وتستفيد منها في تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي إلى مركبات عضوية، وتحرر الأكسجين.
- الفجوات في الخلية النباتية شديدة التفريع، بعض الخلايا تتضمن فجوة ضخمة واحدة تحتل الجزء الأكبر من الخلية. بينما نجد لدى خلايا أخرى فجوات صغيرة عديدة.
- الجدار الخلوي.

شكل ٣ - ٤: الهراثيم الزرقاء : Cyanobacteria

صورة بالمجهر الإلكتروني تظهر الطيات الداخلية للأغشية السيتوبلاسمية التي يتم في مستوىها عملية الاصطناع الضوئي. تشبه هذه الأغشية المتمدة المركز أغشية الصانعات الخضراء التي يتم فيها التركيب الضوئي. وهذا ما يدعم الافتراض الذي يقول بنشوء الصانعات الخضراء نتيجة تعايش خالية جراثيم زرقاء مع خلية من حقيقيات النوى.



مركبات الخلية النباتية:

- يمكن تقسيم مركبات الخلية إلى مجموعتين أساسيتين:
- آ: العضويات الخلوية الحية، التي يؤلف مجموعها البروتوبلاست Protoplast. يمكن توزيع البروتوبلاست بين زمرة هامتين هما السيتوبلاسم والنواة.
 - ب: حاصلات النشاط الحيوى للبروتوبلاست، والتي تضم أيضاً الجدار الخلوي.
- إن لمثل هذا التصنيف بعض المحاذير، فالفجوات في الخلايا الفتية تتبع إلى العضويات الحية.

في حين تصنف الفجوات الضخمة المليئة بالعصارة الخلوية مع حاصلات النشاط الحيوي للبروتوبلاست.

تصنف عضيات السيتوبلازم وفق أكثر من معيار: فتقسم حسب حجمها إلى مجموعتين: بنية مجهرية تلاحظ بالمجهر الضوئي، وبنيات فائقة الصغر Ultrastructure تلاحظ بالمجهر الإلكتروني. ونميز استناداً إلى انعزالها عن العصارة الخلوية Cytosol (أو البلاسما الشفافة) بنيات مضاعفة القشرة البلاسمية، ووحيدته، أو عديمته.

يوضح المخطط العام التالي تصنيف مركبات الخلية النباتية:

		بنيات مجهرية	بنيات فائقة للصراف
البروتوبلاست	البنية	الكرياتين فلويات	<u>فلافل التروبي</u>
		الغشاء الlassمي الشبكة البلاسمية للباطنة بلاسما شفافة الريبيمات جهاز خلوي الجسمات الدقيقة الجسمات فلائفة الجسمات الغلو كولي الجسمات الجالة الثبيبات الدقيقة	
		الفجرة	مواد ثقيلة كجزيولوجيا: - أزيمك - فيتامينات - هرمونات نباتية قطرات لبديبة متضمنة بروتينية بالورات حماضات للكالسيوم
الرموز: العضيات التي تحتها خط وبنون خامق هي بنيات مضاعفة لغشاء البلاسمى العضيات التي تحتها خط هي بنيات وحيدة لغشاء العضيات بدون أي خط هي بنيات ضعيفة لغشاء البلاسمى			

الفصل الرابع

الغشاء البلاسمي Plasmic membrane

يحيط بالخلية غشاء يحمي محتوياتها ويسطر على عبور المواد منها وإليها، إلا أن هذا الغشاء غایة في الرقة إذ تراوح تمايزه من ٥ إلى ١٠ نانومترًا، ويقترب ما يقارب ١٠٠٠ غشاء، بلاسمي مكثفة بعضها فوق بعض لتبلغ تمايزها ثمانية ورقة من هذا الكتاب.

بنية الغشاء البلاسمي:

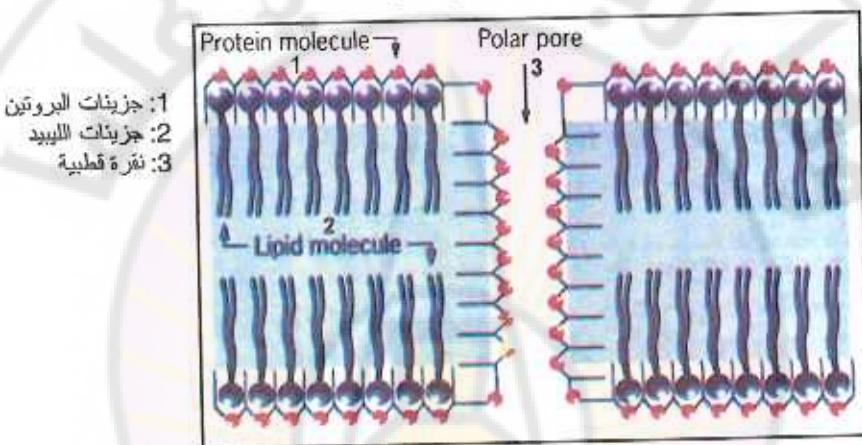
يسير الرقة التناهية للغشاء البلاسمي لم يتمكن العلماء من مشاهدته بالمجهر الضوئي، ولكنهم تمكّنوا من استنتاج طبيعته الكيميائية الليبیدية منذ نهاية القرن التاسع عشر، وذلك من خلال تجارب حول سرعة نفاذ عدد كبير جداً من المواد المذابة من خلاله وطبعتها.

اقترح دافسون وDanielli Davson & Danielli في عام ١٩٣٥ بأن طبقة الليبیدات المؤلفة للغشاء البلاسمي تكون مكسوة على سطحها الداخلي والخارجي بطبقة مستمرة من البروتينات الكروية. ثم عدلا نموذجهما واقتراحا وجود نقر تخترق الغشاء وتفلتها البروتينات الكروية عام ١٩٤٣ (شكل ٤-١).

بعد استعمال المجهر الإلكتروني في العقد السادس من القرن العشرين تمكّنا من رؤية الأغشية الخلوية بوضوح كبير. وهكذا ظهر الغشاء البلاسمي مؤلفاً من ثلاث طبقات (طبقتان عامتان يتوسطهما طبقة نسيرة)، وقد وجدت البنية ذاتها لدى أغشية خلايا كل الكائنات الحية سواء كانت من طلائعيات النوى أم من حقيقيات النوى، وسواء كان الكائن نباتاً أم حيواناً. وب阡انة متوسطة تقدر بـ ٧,٥ نانومتر.

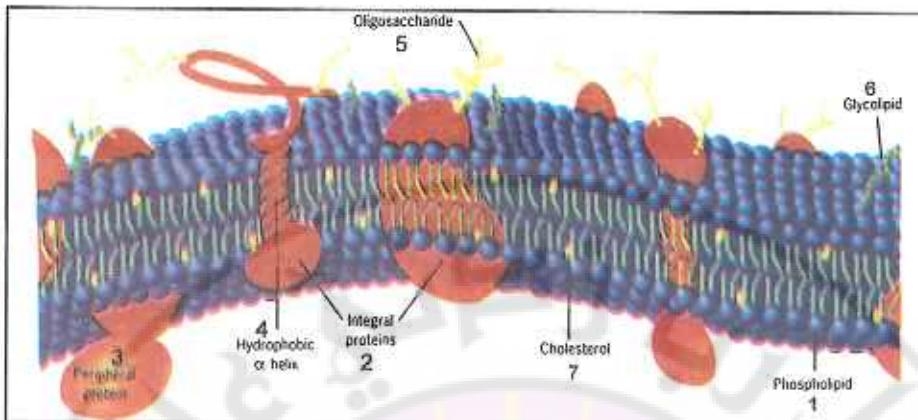
في النموذج الفسيفسائي السائل، الذي اقترح فيما بعد لتفسير بنية الأغشية، رُكز الانتباه على الحالة الفيزيائية للبيبیدات التي اعتبرت، على عكس النماذج السابقة، في حالة

مائة يمكن فيها للجزيئات الليبية المفردة أن تتحرك جانبياً ضمن مستوى الغشاء، كما تختلف بنية وترتيب البروتينات في النموذج الفسيفاسي السائل عن النماذج السابقة من حيث أنها لا تقطع بشكل تام طبقة الليبيات وإنما تتوزع بشكل غير مستمر (كفسيفاس)، مختربة طبقة الليبيات في نقاط محددة. الأكثر أهمية أن هذا النموذج يقدم الأغشية البلاسمية كبنيات ديناميكية تتحرك ضمنها المركبات المكونة لها، ويكون لها القدرة على الاقتراب بعضها من بعض لتشترك في تشكيل أنماط متعددة مؤقتة أو شبه دائمة.



الشكل ٤ - ١ : بنية الغشاء بلاسممي كما اقترحها دافسون

يتالف الغشاء بلاسممي وفق المعطيات الحديثة (شكل ٤-٤) من ليبيات تشكل المود الفقري البنوي للغشاء، وبروتينات ذات وظائف أكثر تخصصاً، إضافة إلى نسبة أقل من السكريات. تتجابى نسبة كل من الليبيات والبروتينات في الأغشية الخلوية حسب نمط الغشاء بلاسممي (غشاء بلاسممي خارجي، غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة، غشاء جهاز غولجي...، أو حسب وظيفة الخلية أو نمط الكائن الحي (طلائعيات النوى أم حقيقيات النوى أم حيوان). ف تكون، على سبيل المثال، نسبة البروتينات عالية جداً في الغشاء الداخلي للخنيدرات مقارنة مع أغشية أخرى لأنها يتضمن سلسل نقل الإلكترونات ذات الطبيعة البروتينية.



شكل ٤ - ٢ : البنية الحالية المقترنة للغشاء البلاسمى:
١: الفوسفوليبيد، ٢: البروتينات القائمة، ٣: البروتينات المحيطية، ٤: بروتين منطوى على شكل حازن للكاره للماء، ٥: سكاكير عديدة مرتبطة مع البروتينات، ٦: غليكوليبيد، ٧: كوليستيرون (في الخلايا الحيوانية فقط).

أولاً: الليبيدات الفشائية

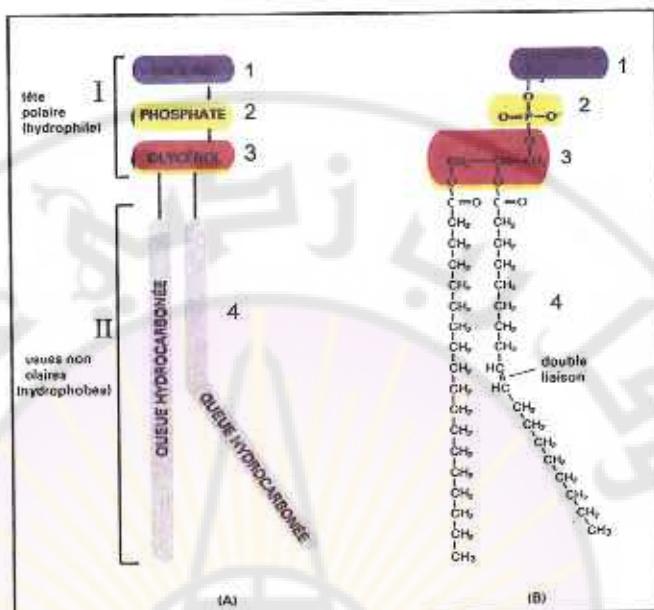
تتألف المادة الليبية للغشاء من عدة ملاريين من الجزيئات الليبية التي تجمع بين خاصتين متباينتين تماماً، إذ تملك رأساً محباً للماء وذيلاً كارهاً له. تنتظم هذه الجزيئات في طبقتين تنطبق الواحدة على الأخرى بحيث تكون المجموعات المحبة للماء ملامسة السطح الخارجي، والمجموعات الكاره للماء موجهة نحو الداخل. وتعد هذه البنية نتيجة لسلوك الجزيئات الليبية الفشائية في وسط مائي.

تقسم الليبيدات المشاركة في بناء الغشاء إلى ثلاث مجموعات رئيسية هي:

١: **الفوسفوليبيدات**: يتألف جزء الفوسفوليبيد من جزئي غليسرين مرتبط مع حمضين دسمنين لا قطبيين (بدلاً من ثلاثة كما في الليبيدات بشكل عام) وترتبط مجموعة الهيدروكسيل الثالثة مع مجموعة فوسفات، ترتبط بدورها إلى مجموعة صغيرة الحجم وقطبية (تملك شحنة سالبة أو موجبة) كالكتولين على سبيل المثال. وهذا تشكل مجموعة الفوسفات والمجموعة المرتبطة بها رأساً محباً للماء يقابلها طرف آخر مكون من سلسلتي الدهون الدسمة اللاقطبية والكارهة للماء (شكل ٤ - ٣). يمكن للحموض الدسمة المشاركة في تركيب الأغشية أن تكون

مشبعة تماماً (غياب الروابط المضاعفة)، أو غير مشبعة (يمتلك رابطة مضاعفة واحدة أو أكثر).

- أ: رأس قطبي محب للماء يتألف من:
- 1: مجموعة قطبية تتمثل هنا بالكلرين.
- 2: مجموعة فوسفات
- 3: غليسروول
- II: ذيل لاقطبي كاره للماء.



الشكل ٤ - ٣: جزيء فوسفوليبيدي : A: رسم تخطيطي و B: البنية الجزيئية

٢: السفينغوليبييد : النموذج الثاني من جزيئات الليبييدات الفشائية أقل غزارة في الغشاء ويدعى سفينغوليبييد. ويتألف الجزيء من السفينغوزين Sphingosine (وهو كحول أميني يتضمن سلسلة طويلة من السكارك) يرتبط مع حمض دسم عبر مجموعة الأمين وإلى مجموعات كيميائية أخرى، فإذا كانت هذه المجموعة سكرًا يصبح الجزيء غليكونوليبييد (ليبييدات سكرية). والسفينغوليبييدات تشبه الفوسفوليبييدات بكونها ثنائية القطبية.

تعد الغليكونوليبييدات مركبات مهمة في الغشاء الخلوي، وقد بيّنت أبحاث السنوات الأخيرة أن كبح تركيب هذه المكونات الفشائية يعرقل مجموعة من العمليات الخلوية المهمة كالنمو الخلوي، التفاعل بين الخلايا، والاتصال بين خارج الخلية وداخلها.

٣: الكوليسترول: تتضمن أغشية بعض خلايا حقيقيات النوى نموذجاً ثالثاً من الليبييدات هو الكوليسترول، والذي يمكن أن تصل نسبة إلى نحو ٥٠٪ من ليبييدات الغشاء البلاسمي في

الخلايا الحيوانية. ويفيّب من الأغشية البلاسمية ل معظم الخلايا النباتية والجرثومية. ورغم كون الكوليسترول ثنائي القطبية أيضاً إلا أن هذه الخامة أقل بروزاً.

لكل نمط من الأغشية الخلوية خصائصه المميزة الناتجة عن التباين في طبيعة الليبيدات التي تشارك في تكوينه (التركيب الكيميائي المكون للرأس المحب للماء، ونوع الحموض الدسمة الشكلة للسلسل الكارهة للماء)، ويمكن لبعض الأغشية أن تحتوي أكثر من مئة نوع مختلف من الفوسفوليبيدات. والليبيدات الغشائية أكثر من مجرد مركبات ثنائية بسيطة، فهي ذات تأثير مهم على الخصائص البيولوجية للغشاء، فالتركيب الكيميائي لها يمكن أن يحدد الحالة الفيزيائية للغشاء البلاسمي، كما يؤثر على فعالية البروتينات الغشائية.

للطبقة الليبية المضاعفة تركيب غير متنازع، إذ يحصل توزع خاص للبيبيدات بين الورقة الخارجية والورقة الداخلية. فالورقة الخارجية تتضمن بخاصة غلبيكوليبيدات، والورقة الداخلية فنية بالفوسفوليبيدات.

بنية ووظائف البروتينات الغشائية:

يتضمن الغشاء البلاسمي عدة مئات من الجزيئات البروتينية المختلفة والتي يتباين عددها وفق نوع الكائن الحي والنمط الخلوي الذي ينتمي إليه الغشاء المدروس، وهذا ما يجعل لكلا سطح الغشاء خصائص مختلفة. والجزيئات البروتينية الغشائية أقل من حيث العدد بكثير من الليبيدات (10 ليبيداً مقابل كل جزيء بروتيني واحد)، إلا أنها تفوق في حجمها الجزيئات الليبية بحوالي 30 إلى 50 مرة.

يمكن تقسيم بروتينات الغشاء وذلك استناداً لارتباطها بالطبقة الليبية المضاعفة إلى ثلاثة نماذج (شكل ٤-٤):

١: البروتينات التامة Integral proteins : وهي تلك التي تخترق الطبقة الليبية المضاعفة بكاملها وتشير على كلا سطح الغشاء. وتشبه البروتينات الغشائية التامة الطبقة الليبية المضاعفة بكونها ثنائية القطبية، حيث يتضمن الجزيء مناطق محبة للماء وأخرى كارهة له، ويكون توسيع الأجزاء الكارهة للماء ضمن طبقة الليبيدات على شكل حلزون الفا ونتيجة لذلك

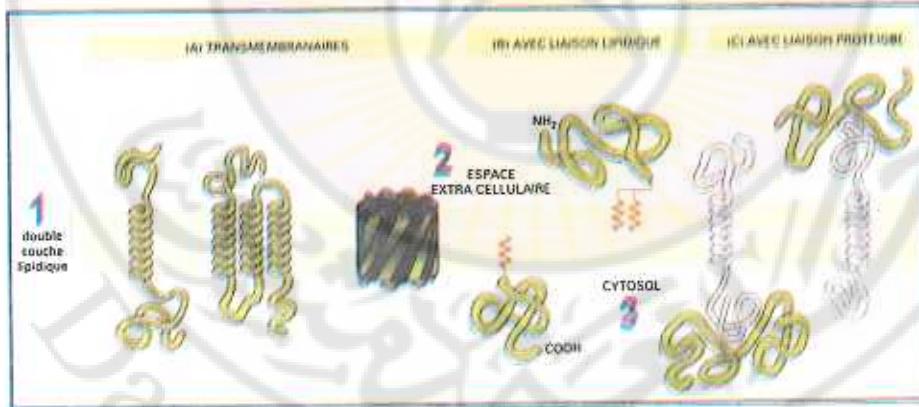
يبقى الغشاء البلاسمي محافظاً على نفاذية الاصطفافية.

٢: البروتينات السطحية Peripheral proteins: وهي تلك التي تتوضع بكمالها خارج الطبقة الليبидية المضاعفة وذلك سواء على السطح الخارجي أو السطح الداخلي الملائم للسيتوبلازم، وترتبط مع الرؤوس المحبة للماء في الطبقة الليبيدية أو مع الأجزاء المحبة للماء للبروتينات التامة البارزة على سطحي الغشاء.

٣: البروتينات المثبتة في الليبيدات Lipid anchored proteins: وتتوسط من جهة على أحد سطحي الطبقة الليبيدية المضاعفة وترتبط مع الجزيء الليبidiي الموجود في الطبقة المضاعفة.

تؤدي البروتينات الفشائية العديد من الوظائف ومن أهمها (شكل ٤ - ٥):

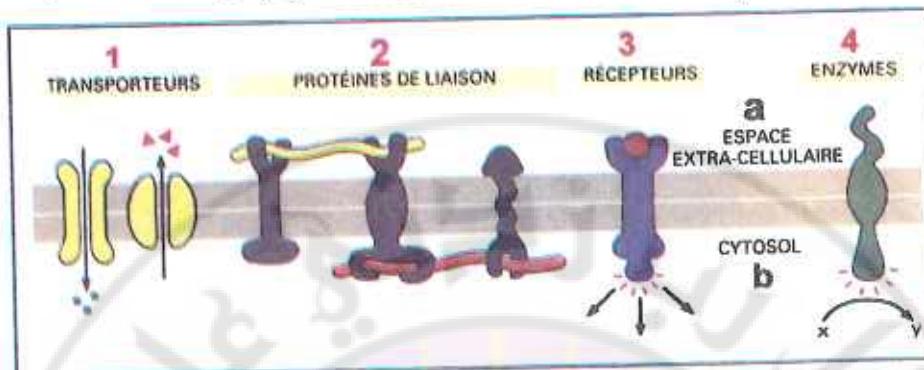
- ١: نقل المواد الغذائية أو المواد الاستقلابية والشوارد.
- ٢: استقبال الإشارات الكيميائية القادمة من الوسط ونقلها إلى داخل الخلية.
- ٣: م الواقع ارتباط لجزئيات بنوية أخرى.
- ٤: أنزيمات تتوسط تفاعلات تخصصية.



شكل ٤ - ٥ : أنماط مختلفة لارتباط البروتينات الفشائية مع الطبقة الليبيدية المضاعفة:

(١) الطبقة الليبيدية المضاعفة، (٢) الوسط الخارجي، (٣) السيتوبلازم
A-بروتينات تختلف الطبقة الليبيدية المضاعفة وتنترن على كلا سطحي الغشاء، B-بروتينات سطحية مرتبطة مع الطبقة الليبيدية C-بروتينات سطحية مرتبطة مع بروتينات ثانية أخرى.

ولكل نعط غشائي خلوي مجموعة مختلفة من البروتينات، تترجم الوظائف الخاصة له.



شكل ٤ - ٥ : بعض وظائف البروتينات الفضائية:
 ١- النقل، ٢- بروتينات ارتباط، ٣- مستقبلات، ٤- إنزيمات.
 a: السطح الخارجي، b: السطح المواجه للسيروبرولاسم

سكاكر الغشاء :

يتضمن الغشاء البلاسمي في حقيقيات النوى سكاكر ترتبط مع كل من الليبيدات والبروتينات. وتعلق كميتها بنوع الكائن الحي وبالننمط الخلوي، وهي تتراوح في الغشاء البلاسمي من ٢ إلى ١٠٪ من الوزن. ويرتبط القسم الأكبر منها (نحو ٩٠٪) مع البروتينات لتشكيل غليكوبروتينات، أما الباقي فيترتبط مع الليبيدات ليشكل غليколيبيدات. ويكون ارتباط جميع السكاكر إلى السطح الخارجي للغشاء حيث تؤدي وظيفة هامة في التوسط بين الخلية ووسطها المحيط. وتشكل السكاكر سواء المتحدة منها مع الليبيدات أو مع البروتينات مطناً خلويًا على السطح الخارجي للغشاء الخلوي.

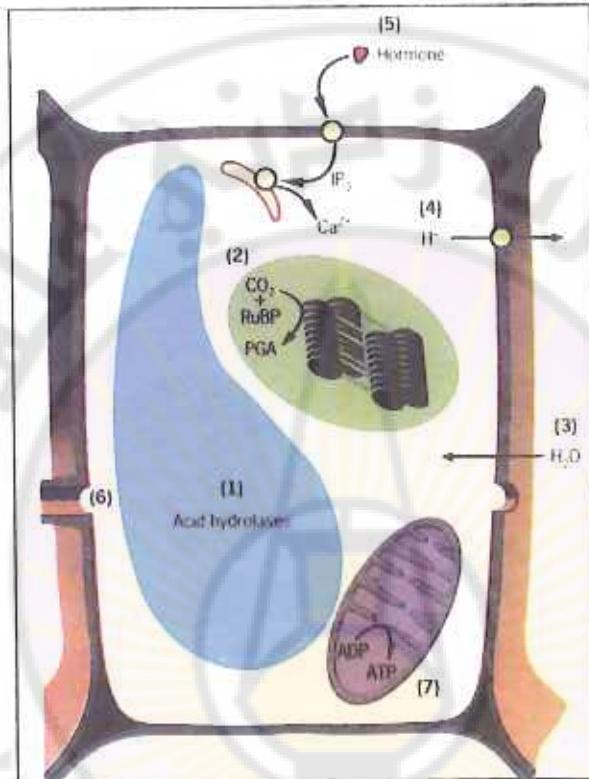
وظائف الغشاء البلاسمي:

لا تقتصر وظيفة الغشاء البلاسمي على الإحاطة بالخلية وحماية مكتنفاتها، بل هناك وظائف عديدة و مهمة يمكن تلخيصها بما يلي (شكل ٤ - ٦):

١: تقسيم الخلية إلى حجيرات مستقلة متعددة يؤدي كل منها نشاطاً متخصصاً دون حدوث تداخل فيما بينها ويتم تنظيم عمل كل منها بشكل مستقل.

- ٤: موقع للنشاطات البيوكيميائية: فلا تقتصر وظيفته على الإحاطة بمحجرات فقط، بل يعد الفضاء بحد ذاته منصة واسعة تتنظم عليها بعض العناصر بترتيب خاص يؤدي لحدوث تفاعل محدد بدلاً من أن تترك فرصة حدوث التصادمات العشوائية.
- ٥: تأمين حاجز ذي نفاذية اصطفارية، بحيث تمنع الأغشية حدوث تبادلات غير مقيدة للجزيئات من طرف إلى آخر. يمكن مقارنة الغشاء البلاسمي الذي يحيط بالخلية بخندق مائي يحيط بقلعة، فكلامها بمثابة حاجز عام، ولكلديهما بوابات "نفور" تسمح بعبور العناصر المرغوب بها من وإلى المكان الحي المطرود.
- ٦: نقل المواد المذابة عبر آليات نقل خاصة ومتعددة بحيث تسمح للخلية بتكديس بعض المواد مثل السكاكير والحموض الأمينية، التي تعد ضرورية كوقود للعمليات الاستقلابية ولبناء الجزيئات الضخمة، بتركيز عالي. كما يتمتع الغشاء بالقدرة على نقل شوارد خاصة، بحيث يصبح تركيزها داخل الخلية أعلى من تركيزها في الوسط الخارجي، وبهذا ينبع عنها تدرج شاردي. وهذه القدرة مهمة لبعض أنماط الخلايا.
- ٧: الاستجابة للمؤثرات الخارجية: يملك الغشاء البلاسمي على سطحه مستقبلات نوعية يمكنها أن ترتبط مع جزيئات مثيرة (هرمونات مثلاً ..) وذلك نتيجة لامتلاكها بنية فراغية متخصمة لهذه الجزيئات. يُؤدي التفاعل الحاصل بين الجزيء المثير والغشاء إشارة تؤدي بدورها إلى تحريض أو كبح فعاليات فيزيولوجية محددة، كأن تصنع الخلية مزيداً من السكاكير الداخلية أو التهيؤ للانقسام الخلوي أو تحرير هندر أو مركب من المخزون الداخلي .. أو تقوم الخلية بعملية الانتحار الذاتي.
- ٨: يتوسط الغشاء البلاسمي التفاعلات بين الخلية وتلك التي تجاورها وتتبادل فيما بينها المواد والمعلومات.
- ٩: تحويل الطاقة من نمط لآخر هو من صميم العمليات التي تقوم الأغشية البلاسمية بها. يحدث التحويل الأساسي للطاقة خلال عملية الاصطدام الضوئي التي يحدث فيها اقتناص الطاقة الموجودة في ضوء الشمس من قبل الأصبغة اليختضورية في أغشية الصائعات الخضراء

وتحویلها إلى طاقة كيميائية متضمنة في السكاكير المصنعة. كما يتم في مستوى الأغشية الموجودة في الخنيدرات تحويل الطاقة الكيميائية الموجودة في السكاكير والشحوم إلى ATP.



شكل ٤ - ٦ : تلخيص لوظائف الأغشية الخلوية
(راجع النص للاطلاع على التفاصيل)



الفصل الخامس

النواة The Cell Nucleus

تعد النواة أكبر العضيات الخلوية، وأول ما وصف منها بالمجهر الضوئي، وذلك منذ أواسط القرن التاسع عشر. تتمتع النواة بأهمية حيوية كبيرة إذ تؤدي دور "القيادة" في خلايا حقيقيات النوى بتنظيمها النشاطات الخلوية وإشرافها عليها، ويعود ذلك لأنها تحتوي على DNA الذي يحمل القسم الأكبر من المعلومات الوراثية الخلوية.

توجد النواة في جميع خلايا حقيقيات النوى وتتشد عن ذلك خلايا الأنابيب الغربالية الناضجة في لحاء النبات، وكريات الدم الحمراء في الثدييات فقط، تحتوي خلايا حقيقيات النوى في الحالة الطبيعية نواة واحدة فقط، ولكن هناك بعض الحالات التي تجد فيها خلايا عديدة للنوى كما هو الحال لدى بعض الطحالب Algae والقطريات.

بعد المرور من طلائعيات النوى إلى حقيقيات النوى من أهم المظاهر التطورية، ويتجلى ذلك بظهور نمط من تقسيم العمل في حجيرات متميزة ضمن الخلية الواحدة. فنسخ الدنا إلى الرنا الرسول mRNA وتضاعف الدنا يتمان في عضية متخصصة هي النواة، وذلك بعزل عن موقع اصطناع البروتينات الذي يتم في السيلوبلازم. واقتراض طاقة الضوء والاستفادة منها في عملية الاصطناع الضوئي يتم في الصانعات المخضرة .. الخ. هذا التقسيم إلى عضيات مختلفة؛ نواة، شبكة سيتوبلاسمية باطنية، صانعات، خثيدرات .. جعل خلايا حقيقيات النوى ذات تعقيد أكبر بكثير من الخلايا طلائعية النوى.

شكل النواة وحجمها:

يتبادر شكل النواة وحجمها حسب نمط النسيج الخلوي، وهي بشكل عام كروية الشكل وتحتل مركز الخلية. ويمكن لشكلها أن يتغير خلال مسيرة حياة الخلية وذلك

بالارتباط مع نشاطها الوظيفي. يقدر متوسط قطرها بـ 10 إلى 15 ميكرون، أما حجمها فتثبت ضمن النسيج الخلوي الواحد. تشكل النسبة بين حجم النواة وحجم البروتوبلاسم نسبة ثابتة، وترتبط هذه النسبة بحجم الجينوم genome من جهة أولى؛ في الخلايا رباعية الصبغية تكون قيمة هذه النسبة متساوية لضعف قيمتها في الخلايا ثنائية الصبغية. كما تزداد هذه النسبة قبل الطور الأول من الانقسام لأن حجم النواة يزداد بسبب تضاعف المادة الصبغية. ترتبط هذه النسبة من جهة أخرى بنشاط الخلية الوظيفي، فتزداد قيمتها مع ازدياد نشاطها الاستقلابي.

بنية النواة:

النواة وحدة بنوية ووظيفية محددة خلال الطور البيئي بخلاف نووي، تحمل مجموع المعلومات الوراثية على شكل دنا DNA. ويستطيع الحفاظ على هذه الذخيرة الوراثية رغم الانقسام الخلوي وذلك بفضل تضاعف الدنا. كما أنها مسؤولة عن تركيب الرنا الرسول mRNA ونقله إلى السيلوبلاسم، حيث يتم فك رموزه بوساطة الريبياسات خلال عملية اصطناع البروتينات. وتقوم بتركيب الرنا الناقل tRNA الذي يحمل الحموض الأمينية خلال اصطناع البروتينات، وتركيب الرنا الريبياسي rRNA الذي يدخل في تركيب الريبياسات.

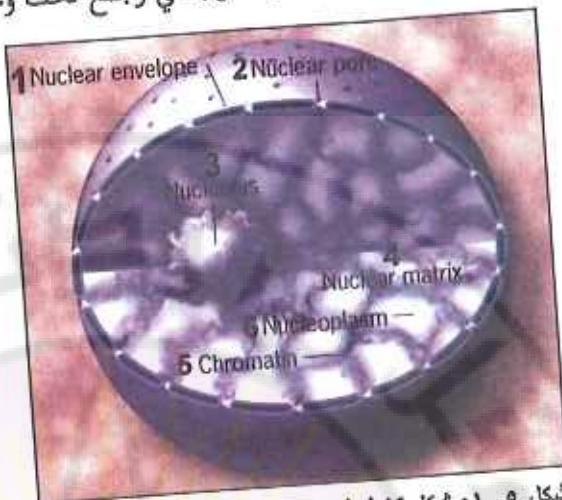
أظهر المجهر الإلكتروني أن النواة ذات بنية معقدة وتتضمن في الطور البيئي العناصر

التالية (شكل ٥ - ١) :

- ١: غشاء نووي مضاعف يحيط بمحتويات النواة، ويضم نقوشاً كثيرة ذات بنية معقدة من خلالها يتم التبادل النووي السيتوبلاسمي.
- ٢: شبكة من الخيوط الرقيقة شديدة الولع باللون، تدعى الكروماتين وتألف مجموعها الصبغيات.
- ٣: البلاسما النووية nucleoplasm وهي المادة السائلة التي تتحل فيها المواد المذابة.
- ٤: اللالب النووي nuclear matrix يتألف من شبكة من الليفيات البروتينية.
- ٥: نويسة واحدة أو أكثر وتهدو كمنطقة من الكروماتين أشد كثافة ولكنها غير مقصولة بغشاء

خاص. وظيفتها تركيب الرنا الريبياسي وجمع تحت وحدات الريبياسات.

- ١: الغلاف النووي
- ٢: النقر النووي
- ٣: النواة
- ٤: القالب النووي
- ٥: الكروماتين
- ٦: البلاسما النووية



شكل ٥ - ١: شكل تخاططي يظهر العناصر الرئيسية المكونة للنواة

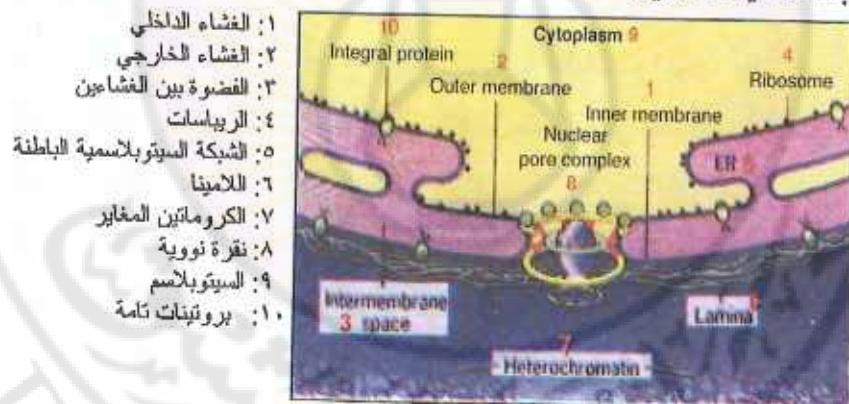
أولاً: الغلاف النووي :The Nuclear Envelope

الغلاف النووي غشاء مضاعف، معقد البنية، يميز حقيقيات النوى، يفصل المادة الوراثية عن السيتوبلاسم خلال فترة الطور البيئي، وسيطر على التبادل بين النواة والسيتوبلاسم. بعد ظهور الغلاف النووي نقطة تحول مهمة في تاريخ التطور. إذ بعد فصل المادة الوراثية الخلوية عن السيتوبلاسم المحاطة بها الصفة الأهم التي تميز طلائعيات النوى عن حقيقياتها.

يتتألف الغلاف النووي من غشاءين ينتظمان بشكل متواز، يفصلهما فراغ يتراوح ما بين ١٠ و ٥٠ نانومتراً (شكل ٢-٥). يتصل الغشاء الخارجي مع الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنة ويتدخل معها، ويقطع مثلاها بالريبياسات. وهكذا تكون الفضوة التي تفصل الغشاءين على اتصال مع لعنة الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. تُبطن شبكة كثيفة من الليفيات البروتينية السطح الأنسي للغشاء الداخلي الملتصق للبلاسما النووية، تدعى هذه الليفيات لامينا lamina. تؤمن هذه الليفيات دعماً ميكانيكياً للغلاف النووي وتحافظ على الشكل العام للنواة، وتساهم

في تنظيم مكوناتها. كما تفيد ليفات اللامينا كموقع ارتباط لخيوط الكروماتين. إذ ترتبط معها النهايات الصبغية Telomeres. يشبه تركيب ليفات اللامينا ليفات السيتوبلاسمية الوسيطة، وقد تمكننا لدى معظم الحيوانات والنباتات العليا من تمييز ثلاثة أشكال مختلفة من الlamins يرمز إليها بـ A، B، C. تذكر هذه الشبكة من الخيوط مع بدء الانقسام النووي سواء كان الانقسام خيطياً أو منصطاً ومن ثم يعاد تجميعها في نهايته، باستثناء lamins B الذي يحافظ على ثباته. وقد كشفت الدراسات عند الإنسان بأن الطفرة التي تصيب مورثات اللامينا تسبب حدوث أمراض عديدة لديه.

للغشاء الخارجي من الغلاف النووي تركيب من الليبيات والبروتينات قريب جداً من تركيب غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. أما الغشاء الداخلي فهو أكثر تخصصاً، والبروتينات التي تدخل في تركيبه تضم مقاطع عنونة خاصة تعد بمثابة مستقبلات يرتبط معها بخاصية ألياف الlamins.



الشكل ٢-٥: شكل تخطيطي للغلاف النووي

يكون الغلاف النووي مثقباً بثقوب كثيرة ندعوها النقر النووية. تنتج عن اندغام طرفي الفشامين في مستوى هذه النقاط. تمثل النقر النووية بوابات ضمن الغلاف تسيطر على تبادل المواد بين النواة والسيتوبلاسم كخروج الرنا الرسول ووحدات الريبيات من النواة، ودخول النكليوتيدات والبروتينات وخاصة البروتينات التي ستسهم في تركيب الريبيات

والمنظمة لنشاط الدنا، هذه النقر بنيات حركية غير ثابتة وغير دائمة، يمكن أن تختلف وأن تتشكل من جديد وفقاً لنشاط النواة، ويتناسب عددها طرداً مع نشاط الخلية. يقدر عدد الجزيئات التي تغادر نواة الخلايا النشطة أو تدخل إليها بعشرات الألوف في الدقيقة.

بنية النقر النووية:

للنقرة النووية بنية معقدة وضخمة (شكل ٤-٣ و شكل ٥-٤)، تقدر كتلتها الجزيئية بنحو ١٢٥ مليون دالتون، وتضم نحو ١٠٠ نوع من الجزيئات البروتينية المختلفة، التي لا تزال بنية ووظيفة أكثرها مجهولة. تنتظم الجزيئات البروتينية ضمن قنطرة النقرة على شكل حلقة مولفة من ٨ وحدات، يصدر عنها أشعة باتجاه المركز تتصل فيما بينها لتشكل حلقة ضمن لمعة النقرة تسمى حلقة الملمعة، تتصل هذه الوحدات الشكلة للحلقة المركزية مع حلقتين تقعان على جانبي فوهة النقرة:

- الأولى حلقة سيتوبلاسمية، تظهر فوق فوهة النقرة من جهة السيتوبلاسم، ويرتبط مع هذه الحلقة جزيئات بروتينية سيتوبلاسمية، كما يعلوها خيوط سيتوبلاسمية.

- الثانية حلقة نوية وظهور من جهة فوهة النقرة الملامسة للبلاسما النووية. ترتبط الحلقة النووية مع جزيئات تأخذ شكلاً فراشيأياً يشبه شكل سلة، كما ترتبط مع ليفات الالامينا التي تكسو السطح الأنسي للغشاء الداخلي من الغلاف النووي (شكل ٤-٤).

يظهر تحت المجهر الإلكتروني في مركز لمعة النقرة حبيبة مركبة تمثل الماء الذي تكون في طريقها لعبور هذه النقر.

تسسيطر هذه البنية المعقدة على حركة مرور الجزيئات بالاتجاهين. وبشكل عام فإن الشوارد والجزيئات الصغيرة التي لها كتلة أصغر من ٥٠٠ دالتون تغير النقرة بسهولة كبيرة، إلا أن الأمر مختلف بالنسبة للجزيئات الأضخم مثل الوحدات المكونة للريبياسات وأنزيمات البالمرة (البوليميراز). لتأخذ على سبيل المثال البروتينات التي يتم تركيبها في السيتوبلاسم وتكون وجهتها النواة. تملك هذه البروتينات تتابعاً خاصاً مولفاً من ٤-٨ حموض أمينية يعد بمنزلة عنوان يميز هذه الجزيئات، ويبرز في البنية النهائية الفراغية على سطح الجزيء. يتم

التعرف على هذا التتابع من قبل مستقيمات موجودة على الحلة الخارجية للنفحة، ومن ثم يتم الارتباط مع الجزيء البروتيني تمهدأ لنقطه إلى داخل النواة عبر النقل الفعال.

وتبين أيضاً أن جزيئات الرنا التي تقادر النواة باتجاه السيتوبلازم ترتبط بعد نسخها مع بروتينات خاصة تشكل قلنسوة في النهاية $5'$ من جزء الرنا. وفي مستوى النفحة يتم التعرف على هذه القلنسوة، ثم تسلل عبر النفحة باستخدام النقل الفعال. وعندما تم تعطيل إضافة هذه القلنسوة ذات الطبيعة البروتينية إلى جزيئات الرنا فإن هذه الأخيرة لم تتمكن من مغادرة النواة. وهذا يؤكد الدور الاصطناعي الذي تمارسه النفر النووي في عملية عبور الجزيئات من وإلى النواة.

وظائف الغلاف النووي:

- ١: يفصل غلاف النواة بين العمليات التي تجري داخل النواة والعمليات التي تجري في أجزاء الخلية الأخرى.
- ٢: حماية المادة الوراثية من التلف بمنع وصول أية مواد أو جزيئات كيميائية مضرية إلى الصفييات.

ثانياً: النوية Nucleolus:

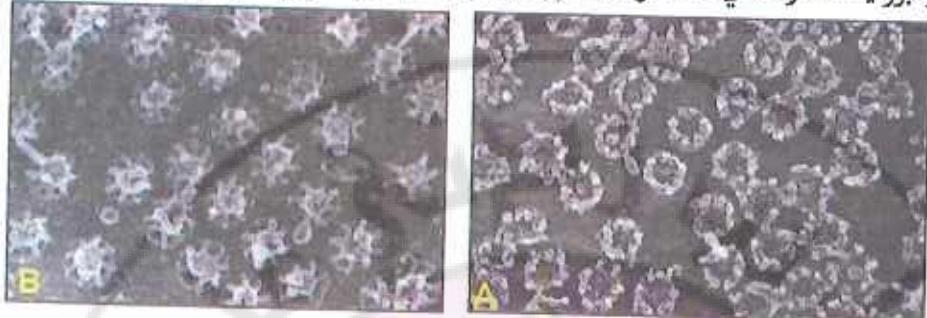
النوية منطقة كثيفة ضمن شبكة الكروماتين تتلون بشدة نظراً لمحتوها المرتفع من مادتي الدنا والرنا. تأخذ النوية شكلًا كرويًّا عادة ضمن النواة، وهي غير مفصولة عن البلاسما النووية بغشاء خاص بها. قد يوجد في النواة الواحدة نوية واحدة أو أكثر.

بنية النوية:

تبعد النوية من خلال المجهر الإلكتروني مؤلفة من ثلاث مناطق:

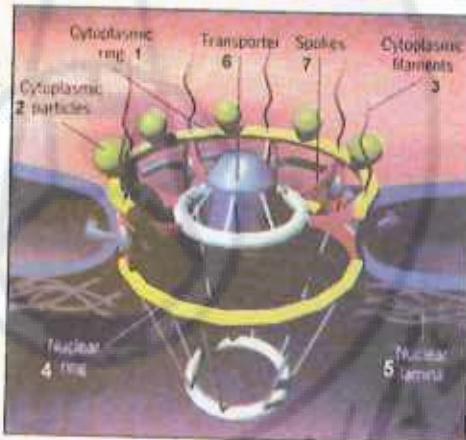
- مركز خبيطي، يصادف في مستوى نسخ متعددة من المورثات التي تُشفَر إلى الرنا الرئيسي rRNA. تدعى هذه المنطقة النظم النووي. تعود هذه المورثات عادة إلى أكثر من صبغي واحد.
- يحيط به منطقة خبيطية رخوة تتفق مع الرنا الرئيسي المنسوخ الذي سيرتبط مع البروتينات أو طلائع وحدات الريبياسات.

- وأخيراً نجد منطقة حببية قطر حبيباتها من ٢٠-١٥ نانومتراً، وفيها يتم تنظيم الرنا والبروتينات المواقفة في تحت وحدات ريباسية قبل نقلها إلى السيتوبلاسم عبر النقر النووية.



الشكل ٣-٥: صورة بالمجهر الإلكتروني الكائس للنقر النووية
A: الوجه السيتوبلاسي للنقر، مظهر الجزيئات السيتوبلاسمية للنقرة.
B: الوجه النووي للنقر يظهر الجزيئات التي تشبه المسلا في بنيتها الفراغية.

١. الحلقـة السيـتوبلاـسـيـة
٢. الـجـزـيـئـاتـ السـيـتـوـبـلاـسـيـة
٣. الـخـيوـطـ السـيـتـوـبـلاـسـيـة
٤. الـحـلـقـةـ الـنوـوـيـة
٥. الـلـامـنـا
٦. الـمـادـةـ الـمـنـقـولـة
٧. أـشـعـةـ حـلـقـةـ الـلمـعـة



الشكل ٤-٤: نموذج تخطيطي ثلاثي الأبعاد لمعقد النقرة النووية

وظيفة النوية:

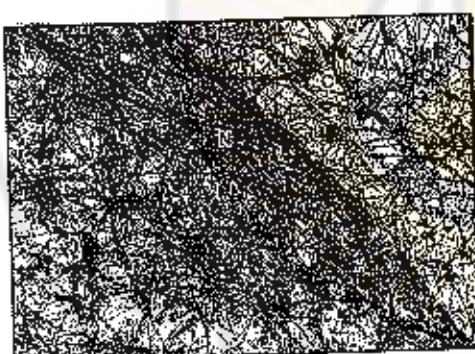
النوية جهاز إنتاج الريبياسات، فهي مسؤولة عن اصطناع الرنا الريبياسي rRNA (الرنا المشارك في تركيب الريبياسات)، وضمنها يتحد الرنا الريبياسي المنسوخ بعد خضوعه لعدة تغيرات "نضج" مع البروتينات السيتوبلاسمية الأصل، ليتشكل لدينا تحت وحدتين سوف تشكلان الريبياسة. تخرج تحت الوحدات من النواة عبر النقرة النووية، حيث تتحد في

السيتوبلاسم لتشكل ربيبة وظيفية.

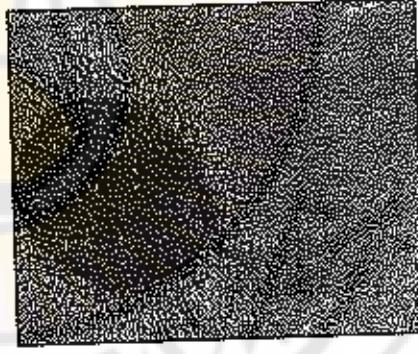
ثالثاً: القالب النووي

تؤدي معالجة النواة بمادة منظفة detergent وملح عالي التركيز إلى إزالة الليبيات وكامل البروتينات الهمستونية وغير الهمستونية المرافقة للكروماتين تقرباً. ونحصل على الدنا وقد بدا على شكل هالة تحيط بما تبقى من مركز النواة (شكل ٥-٥). إذا ما قمنا لاحقاً ببعض خيوط الدنا بوساطة إنزيمات DNase فسيكون للبنية المتبقية ذات الشكل الذي كانت النواة تتسلكه قبل هذه المعالجة، ولكنه يتألف من كثلة من الخيوط المشابكة التي تحتل مساحة النواة (شكل ٥-٥ ب). تُدعى هذه الشبكة من الخيوط غير المنحلة القالب النووي.

لا تقتصر وظيفة القالب النووي كهيكل يعطي للنواة شكلها أو كمنصة "مقالمة" تثبت عليها عرى الكروماتين، بل يستخدم أيضاً كمنصة تثبت عليها معظم مكونات الآلة التي تؤمن أنشطة النواة من: نسخ، ونسخ الرنا والتضاعف.



(أ)



(ب)

شكل ٥-٥: القالب النووي:

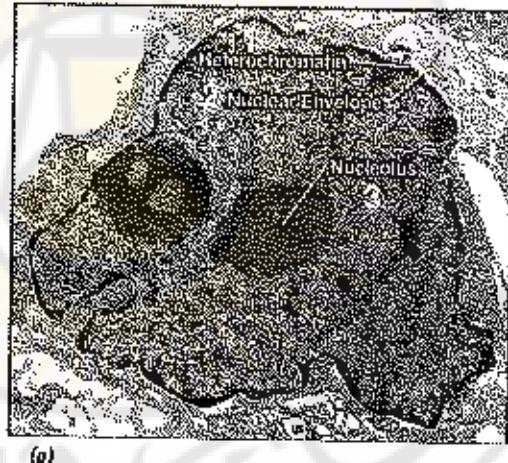
أ: صورة بالمجهر الإلكتروني للنواة معزولة معلجة بمادة منظفة وملح عالي التركيز، يبدو الكروماتين كهالة.
ب: جزء من القالب النووي N والذي يمتد حتى حدود للخلاف النووي، و قالب السيتوبلاسم.

رابعاً: الكروماتين Chromatin:

يعني مصطلح كروماتين "المادة الملونة"، ويعود ذلك إلى تلوّن هذه المادة بسهولة عند دراستها بالمجهر. تكون المادة الصبغية أو الكروماتين chromatin بصورة رئيسية من الدنا

المرتبط مع بروتينات قاعدية الخواص تدعى هستونات. ويتم تنظيم الهمستونات والدنا في بنى شبيهة بالعقد أو السبحة تدعى بالجسيمات الصبغية nucleosomes . تتلون المادة الصبغية أثناء الانقسام النووي الخطي بشدة أكبر وتصبح بذلك أشد وضوحاً لأنها تتكون بشكل خيوط شديدة التلفاف تدعى الصبغيات chromosomes . وتصبح أكثر تمثراً أثناء الطور البيئي الذي يفصل بين انقسامين متتاليين، لكن بعضها يبقى ملتفاً بإحكام ومتولياً ويستلون بشدة ويدعى المادة الصبغية المغايرة heterochromatin وثير على شكل بقع عائمة مميزة قرب غلاف النواة (شكل ٦-٥). توجد المادة الصبغية المتبقية على شكل لفات منفردة فضفاضة بالقرب من مركز النواة ويدعى المادة الصبغية الحقيقة euchromatin . وتكون هذه الألياف المفردة مبعثرة كثيراً بحيث لا يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي العادي وهي تحتوي الدنا الذي يكون فعلاً بصورة عامة أثناء الطور البيئي.

شكل ٦-٥: الكروماتين المغایر:
١: الكروماتين المغایر (لاحظ توضعه قرب غلاف النواة).
٢: الغلاف النووي
٣: النواة



بنية الدنا :DNA

يتالف جزيء الدنا من سلسلتين ملتقيتين حلزونياً ومتكمالتين وبقطبية متعاكسة (شكل ٦-٦). كل سلسلة من الدنا عبارة عن بوليمر من النكليوتيدات. يتالف النكليوتيد من سكر خماسي هو الريبيوز منقوص الأكسجين، يرتبط مع أساس آزوتني ذي نواة حلقية ومع جزيء من حمض الفوسفور. وترتبط السلسلتان الواحدة مع الأخرى عبر روابط هيدروجينية تجمع بين

الأسن الأزوتية المقابلة، بحيث يحصل التزاوج بين الفوانين والسيتوزين (عبر ثلاث روابط) وبين الادنين والتيمين (عبر رابطتين). إن ميزة تكامل الأسن بين السلسلتين تسمح لنا معرفة تالي الأسن في إحدى السلسلتين لدى معرفتنا بالتالي الموجود في السلسلة الأخرى.

يمكن فصل السلسلتين بعضهما عن بعض برفع درجة الحرارة إلى حد معين مما يسبب انقطاع روابط الهيدروجين التي تربط بين الأسن. وهذه عملية عكوسية، فعندما تنخفض درجة الحرارة تعود سلسلتا الدنا إلى التزاوج من جديد.

تنظيم الكروماتين:

يتوزع الكروماتين على عدد من الصبغيات، يختلف عددها من نوع لآخر ولكنه ثابت في النوع الواحد. لا يرتبط عدد الصبغيات بكمية الدنا الموجودة في النواة، والتي يمكن أن تتفاوت كثيراً من متضبة إلى أخرى، كما لا يوجد ارتباط بين عدد الصبغيات في متضبة ما ومدى تطورها. توجد الصبغيات في نوى الخلايا الجنسية بهيئة أشفاع متائلة، بينما تكون جميع الصبغيات مختلفة في نوى الخلايا الجنسية. تظهر القائمة التالية الكمية التقريبية للدنا في بعض المتضبات وعدد صبغياتها:

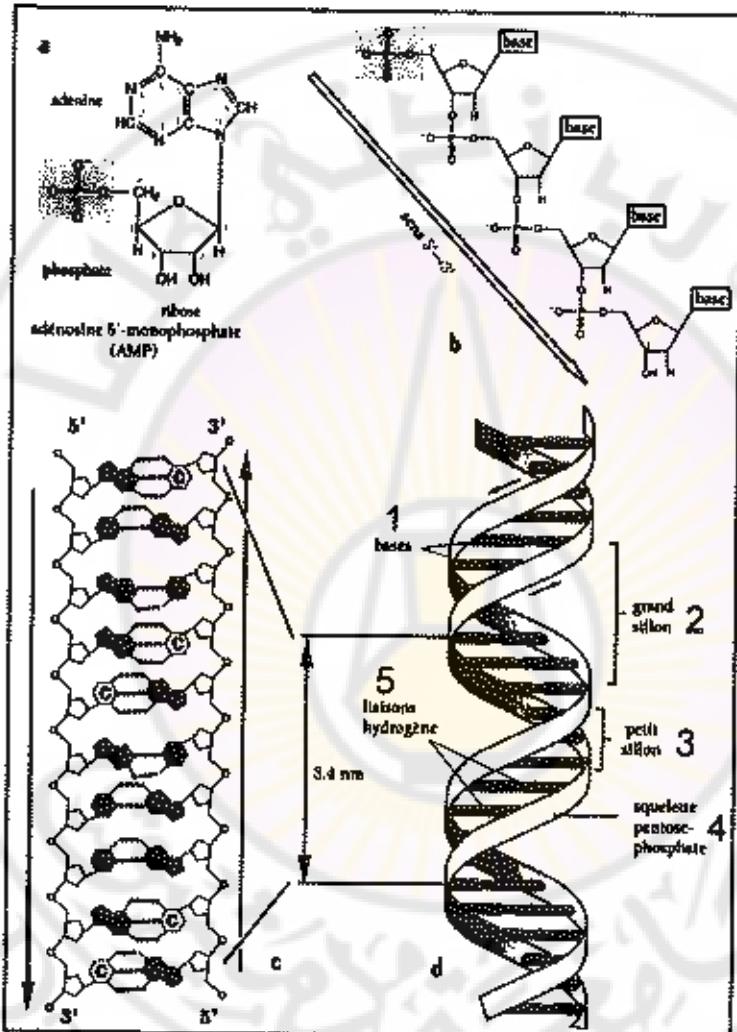
المتضبة	كمية الدنا (شمع تكلوبودي في الجينوم (أحادي الصبغة الصبغية)	عدد الصبغيات في الخلية n
خمرة	$10^7 \times 1.8$	16
ذبابة الفاكهة	$10^8 \times 1.4$	4
نبات Arabodopsis	$10^8 \times 1$	5
الفأر	$10^9 \times 3$	20
النمر	$10^{10} \times 1.3$	7
الإنسان	$10^{10} \times 3.3$	23

يعود هذا التباين إلى وجود كميات متساوية من الدنا دون وظيفة معروفة ضمن الجينوم.

المستويات المختلفة لتراسن الكروماتين:

يسجل طول الدنا بشكل وسطي نحو متر واحد في الخلية الجنسية (وحيدة الصبغة الصبغية)، أي نحو مترين في كل نواة جسمية. فكيف يمكن هذا الدنا الذي يصبح متضمناً في

ثوافة أبعادها مجهرية. لقد تبين للعلماء أن البروتينات المرتبطة مع الدنا، وكذلك عناصر أخرى من الهيكل النووي تؤدي دوراً مهماً وأساسياً في تكاثف الدنا.



شكل ٧-٥: بنية الدنا

- a. العناصر المكونة لذكليوتيد الادينوزين
- b. سلسلة مفردة من الدنا في طور النمو (لاحظ ان اتجاه بناء السلسلة يكون بالاتجاه من 5 إلى 3)
- c. ارتباط سلسلي للدنا ببعضها البعض، لاحظ تكميل الاسنس، والاستقطاب المعاكس للسلسلتين
- d. تشكيل القراءة المطلوب لجزيء الدنا (١: الاسنس، ٢: الأخدود الكبير، ٣: الأخدود الصغير، هوكل السلسلة المولف من ثنائي السكر مع الفوسفات، ٤: طروبيط الهيدروجينية)

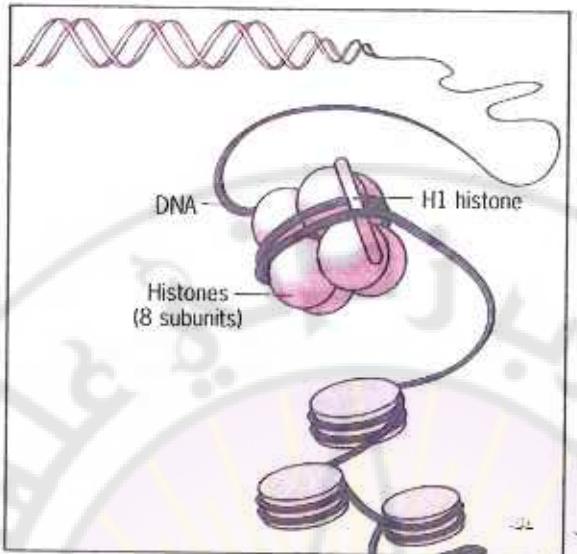
البروتينات المرتبطة مع الدنا:

تعد الهمستونات histones البروتينات الرئيسية المرافقة للدنا. وهي زمرة من البروتينات قاعدية الخواص، غنية باللizinين والارجينين (تصل نسبتها نحو ٢٥٪). توجد الهمستونات في نوى كل الخلايا حقيقيات النوى، وتغيب عند طلائعياتها (وتغيب كذلك من جينوم الخنيدرات والرقباسات).

تتوسط الهمستونات على شكل كريات كروية قطرها ١١ نانومترًا، وتنافف كل كرية من اجتماع ثمان لحت وحدات (٤ أشفاع) تعود إلى أكثر من نمط من الهمستونات (H2A, H2B, H3, H4). وقد أظهرت الدراسات الحديثة وجود بروتينات لا هستونية أيضاً في بيئة هذه الجسيمات. ينتمي جزيء الدنا (مضاعف السلسلة) حول هذه الكريات بمقدار لفتين، ويبلغ طول خيط الدنا الملف حول هذه الكريات البروتينية ١٤٠ شفعاً من الأسس. تشكل هذه البنية ما يدعوه الجسم النووي nucleosome، وتمثل المستوى الأول من تكتف الدنا (شكل ٨-٥). يشكل مجموع الجسيمات النووية بنية تشبه عقد اللؤلؤ، ولذلك يدعى هذا الكروماتين كروماتين عقد اللؤلؤ. يتم المحافظة على هذه البنية عندما ينسخ الدنا أو يتضاعف، مع حدوث تراخ يسلي لها لكي تسمح لأنزيمات النسخ والتضاعف من الولوج إلى سلسلة الدنا بسهولة وتنجز عملها. تتكثف الجسيمات الفووية عبر تقضيدها بعضها فوق بعض لتؤلف خيطاً كروماتينياً جديداً يبلغ قطره ٣٠ نانومتر، وهذا هو المستوى الثاني من تكتف الدنا (شكل ٩-٥).

مع بداية الانقسام الخلوي ينتهي الخيط السابق اثناءات عديدة ويرتبط في مناطق خاصة منه مع ألياف بروتينية غير هسيقونية، تأخذ شكل دعامة، وبشكل عقداً عديدة حولها. تضم كل عقدة عشرات الآلاف من التكليوتيدات. ويبلغ قطر الخيط الناتج عن هذا التكتف ٣٠٠ نانومتر. وهذا هو المستوى الثالث من تكتف الدنا.

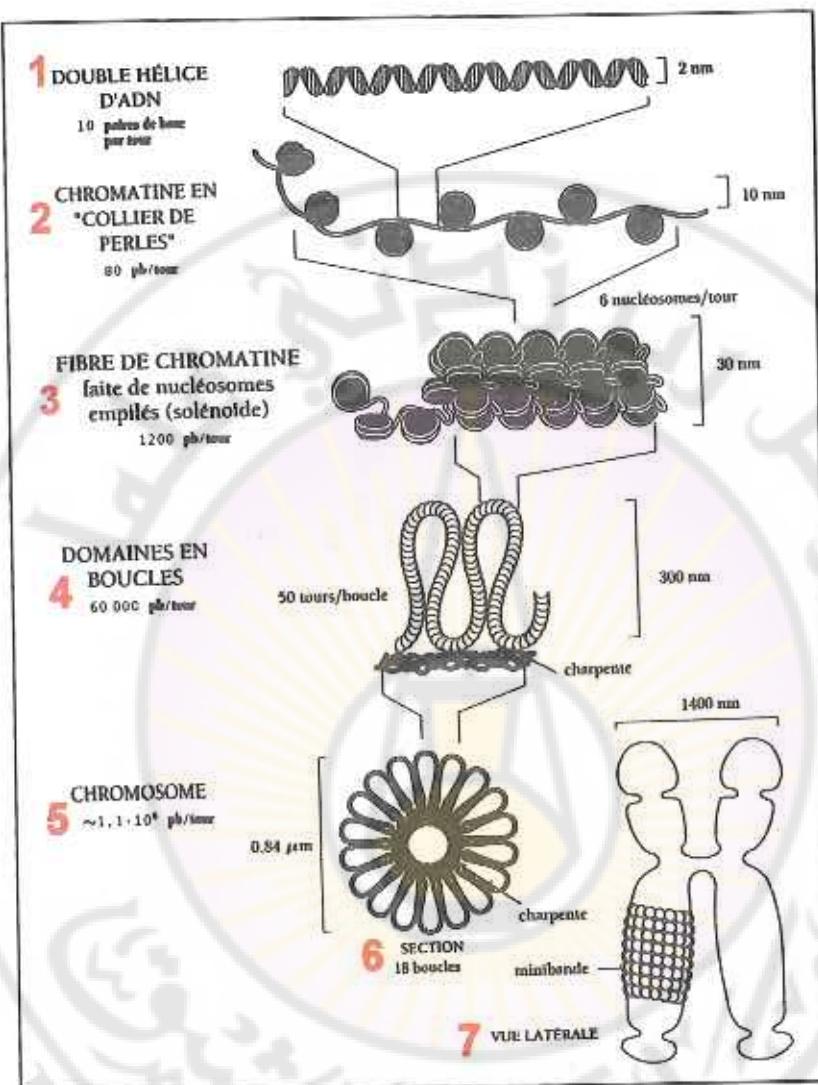
يلتف الخيط السابق على شكل حلزون لفاته شديدة التراص ثم ينفصل حول نفسه. وهذا هو التكتف الأعظمي الذي يبلغه الكروماتيد في الطور الاستوائي من الانقسام.



الشكل ٨-٥: التفاف جزئي لـ الدنا حول الـ هستونات (بنية عقد اللولو)

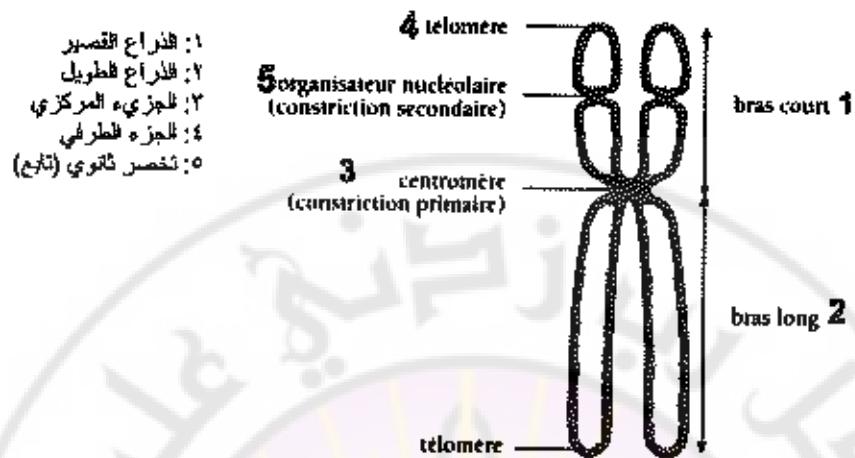
يبدو الصبغي في الطور الاستوائي (شكل ١٠-٥) مؤلفاً من صبيغين chromatids مرتبطين بالجزيء المركزي، الذي يستقر في موضعه من صبغي آخر. ويحدد الجزيء المركزي ذراعين تكونان غالباً غير متساوين في الطول. ويمكن في بعض الحالات، لدى بعض الصبيغيات، ملاحظة تخرصات ثانوية تحدد توابع satellites في نهاية إحدى ذراعي الصبغي. من الممكن أن يوقف الانقسام في الطور الاستوائي باستخدام الكولتشيسين، الذي يمنع خيوط المغزل من التجمع، ونرى الصبيغيات بوضوح تحت المجهر بعد تلوينها، نسمى اللوحة الناتجة عن ذلك الكاريوتيب Karyotype (شكل ١١-٥)، حيث يمكننا إحصاء العدد الصبغي وتصويرها وجمعها في أشفاع (كاريوغرام).

يفقد الصبغي بعد انتهاء الانقسام حلزنته التي اكتسبها في بداية الانقسام. وهكذا تتغير بنية الصبغي تغير خلال الحلقة الانقسامية. وبلغ الصبغي أقصى درجات حلزنته في الطور الثاني (الاستوائي) من الانقسام الخطي. إن كل ١ ميكرون من دنا الصبغي الخطي يعادل نحو ١ سم، وهذا ما يمثل نسبة حلزنة تصل إلى $1 : 1000$.

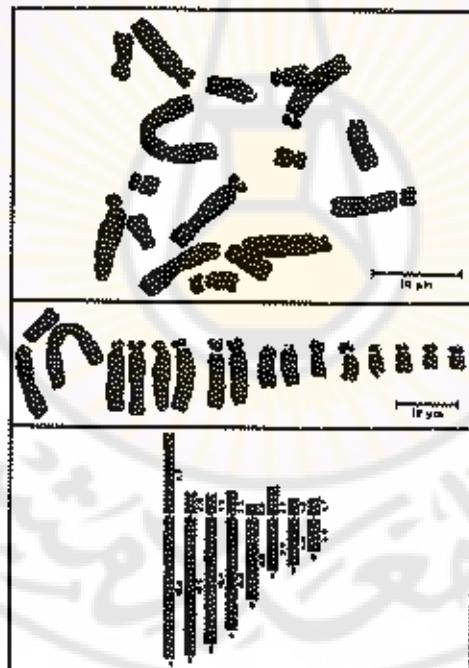


الشكل ٩-٥: المستويات المختلفة لتراسن جزيء الدنا:

- ١: جزيء دنا مولف من سلسلتين تلتقيان يضمها على بعض على شكل حازون (١٠ أشفاع من الأنس في كل لفة)، قطره ٢ نانومتر
- ٢: كروماتين على شكل عقد اللولز (٨٠ شفع في اللفة)، قطره ١٠ نانومتر
- ٣: خيط كروماتيني مولف من تتصد وتكتفت الجسيمات الصبغية (١٢٠٠ شفع/اللفة) قطره ٣٠ نانومتر
- ٤: تكتفت الخيط الكروماتيني بشكل عقد حول دعامة من خيوط بروتينية (٦٠٠٠ شفع/اللفة). قطره ٣٠٠ نانومتر.
- ٥: الصبغى في أقصى درجات تكتفه (قطره ٨٤، ٨٤ ميكرون) كما يبدو في مقطع عرضي (٦) وفي منظر جانبي (٧)



الشكل ١٠-٥: تمثيل تخطيطي لبنية الصبغي



الشكل ١١-٥: الصبغيات في الطور الثاني من الانقسام الخطي:

- النمط النزوبي "كاريوتوب"
- الكاريوغرام (ترتيب الصبغيات في شفاعة بعد تصويرها)
- الإيدوغرام (حساب نسبة أطوال ذراعي الصبغي)

تتابعات الدنا :

يصنف الدنا المؤلف للجينوم في ثلاثة زمر:

- ١: تتابعات تُشفَر (ترجم) إلى بروتينات.
- ٢: تتابعات لا تُشفَر إلى بروتينات وتكرر كثيراً في الدنا.
- ٣: تتابعات فاصلة.

التتابعات المشفرة للبروتينات:

تعرف التتابعات التي تُشفَر إلى بروتينات بأنها تلك التتابعات التي تنسخ إلى رنا رسول mRNA ومن ثم تترجم عند الاقتضاء إلى بروتينات. معظم هذه التتابعات توجد بنسخة واحدة في جينوم الخلايا أحادية الصبغية. وترمز إلى بروتينات أساسية في عملية الاستقلاب الخلوي. وبعضها الآخر يوجد منه عدة نسخ تتوزع في كل الجينوم. منها على سبيل المثال المورثات التي تُشفَر إلى البروتينات المكونة لهيكل السيتوبلازمي. وهناك في الجينوم أيضاً تتابعات تتكرر كثيراً وتتوسع بشكل تزادي (يتلو بعضها بعضًا وفي الاتجاه ذاته)، وتُشفَر سواء إلى بروتينات، وخاصة الهمستونات، أو إلى رنا ريباسي rRNA. هذا التضاعف لعدد من المورثات أمر هام للخلية لكي تؤمن أداءً وظيفياً عادياً.

التتابعات غير المشفرة:

تتألف التتابعات غير المشفرة من دنا تكراري، تتبادر نسبته بشكل ملحوظ من متغيرة لأخرى. فالخميرية تملك قليلاً منه (٢٠٪ في المتوسط). بعض هذه التتابعات له وظيفة محددة؛ فالدنا الذي يشكل نهيات الصبغيات ويعرف باسم الجزة الطرفي أو الانتهائي telomere، هو تتابعات لمدد محدد من النوكليوتيدات. وهو يؤدي دوراً مهماً في المحافظة على حجم ثابت للصغيри عند التضاعف لتحقيق الانقسام الخلوي. ونقصان هذه التتابعات عن حد معين يسبب اضطرابات وظيفية تؤدي إلى هرم الخلية وموتها. ولهذه الأجزاء الانتهائية دور مهم آخر هو منع اتحاد الصبغيات بعضها ببعض، وقد انها يؤدي إلى عدم الاستقرار الوراثي.

كما أن دنا الجزيء المركزي للصبغي يتألف من تتابعات عالية التكرار غنية بشكل خاص بالغوانين وبالسيتوزين.

من أنماط هذا الدنا "الدنا التكراري المتراوف المتباين عددياً" Variable Number Tandem Repeats والذي يرمز له اختصاراً بـ VNTR وهو يتضمن من ٢٠ إلى ٥٠ تكراراً مختلفاً، يتراوح طول كل منها من ١٥ إلى ١٠٠ نوكليوتيد، ولا نعرف بعد وظيفتها. يتباين درجة تكرار هذه التتابعات من فرد لأخر، وتستخدم كصفة مميزة للفرد. يُعرف الكشف عن هذه التتابعات عبر تفاصيل الوراثة الجزيئية بالبصمة الوراثية.

من الأنماط التكرارية المتراوفية الأخرى نجد تتابعات لها طول أصغر مما سبق، إذ تتألف غالباً من نوكليوتيدين، وهي أيضاً مبعثرة في الجينوم. وتباين درجة تكرارها أيضاً من فرد لأخر. تسمى هذه التتابعات الصغيرة بالتتابع الدقيق "الميكروساتليت" microsatellites وتستخدم كمؤشر في رسم خريطة الجينوم.

تُعد العناصر المتنقلة في الجينوم التي تدعى أيضاً المورثات القافرة طائفة خاصة من الدنا التكراري تتميز بإمكانية تنقلها في الجينوم. توجد هذه المادّة في الحيوانات والنباتات والجراثيم والفيروسات، وقد اكتشفت لأول مرة في ثيات الذرة.

الدنا الفاصل (المباعد) :

يتضمن الدنا تتابعات لا يمكن إدراجها فيما سبق من فئات، وهو الدنا الفاصل، الذي يفصل بين التتابعات الوظيفية. يعتقد أن وظيفة هذا الدنا تتمثل بفصل التتابعات الوظيفية بعضها عن بعض وتسهيل وتنظيم عملها، أو أنه يسمح للصبغيات بأن تبلغ كثافة حرجة.

تضاعف الدنا : Replication of DNA

يتم انتقال المعلومات الوراثية من جيل لأخر عبر عملية تضاعف الصبغيات. تشمل عملية التضاعف نسخ الدنا وارتباطه مع الهمستونات، وكلما العمليتين متزامنان، ولكن من الأفضل عرضهما بشكل مستقل.

آلية التضاعف:

من المؤكد حالياً أن تضاعف الدنا يتم حسب النموذج نصف المحافظ. ووفقاً فإن السلسلتين المؤلفتين لجزيء الدنا والمتتامتين تنفصل الواحدة عن الأخرى، وتستخدم كل سلسلة أبوبية ك قالب ينسخ عنها سلسلة جديدة يكون تتالي الأسس فيها متمماً للسلسلة القالب. وهكذا فإن كلّاً من جزيئاً الدنا المتشكلين مؤلف من سلسلة أبوبية وسلسلة تم تركيبها حديثاً.

يبدأ تضاعف الدنا لدى حقيقيات النوى من عدة نقاط من الصبغي، ويتوسط عملية نسخ سلسلة الدنا أنزيمات تدعى أنزيمات بلمرة الدنا أو الدنا بوليميراز DNA polymerases وهي أنزيمات تتوسط بتشكيل رابطة بين الطرف⁵- فوسفات من النوكليوتيد الأول مع النهاية^{3'} للسكر متنوّص الأكسجين من النوكليوتيد الآخر، مع المحافظة على مبدأ تكامل الأسس بين السلسلتين. ولكن لكي تقوم هذه الأنزيمات بعملها فإنها تحتاج أولاً إلى فصل ارتباط سلسلتي الدنا. يتم ذلك عبر تثبيت بروتين خاص إلى جزءِ الدنا في مستوى نقطة النطلق وذلك بوجود البـ ATP. يحرض هذا البروتين الانفصال الوعي لسلسلتي الدنا، ثم يرتبط إلى السلسلتين المنشغلتين موضعياً مجموعة جزيئات بروتينية من أهمها أنزيمات الحلزنة "الهيليكاز" helicases وظيفتها متابعة فص الروابط الهيدروجينية في كلا الاتجاهين، ثم تُعطي السلسلتان المنفصلتان بجزئيات بروتينية خاصة تمنع حدوث تشكيل الروابط الهيدروجينية بينهما، كما تحميهما في الوقت ذاته من هجمات أنزيمات النوكلياز nucleases التي يمكن أن تخرب الدنا. تظهر السلسلتان المنفصلتان على شكل شوكة، وتسمى نقطة البدء هذه شوكة التضاعف (شكل ١٢-٥). أصبح المجال الآن متاحاً لأنزيمات الدنا بوليميراز لتقوم بنسخ سلسلتي الدنا، وتشكيل سلسلتين جديدتين مع مراعاة التكامل بين الأسس. ولكن أنزيمات الدنا بوليميراز لا تستطيع البدء بالنسخ، ولذلك يبتدئ أنزيم بلمرة آخر هذا العمل وهو أنزيم البريماز Primase، وهو أنزيم ينسخ الدنا إلى رنا. أي أن سلسلة الدنا النسخة تبدأ بـ تتبع قصير من الرنا، ثم يتتابع الدنا بوليميراز عملية النسخ ولكنه يضع في هذه المرة نوكليوتيدات

الدنا. يتم في مرحلة لاحقة حلقة نكليوتيدات الرنا واسلبياتها بنكليوتيدات الدنا وذلك بوساطة أنزيم آخر من الدنا بوليميراز.

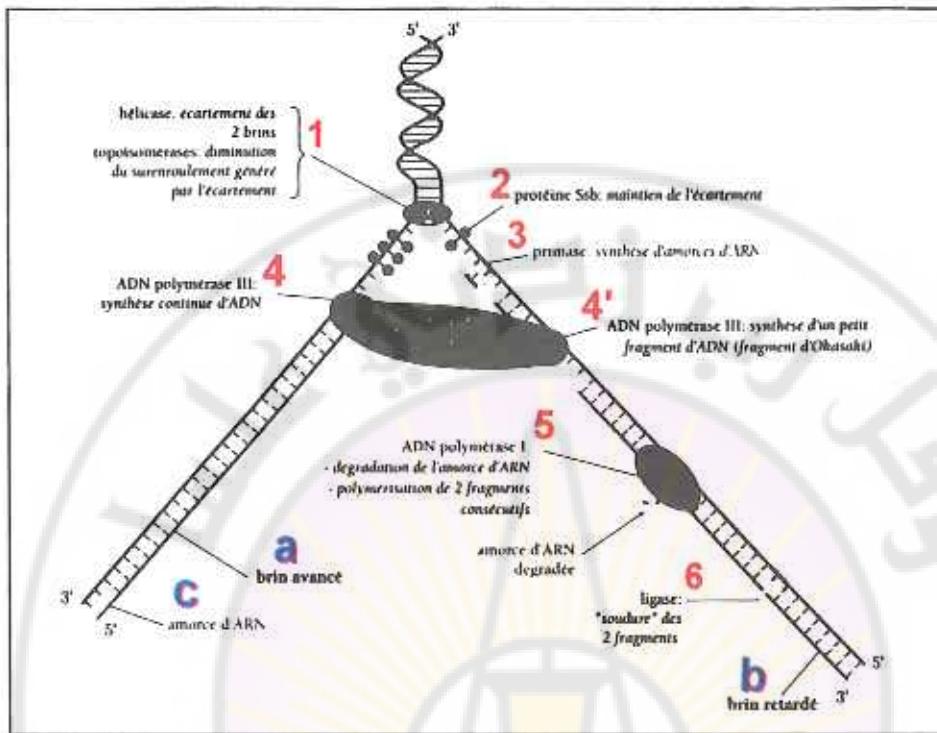
وقد لوحظ أن نسخ السلاسلتين يتم بشكل مختلف. فالدنا بوليميراز لا يستطيع أن ينجز تضاعف سلسلة الدنا إلا بقراءتها بالاتجاه 5 إلى 3 ، وبالتالي فإن السلسلة التي يكون توجهها 3 إلى 5 هي التي ستنتسخ أولاً وبشكل ستر، وفي هذه الحالة يلزم بادئ واحد من الرنا. تسمى هذه السلسلة "سلسلة المتقدمة". أما السلسلة الأخرى فيتم نسخها بشكل غير مستمر، عبر تركيب قطع قصيرة يتطلب كل منها بادئاً مستقلاً من الرنا (شكل ١٢-٥)، تسمى هذه القطع قطع اوكيازاكى okasaki (نسبة الى اسم العالم الذي اكتشفها) ويبلغ طولها من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ شفر من الأسس. ثم يتم ربط هذه القطع بعضها بعضها بتوسيط أنزيمات تعمل على تفكيك قطعة الرنا التي بدأت بها كل قطعة من قطع اوكيازاكى وتحل مكانها نكليوتيدات الدنا المناسبة. ثم تتم عملية الربط بين هذه القطع.

تشير إلى أن كل صبغي يمتلك في نهاياته قطعاً طرفيّة Telomeres تتألف من دنا تكراري غني بالغوانين، ويقوم بإضافة هذه التتابعات أنزيم خاص هو التيلوميراز Telomerase وذلك انطلاقاً من قالب من الرنا يتضمنه. ومن ثم يتم إنتهاء تركيب السلسلة.

يرتبط الدنا في حقيقيات النوى مع الهمستونات. ويتم تركيب هذه البروتينات خلال طور تضاعف الدنا S (من الطور البياني) بالتوافق الدقيق مع تركيب الدنا.

للدنا القدرة على إصلاح ذاته:

يمكن أن يدرج خلال عملية التضاعف نكليوتيد في غير مكانه الصحيح (غير منتم للنكليوتيد المقابل له في السلسلة الأخرى). كما يمكن أن تحدث تغيرات في الدنا خارج طور التضاعف S وذلك بتأثير عوامل فيزيائية أو كيميائية متعددة (حرارة، إشعاع ذري، أشعة فوق بنفسجية UV، بعض الأدوية والمركبات الكيميائية ...). تراقب الخلية، وذلك خلال كل مراحل الدارة الخلوية، حالة الجينوم لديها. وتملك عدة وسائل لتصحيح هذه الأخطاء إن كانت قابلة للتصحيح، أو للتخلص من هذه الخلايا إن كان الأمر غير ذلك.



الشكل ١٢-٥ : الآلية الجزيئية لتضاعف الدنا (شوكه التضاعف):

- ١: يقوم إنزيم الهيليكاز بمساعدة سلسلي الدنا بعد فصل الروابط الهيدروجينية وتسهيل إنزيمات التوبوليزوميراز بذلك.
- ٢: تثبت بروتينات فرعية على سلسلي الدنا لمنع إعادة التحام السلسليتين ولحمائهما.
- ٣: يقوم إنزيم البريماز بالبدء بالنسخ.
- ٤: يتابع إنزيم الدنا بوليميراز III نسخ الدنا.
- ٥: يقوم إنزيم دنا بوليميراز I بفكك تتبع الرنا الذي بدأ النسخ به، واستبدالها بنكليوتيدات الدنا المناسبة.
- ٦: بالنسبة للسلسلة المتأخرة التي تتبع بشكل غير مستمر يعمل إنزيم الليغاز على وصل قطعها بعضها ببعض والتي تعرف باسم قطع أو كاز اكي.

الانقسام الخلوي:

تتمتع الخلايا الحية بالقدرة على التكاثر ونقل مادتها الوراثية إلى ذريتها، وذلك بوساطة الانقسام. لوحظ عدة أنماط من الانقسام لدى الكائنات الحية أهمها الانقسام الخطي و الانقسام المنصف Meiosis و Mitosis. والنقط الأول هو الأكثر بساطة و يؤدي إلى ظهور خلايا بنات مماثلة تماماً للخلية الأم التي نشأت عنها.

الانقسام الخلوي والدائرة الخلوية:

يطلب ولادة خلية جديدة انطلاقاً من خلية أم أن ينقل إليها كل من المادة الوراثية المن分け في النواة (الدنا)، ومجموع العضيات السيتوبلاسمية. وقد أمكن ملاحظة وقياس تضاعف للكتلة الخلوية في المرحلة التي تسبق إنجاز الانقسام.

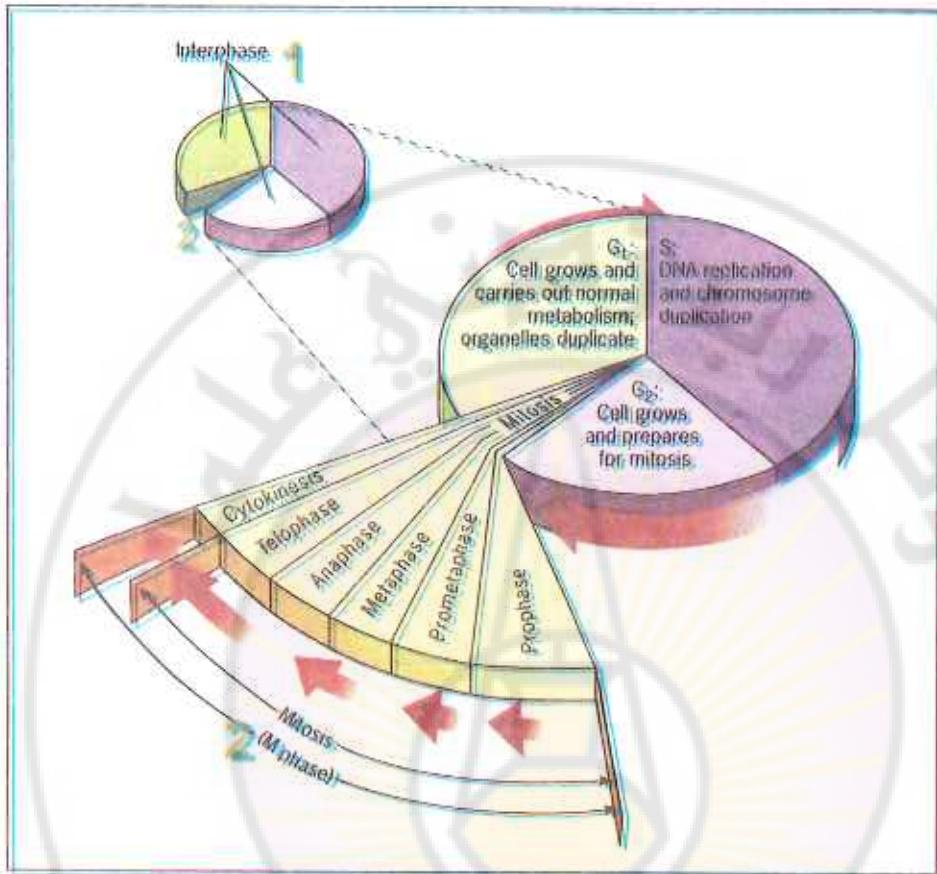
سمح التحليل التدريجي للحوادث الخلوية بتحديد عدة مراحل (أو أطوار) تمر بها الخلية. يمكن تمييز طورين أساسيين هما الطور البيئي والانقسام الخطي (شكل ١٣-٥).

تمضي الخلية معظم وقتها في الطور البيئي Interphase وهو الفترة التي تفصل ما بين انقسامين متتالين. ويتم في هذا الطور تضاعف الدنا قبل أن تدخل الخلية في مرحلة الانقسام. وبفضل طور تضاعف الدنا عن طور الانقسام فترتان: الأولى G₁ (G = gap) تمت من نهاية الانقسام الخطي إلى بداية طور التضاعف S. الثانية G₂ وتمتد من نهاية طور التضاعف S إلى بداية الانقسام. تقوم الخلية خلال هاتين الفترتين بعمليات التركيب اللازمة لولادة كيغونة جديدة من بروتينات (بنيوية ووظيفية) وحموض نوية .. الخ.

الانقسام الخطي Mitosis:

يتم انقسام الخلية وفق مراحلتين متعاقبتين غير متساويتين، يحدث في الأولى منها انقسام النواة، وفي الثانية انقسام السيتوبلاسم. يتطلب حدوث هذا الانقسام تشكيل المغزل الخطي، الذي ينتظم حول المركز المنظم للنيبيات الدقيقة microtubules . ورغم أن الانقسام الخطي عملية حركية مستمرة فإن من الدارج حالياً تقسيمه إلى خمس مراحل: الطور الأول Prophase ، طبيعة الطور الاستوائي Prometaphase ، الطور الاستوائي Metaphase ، طور الصعود Anaphase ، الطور الرابع Telophase .

يتميز الطور الأول بالتكثيف التدرجي الكروماتين الذي سبق أن تضاعف خلال الطور S لظهور في نهاية الطور بنية الصبغيات بشكل واضح. يبدو كل صبغي مؤلفاً من صبغين مرتبطين بالجزيء центральный، لتفكك النوية تدريجياً لتخفي كلية في نهاية الطور الأول (شكل ١٤-٥).



الشكل ١٣-٥ : أطوار الدارة الخلوية:

- ١: الطور البيني (ويتألف من ٣ أطوار فرعية هي G₁ و S و G₂)
- ٢: طور الانقسام وضم أيضاً عدة أطوار

مع دخول الخلية في طبعة الطور الاستوائي يتلاشى الفلافل النووي ويتبشر في السيتوبلازم على شكل حويصلات. وتبدأ النبيبات الدقيقة بتشكيل خيوط المغزل. تتوضع الصبيغيات في الطور الاستوائي في منتصف الخلية في مستوى اللوحة الاستوائية، حيث يصبح كل صبيغي على مسافة متساوية من قطبي الخلية. يبدأ طور الهجرة بانفصال الصبيغي إلى صبيغتين (كروماتيدين) يهاجر كل منها سريعاً باتجاه أحد قطبي الخلية وذلك بفضل تقلصات بعض خيوط المغزل وتطاول أخرى. تنتقل الصبيغيات (التي أصبحت صبغيات)

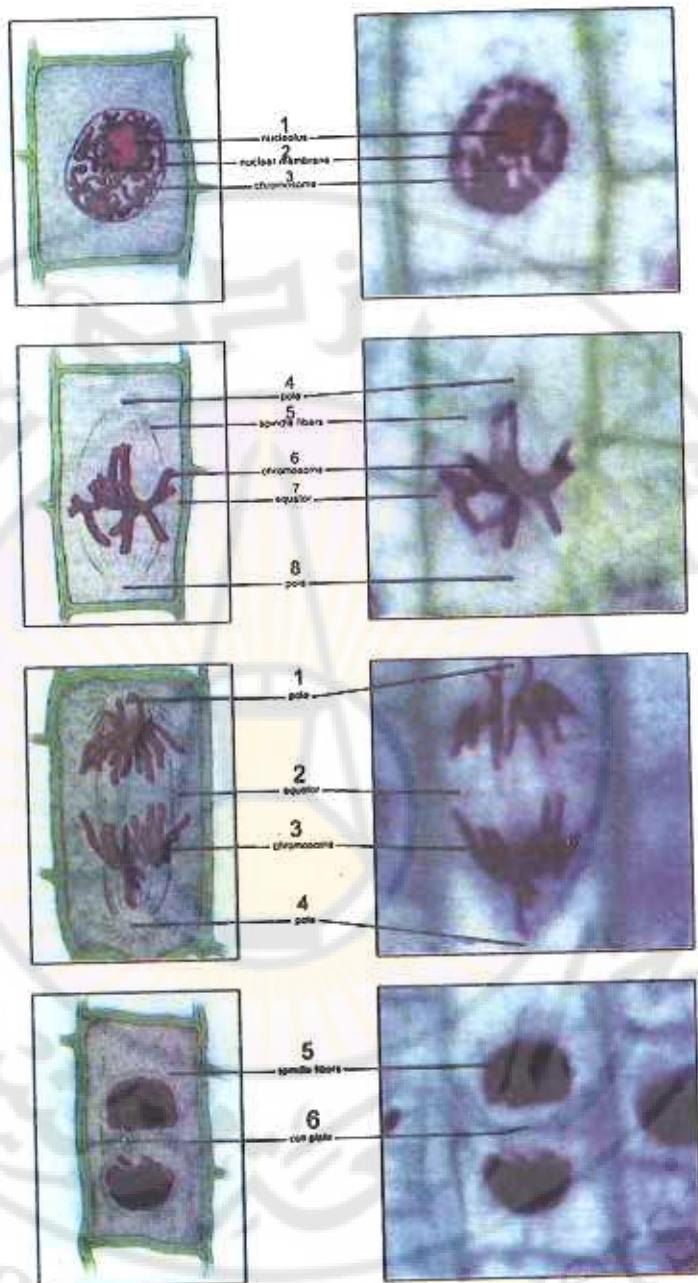
في الطور الرابع إلى كل من قطبي الخلية، وتختلف خيوط المغزل، وينتشكل مخلاف نووي من جديد حول كل مجموعة من الصبغيات وذلك انطلاقاً من الحويصلات الموجودة سابقاً، وتبدأ الصبغيات بفقد نكثتها وحلزتها تدريجياً وتبني النوبات من جديد.

الانقسام السيتوبلاسمي : Cytokinesis

يتضمن الانقسام الخلوي أيضاً، إضافة إلى نقل الصبغيات، نقل مجموع العضيات السيتوبلاسمية وذلك قبل أن يتم الفصل الكامل بين الخلويتين. تنقسم الصانعات والخنيدرات عادة في الطور البيني بعد تقاضع الدنا، وتتوزع بشكل متساوٍ تقريباً في كل السيتوبلاسم. أما الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة وجهاز غولجي فتنتجزءان إلى حويصلات، تسهم النوبات الدقيقة في توزيعها النهائي.

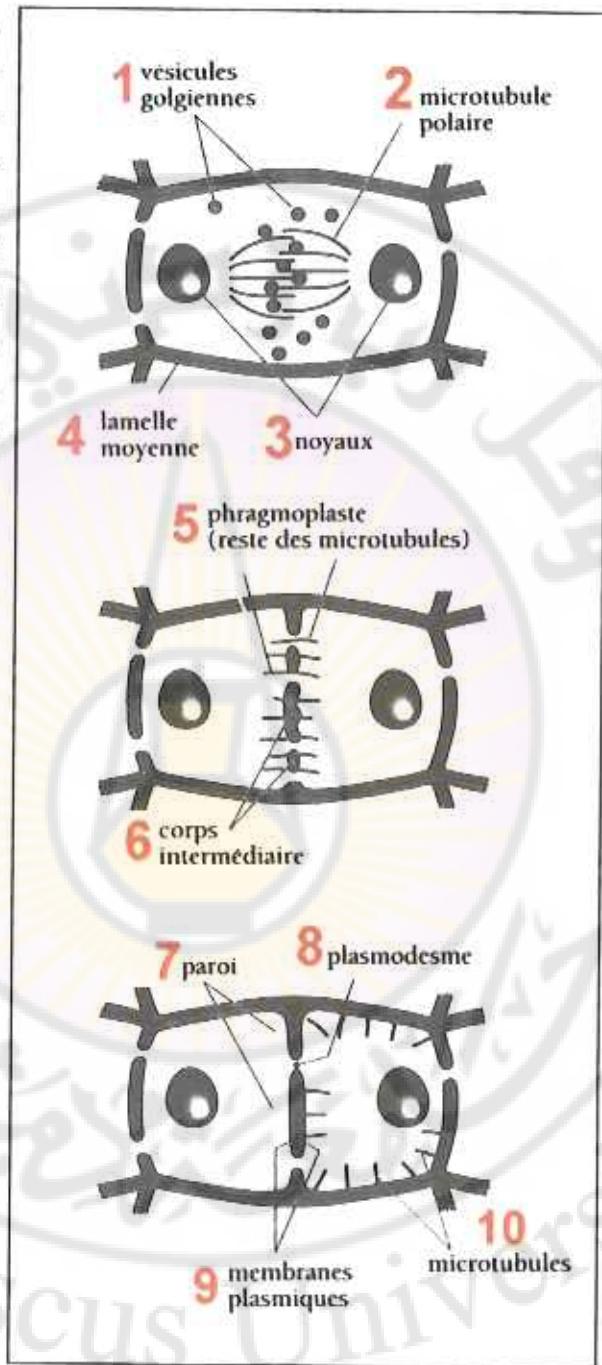
يتم شطر الخلية النباتية الأم إلى خلويتين بنتين بآلية مختلفة تماماً عما يلاحظ لدى الخلية الحيوانية (شكل ١٥-٥)، إذ بالإضافة إلى الشفاء البلاسمي ينبغي أن تتشكل الخلية النباتية جداراً خلويأً أيضاً لكل من الخلويتين الابنتين. ويعلم الإعداد لذلك منذ الطور الأول للانقسام. فقد لوحظ أن النوبات الدقيقة المحبيطة التوضع لتنظم خلال الطور الأول للانقسام في بنية حلقة تقع تحت الشفاء البلاسمي. ثم لا ثبات هذه الحلقة أن تختفي مع بدء تشكيل خيوط المغزل الانقسامي، ويحدد مكان تشكلها الصفيحة الاستوائية. بعد انتهاء الطور الرابع، يتجمع في المستوى ذاته كثير من حويصلات جهاز غولجي الصفيحة المرتبطة مع النوبات الدقيقة والمتضمنة طلائع مكونات الجدار. وبتوجيهه من النوبات الدقيقة القطبية والتي تشكل الفراغموبلاست تتحد الحويصلات بعضها مع بعض مؤدية إلى تشكيل غشاءين بلاسيبين بينهما الجدار. وتبقى مناطق اتصال دقيقة بين الخلويتين هي الوصلات البلاسمية plasmodesmes.

- ١: نوية.
- ٢: الغلاف النووي.
- ٣: الصبغيات.
- ٤: القطب.
- ٥: خيوط المتريل.
- ٦: صبغي.
- ٧: اللوحة الاستوائية.
- ٨: القطب.



الشكل ٤-٥: أطوار الانقسام الخلوطي في الخلية النباتية:
A: الطور الأول و B: الطور الثاني; C: طور المصعود
D: الطور الرابع

- ١: حويصلات غولجي
- ٢: النبيبات الدقيقة القطبية
- ٣: الفولكان
- ٤: الصفيحة المتوسطة للخلية الأم
- ٥: الفراغموبلاست (بقايا النبيبات الدقيقة)
- ٦: الجسيمات الومسيطة
- ٧: الجدار الخلوي في طور التشكيل
- ٨: الواسلات البلاسمية
- ٩: الشعاعان البلاسميان
- ١٠: النبيبات الدقيقة



الشكل ١٥-٥ : الانقسام السيتوبلاسمي لدى الخلية النباتية



الفصل السادس

النظام البيئي للسيتوبلاسم

تضم السيتوبلاسم مجموعة من العضيات الخلوية، مشكلة نظاماً خاصاً على أعلى مستوى من التنسيق. وهي تتميز بأنها ذات فعالية مرتفعة النشاط، وبأنها دائمة التغير. تقوم هذه العضيات بوظائف مختلفة، سندرسها على التناول في الفقرات التالية.

الحالة الفيزيائية للسيتوبلاسم:

السيتوبلاسم معقد ليكونوكليو بروتيني نوعي. وتتمتع استناداً إلى النظرية الفيزيائية الكلاسيكية بصفات غروية. تتألف الجملة الغروية مادة من طورين:
آ: المذيب أو وسط الانتشار أو الوسط المستمر Continuous phase.
ب: المواد المجزأة أو الطور المنتشر Dispersed phase.

يمكن للغرويات أن توجد بحالة حلة Sol أو هلامة Gel. تتنمي السيتوبلاسم إلى الحالات المائية Hydrosols، إذ أن المذيب هو الماء. وهي تستطيع الانتقال من حالة الحلة إلى حالة الهلامة وذلك نتيجة فقدانها للماء، حيث يسيطر حينئذ الطور المبعثر.

الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة Endoplasmic Reticulum

كان التعرف على الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة من أهم الاكتشافات التي أعقبت ظهور المجهر الإلكتروني في عام ١٩٥٠ حين وصف Porter منظومة معقدة من التجاويف المحاطة بخلايا، والمنتشرة خلال سيتوبلاسم خلايا حقيقيات النوى، يلاحظها في بعض المناطق "حبسيات" تبين فيما بعد أنها الريبياسات. تتصل الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة مع الغلاف النووي، وتنقسم إلى شبكة سيتوبلاسمية خشنة وهي تلك الأجزاء من الشبكة التي تحمل ريباسات، وشبكة سيتوبلاسمية ملساء خالية من الريبياسات. تختلف درجة تطور الشبكة

السيتوبلاسمية الباطنة من خلية لأخرى، فالخلية ذات النشاط الإفرازي تكون غنية بالشبكة الخشنة.

ليس لأغشية الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة تركيب مشابه من حيث المحتوى من البروتينات والليبيدات لما هو ملاحظ في الغشاء البلاسمي. تحتوي أغشية الشبكة على ٣٠٪ ليبيدات و ٧٠٪ بروتينات، وكعبة السكر مهملة تقريباً، أي أن الغشاء البلاسمي يحتوي كمية أكبر من الجزيئات البروتينية من أغشية الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة، كما تتضمن أغشية الشبكة الأنزيمات اللازمة لتركيب البروتينات، واستقلاب الليبيدات، وإزالة السموم.

وظيفة الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة

تعد الشبكة مركزاً حلوياً يتم فيه تركيب البروتينات والليبيدات أو تخزينها، ويمكن تلخيص أهم وظائفها بما يلي:

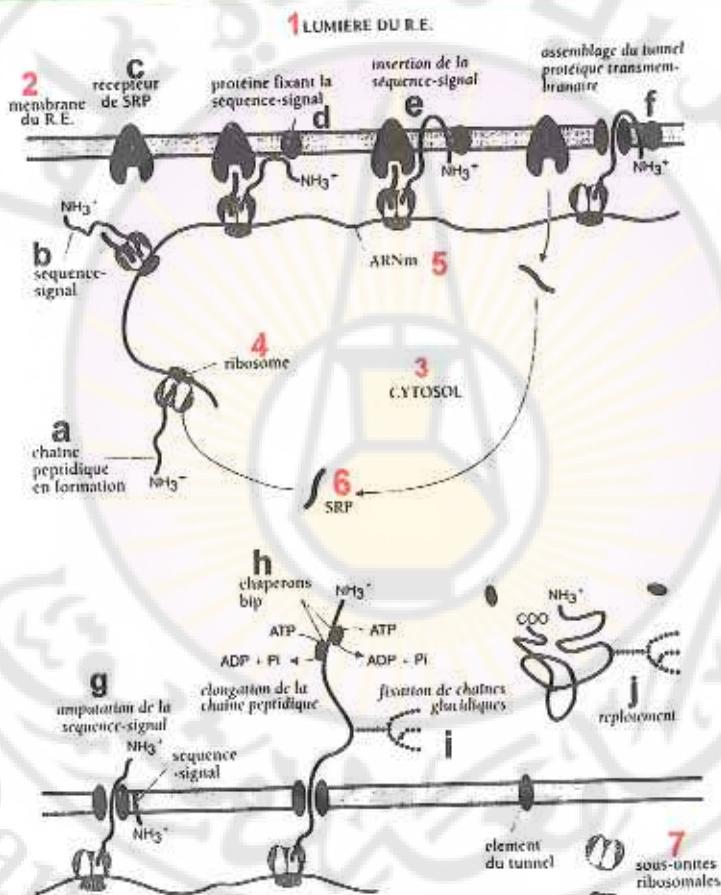
١: ترجمة العديد من البروتينات يتم عبر أغشية الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة: يتم تركيب البروتينات المخصصة للشبكة السيتوبلاسمية الباطنة (التي سشاركت في بنية أغشيتها) أو تلك التي ستنقل باتجاه الغشاء البلاسمي أو جهاز غولجي أو الجسيمات الحالة على الريبوسات الموجودة على سطح الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنّة. يمكن تلخيص تركيب هذه البروتينات بالنقاط التالية:

- تبدأ ترجمة هذه البروتينات في السيتوبلاسم (شكل ١-٦)، وتشكل الحموض الأمينية الأولى (٣-١٢ حمضأً) من السلسلة البيتدية المت坦مية والموجودة في النهاية N من السلسلة البيتدية، "تنابعاً إشاراتيًّا أو تتابعاً مميزة".
Signal sequence

- عندما يبلغ طول سلسلة متعدد البيتيد نحو ٧٠ حمضأً أمينيًّا يتم التعرف عليها من قبل جزيء بروتيني ريبونوبيو ribonucleoprotein (بروتينات + حموض ريبوية نووية)، وهو جزيء يركب في النواة ويخرج في السيتوبلاسم^١، ويعرف باسم جزيء التعرف على الإشارة

^١ يضم ٦ جزيئات بروتينية مختلفة ورنا طوله نحو ٣٠٠ نوكليوتيد RNA

ويرمز له اختصاراً SRP ويرتبط مع التابع الإشاراتي (شكل ١-٦). لا يلبث جزيء التعرف أن يتثبت على مستقبل receptor نوعي يوجد على الطرف المواجه للسيتوبرلاسم من غشاء الشبكة (شكل ١-٦: c)، بينما ترتبط سلسلة متعددة الببتيد مع بروتين ارتباط خاص موجود في غشاء الشبكة (شكل ١-٦: d). فترتبط بذلك الريبياسة بالشبكة السيتوبرلاسمية الباطنة.

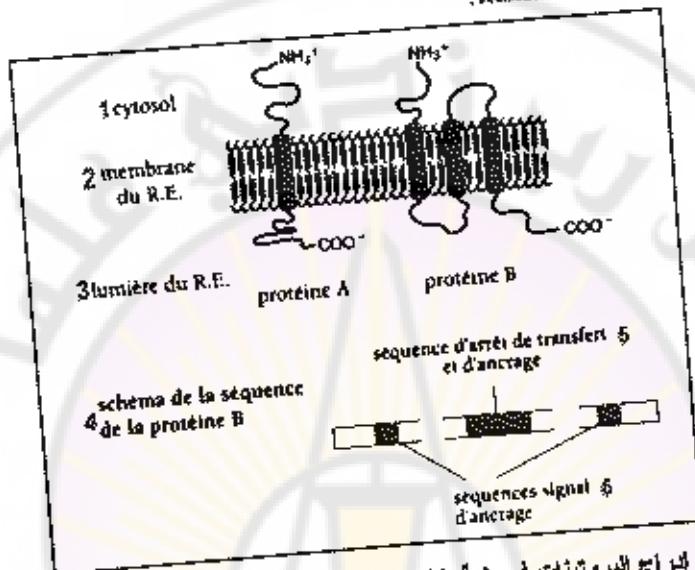


الشكل ١-٦: تفكيكها ونقل البروتينات المعدة للأفراز عبر الشبكة السيتوبرلاسمية الباطنة:
 ١: لمعة الشبكة السيتوبرلاسمية الباطنة، (٢) غشاء الشبكة السيتوبرلاسمية، (٣) السيتوبرلاسم، (٤) ريباسة،
 (٥) رنا رسول، (٦) جزيء للتعرف على الإشارة، (٧) تلك الريبياسة إلى تحت وحدتين.

- تبدأ سلسلة متعدد البيبيود بالانفراس في غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة المختنقة (شكل ١-٦c)، ثم تشكل مجموعة البروتينات التي تدخل في تركيب جزيء الارتباط قنادة تسلكها سلسلة متعدد البيبيود لكي تعبر إلى لعنة الشبكة (شكل ١-٦d). وفي هذه الأثناء ينفصل جزيء التعرف SRP عن مستقبله، ليعاد استخدامه من جديد.
- تبلغ سلسلة متعدد البيبيود وهي ما زالت في طور التشكيل لعنة الشبكة (شكل ١-٦e)، حيث تخضع إلى تغيرات تلي عملية ترجمتها قبل أن تنتقل باتجاه العضية الهدف. أهم هذه التغيرات التي يخضع لها البروتين داخل لعنة الشبكة ما يلي:
 - آ: قص التتابع الإشاراتي بوساطة أنزيم بيتيداز ومن ثم حلمته في الحال.
 - ب: ارتباط بروتين خاص يسمى Bip protein مع السلسلة التترامية (شكل ١-٦f). يتم الارتباط مع تتابع من الحموض الأبيمية الكارهة للماء، الموجودة في بداية السلسلة. وتدعى هذه البروتينات "البروتينات المرافقة". ثم ينفصل البروتين بعد ذلك عبر حلمته جزيء ATP. تعد هذه الظاهرة ضرورية لياخذ البروتين شكله الفراغي النهائي. فهي تمنع الانطواء غير الطبيعي للبروتين وهو في طور البناء أثناه وجوده في لعنة القناة، وتساعد في حدوث انطواء طبيعي.
 - ج: يتم إضافة سلاسل متعددة للسلسلة التترامية (شكل ١-٦g). ثم ينطوي البروتين ويتحذز بنيته الرابعة الوظيفية (شكل ١-٦h). وبعد أن ينتهي تركيب البروتين تنفصل تحت الوحدتين المشكلاتين للريبياسة في السيتوبلاسم حيث يمكن إعادة استعمالهما في بناء بروتين جديد.

يعتبر مصير البروتين المتشكل على وجهته النهائية هل سيشارك في تركيب أغشية الشبكة بحد ذاتها، أم سوف يفرز فيما بعد إلى عضيات أخرى. إن ما يحدد الوجهة النهائية لمتمدد البيبيود هو تتابع إشاراتي تحمله السلسلة. فسلسلة متعدد البيبيود التي تكون وجهتها المساعدة في بناء الغشاء البلايلي تتضمن بنتهتها مجالات (قطع) من الحموض الأبيمية لكل منها خصائص مميزة. فهي تملك قطعة (أو أكثر) كارهة للماء تخترق الغشاء، وهناك تتابع

إيقاف النقل "أو تتابع التثبيت"، يقع على مسافة بعيدة أو قريبة من تتابع الإشارة، ثبّت البروتين ضمن الغشاء في مستوى مجال الكارهة للماء (شكل ٢-٦). في حال تضمن البروتين أكثر من مجال كاره للماء، فهو يعبر الغشاء أكثر من مرة. ويوجد في مثل هذه الحالة عدة تتابعات لبده ونهاية النقل *translocation*.



الشكل ٢-٦: آلية إلزام البروتينات في بنية غشاء الشبكة السيتوبلازمية الباطنة:
A: ذو مجال واحد كاره للماء.
B: عدة مجالات كارهة للماء.
(١) السيتوبلازم، (٢) غشاء الشبكة، (٣) لمعة الشبكة، (٤) شكل تخطيطي للتتابعات البروتين B، (٥) تتبع إيقاف النقل، (٦) تتبعاً [إشارة للأذنين].

أما البروتينات المعدة للإفراز فلتقتد لهذه النقطة من التتابعات، وتتنقل مباشرة إلى لمعة الشبكة. حيث تخضع لسلسلة من التغيرات التي تلي الترجمة وأهمها:

- تشكيل جسور ثنائية الكبريت *disulfur*: وهذه الجسور تتشكل حسراً في الشبكة السيتوبلازمية الباطنة. وتعد مهمة في إعطاء البروتينين الشكل الفراغي ثلاثي الأبعاد.
- قطع في أماكن مخصصة.
- ارتباط مع عدة سلاسل أخرى من متعددات البيटيد لتشكيل بروتين مكتمل النمو.
- إضافة سكريات متعددة *glycosylation*.

والعملية الأخيرة تتم إما حمراً أو جزئياً ضمن الشبكة ويمكن أن تنتهي في جهاز غولجي، تغير السكريات المضافة إلى البروتينات الخواص الفيزيائية لهذه البروتينات (انحلالها، ثباتها، ساحتها ..). كما تفيد كإشارات تعرف، فتقسم في وصول البروتينات إلى هدفها، وفي التعرف على بروتينات خلوية أخرى.

على بروتينات خلوية أخرى. وهناك الطريق الشائع للبروتينات المعدة للإفراز عبر الشبكة هو إلى جهاز غولجي، وهناك يمكن أن تفرز إلى خارج الخلية، أو تمرر إلى عضيات خلوية أخرى داخل الخلية كال أجسام الادخارية أو الجسيمات الحالة. لا تتم عملية نقل البروتينات من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة إلى جهاز غولجي إلا إذا توافرت شروط "نوعية أو وصفية" محددة. فإذا كان انطواء بروتين غير سليم فإنه لا يقاد صهاريج الشبكة. وقد أظهرت التجارب أن البروتين Bip الذي يساعد في الانطواء السليم للبروتين يبقى مرتبطة إلى سلسلة متعدد البيتايد في حال الانطواء غير الطبيعي وتحتجز سلسلة متعدد البيتايد في الشبكة أو تحلمه.

٢: اصطناع الدسم: من الوظائف الرئيسية للشبكة السيتوبلاسمية المساء اصطناع الليبيدات وخاصة الفوسفوليبيدات التي تهدى المركب الرئيس في بنية الأغشية البلاسمية. ولهذا تكون الشبكة السيتوبلاسمية المساء واسعة الانتشار في الخلايا التي تفرز الليبيدات بأنواعها المختلفة.

٣: نزع السمية detoxification: يسمى كلا نوعي الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة في تزيل السموم. وهي عملية يتم من خلالها التخلص من المواد السامة في المتعضية.

نشوء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:

تنتمي الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة بالقدرة على التجدد الذاتي وتركيب أغذية جديدة. يتم تركيب البروتينات والفوسفوليبيدات اللازمة لذلك على سطح الورقة المواجهة للسيتوبلاسم من غشاء الشبكة المساء، ثم يتم إدراجها في الورقة الداخلية من غشاء الشبكة بمساعدة بروتينات مصاحبة.

كما تسهم الشبكة في تكون أغشية العضيات الأخرى، ويتم ذلك بوساطة حويصلات تتبعد انتلاقاً من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة، ثم تتجدد مع أغشية العضية الهدف.

جهاز غولجي Golgi Apparatus

اكتشف جهاز غولجي في عام 1898 من قبل Camillo Golgi عندما كان يفحص خلايا عصبية بعد تشريبها بأملاح الفضة. ثم تبين وجوده في جميع خلايا حقيقيات النوى. وقد ظهرت بنائه الدقيق بالسجّه الإلكتروني في الخلايا النباتية، حيث بدا ملفاً من كومات منفصلة من الأكياس الغشائية تدعى الجسيمات الشبكية أو "ديكتيوزومات" Dictyosomes سحاطة بحويصلات محاطة. يتباين حجم جهاز غولجي من نسخة خلوي لآخر، وهو كبير الحجم في الخلايا ذات النشاط الإفرازي. كما يتغير حجمه في الخلية ذاتها وفق نشاطها الإفرازي.

يتتألف كل ديكتيوزوم من ٤ إلى ٨ كيبيسات أو صهاريج، وقد تبلغ ٣٠ كيبيساً أو أكثر من ذلك، منسدة بعضها فوق بعض، وتقع غالباً بالقرب من النواة. وهي تبني بنية قطبية شكلية ووظيفية واضحة، وقد تم فيه تمييز قطبين رئيسيين لكل منها تخصص وظيفي. فالطرف الخارجي محدب ويدعى السطح cis وفيه لتشكل صهاريج جديدة من اندماج حويصلات مشتقة من براعم الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة المتساء، في حين أن الطرف الآخر "الداخلي" يكون مقعرًا ويدعى السطح trans، تتحطم فيه الصهاريج إلى حويصلات مرة أخرى، يبلغ قطر كل منها من ٤٠ إلى ٨٠ نانومتراً (شكل ٦-٣).

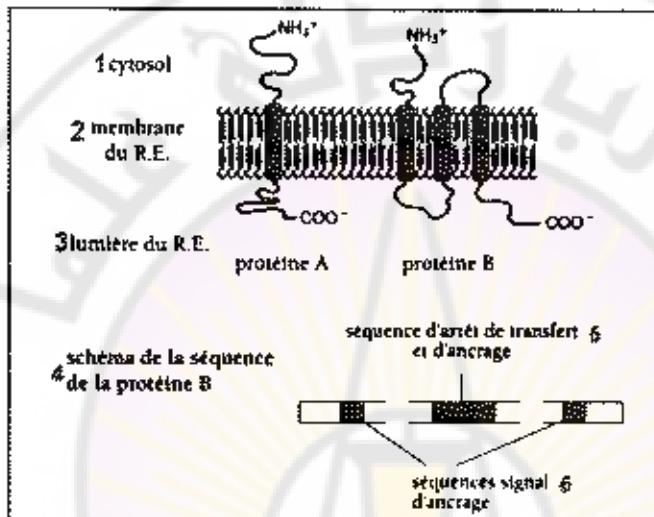
بعد كل صهاريج وحدة بنوية ووظيفية ذات بنية مسطحة، دائرية قطرها يتراوح من ٥٠ إلى ١ ميكرومترًا. يفصل بين الصهاريج فراغ خال من الريبيات يبلغ نحو ١٥-٢٠ نانومتر.

وظائف جهاز غولجي:

١: نقل البروتينات من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة إلى العضيات الخلوية: تنقل



يُقَافِ النَّقل "أو تتابع التثبيت"، يقع على مسافة بعيدة أو قريبة من تتابع الإشارة، تثبت البروتين حضن الفشار في مستوى مجاله الكاره للماء (شكل ٢-٦). في حال تضمن البروتين أكثر من مجال كاره للماء، فهو يغير الفشار أكثر من مرة. ويوجد في مثل هذه الحالة عدة تتابعات لبده، ونهاية النقل translocation.



الشكل ٢-٦: آلية إدراج البروتينات في بنية خشام الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:

- A: ذو مجال واحد كاره للماء.
- B: ذو مجالات كارهة للماء.
- (١) السيتوبلاسم، (٢) خشام الشبكة، (٣) لمعة الشبكة، (٤) مكمل تحطيطي للتتابعات البروتين، (٥) تتابع يُقَافِ النَّقل، (٦) تلقيماً إشارياً للانفراس.

أما البروتينات المعدة للإفراز فتقتنص لهذا النمط من التتابعات. وتنتقل مباشرة إلى لمعة الشبكة. حيث تخضع لسلسلة من التغيرات التي تلي الترجمة وأهمها:

- تشكيل جسور ثنائية الكبريت disulfur: وهذه الجسور تتشكل حصرياً في الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. وتعد مهمة في إعطاء البروتين الشكل الفراشي ثلاثي الأبعاد.
- قطع في أماكن مخصصة.
- ارتباط مع عدة سلاسل أخرى من متعددات الببتيد لتشكيل بروتين مكتمل النمو.
- إضافة سكريات متعددة glycosylation.

والعملية الأخيرة تتم إما حسراً أو جزئياً ضمن الشبكة ويمكن أن تنتهي في جهاز غولجي. تغير السكريات المضافة إلى البروتينات الخواص الفينيائية لهذه البروتينات (انحلالها، ثباتها، شحذتها ...). كما تفيد إشارات لعرف، فتشتم في وصول البروتينات إلى هدفها، وفي التعرف على بروتينات خلوية أخرى.

الطريق الشائع للبروتينات المعدة للإفراز عبر الشبكة هو إلى جهاز غولجي. وهناك يمكن أن تقرز إلى خارج الخلية، أو تمرر إلى خلويات أخرى داخل الخلية كال أجسام الأدخانية أو الجسيمات الحالة. لا تتم عملية نقل البروتينات من الشبكة السيتوبلازمية الباطنة إلى جهاز غولجي إلا إذا توافرت شروط "نوعية أو وصفية" محددة. فإذا كان انتقام البروتين غير سليم فإنه لا يغادر صهاريج الشبكة. وقد أظهرت التجارب أن البروتين Bip الذي يساعد في الانتقام السليم للبروتين يبقى مرتبطاً إلى سلسلة متعددة البيتايد في حال الانتقام غير الطبيعي وتحلجز سلسلة متعددة البيتايد في الشبكة أو تحلمه.

٢: اصطناع الدسم: من الوظائف الرئيسية للشبكة السيتوبلازمية المنساء اصطناع الليبيادات وخاصة الفوسفوليبييدات التي تعد المركب الرئيس في بنية الأغشية البلاسمية. ولهذا تكون الشبكة السيتوبلازمية المنساء واسعة الانتشار في الخلايا التي تفرز الليبيادات بأنواعها المختلفة.

٣: نزع السموم detoxification: يسمم كل نوعي الشبكة السيتوبلازمية الباطنة في نزع السموم. وهي عملية يتم من خلالها التخلص من المواد السامة في المتعضية.

نشوء الشبكة السيتوبلازمية الباطنة:

تتمتع الشبكة السيتوبلازمية الباطنة بالقدرة على التجدد الذاتي وتركيب أغشية جديدة. يتم تركيب البروتينات والفوسفوليبييدات الازمة لذلك على سطح الورقة الواجهة للسيتوبلازم من غشاء الشبكة المنساء، ثم يتم إدراجها في الورقة الداخلية من غشاء الشبكة بمساعدة بروتينات مصاحبة.

كما تسهم الشبكة في تكون أغشية العضيات الأخرى، ويتم ذلك بوساطة حويصلات تثير عم انطلاقاً من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة، ثم تتحد مع أغشية العضية الهدف.

جهاز غولجي Golgi Apparatus

اكتشف جهاز غولجي في عام ١٨٩٨ من قبل Camillo Golgi عندما كان يفحص خلايا عصبية بعد تشريبها بأملاح الفضة. ثم تبين وجوده في جميع خلايا حقيقيات النوى. وقد ظهرت بنية الدقيقة بالمجهر الإلكتروني في الخلايا النباتية، حيث بدا مؤلفاً من كومات متصلة من الأكياس الفضائية تدعى الجسيمات الشبكية أو "ديكتيوزومات" Dictyosomes محاطة بحويصلات محيطية. يتباين حجم جهاز غولجي من نسيج حلوي لآخر، وهو كبير الحجم في الخلايا ذات النشاط الإفرازي. كما يتغير حجمه في الخلية ذاتها وفق نشاطها الإفرازي.

يتالف كل ديكتيوزوم من ٤ إلى ٨ كيبيسات أو صهاريج، وقد تبلغ ٣٠ كيبيساً أو أكثر من ذلك، منضدة ببعضها فوق بعض، وتقع غالباً بالقرب من النواة. وهي تبني بنية قطبية شكلية ووظيفية واضحة. وقد تم فيه التمييزقطبين رئيسين لكل منها تخصص وظيفي. فالطرف الخارجي محدب ويدعى السطح cis وفيه تتشكل صهاريج جديدة من اندماج حويصلات مشتقة من براعم الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة اللسان، في حين أن الطرف الآخر "الداخلي" يكون مقعرًا ويدعى السطح trans، تتحطم فيه الصهاريج إلى حويصلات مرة أخرى، يبلغ قطر كل منها من ٤٠ إلى ٨٠ نانومتراً (شكل ٦-٣).

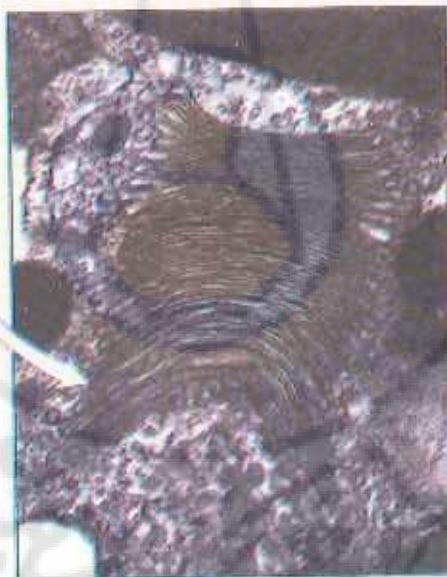
يعد كل صهاريج وحدة بنوية ووظيفية ذات بنية مسطحة، دائرية قطرها يتراوح من ١٠،٥ إلى ١١ ميكرومترًا. يفصل بين الصهاريج فراغ خال من الريبيسات يبلغ نحو ١٥-١٠ نانومتر.

وظائف جهاز غولجي:

١: نقل البروتينات من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة إلى العضيات الخلوية: تنقل

الغليكوبروتينات من الشبكة السيتوبلasmية الباطنة باتجاه جهاز غولجي عبر حويصلات تنتج عن تبرعم غشاء الشبكة. يُعطي الغشاء الخارجي لهذه الحويصلات بجزئيات بروتينية نوعية تشكل معطفاً يحيط بالحويصلة.

تحضُّن سلاسل السكريات لجزئيات الغليكوبروتينات ضمن صهاريج جهاز غولجي إلى تغييرات عديدة تتضمن نزع بعض السكاركر وإضافة أخرى، عبر عملية عالية التنظيم. ثم تفرز الغليكوبروتينات المعدلة وفق محتواها إلى عدد من الحويصلات تتبرعم من صهاريج جهاز غولجي المؤلفة للقطب المفرز (القطب ترانس)، وتكون محاطة أيضاً بمعطف بروتيني يختلف تركيبه وفق محتوى الحويصلة، ويساعد في التوجيه الصحيح لهذه الحويصلات إما باتجاه الغشاء البلازمي أو الجسيمات الحالة أو تشكيل حويصلات إفراز (شكل ٤-٦).



الشكل ٤-٦: جهاز غولجي في إحدى خلايا الطحالب

٢: إفراز السكريات: يساهم جهاز غولجي في إفراز السكريات أيضاً، مثل ذلك اصطناع جدران خلوية جديدة في النباتات. حيث تتجه حويصلات غولجي إلى منتصف الخلية في

مكان الصفيحة المتوسطة، بتوجيه التبيبات الدقيقة، وتندمج بعضها مع بعض وتصبح أغماثها الأغشية الخلوية السطحية للخلايا البنات المشكّلة، في حين تسمم محتوياتها في تشكيل الصفيحة المتوسطة والجدران الخلوية الجديدة.

يفرز جهاز غولجي في خلايا قشرة الجذور النباتية سكريات مخاطية تساعد في إنزال قمة الجذر عندما تخترق التربة.

الجسيمات الحالة Lysosomes

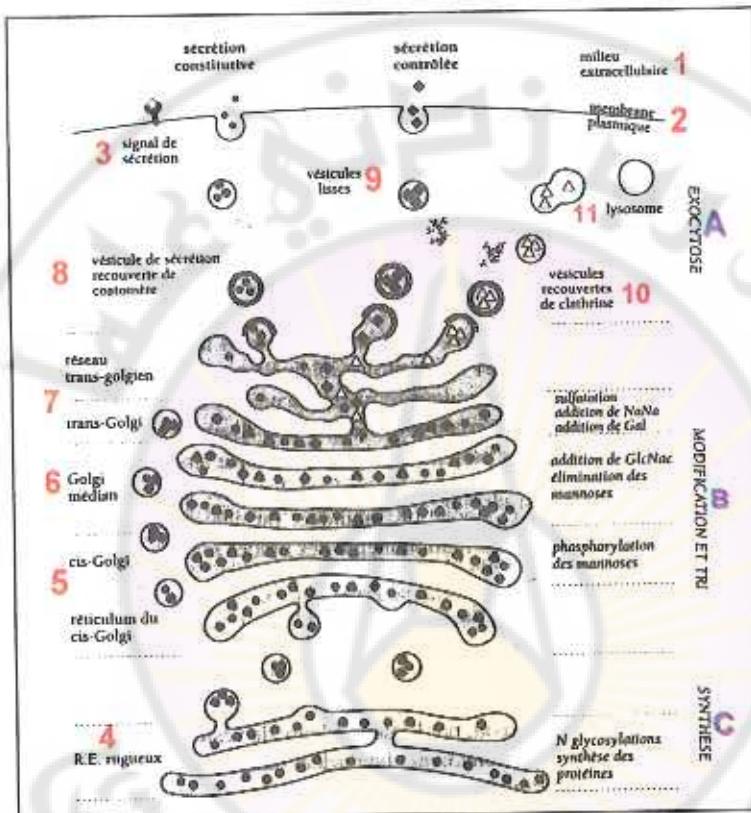
توجد الجسيمات الحالة في معظم الخلايا حقيقة النوى، وخاصة في الخلايا العصبية التي تبدي فعالية بالغة. وهي العضية الخلوية الوحيدة التي كشف وجودها بوساطة الطرائق البيوكيميائية وذلك منذ عام ١٩٤٩. وقد اعتبرت عضية حيوصلة تتكون من أنزيمات محلمية، ولم تلاحظ بال المجهر الإلكتروني إلا بعد نحو عشر سنوات، حيث ظهرت كمحوصلات محاطة بغشاء مفرد، وبحجم شديد التباين لأن قطرها يتراوح ما بين ٠٠٥ و ٠٥ ميكرون.

وظيفة الجسيمات الحالة هي تفكك مجموع الجزيئات الكبيرة التي تنتجه عن الاستقلاب الخلوي كاللبييدات، البروتينات، الحموض النووي أو السكريات المتعددة، وذلك بفضل احتواها أنزيمات محلمية مثل البروتيلاز والنكتيلاز والليپاز والفوسفاتاز الحامضية. ناتج عملية الحامضية من حموض دسمة، وحموض أمينية، ونكتيليزات وسكاكر بسيطة تنتقل إلى السيتوبلازم بتدخل أنزيمات بيرمياز permeases خاصة حيث يعاد استعمالها في عمليات الاستقلاب الخلوية. إن محتويات الجسيمات الحالة حامضية ($\text{pH}=5$) وذلك بفضل وجود مضخة ATPase في غشاء المحوصلة تحافظ على مستوى عال من البروتونات في لعنة الحيوصلة. ويجب أن تبقى الأنزيمات معزولة عن باقي الخلية ولا فإنها تدمّرها.

يمكن تشخيص وظائف الجسيمات الحالة بما يلي (شكل ٦):

١: هضم المواد في الالتفاف الخلوي Endocytosis : تتضمن عملية الالتفاف الخلوي انتقال المواد خلال الأغشية إلى داخل الخلية، وتنتمي بانطواء الغشاء الخلوي السطحي لتشكيل

حويصل. تندمج الجسيمات الحالة الأولى بهذه الحويصلات أو الفجوات لتشكل جسيمات حالة ثانوية تهضم المواد المنشطة بواسطة الالتقام الخلوي.



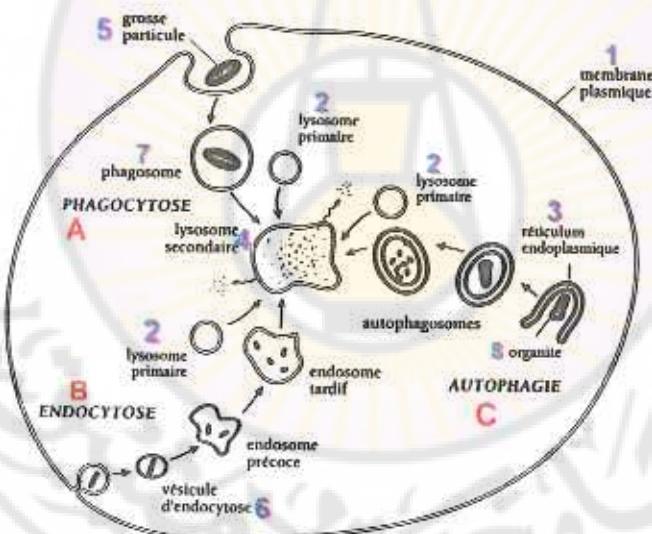
الشكل ٤٤: رسم تخطيطي لمسیر البروتئينات المعدة للإفراز خلال جهاز غولجي:
 (١) الوسط الخارجي، (٢) القشاء للبلاسمى، (٣) بروتين إشاره، (٤) الشبكة السيتوبلاسمية الخشنة، (٥) شبكة غولجي المؤلفة للقطب المولد (cis)، (٦) الحويصلات الوسيطة، (٧) حويصلات الشبكة ترانس (القطب المفرز)، (٨) و (٩) و (١٠) حويصلات مفرزة مؤلفة بمحفظ بروتيني مختلف الوجهة، (١١) الجسيمات الحالة.

٢: البلعمة الذاتية Autophagy : وهي عملية تزال بواسطتها البنى غير المرغوبة في الخلية. تُحاط البنى غير المرغوبة أولاً بغشاء مفرد يشق عادة من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة للمساء، ثم تندمج هذه البنية بالجسم الحال الأولي لتشكل جسيماً حالاً ثانوياً. يشكل ذلك جزءاً من دورة حياة العضيات الخلوية حيث تستبدل المعمرة منها بأخرى جديدة. تصبح هذه

العملية أكثر تواتراً في الخلايا التي يتم فيها إعادة التنظيم أثناء عملية التمايز differentiation

٣: التحلل الذاتي Autolysis : وهو التدمير الذاتي للخلية بوساطة تحرر محتويات الجسيمات الحالة في الخلية. تدعى الجسيمات الحالة في مثل هذه الظروف "الأكياس الانتحارية". يعد التحلل الذاتي حادثة طبيعية في بعض عمليات التمايز، وقد يحدث لنسيج بكامله، أو يحدث بعد موت الخلايا كما يحدث في بعض الأحيان نتيجة بعض الأمراض أو بعد تلف الخلية.

٤: الالتقاط Exocytosis (تحرر الأنزيمات خارج الخلية) : وفيها يتم تحرر الأنزيمات المتضمنة في الجسيمات الحالة خارج الخلية.



الشكل ٦٠٥: طرائق التحلل في الجسيمات الحالة:

A: البلعمة، B: الالتقاط الخلوي، C: الشبكة الذاتية
 (١) الغشاء البلاسمي، (٢) جسيم حلولي، (٣) شبكة بلاسمية باطنية، (٤) جسيم حل ثانوي، (٥) جزيء ضخم، (٦) حويصلة بلعمة، (٧) جسيم بلعمة، (٨) عضية خلوية.

قد تقوم الفجوات الكبيرة المركزية بدور الجسيمات الحالة في الخلايا النباتية رغم

مشاهدة أجسام مشابهة لجسيمات الخلايا الحيوانية الحالة في السيتوبلازم في بعض الأحيان وخاصة في الخلايا الأخذة بالموت.

تصنع الأنزيمات الموجودة ضمن الجسيمات الحالة كما سبق وأشارنا في الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنّة وتنتقل بوساطة جهاز غولجي. للتبرعم بعد ذلك حويصلات غولجي الحاوية الأنزيمات المعالجة وتدفعي الجسيمات الحالة الأولية.

البيروكسيزومات **Peroxisomes**

جسيمات خلوية صغيرة حويصلية شائعة في حقيقيات النوى، كروية الشكل لا يتجاوز قطرها 0.25 ميكرون، تحاط بعشراء مفرد. محتوياتها حببية دقيقة ذات نب بلوري مميز في بعض الأحيان وهو بروتين ميلور (أنزيم) وتشمل من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة التي تبقى غالباً متراقة معها ترافقاً وثيقاً.

تميز البيروكسيزومات باحتوائها أنزيمات البيروكسيداز (اسمها الشائع هو الكتلاز catalase) الذي يُحرز تلك بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء وأكسجين (الذلك سميت بـبيروكسيزومات). وبيروكسيد الهيدروجين ناتج جانبي لبعض تفاعلات الأكسدة الخلوية وهو سام جداً للخلية أيضاً وتجب إزالته فوراً. والكتلاز أكثر الأنزيمات المعروفة بسرعة عملها التحفيزي.

جميع الأنزيمات المتضمنة في البيروكسيزومات ترتكب على الريبياسات الحرة الموجودة في السيتوبلازم، ثم يتم انتقالها من قبل العضيات التي سوف تختربها. وهذه العضيات تملك في أغشيتها مستقبلات قادرة على التعرف على تتبع عنونة خاص لتلك البروتينات. البيروكسيزومات النباتية يُعرف عنها تفاصيل أكبر من تلك الموجودة في الخلايا الحيوانية. يمكن تقسيم البيروكسيزومات النباتية إلى ثلاثة أنماط هي :

١ : الغليوكسيزومات Glyoxysomes وسميت كذلك لأنها معنمية باستقلاب مركب يدعى غليوكسيلات وهو يرتبط بعملية تحويل المواد الدسمة إلى سكروز في البذور الزيتية مثل سوداء

بذور نبات الخروع.

٢: بيروكسيزومات الأوراق وهي مهمة في عملية التنفس الضوئي حيث تكون متراقة ترافقاً وثيقاً مع الصالعات اليخصوصية والخنيدرات. وتلاحظ هذه العضيات الثلاث غالباً متقاربة جداً ومتجلورة. ينبع بيروكسيد الهيدروجين أثناء مسار التنفس الضوئي photorespiration (شكل ١-٦).

٣: بيروكسيزومات غير متخصصة وهو نمط ثالث يوجد في نسج أخرى.



الشكل ١-٦: صورة بالمجهر الإلكتروني لجزء من خلية نباتية: فصيلة الخضراء Chl، الخنيدرات mlt، والبيروكسيزومات PC موجودة كروياً بعضها من بعض في الخلية النباتية.

الجسيمات الكروية Spherosomes

الجسيمات الكروية عضيات كروية صغيرة، قطرها من ٥ إلى ١٠ ميكرون، ذات طبيعة ليبوبروتينية. تتشكل انتباراً من الانتفاخات النهائية لأنابيب الشبكة البلاسمية الباطنة الفنية بالأذرعيات الفرعية في عملية اصطناع الليبيدات. يترافق تطور الجسيمات الكروية في الخلية

بظهور قطرات الدسم فيها. لا تملك الجسيمات الكروية أغشية بل اسمية محددة نموذجية، ومن الصعب تمييزها عن قطرة الدسم حسب رأي بعض المؤلفين.

الخنيدرات Mitochondria

اكتشفت الخنيدرات منذ نهاية القرن التاسع عشر، فابعادها تسمح برؤيتها بالمجهر الضوئي. وهي توجد في خلايا حقيقيات النوى بأعداد كبيرة، وتحتل مساحة مهمة من حجمها. تبدي هذه العضيات تعددًا شكلياً، وتأخذ غالباً شكلاً اسطوانيًا متراوحاً (خيطياً). تراوح ابعادها من ۱ إلى ۱۰ ميكرونات طولاً ومن ۰,۵ إلى ۱ ميكرون عرضاً. يمكن لبنيتها أن تتغير سواً من حيث الشكل أو الحجم أو بنية وعدد الأغراض، أو طبيعة وتركيب القالب. كما يمكن للخنيدرات أن تجتمع في أشكال متفرعة، أو تلتزم في جسم خنيدري واحد ثم تتجزأ إلى عضيات عديدة.

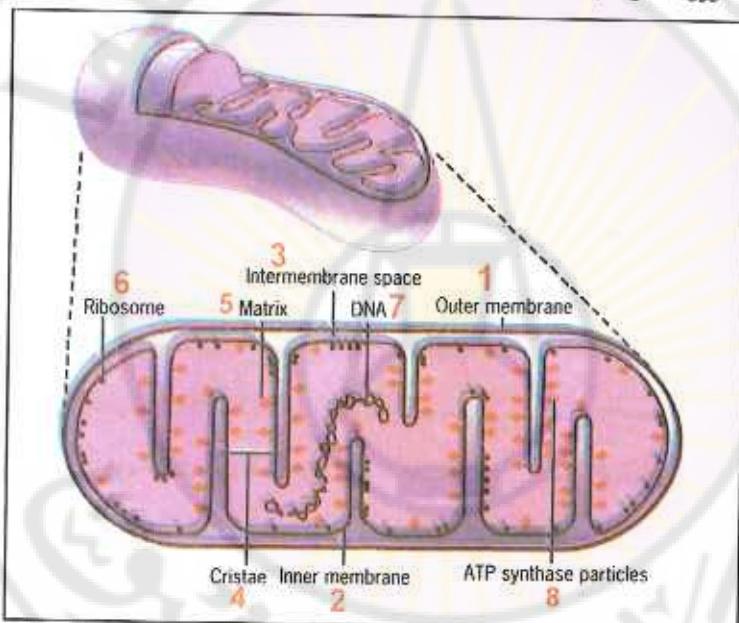
تتوسط الخنيدرات في الخلية في مناطق عالية التطلب من الطاقة، ويقود حركتها التغييرات الدقيقة. ونظراً لاملاك الخلية النباتية صانعات حضرة، فإن عدد الخنيدرات فيها أقل مما هو موجود لدى الخلايا الحيوانية، كذلك تكون أغراضها أقل تطوراً. تنشط الخنيدرات في أنسجة الاصطناع الضوئي في الخلية النباتية في فلزات الطعام. وهي المضية الوحيدة المنتجة للطاقة في الأنسجة الاليفية.

بنية الخنيدرات:

يمكن دراسة البنية الدقيقة للخنیدرة من خلال المجهر الالكتروني، حيث تبدو محااطة بعشائين (غلاف) يحجزان بينهما فراغاً عرضه من ۶ إلى ۱۰ نانومترات. ويحيطان بهما زنادوها القالب (شكل ۷-۶).

يتالف الغشاء الخارجي كيميائياً من ۶۰٪ بروتينات و ۴۰٪ (أو حتى ۵۰٪) لبيبيات. ويفصل محتويات الخنیدرة عن العصارة الخلوية Cytosol. تشكل بعض البروتينات (التي

ندعوها بورينات (porins) قنوات مائية، لا اصطفائة. تخترق الطبقة الليبيدية المضاعفة للغشاء الخارجي وتجعله نفوذاً لكل جزيء أصغر من $500\text{ }\mu\text{m}$. يتضمن الغشاء الخارجي مستقبلات وبروتينات خاصة تسمح بالتعرف وباستيراد البروتينات الميتوكوندриة التي يرمز لها الجينوم النووي ويتم تركيبها في السيتوبلاسم. كما نجد في الغشاء الخارجي أنزيمات متنوعة، يختلف تركيب الغشاء الداخلي تماماً عن الغشاء الخارجي، ويتميز بشكل خاص الخنیدرة (٢٠٪ بروتينات و٨٠٪ ليبيدات). وهو مركز نقل الالكترونات وضخ البروتونات والماكينة الضرورية لتركيب الـATP.



الشكل ٧-٦: شكل تخفيطي لبنية الخنیدرات:
 (١) للغشاء الخارجي، (٢) الغشاء الداخلي، (٣) الفراغ بين الغشاءين، (٤) الأعراض، (٥) القلب، (٦)
 ريبosome، (٧) دنا، (٨) جزيئات تركيب الـATP.

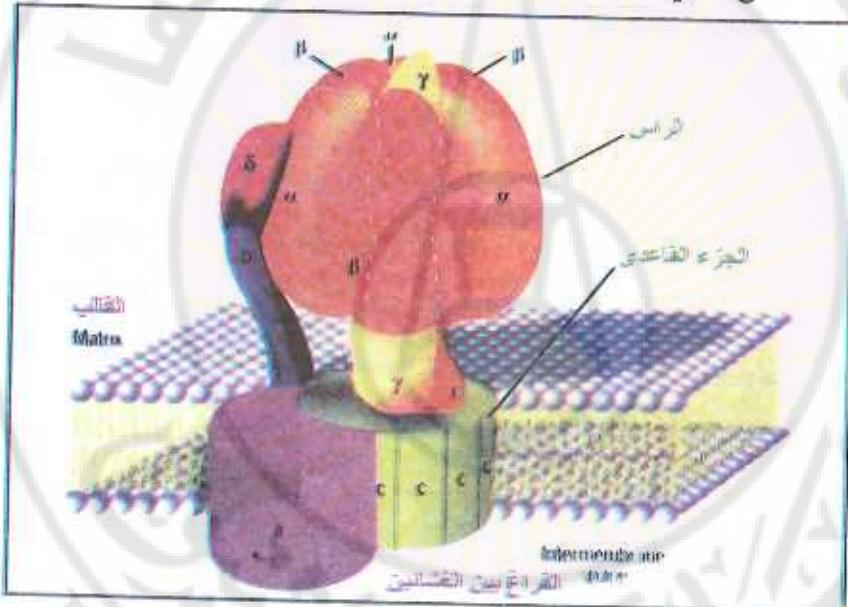
اللبييدات المشاركة في تركيبه تشبه من حيث طبيعتها تلك المصادفة لدى البكتيريا (cardiolipides). أما البروتينات فهي متنوعة ويزيد عددها على ١٠٠ جزيء مختلف، وهي في معظمها كارهة للماء. أهم هذه البروتينات:

- البروتينات التي تسمح بدخول بروتينات أخرى مشفرة من قبل الجينوم النووي.
- أنزيمات البريرمياز التي تنقل الأيونات، والـ ATP وجزئيات استقلالية أخرى ناتجة في العصارة الخلوية. هذه الأنزيمات ضرورية لنفود هذه المواد لأن الغشاء الداخلي غير نفود للإيونات والجزئيات الأخرى.
- الأنزيم ATP synthase (ATPase) المنترس في الغشاء الداخلي عبر سويفة. وهو معقد بروتيري يشارك في تكوينه العديد من الجزيئات البروتينية، وظيفته تركيب الـ ATP في القالب.
- السيتوكروم P450 الذي يسهم في نقل الألكترونات أثناء أكسدة المواد الغذائية.
- من البروتينات المهمة في الغشاء الداخلي أنزيمات تسهم في تكديس وتحرير (اطلاق) شوارد الكالسيوم، التي تؤدي دوراً مهماً في فدح (إثارة) النشاطات الخلوية. وقد أظهرت الدراسات الحديثة دوراً مهماً في تنظيم شوارد الكالسيوم في العصارة الخلوية. يزداد سطح الغشاء سعة بشكل كبير بفضل انطواءات عديدة نحو الداخل تشكل أغراضاً، يتباين حجمها وعددتها من فسيج خلوي لأخر، وحسب الحاجة للطاقة.

يتتألف أنزيم ATP synthase من جزئين متذبذبين (شكل ٨-٦): الجزء الأول F₁ يشكل الرأس ويبرز في القالب ويتضمن المركز الواسطي للأنزيم، وجزء قاعدي F₀ منترس ضمن الطبقة الليبيجدية المضاعفة للغشاء الداخلي ويتضمن قناة من خلالها يتم مرور البروتينات من الفراغ بين الغشاءين إلى القالب.

- يحيط الغشاء الداخلي بقالب matrix له قوام شبيه بالهلام، ويعد ذلك لتضمنه تراكيز عالية من البروتينات المنحلة في الماء. يتضمن القالب:
- عدداً كبيراً من الأنزيمات المسؤولة عن أكسدة المحمول الدسم، وفرز CO₂ من حمض البروفيك وأنزيمات حلقة كربوس.
 - عدداً من جزيئات الدنا الحلقة mtDNA، التي لا يمكن إظهارها بالمجهر الألكتروني إلا باستعمال تقنيات تلوين خاصة.

- جزيئات من الرنا (الناقل والرسول والريبيوزومي).
- ريباسات خاصة أصغر حجماً من تلك الموجودة في السيتوبلاسم، قريبة في بيتها من ريباسات بدائيات النوى.
- كما يلاحظ أيهاً حبيبات ولوحة بالاؤسميوم تتضمن كاتيونات cations.
- لدى بعض النباتات مثل الورة أو زهر الشمس الحولي أمكن الكشف عن بلاسميدين خيطيين S1 و S2 ضمن الخنیدرة، وجودها مرتبط مع حصول عقم ذاتي، إذ يكون حب الطبع غير وظيفي. تهم هذه الميزة كثيراً مربى النباتات، لأنها تمنع حصول الإلقاء الذاتي.



الشكل ٨-٦: شكل تخفيطي لازيم ATP synthase في البكتيريا: يتكون الأزيم من جزئين أساسيين:

رأس F1 يتكون من ٨ وحدات تعود لخمس جزيئات مختلفة: ١ ϵ , ١ δ , ٣ β , ٣ α , ١ a , ٢ b , ١٢ c قاعدة F0 تتكون من ٣ وحدات مختلفة: ١ a , ٢ b , ١٢ c

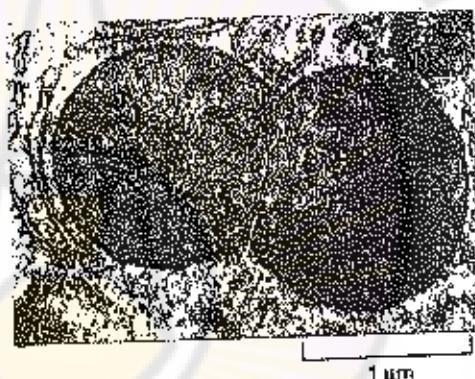
الوظيفة الأساسية للخنیدرة هي تزويد الخلية بالطاقة اللازمة لأداء وظائفها، وذلك لأنها المقر للمراحل الابتدائية للأكسدة التي يتم فيها تحرير الطاقة القسم الأكبر من الطاقة

الختزنة في الفدا، واحترازها على في جزيئات ATP تستعمل من قبل الخلية لاحقاً. يتم في الخنيدرات تركيب بعض البروتينات. وبعض الليبيادات التي تشارك في تركيب الغشاء الداخلي للخنیدرة. كما يتم في الخنيدرات تخزين بعض المواد (بروتينات، ليبيادات، معادن: (Ag, Fe, Ca).

تطور الخنيدرات:

تنشأ الخنيدرات دائماً عن انقسام خنيدرات سابقة لها. يعطي الانقسام خنيدرات صغيرة في الحجم، تخضع لاحقاً لنمو حتى تبلغ الحجم المعتاد (شكل ٩-٦). إن ولادة الخنيدرات هو ناتج تناسق تركيبي يقوده كل من الجينوم النووي وجينوم الخنیدرة.

الشكل ٩-٦: خنیدرة في طور الانقسام



يبلغ طول الجينوم الخنیدري لدى النباتات العليا من ١٥٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠ شفع نكليوتيدي (٧٨٠٠ شفع نكليوتيدي لدى الخميرة ويبلغ نحو ١٦٥٠ زوج نكليوتيدي لدى الفقاريات فقط)، وهو يتضمن نسبة كبيرة من الــtRNAs وتتابعات غير المشفرة، ويوجد من ٥٠ إلى ٣٠٠ نسخة من هذا الجينوم في كل عضية خنیدرية. ويرتبط دنا الخنیدرة إلى بروتينات في بنية تشبه بنية عقد المؤلئ.

يتضمن دنا الخنیدرة مورثات: RNA و tRNA وتتابعات تشفّر إلى ما يلي:

- تحت وحدتين من العقد الأنزيمي ATPase -

- السيتوکروم C -

- أوكسیداز والسيتوکروم b

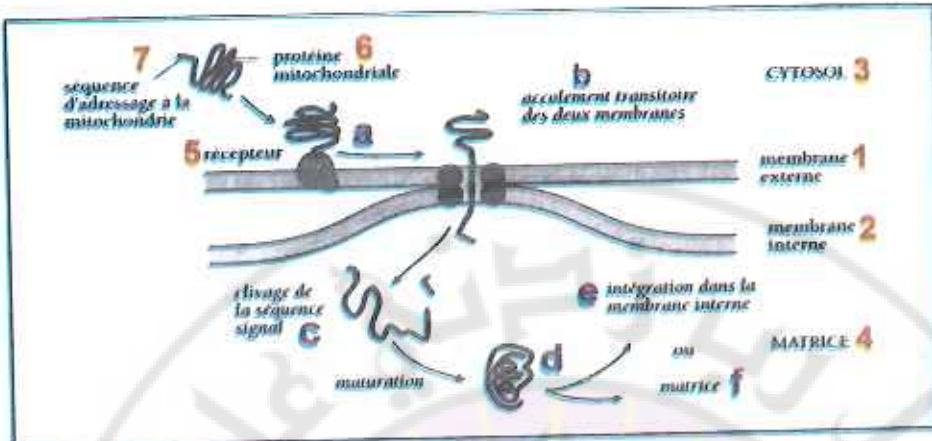
- تحت الوحدات التي تشكل NADH ديهيدروجيناز

وجميعها تشكل جزءاً من السلسلة التنفسية أو ATPase وتنتمي إلى الغشاء الداخلي. أما ما تبقى من الأنسيلات أو البروتينات الموجودة في الخنیدرة فينتمي لـ الجينوم النووي. وبعض مورثات الخنیدرة لدى الخمیرة أو النباتات العليا تتضمن انترونات، وبالتالي فإن الرنا الرسول المنسوخ عن هذه المورثات يجب أن يخضع لعملية نسخ قبل ترجمته.

إن ما يقارب من ٥٪ إلى ١٠٪ من البروتينات المتشتملة في الخنیدرة ترکب في قالب الخنیدرة ويرمز لها جينوم الخنیدرة. والنسبة العظمى منها تستورد عبر غلاف الخنیدرة ولكنها تكون بشكل غير منطوق، ويعود ذلك إلى وجود بروتينات مرافقة ترتبط إلى الجزيء البروتيني خلال نظمه. تحمل هذه الجزيئات البروتينية تتابع عنونه يترعرف عليه مستقبل بروتيني موجود على الغشاء الخارجي للخنیدرة ويشتبه بها (شكل ١٠-٦). ثم ينتقل الجزيء البروتيني عبر قنطرة لختراق غشاء الخنیدرة تتشكل وقتياً عند ارتباط الجزيء بمستقبله. التتابع الإشاراتي يتم قصه واستبعاده ومن ثم يتم انطواء البروتين بمساعدة بروتينات مرافقة موجودة في قالب الخنیدرة.

يعتقد البعض أن الخنیدرات هي متضيئات مستقلة من بذائحيات النوى prokaryota واستطاعت أن تصل إلى خلية تستقيها وتعيش معها في علاقة متبادلة فقدمت لها إمكانية تصنيع الـ ATP. هناك العديد من المشاهدات التي تؤيد هذه النظرية:

- ١: امتلاك الخنیدرات دنا ذاتياً، يشبه ذلك الموجود لدى الجراثيم الموجودة حالياً.
 - ٢: رياضات الخنیدرات تساوي في حجمها رياضات الجراثيم.
 - ٣: آليات اصطناع البروتينات في الخنیدرات والجراثيم مشابهة من حيث حساسيتها لصادات حيوية معينة لا تؤثر بالشكل ذاته في تركيب البروتين الحاصل في السيتوپلاسم.
- المخطط التالي (شكل ١١-٦) يصور الخطوات المحتملة لتطور خلايا حقيقيات النوى ابتداء من خلايا بذائحيات النوى عبر التعامل الداخلي الذي حصل بينهم.



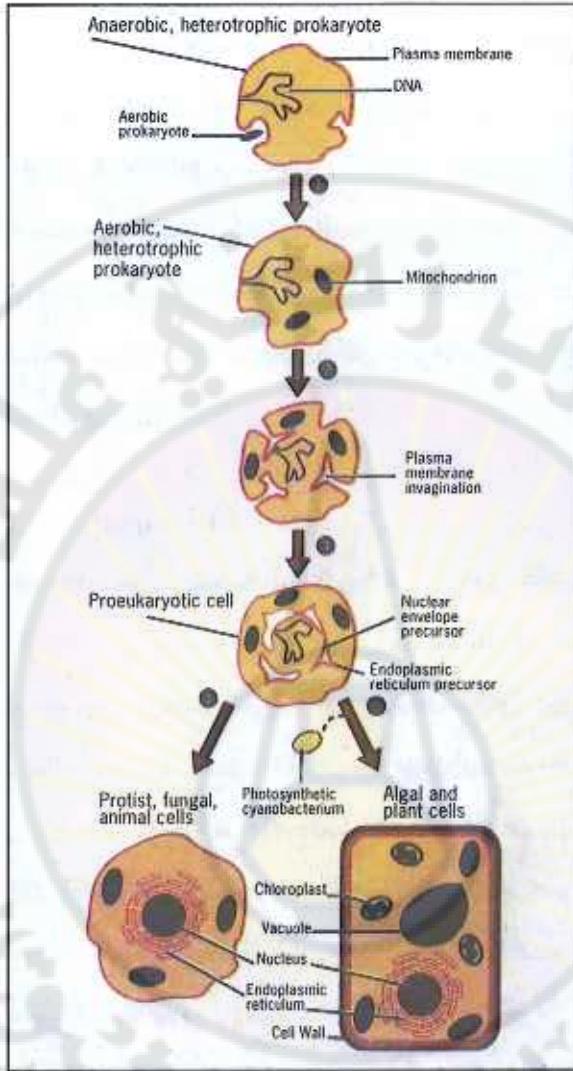
الشكل ١٠-٦: استيراد البروتينات من السيتوبلاسم إلى داخل الخنجرة:

- (١) الشاء الخارجي للخنجرة، (٢) القشاء الداخلي، (٣) السيتوبلاسم، (٤) قلب الخنجرة، (٥) مستقبل، (٦) بروتين خنجرى، (٧) تتابع عنونة البروتين يدل على أنه موجه للخنجرة.
 a: ارتباط البروتين مع المستقبل، b: التحام مؤقت لشأنى الخنجرة، يسمح بواج البروتين إلى داخل الخنجرة، c: قطع تتابع الإشارة، d: نضج البروتين (يأخذ شكله الفراغي النهائي)، e: دمجه ضمن القشاء الداخلى، أو f: بقاوئه في القلب.

الصانعات Plastids

الصانعات عضيات خلوية تخص الخلايا النباتية سواء منها وحيدة الخلية أم كثيرة الخلايا، أي الطحالب algae والبريوبيات والنباتات الوعائية، وتغيب لدى الخلايا الحيوانية والفطريات وبعض النباتات المتطفلة. تحتوي الصانعات أصبغة pigments عديدة أهمها اليroxسor الذي يرتبط بشكل عام مع كميات متنوعة من الأصبغة شبه الكاروتينية. وقد ميز العلماء، انطلاقاً من محتوى الصانعة النسبي من هذه الأصبغة ثلاثة فئات رئيسة من الصانعات وهي:

- الصانعات الخضراء: الأصبغة الأساسية فيها هي اليroxsor.
- الصانعات الملونة: تسيطر فيها الأصبغة شبه الكاروتينية، حتى أنه يمكن أن لا تتضمن ي Roxsor على الإطلاق.
- الصانعات عديمة اللون: وهي عديمة الأصبغة.



الشكل ١١-٦. تطور الخلايا:

- (١): في المرحلة الأولى بقامت (الختن) خلية لا هولانية وغيرية التغذية من طلائعيات النوى، خلية مبدورة من طلائعيات النوى أيضاً ولكنها تعيش حياة هولانية، ونتج عن هذا التمايل خلية جديدة في صفاتها، هناك لفحة قوية حالياً تشير إلى أن الخلية الدنائية المبتلة كانت مثلاً لمجموعة من الجراثيم التي تعيش حالياً وتعرف باسم الريكتنسيا (والتي تسبب التيفوس وأمراض أخرى للإنسان).
- (٢): في المرحلة الثانية تطورت الخلية المبتلة لتصبح خليه.
- (٣): في المرحلة الثالثة حدث اختصاصات عددة في القشراء البلاسمى، انتقت هذه الانقسامات والتعدد لتشكل العلامات النوى.
- (٤): في الاتجاه الأول تطورت هذه الخلية إلى خلايا حقيرات النوى غيرية التغذية مثل الفطريات والخلايا الحيوانية.
- (٥): في الاتجاه الآخر، تم انضمام خلية من بذاليات النوى قادر على التركيب الضوئي إليها، وأصبحت هذه الخلية الممتدة عبر التمايل الداخلي صائمة بضوء، وأعطيت البدلات الخضراء.

تختلف هذه المجموعات الثلاث بعضها عن بعض، بالإضافة إلى أصنافها، ببنيتها الداخلية وبنوائهما الفيزيولوجية. وهي تتشكل من أصل مشترك واحد هو عضيات صغيرة تدعى طلائع الصانعات proplastids موجودة في المنطقة المير sistemic. وتحول طلائع الصانعات إلى أحد الأنماط يرتبط بمكان وجودها في النبات (النسيج).

يمكن للتركيب الكيميائي لصيغ الصانعات أن يتغير بتبدل عوامل الوسط (ال الضوء والظلمة)، أو باختلاف مرحلة تطور النبات (خلايا هرمة أو فتية) وأخيراً فوق منحي التفاعلات الاستقلابية الجارية في الخلية.

الصانعات الخضراء Chloroplasts

الصانعة الخضراء عضية متخصصة لها القدرة على امتصاص الطاقة الضوئية وتحزينها على شكل طاقة كيميائية في جزيئات ATP التي تعد الحامل الأساسي للطاقة الضرورية لعمليات الاصطناع الحميوي في الخلية. وأول وأهم هذه العمليات، التي تتم في الصانعات الخضراء، حسراً، إنتاج مركبات هضمية انطلاقاً من CO_2 الجوي والماء وذلك بفضل عملية الاصطناع الضوئي، وبتحيز نتيجة ذلك الأكسجين. وهذا ما جعل من النباتات كائنات ذاتية التغذية autotrophes وأكملها دوراً مهماً في الحفاظ على توازن العالم الحي.

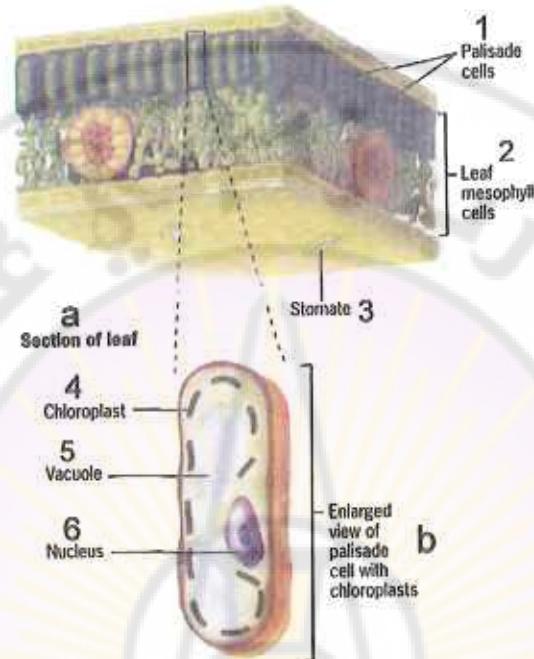
توجد الصانعات الخضراء بأعداد كبيرة في الخلايا أو الأنسجة المعرضة للضوء، وبخاصة خلايا النسيج المتوسط الورقي (شكل ١٢-٦) التي تضم وسطياً من ٣٠ إلى ٤٠ صانعة، ولكننا نعرف بعض الاستثناءات (لواحظت في بنور الصنوبر على سبيل المثال). وتكون قليلة العدد وضخمة في النباتات الدنيا كالطحالب مثلاً.

المشكل:

الصانعة الخضراء عضية متخصصة الشكل لدى النباتات العليا وتأخذ غالباً شكلًا إهليجيًا أو عدسياً، يتراوح طولها من ٤ إلى ٧ ميكرونات، وعرضها من ٢ إلى ٤ ميكرونات. ولكنها قصبة ومتعددة الأشكال لدى النباتات الدنيا كالطحالب حيث يمكن أن تكون شريطية

أو نجمية أو حلقة .. وتمتلك كل خلية صانعة واحدة أو صانعتين، وندعوها حاملة الصبغة

.(شكل ١٣-٦ chromatophore)



الشكل ١٢-٦: التخطي الوظيفي للورقة:

a: مقطع عرضي في ورقة: (١) نسيج حبكي، (٢) نسيج متوزع فراشي، (٣) نواة.
b: خلية من النسيج الحبكي: (٤) صانعة خضراء، (٥) فجوة، (٦) نواة.

شكل ١٣-٦: حاملات الصبغة في الطحالب



البنية الدقيقة : Infrastructure

يحيط بالصانعة غشاء مصاعف، يخاته من ٦ إلى ٨ نانومتر، يفصلهما فراغ يقدر بنحو ١٠ نانومتر (الشكل ٦-١٤). الغشاء الخارجي نفوذ للجزيئات الصغيرة التي لها وزن جزيئي قریب من ١٠٠٠ دالتون، وذلك يفضل تشكلها بروتينات الغشاء تدعوها البروتينات porines. أما الغشاء الداخلي فهو نسبياً غير نفوذ، والواحد تمثله بفضل أنزيمات متخصصة، تسیطر على التبادل مع السيتوبلاسم هي أنزيمات البريوروباز. وكلما الغشاءين غني بالليپیدات السكرية galactolipides.

يحيط الغشاء الداخلي بمادة أساسية تدعوها بالسردة stroma وقد اكتشفت بنائها التفصيلية بوساطة المجهر الإلكتروني وتجد فيها:

- جزيئات من الدنا حلقة الشكل، يبلغ محيطها نحو ٥٠ ميكروناً، وعددها نحو عشرين جزيئاً في كل صانعة. يمثل هذا الدنا الجينوم الخاص بالصانعات ويسمى بـ "دنا الصانعات الخفرا" ويرمز له بـ cDNA. يرمز هذا الدنا إلى tRNAs و rRNAs وإلى ما يزيد على ١٠٠ سلسلة مختلفة من متعددات الببتيد تساهم في تكوين بعض الأنزيمات التي تتوسط في إنجاز التفاعلات الضوئية التي تحدث في أغشية التيلاكوئيدات والأنزيمات المسؤولة عن ثبيت CO_2 ، غير أن معظم بروتينات الصانعات الخفرا يرمز لها من قبل دنا السنوا وتركب في السيتوبلاسم، ومن ثم تنتقل إلى داخل الصانعات عبر آليات خاصة.

- ريباسات تختلف في حجمها عن تلك الصادفة في السيتوبلاسم أو الخنيدرات، وتشبه ريباسات طلائعيات النوى. تقوم هذه الريباسات بتصنيع سلاسل من متعددات الببتيد، اللازمة لبناء أغشية التيلاكوئيدات، وبعض أنزيمات الستروما.

- الكثير من الأنزيمات التي تتوسط في تركيب السكريات glucides وأهمها الرينوز ١،٥ ثانوي الموسقات كاربوكسيلاز، الذي يمثل نحو نصف بروتينات الستروما.

- كما يحدد الغشاء الداخلي أيضاً نظاماً غشائياً ثالثاً هو التيلاكوئيدات thylakoids، وهي عبارة عن كيسات موجفة، يكون توجهها موازياً للمحور الكبير للصانعة، تتضمن بعضها فوق بعض على فترات لتشكل أكواomas تدعى "حببات" أو غرانا grana ويصل الحببات فيما بينها بني غشائية مسطحة (كيسات) تدعى الصفيحات lamellae أو تيلاكوئيدات السدى (شكل ٦-١٥). تتدلى في الصانعة ما بين ٤٠ إلى ٦٠ حببة. وأغشية التيلاكوئيدات مستقلة عن الغشاء الداخلي، ولكنها تنشأ منه عبر التبرعم. وهي تتضمن:

- أصياغ الأصطناع الضوئي المرتبطة مع البروتينات التي لها القدرة على اقتناص الطاقة الضوئية بأطوال محددة، وأكثر هذه الأصياغ أهمية اليخضور chlorophylls وأنباء الكاروتين carotenoids. تمتلك هذه الأصياغ الضوء بأطوال موجات مختلفة، موسعة بذلك طيف الضوء المتصنع والطاقة المنتجة عبر اقتناص كمية أكبر من الفوتونات.

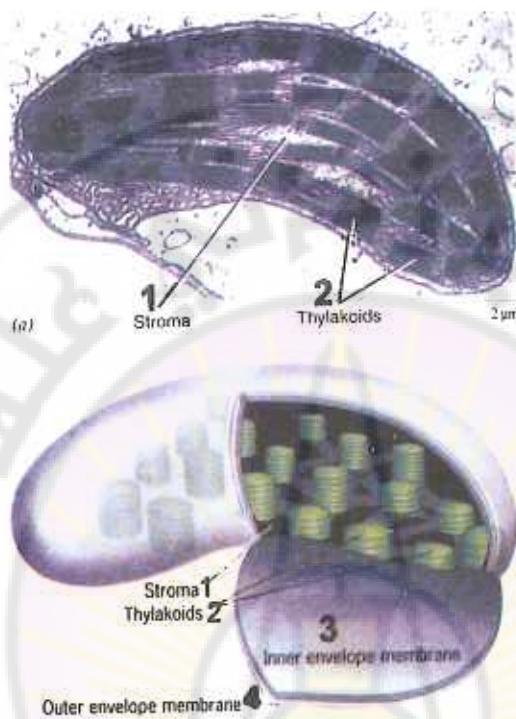
- بروتينات كثيرة تسهم في نقل الإلكترونات وتركيب ATP.

تضم أغشية التيلاكوئيدات بشكل غير مأوف كمية قليلة نسبياً من الموسفوليبيدات، ونسبة عالية من الغلاكتوليبيدات التي تسهم في زيادة سرولتها (مرونتها) وتسهل انتقال مقدرات البروتين من خلال الغشاء أثناء الاصطناع الضوئي.

اليخضور:

يمتص اليخضور بشكل أساسى الضوء الأحمر والأزرق، ويعكس الضوء الأخضر مكمباً بذلك الأوراق لونها الأخضر، مما لم تتحجبه أصياغة أخرى. تميز ٤ أنواع من اليخضور يرمز إليها بالأحرف الأبجدية a, b, c, d. يمثل اليخضور a صياغ الأصطناع الضوئي الأكثر مصادفة، وهو الوحيد المزجود في كل النباتات التي تقوم بالاصطناع الضوئي (عدا الجراثيم المركبة ضوئياً)، ولونه أصفر-أخضر. يوجد اليخضور b في النباتات العليا والطحالب ولونه أزرق-أخضر. أما اليخضور c في يوجد لدى الطحالب البنية وبعض الطحالب وحيدة الخلية بما في ذلك المشطورات. ويميز اليخضور d ببعض الطحالب الحمراء. ويوجد لدى الجراثيم

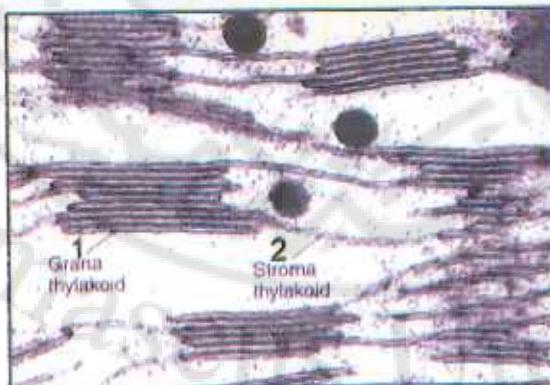
المركب ضوئياً يحضره جرثومي.



الشكل ١٤-٦ : البنية الداخلية للصانعات الخضراء:

a: صورة بالمجهر الإلكتروني لصانعة خضراء.

b: شكل تخطيطي لصانعة وظاهر مختلف مكوناتها (لا يلاحظ في هذا الشكل الدنا والريبيسات)
 (١) السردة أو الستروما، (٢) التلوكوبنيدات، (٣) الغشاء الداخلي، (٤) الغشاء الخارجي



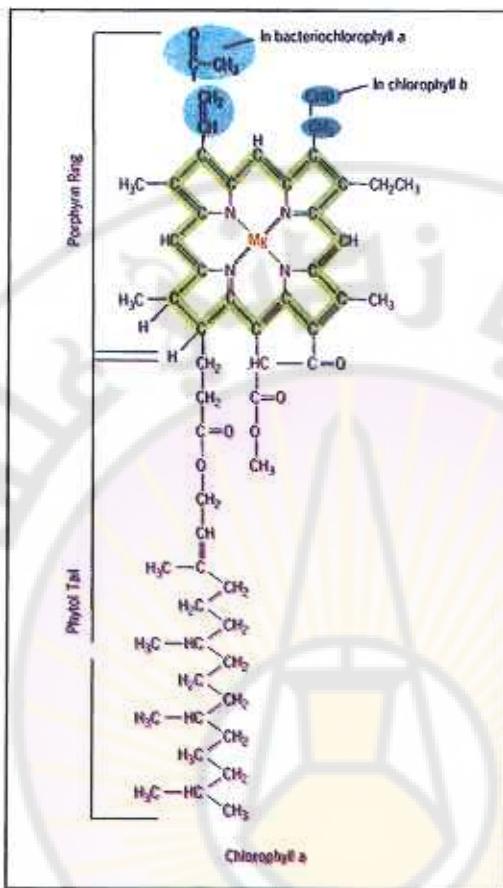
الشكل ١٥-٦ : أغشية التلوكوبنيدات كما تبدو بالمجهر الإلكتروني في جزء من صانعة خضراء في السبانخ ويظهر فيها أخفية أو تلوكوبنيدات الجبجات (١) الصفيحات (تلوكوبنيدات السردة) (٢).

يتكون كل جزيء، يحضر من جزأين (الشكل ٦-١٦):

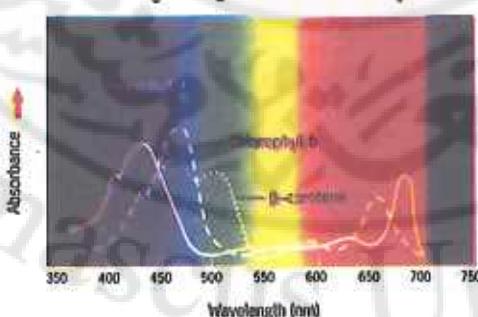
- رأس محب للماء مؤلف من حلقة بورفرين porphyrine. توجد هذه البنية في العديد من المركبات المهمة بيولوجياً كخضاب الهميوجلوبين واليووغلوبين والسيتوكرومات. يحتل مركز هذه الحلقة ذرة معدنية هي المغنيسيوم في اليحضرور والحديد في الخضاب. تتوضع حلقة السبورفيرين على سطح الغشاء التيلاكوئيدي المجاورة للمحلول الثاني الموجود في السردة. ووظيفتها اقتناص الضوء.
- ذيل هيدروكربوني طويل كاره للماء، ذواب في الدسم هو الفيتول phytol ينتمي في الغشاء التيلاكوئيدي ويثبت جزيء اليحضرور.
تحتختلف أنواع اليحضرور بعضها عن بعض بالسلسلة الجانبية التي يمكن أن ترتبط مع الرأس، الأمر الذي يؤدي إلى تعديل طيف امتصاصها (شكل ٦-١٧).

أشباء الكاروتينات

تحتوي النباتات أيضاً أصبغة مساعدة وهي أصبغة صفراء أو برتقالية أو حمراء أو بنية، تملئ بقية في المجال أزرق والأخضر من الطيف، وهي تحجب عادة باليحضرور، ولكن يمكن رؤيتها في الأوراق قبيل سقوطها نتيجة لتحطم اليحضرور أولاً. وتوجد في الصناعات اليحضرورية لبعض الأزهار والثمار، حيث تكون مسؤولة عن إكساب هذه الأعشاب ألواناً زاهية. يوجد نمطان من أشباه الكاروتينات هما: الكاروتينات carotenes والبيصفورات xanthophylls. والكاروتينات هي سكريات تتألف في الغالب من مركبات C_{40} . يحد الكاروتين β أهمهما وأوسعها انتشاراً وهو يكون الصياغ البرتقالي في الجزر. تستطيع الفقاريات أن تحطم هذا الجزيء إلى جزأين أثناه، الهمض مشكلة جزيئين من الفيتامين A. أما البيصفورات فهي تشبه الكاروتينات من الناحية الكيميائية لكنها تحتوي الأكسجين.



الشكل ١٦-٦: بنية الميغصورو a :
 يتألف من حلقة من البورفيرين، في وسطها يوجد ذرة مغنيزيوم، وذيل هيدروكربوني طويل. النظل الأخضر على
 حالة الحلقة يشير إلى انتشار الألكترونات على شكل غيمة.
 في الكلوروفيل b واليهضور الجرثومي a تبدل مجموعة CH₃ في الحلقة الثانية بجموعة CHO



الشكل ١٧-٦: طيف امتصاص أصبغة الاصطناع الضوئي

لأشباء الكاروتينات عدة وظائف؛ فهي تعمل على كأصيغة مساعدة في اقتناص الضوء خلال الاصطناع الضوئي، كما أنها تسحب الطاقة الزائدة بعيداً عن جزيئات الخضور المحرّضة وتبددها على شكل حرارة. وإذا لم يتم امتصاص هذه الطاقة الزائدة من قبل أشباء الكاروتينات فإنها يمكن أن تنتقل إلى الأكسجين المنتجة شكلاً من نزارات الأكسجين المفردة (O₂) ذات نشاط تفاعلي قوي يمكنها أن تحطم الجزيئات البيولوجية وتسبب موت الخلية. وقد لوحظ أن الخلايا الطحلبية الطافرة التي فقدت أصيغة أشباء الكاروتينات لا يمكن أن تبقى على قيد الحياة في وسط هوائي بسبب تخريب الأكسجين لآلية الاصطناع الضوئي لديها.

وهكذا بما أن الضوء الساقط على أوراق النبات مركب من أطوال موجات متعددة فإن وجود أصيغة ذات خصائص متباعدة يؤمن الاستفادة من الجزء الأكبر من الفوتونات القادمة منه في تحريض الاصطناع الضوئي.

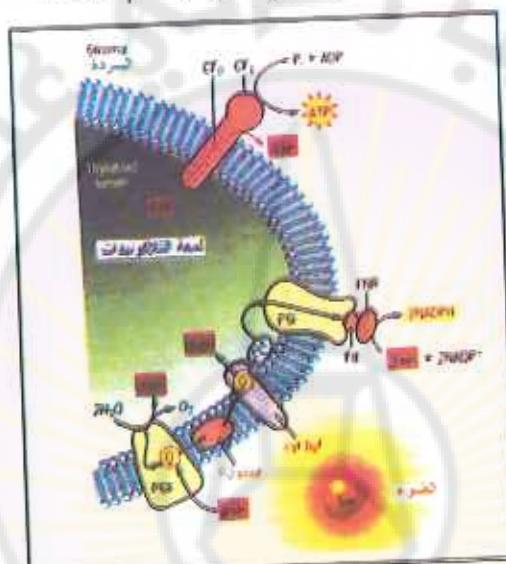
تتوسع جزيئات الأصيغة المرتبطة مع البروتينات في أغشية التيلاكوثيريات حيث تشكل هوائياً جاماً تختص الضوء المرئي. تعرض الفوتونات التي يتتصها الصياغ به الإلكترون منه، حيث يتسارع مداره نتيجة لاكتسابه طاقة أكبر، وينتقل عندها جزيء الصياغ من الحالة الأساسية إلى حالة تهمج. لا تكون الحالة المثارية عادة ثابتة وسرعان ما يعود الجزيء إلى الحالة الأولية منخفضة الطاقة وينتقل الإلكترون سريعاً إلى متنق أولي. يشكل الهوائي الجامع والمركز التفاعلي والمتنق الأولي نظاماً ضوئياً. تميز ضمن أغشية التيلاكوثيريات في الصانعة الخضراء نظامين ضوئيين. النظام الضوئي الأول PS₁ وهو يتوضع بشكل خاص في الناطق بين الغرانا، والنظام الضوئي II أو PS₂ ويتوسط ضمن الغرانا. وكل من هاتين المنظومتين مجموعتها الخاصة من جزيئات الخضور ويتميز كل منها بطول الموجة التي يعمل من خلالها PS₁ عند موجة طولها 700 نانومتر و PS₂ عند موجة طولها 680 نانومتر (شكل ٦).

الصانعات الملونة Chloroplasts

تشتمل هذه الصانعات على أصيغة شبه كاروتينية، فتأخذ فيما ذلك ألواناً متباعدة من

الأصفر إلى البرتقالي فالأخضر. وهي لا تقوم بعملية الاصطناع الضوئي. وتصادف في الثمار الناضجة بصورة خاصة (كالبنادرة والفلحيلة الحمراء والبرتقال) وفي توبجات بعض الأزهار (كالورد الأصفر والتوليب)، وفي الجذور اللحمية للشمندر والجزر.

لا يختلف شكل الصانعات الملونة وأبعادها كثيراً عن مثيلتها الخضراء، ولكنها تتصرف ببنية غشائية داخلية ضعيفة التغاير، وبالتالي تتجزأ وتتنفس بسرعة.



الشكل ١٨-٤: انتقال الألكترونات بين النظائر PSI و PSII . تتفق زوج من الألكترونات يشار إليه بالسهم.

الصانعات عديمة اللون : Leucoplasts

تفتق الصانعات عديمة اللون للأصيحة، وتبدى تحورات لادخار الغذاء. تصادف هذه الصانعات في جميع الأعضاء النباتية وتكثر بخاصة في الأعضاء الادخارية مثل الجذور والبذور والأوراق الفتية، وتصنف تبعاً لنوع الغذاء المدخل إلى :

- صانعات النشاء amyloplasts وتدخّر النشاء.
- صانعات الدسم lipidoplasts وتدخّر المواد الدسمة على شكل شحوم (صانعات شحمية)

- أو على شكل زيوت (صانعات زيتية oleoplasts) كما هو الحال في الجوز والبندق وبذور زهر الشمس الحولي.
- الصانعات البروتينية proteoplasts وتدخن البروتينات كما هو الحال في بعض البذور النباتية.

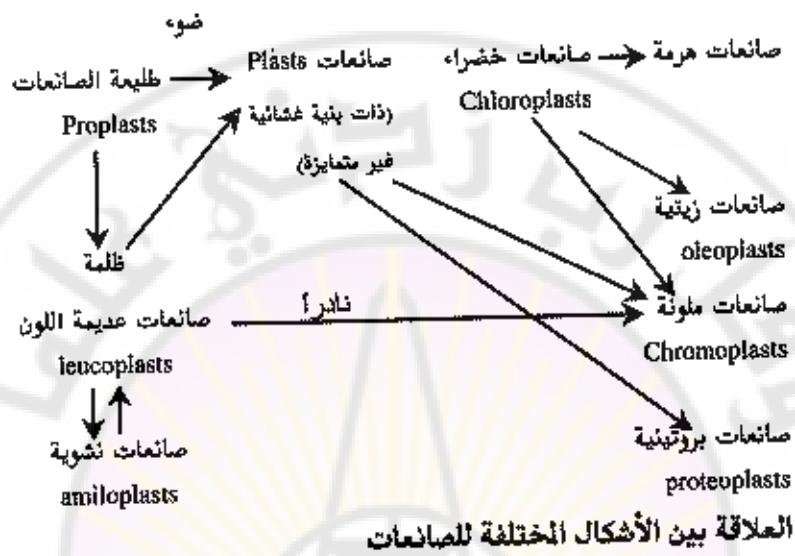
أصل الصانعات:

تنتمي الصانعات، وخاصة الخضراء منها، عبر انشطار الصانعات السابقة في الوجود، أو اعتباراً من طلائع الصانعات proplastids التي لا تحتوي أصبغة. ويعتقد بأن الصانعات الخضراء تطورت أو نشأت عن سلف من طلائعيات النوى الركبة خوئياً والمنتجة للأكسجين (يفترض أنه من البكتيريا الزرقاء Cyanobacterium) التي تعايشت داخلياً مع خلية غير مركبة خوئياً من حقيقيات النوى. وبالتالي فإن الصانعات الخضراء والبكتيريا الزرقاء تشتراك في مجموعة من الخصائص الأساسية، تضمنها بورينات porins، دنا حلقي، النمط ذاته من الريبياسات وتتشابهان في آلية الاصطناع الضوئي.

العلاقة بين الأشكال المختلفة للصانعات:

تتميز طليعة الصانعات إلى صانعات عديمة اللون في الظلمة. تتحف هذه الأخيرة بكثير حجمها مقارنة بطليعة الصانعات، ولكن البنية الغشائية lamella فيها تبقى غعيدة. بينما تتحول في الضوء إلى صانعات خضراء ذات بنية غشائية داخلية كثيفة تمتلىء بالأصبغة البخضورية التي تكسبها اللون الأخضر.

يفترض بعض العلماء، إمكان تحول الصانعات عديمة اللون إلى صانعات خضراء في الضوء، وينظر آخرون إلى الصانعات الملونة على أنها الصانعات الخضراء الهرمة ويعدونها المضيصة الأخيرة في تطور الصانعات. ويمكن للصانعات الملونة أحياناً التمايز بهداً من صانعات عديمة اللون مباشرة، كما في الجذور اللحمية للجزر. يوضح المخطط التالي العلاقة بين الأشكال المختلفة للصانعات.



الريبياسات : Ribosomes

عضيات صغيرة جداً، تتكون من كميات متساوية تقرها من الرنا الريبياسي rRNA والبروتينات (وبذلك فهي دقائق بروتينية ريبية نوية)، وهي موقع اصطناع البروتينات، حيث يتم على سطحها تجميع الحمض الأميني لبروتين ما وفق ترتيب محدد. توجد الريبياسات بأعداد كبيرة جداً خلال السيتوبلازم في الخلايا الحية في كل من بدائيات النوى وحقيقياتها، فتحتوي الخلية الجرثومية النموذجية على نحو 10000 ريباسة، في حين تحتوي خلية حققيات النوى أضعاف ذلك، غير أن ريباسات بدائيات النوى أصغر حجماً (70S) من ريباسات حققيات النوى (80S). يبلغ طول الريبياسة في الطحالب نحو 29 نانومتراً وعرضها 21 نانومتراً. أما لدى الحققيات فأبعادها: 32 على 24 نانومتراً.

تشتت تكون الريبياسة من وحدتين كبيرة وصغيرة، ويشار إلى حجم كل منهما بمعامل

الترسيب معبر عنه بوحدة سفيديبرغ Svedberg. يساوي هذا المعامل في ريباسات بدائيات النوى الـ 70S للريبياسة ككل (50S للوحدة الكبيرة و 30S للوحدة الصغيرة)، ويساوي إلى 80S لريبياسة حقيقيات النوى ككل (60S للوحدة الكبيرة و 40S للوحدة الصغيرة).

التركيب الكيميائي للريبياسة:

يشارك ٣ قطع مختلفة الحجم من الرنا في تركيب الريبياسة، إضافة إلى مجموعة من البروتينات المختلفة مصدرها السيتيوبلاسم. تتألف الوحدة الصغيرة (40S) من الرنا 18S إضافة إلى نحو ٣٠ جزيئات بروتينية. أما الوحدة الكبيرة (60S) فتتألف من الرنا الريبياسي 5.8S، 5S، 28S مع نحو ٥٠ بروتيناً آخر. يتم تركيب الوحدتين في النوبة، ثم تفadirان النواة إلى السيتيوبلاسم حيث تتحددان مع بعضهما ليشكلا ريباسة وظيفية لحظة البدء بتركيب البروتين.

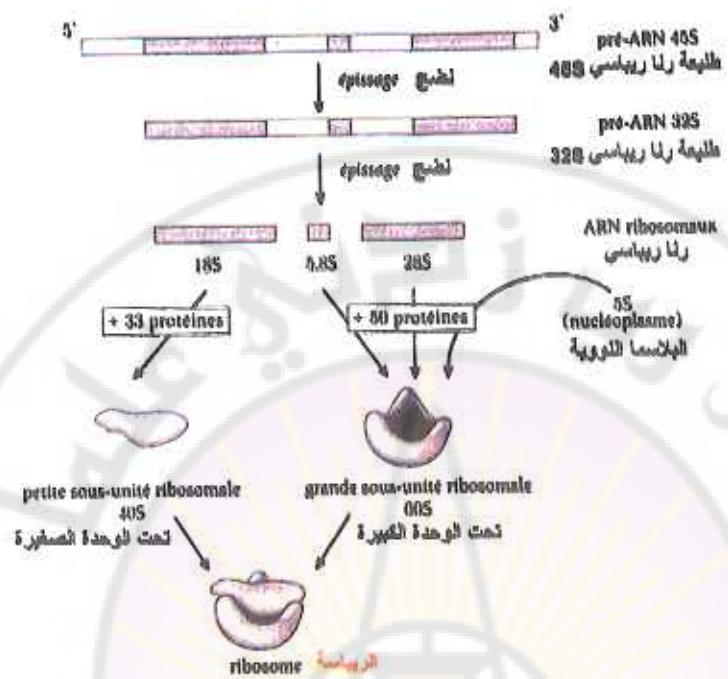
نضج الرنا الريبياسي:

يمثل الرنا الريبياسي القسم الأعظم من أنواع الرنا الموجودة في الخلية، إذ تبلغ نسبته نحو ٨٠٪، بينما لا تزيد نسبة الرنا الرسول عن ٢٪ عادة من مجمل الرنا.

امكن تمييز ٤ أنماط من الرنا الريبياسي يشار إليها بـ 28S، 18S، 5S، 5.8S وهي تنسخ اعتباراً من مورثات تتوضع بشكل متزاد. يتوسط عملية النسخ أنزيمان مختلفان هما:-
- البوليميراز I وينسخ الأنماط الثلاثة الأولى، التي تنسخ بداية معاً على شكل طبعة رنا ريباسي ذو حجم كبير 45S، ثم يقطع ليعطي الأنماط الثلاثة (شكل ١٩-٦). يتضمن الجينوم النبوي عشرات النسخ من هذه المورثات التي تتجتمع في مستوى النوبة (أو النوبات) عندما تكون الخلية في الطور البصني.

- البوليميراز III وهو ينسخ مورثات الرنا الريبياسي 5S الذي تتوضع عادة في مناطق أخرى من الصيغيات، وتنسخ في البلاسما النبوية وتوجد بنسخ أكبر من مورثات الأنماط السابقة، يمكن أن تبلغ عدة مئات إلى عدة آلاف.

بعد وجود مورثات الرنا الريبياسي بهذه الأعداد الكبيرة تكيناً ضرورياً من الخلية لكي تؤمن استمرارية عمليات تركيب البروتينات اللازمة لبقائها.

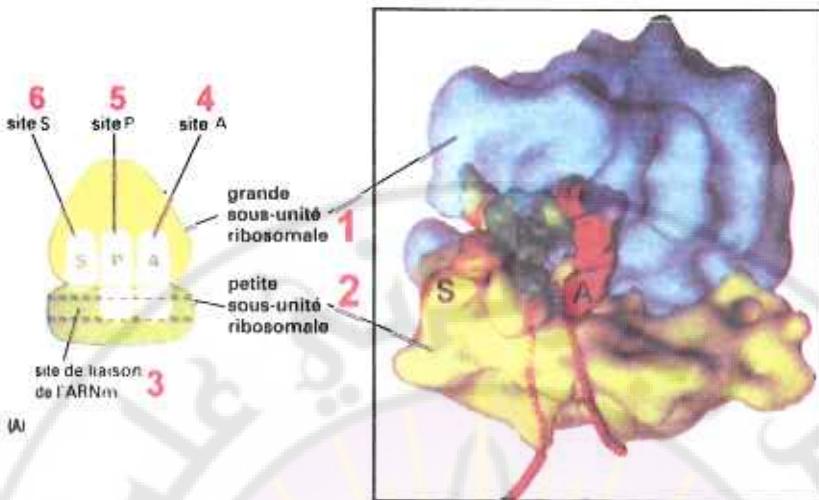


الشكل ١٩-٦: نضج طبعة الرنا الريبياسي في النوية، واندماجها مع جزيئات بروتينية لتشكيل تحت الوحدات التي مستشكل الريبياسة.

شكل الريبياسة:

تتضمن الريبياسة ٣ مواقع ارتباط مع جزيئات الرنا (شكل ٢٠-٦):

- موقع لارتباط الرنا الرسول.
- موقع السلسلة الببتيدية P وفيه يتم تثبيت سلسلة متعدد الببتيد التي هي في طور التشكيل.
- موقع الحمض الأميني A وفيه يتوضع tRNA الحامل للحمض الأميني الذي سيضاف للسلسلة.



الشكل ٤٠-٦: بنية الريبيosome:

- (١) تحت الوحدة الكبيرة، (٢) تحت الوحدة الصغيرة، (٣) موقع ارتباط الرنا الرسول، (٤) موقع ارتباط الحمض الأميني، (٥) موقع السلسلة البنتيدية، (٦) موقع الخروج.

اصطناع البروتينات

تتضمن عملية اصطناع البروتينات مرحلتين أساسيتين هما: النسخ والترجمة.

النسخ : The Transcription

لا تعتمد الخلية على المعلومات الوراثية المتخضنة في النواة بشكل مباشر لإنجاز عملية اصطناع البروتينات، بل تنقل هذه المعلومات إلى السيتوبلازم على شكل جزيئات متخصصة هي جزيئات الرنا الرسول mRNA، التي يكون تتبع النكليوتيدات فيها متمماً للسلسلة الرامزة من الدنا. وهكذا يحدد ترتيب النكليوتيدات في الرنا الرسول ترتيب الحمض الأميني التي ستؤلف البروتين. تنسخ جزيئات الرنا عن الدنا النووي تبعاً لحاجة الخلية وذلك بوساطة أنزيمات بسلمرة خاصة ضمن النواة هي أنزيمات الرنا بوليمراز . تخضع جزيئات الرنا المنسوخة قبل أن تقاد إلى النواة باتجاه السيتوبلازم إلى بعض التغيرات. كما ترتبط مع بروتينات خاصة لتتمكن من عبور الثغر النووي كما سبق أن أشرنا إليه. تشبه نكليوتيدات الرنا نكليوتيدات الدنا، غير أن السكر الخماسي في الرنا هو سكر الريبوز وليس الريبيوز متقوص

الأكسجين، كما يستبدل أساس التيامين بأساس آخر هو البيوراسيل.

تُقسَم جزيئات الرنا التي يتم نسخها عن الدنا النموي إلى عدة مجموعات رئيسية هي:

– الرنا الرسول mRNA الذي يتم ترجمته إلى بروتين.

– الرنا الريبياسي rRNA الذي، كما يدل اسمه، مكون رئيسي من مكونات الريبياسات.

– الرنا الناقل tRNA الذي ينقل الحمض الأميني إلى مستوى الكودون المطابق الموجود على الرنا الرسول أثناء اصطناع البروتينات.

تحوي الخلية أنماطاً أخرى أقل عدداً من الرنا، مثل الرنا الصغير RNA7S "أو الريبيوزيم" الذي له قدرة على التوسط لإتمام بعض العمليات الحيوية.

آلية نسخ الدنا إلى رنا:

تنسخ جزيئات الرنا بوساطة أنزيمات الرنا بوليمراز، وهي جزيئات ضخمة تتالف من اجتماع عدة وحدات، وتُركب الرنا انتلاقاً من قالب هو إحدى سلسلتي الدنا.

يقوم أنزيم واحد لدى طلائعيات النوى بهذه المهمة. أما لدى حقيقيات النوى فيقوم بهذا الدور ثلاثة أنماط من الرنا بوليمراز يرمز لها بـ I، II، III. لكل من هذه الأنزيمات مهمة خاصة:

– الرنا بوليمراز I ينسخ الرنا الريبياسي (18S, 28S).

– الرنا بوليمراز II ينسخ المورثات التي تشير إلى بروتينات خلوية (أي الرنا الرسول) والرنا الصغير 7S الذي يشارك، مع مكونات أخرى، في التوسط في عملية نسخ الرنا الرسول والرنا الريبياسي.

– الرنا بوليمراز III ينسخ الرنا الناقل والرنا الريبياسي ذا الحجم 5S.

و رغم بعض الاختلافات فإن النسخ لدى طلائعيات النوى و حقيقيات النوى يتم وفق المبدأ ذاته. ويقسم إلى ثلاث مراحل:

١: مرحلة الاستهلال: إن نسخ الدنا عملية اصطفارائية، إذ لا ينسخ منه إلا التتابعات التي

تمثل مورثات. والسؤال الذي يطرح هنا هو كيف يتعرف الأنزيم الذي سيقوم بالنسخ على أن هذه القطعة من الدنا تمثل مورثة؟ لقد تبين أن كل مورثة يسبقهها تتابع من النكليوتيدات (يضم نحو ٤٠ شفعاً نكليوتيدياً لدى طلائعيات النوى) ويعرف باسم المثير. يتعرف أنزيم الرنا بوليميراز على المثير ويثبتت عليه بمساعدة عامل بدء خاص. ينبعط حازرون الدنا على مسافة قصيرة، متىحا المجال لأنزيم الرنا بوليميراز ببدء النسخ اعتباراً من أول نكليوتيد يؤلف المورثة.

٢: الاستطاللة: تنمو السلسلة الجديدة بالاتجاه ٥ إلى ٣ والنكليوتيدات المضافة تكون متكمالة مع نكليوتيدات سلسلة القالب.

٣: ينتهي النسخ عندما يلاقي أنزيم الرنا بوليميراز تناول خاص يكون غالباً بالتنيامين، فينفصل الأنزيم عن جزيء الدنا محرراً سلسلة الرنا.

التغيرات التي يخضع لها الرنا الرسول بعد نسخه لدى حقيقيات النوى:

لا يخضع الرنا الرسول لدى طلائعيات النوى إلى تغيرات ذذكر، ولكن الأمر مختلف لدى حقيقيات النوى التي يخضع فيها الرنا الرسول إلى سلسلة من التغيرات المهمة بعد نسخه، سواء التغيرات التي تصيب نهايات الجزيء، أو تلك التي تؤدي إلى اختصار طوله. يمكن إجمال هذه التغيرات بالنقاط الثلاث التالية:

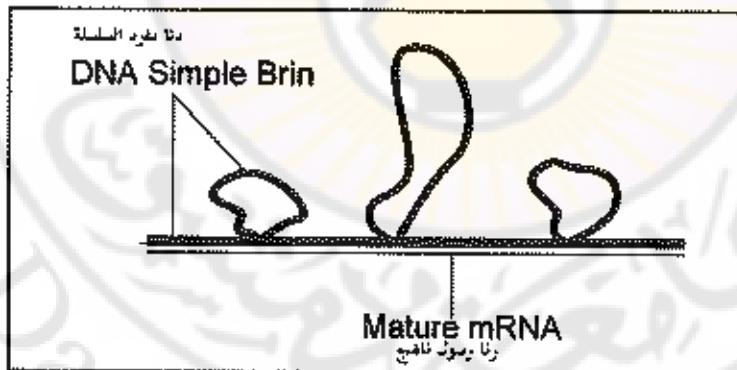
١: في مرحلة مبكرة من النسخ، يتم إضافة غوانين مميّل "مضافاً إليه الميتييل" إلى النهاية ٥ من الجزيء. لهذه القبعة أكثر من دور: فهي تحمي الجزيء، أثناء تركيبه من تأثيرات أنزيمات النكليوياز Nucleases (التي تحلمه النكليوتيدات)، كما تفيد في توجيه جزيء الرنا الرسول في السيتوبرلاسم وفي بدء عملية التركيب البروتيني.

٢: مباشرةً إثر انتهاء نسخ جزيء الرنا، يضاف إلى سلسلة الرنا، بوساطة أنزيم خاص، تابعاً مؤلفاً من ٢٠٠-١٠٠ من الامتييل. يوجد هذا الذيل من متعدد A+ لدى معظم الرنا الرسول النسخ، وهذا يسمح بفصل الرنا الرسول عن باقي أنماط الرنا الخلوية وتنقيتها. يفيد هذا الذيل في تسهيل مغادرة الجزيء للنواة باتجاه السيتوبرلاسم، وفي بدء تركيب البروتين.

ثم يُقْطَعُ الرُّنُونُ الرُّسُولِ بجزيئات بروتينية لتشكل عقداً ريبونكليو بروتيني.

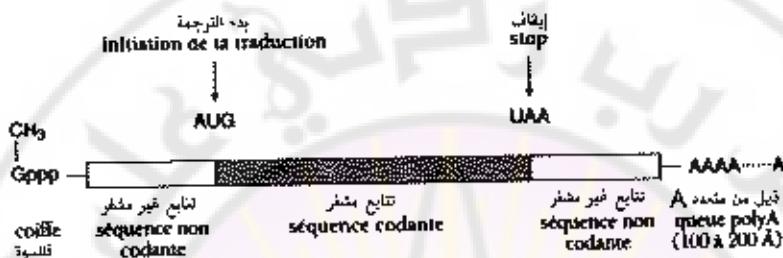
٣: أظهرت تجارب التجهيز بين الرُّنُون الرُّسُول الموجود في السيتوبرلاسم لورثة ما وتنابع النكليوتيدات لدى الصبغي المؤلف لهذه الورثة الذي نسخ عنه هذا الرُّنُون، ومراقبة ذلك عبر المجهر الإلكتروني بأن هناك تنابعات من دنا الصبغي قد تهجنت مع الرُّنُون، وهناك تنابعات أخرى لا يوجد مقتض لها في جزيء الرُّنُون، ولذلك تشكل عقداً (أنشوطة) بين التنابعات الأولى (شكل ٢١-٦)، مما يشير إلى أن هذه التنابعات قد تم استبعادها من الرُّنُون النهائي بعد نسخها.

نسعني التنابعات التي يتم استبعادها من طبيعة الرُّنُون الرُّسُول بالانترنات أو القطع الوسطية "Introns" والتنابعات التي تشفَّر فعلياً لبروتينات، والتي تهجنت مع الدنا الذي نسخته منه، بالأكرزونات Exons (من الكلمة Exit "يخرج") لأنها تغادر النواة إلى السيتوبرلاسم، بينما تستبعد القطع الوسطية في النواة قبل خروج الرُّنُون الرُّسُول النهائي منها، ومن ثم توصل قطع الأكرزونات بعضها ببعض. نسمي هذه العملية التي تتم في النواة نضج الرُّنُون الرُّسُول .Processing of Messenger RNA



الشكل ٢١-٦: إظهار وجود الانترنات في بنية الوراثة لدى حقيقيات النوى من خلال التجهيز بين الرُّنُون الناضج مع تنابعات الدنا للوراثة التي نسخ عنها هذا الرُّنُون.
وهكذا توصف الوراثة لدى حقيقيات النوى بأنها ذات بنية متقطعة "أو غير مستمرة".
تمييز هذه البنية للوراثات غالبية مورثات حقيقيات النوى. إن عدد القطع الوسطية في الوراثة

ووجهها مقارنة مع قطع الأكزونات متباين من مورثة لأخرى، ويمكن أن يكون القسم الأعظم من تتابعات المورثة ممثلاً بالقطع الوسطية، وتشير الدراسات إلى أن الرنا الرسول النهائي يبلغ طوله بشكل وسطي نحو ٢٥٪ فقط من طليعة الرنا الرسول المنسوخ عن المورثة. يوضح الشكل ٦-٢٢ تمثيلاً تخطيطياً للشكل النهائي للرنا الرسول.



الشكل ٦-٢٢: تمثيل تخطيطي لرنا رسول ناضج لدى حقيقيات النوى

الترجمة Translation

الترجمة هي الآلية التي سيتم بواسطتها فك رموز الرنا الرسول لأجل وضع المجموع الأمينية التي ستؤلف سلسلة متعددة البيटيد بترتيب محدد. تتم هذه العملية في السيتوبلازم. هذه العبارات "نسخ" و "ترجمة" ملائمة بشكل جيد لوصف ما يحصل. فدحن نقول "نسخ" لأننا ننسخ الدنا إلى الرنا الرسول دون تغيير في اللغة المستخدمة، لأن "الأحرف" المكونة لكل من الدنا والرنا هي النكليوتيدات. وتقول "ترجمة" لأننا نبدل في هذه المرة اللغة، فبدلاً من اللغة النكليوتيدية المستخدمة في الرنا الرسول، ستصبح اللغة هنا هي المجموع الأمينية. كيف سيتم تحويل تنالي النكليوتيدات إلى تنالى للمجموع الأمينية؟

الشفرة الوراثية : The genetic code :

يتتألف الرنا الرسول من تناقل أربعة نكليوتيدات مختلفة، ولدينا ٤٠ حمضًا أمينياً مختلفاً، فكيف تستطيع إذًا ٤ نكليوتيدات أن ترمم لعشرين حمضًا أمينياً؟ هناك ٣ احتمالات يمكن توقعها:

- الاحتمال الأول: رمز بحرف واحد $= 4^1 = 4$ حيث يرمز إلى الحمض الأميني الأول، و C

للحمض الثاني .. الخ. إن نظاماً كهذا لا يمكن أن يرمز أكثر من 4 حمض أمينية.

- الاحتمال الثاني: رمز بحروفين $^2 = 16$ حيث UAU ترمز إلى الحمض الأميني الأول، UC ترمز إلى الحمض الثاني .. الخ. وهذا النظام لا يكفي إلا للرمز إلى 16 حمضأً.

- الاحتمال الثالث: رمز بثلاثة أحرف $^3 = 64$ أي UUU ترمز للحمض الأميني الأول، UUC ترمز للحمض الثاني .. الخ. يمكن لهذا النظام أن يرمز إلى 64 حمضأً أمينياً. وهذا يكتفي بل يزيد. ولقد تم إثبات هذا الاحتمال، وبرهن على أن كل ثلاثة نوكليوتيدات (والتي تزلف كودوناً واحداً) محمولة على الرنا الرسول ستترجم لنفع حمضأً أمينياً واحداً. مثال ذلك فإن الكودون AUG يرمز للحمض الأميني الميتوتين. يوضح الشكل ٢٣-٦ مختلف الحموض الأمينية التي ترمز لها هذه الكودونات. حيث نجد أن هناك حموضأً أمينية يمكن أن يرمز لها أكثر من كودون واحد، كالليوسين الذي يرمز له ٦ كودونات. ويلاحظ غالباً أن الكودونات التي ترمز للحمض الأميني ذاته لا تختلف إلا بالأساس الثالث (مثل كودونات السيرين هي: UCU، UCG، UCA، UCC). يمكن النظر إلى هذا النظام على أنه يمثل فائدة للكائن الحي، إذ أن أي طفرة نقطية تؤدي إلى تغيير الأساس الثالث لن يكون لها أي تأثير. كما يلاحظ في الجدول بأن هناك ٣ كودونات لا تترجم إلى حموضأً أمينية، بل هي في واقع الأمر إشارات لنهاية "القراءة" وندعواها كودونات الإيقاف.

خصائص الرمز الوراثي:

- آ: عالي: لقد ساد الاعتقاد أن الرمز الوراثي هو ذاته لدى كل الكائنات الحية، ولكن منذ عام ١٩٨٠ أوضح سنجر Sanger (الحاائز جائزة نوبل مررتين في عامي ١٩٥٨ و ١٩٨٠) أن الرمز الوراثي يختلف قليلاً في الخنيدرات لدى الإنسان. لقد وجد أن الكودون UGA لا يرمز للإيقاف بل للتريتوфан، و AGA يرمز للإيقاف بدلاً من الارجينين .. الخ. ومنذ ذلك الوقت وجد العلماء بعض الاختلافات لدى كائنات أخرى.
- ب: عدم التداخل: كان يظن بأن تتابعات الدنا التي ستنسخ وتترجم كودوناً تلو كودون في

إطار وحيد من القراءة، ولكننا نعرف اليوم في بعض الحالات أن المقطع ذاته يمكن أن يقرأ بأكثر من أسلوب وذلك بعد أن يحدث انزياح بنكليوتيد واحد. على سبيل المثال التتابع التالي يمكن أن يترجم وفق نطاق أول من القراءة إلى الحمض الأميني التالي:

UUU ACG AUG UA
Phe. Thr. Met.

ويمكننا بعد إزاحة نطاق القراءة بنكليوتيد واحد أن يقرأ :

UUA CGA UGU A
Leu. Arg. Cys.

وبعد إزاحة جديدة يمكننا أن يقرأ بأسلوب ثالث.

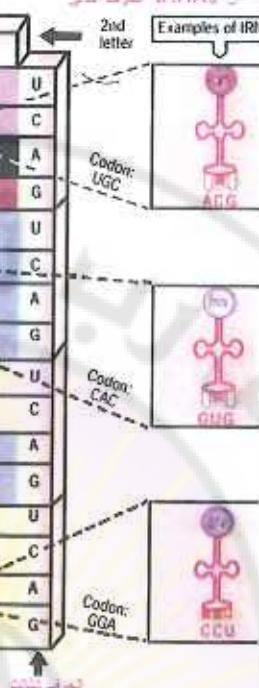
وصلت الحالة الأولى عن تداخل الموراثات لدى الفيروس Φ X174 . فنفس التتابع من الدنا يمكن أن يحمل المعلومات الضرورية لتركيب جزيئين بروتينيين لهما تتابع حمض أميني مختلف تماماً. إنه مثال رائع على الاقتصاد المورثي.

مكان الترجمة:

تم ترجمة البروتينات في السيتوبلازم، وبالتحديد على الريبياسات التي تتلقى العناصر الأساسية لتركيب البروتين وهي: الرنا الناقل RNA الذي سيحمل إلى مستوى الريبياسات الحمض الأميني. والرنا الرسول mRNA الذي سيحدد تتابع هذه الحمض.

إضافة لذلك تتضمن الريبياسات، وبالتحديد تحت الوحدة الكبرى، "الأداة-الأنزيم" التي ستتشبّك باللتالي حمضأً أمينياً تو الآخر إلى سلسلة متعدد الببتيد التي ست تكون. نسمي هذا النشاط الأنزيمي بببتيديل ترانسفيراز Peptidyl Transferase . وستدرس الآلية الجزيئية لذلك في مقررات لاحقة.

	U	C	A	G	
U	Phenylalanine Phenylalanine	Serine Serine	Tyrosine Tyrosine	Cysteine Cysteine	U
C	Leucine Leucine	Serine Proline	stop Histidine	stop Arginine	C A
A	Isoleucine Isoleucine	Proline Proline	Glutamine Glutamine	Arginine Arginine	A G
G	Alanine Alanine Alanine Alanine	Alanine Aspartic acid Glutamic acid Glutamic acid	Asparagine Asparagine Lysine Lysine	Serine Serine Arginine Arginine	U C A G



الشكل ٢٣-٦: الرمز الوراثي

الهيكل السيتوبلاسمي : The Cytoskeleton

تملئ خلايا حقيقيات النوى شبكة من الخيوط البروتينية شديدة التنظيم، تمتد في كل السيتوبلاسم، وتساهم في دعمها. يتميز هذا الهيكل بأنه بنية ديناميكية يعاد تنظيمه باستمرار وذلك كلما غيرت الخلية شكلها استجابة لشروط الوسط أو حين انقسامها. كما يؤمن الهيكل السيتوبلاسي آليّة الحركة مثل نقل العضيات من مكان لأخر، وانفصال الصبغيات وهجرتها إلى الخلويتين البنتين أثناء الانقسام.

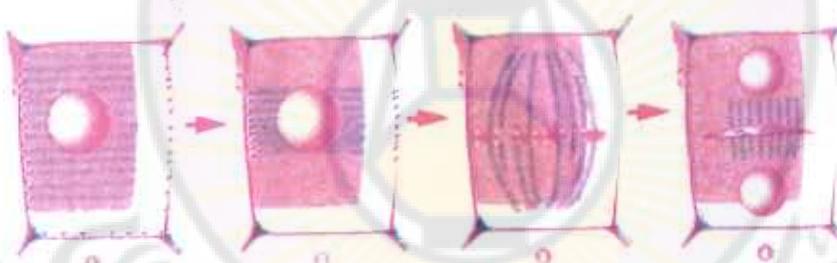
يتتألف الهيكل السيتوبلاسي من ثلاثة أنماط من الخيوط البروتينية. وكل نمط من الخيوط يتتألف من اجتماع وحدات بروتينية مختلفة:

- النبيبات الدقيقة Microtubules وهي أكثرها ثخناً وصلابة. يبلغ قطرها نحو ٢٥

- نانومتراً، وهي بوليمر لجزيء التوبولين tubulin.
- **الخيوط الوسيطة Intermediate Filaments** تركيبها متباين من نسيج خلوي آخر، قطرها نحو 10 نانومترًا.
 - **الخيوط الدقيقة Microfilaments** وهي أكثرها ليونة، قطرها من 5 - 8 نانومتر، وهي بوليمر لجزيء الأكتين.

النبيبات الدقيقة:

أنابيب صلبة تشكل شبكة من الطرق تمتد داخل الخلية، تتحرك على طولها الحويصلات والعضيات الخلوية أن. فهي الجزء من الهيكل السيتوبلاسمى المسؤول بشكل أساسى عن تحديد وضع العضيات داخل الخلية. يمكن للنبيبات الدقيقة أن تتفكك سريعاً في مكان ما لتشكل في مكان آخر. فعندما تدخل الخلية مرحلة الانقسام الخطي فإن النبيبات الدقيقة تتفكك وتجمعت من جديد لتشكل بنية معقدة تدعوها المغزل الخطي (شكل ٢٤-٦).

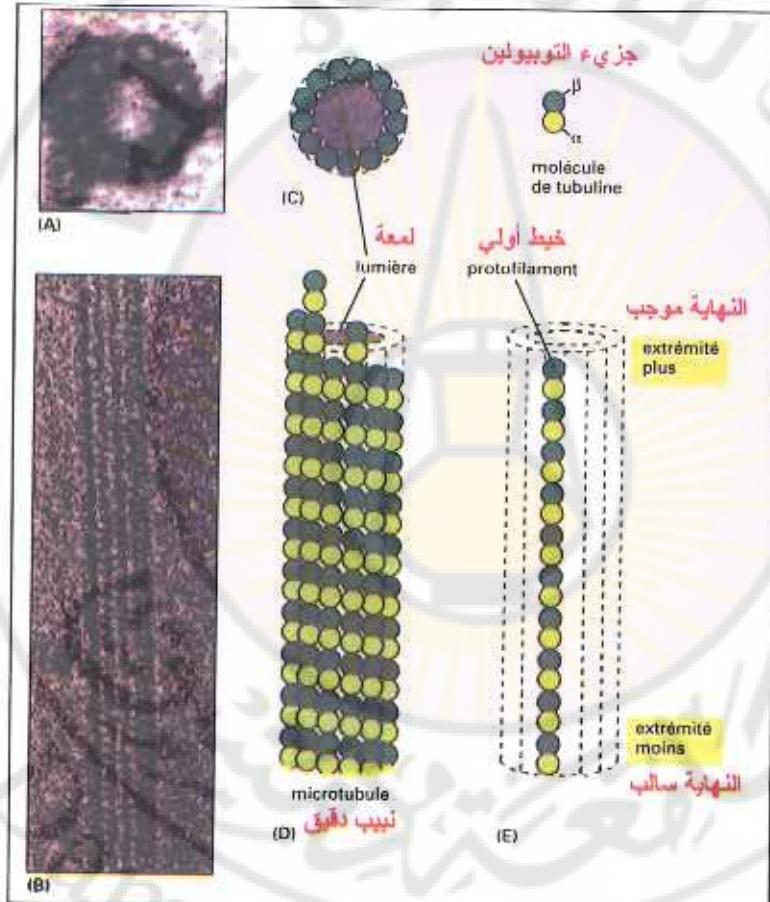


الشكل ٢٤-٦: أربع مراحل لتنببات الدقيقة خلال الدارة الخلوية للخلية النباتية:

- ١: خلال الطور البيني تترزع النبيبات في كافة أنحاء الخلية.
- ٢: عند اقتراب الانقسام الخطي (طبيعة الطور الأول) تجتمع النبيبات على شكل حزام في وسط الخلية.
- ٣: مع بدء الانقسام تختفي الحلقة السابقة، ويعاد تنظيم النبيبات لتشكل خيوط المغزل.
- ٤: بعد انفصال الصبيغيات وهجرتها، تختفي خيوط المغزل وتشكل النبيبات الدقيقة حزمة في وسط الخلية تدعى القراعوبلاست، التي تؤدي دوراً مهماً في تشكيل الجدار الخلوي الذي يفصل الخلاياتين اللتين مستقلتان.

تتألف النبيبات الدقيقة من اجتماع وحدات أولية هي بروتين التوبولين tubulin. يتتألف جزيء التوبولين من اجتماع تحت وحدتين متشابهتين كرويتي الشكل، هما ألفا وبيتا توبولين. يشكل اجتماع وحدات التوبولين بشكل خطى خيطاً أولياً protofilament قطره

نحو ٥ نانومتر (شكل ٢٥-٦). يجتمع عدد من هذه الخيوط (١٣ خيطاً أولياً) إلى جانب بعضها لتزلف جداراً لبنة أسطوانية مجوفة هي النبيبات الدقيقة. تمتلك خيوط التوبولين قطبية خاصة، فالطرف الأول ينتهي بالوحدة ألفا توبولينين (ويشار إليه بالطرف السالب) والطرف الآخر بالوحدة بيتا توبولينين (ويمثل النهاية الموجبة). وجود هذه القطبية مهم في أداء وظائف النبيبات الدقيقة.



الشكل ٢٥-٦: بنية النبيبات الدقيقة
A: نبيب دقيق كما يبدو بالمجهر الألكتروني في مظهر جيبي.
B: نبيب دقيق كما يبدو بالمجهر الألكتروني في مظهر جانبي
. C: و D شكل تخطيطي لكل من A و B

تتضمن الخلية خليطاً من النبيبات الدقيقة ووحدات التوبولين التي تتكون منها تلك الخيوط، وهناك توازن دائم ما بين تركيب وتفكك النبيبات الدقيقة في الخلية. ويستدل على ذلك من خلال بعض المعاير التي تمنع بلمرة التوبولين مثل قلويد الكوليسين. فعندما يُعرض الخلية المقسمة إلى هذه المادة فإنها ترتبط بقوة مع جزيئات التوبولين الحرة وتمنع بلمرته ليشكل النبيبات الدقيقة. وبالتالي تختفي خيوط المفرز الانقسامية سريعاً، وتبقى الخلية غير قادرة على توزيع صبغاتها إلى قطبي الخلية.

لادة التاكسول taxol (المستخلصة من أنواع الجنس *Taxus*) تأثير معاكس على المستوى الجزيئي، فهي ترتبط بقوة مع النبيبات الدقيقة وتنعها من فقدان تحت وحداتها. يشابه التأثير العام للتاكسول تأثير الكوليسين، فهو يمنع الخلية من متابعة انقسامها مما يؤدي إلى موتها.

الخيوط الوسيطة : Intermediate filaments

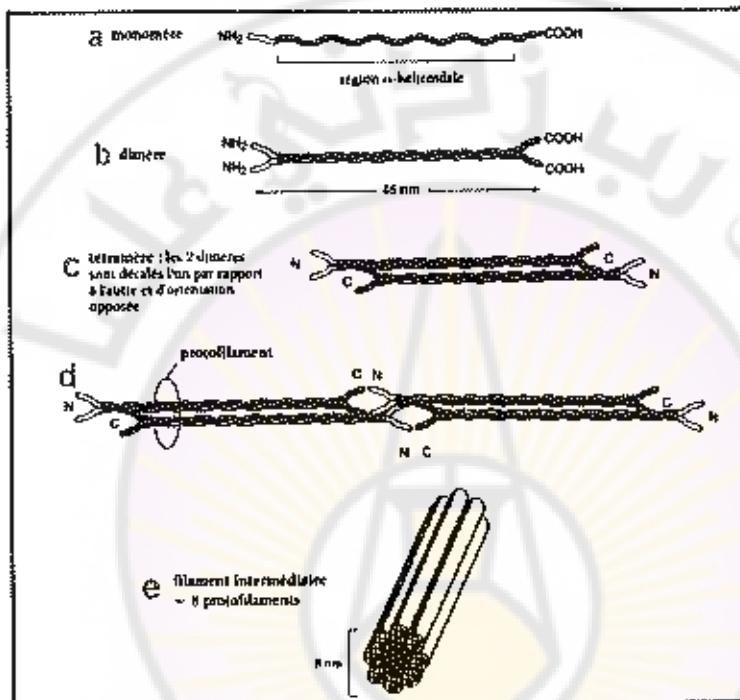
اكتشفت الخيوط الوسيطة منذ السبعينيات من القرن العشرين، وقد سميت كذلك لأنها قطرها (١٠ نانومتر) متوسط بين النبيبات الدقيقة (٢٥ نانومتر) وبين الخيوط الدقيقة (٨-٥ نانومتر). توجد الخيوط الوسيطة لدى كثير من المضادات، وتغيب لدى الفطريات و حقيقيات النوى الدنيا. وهي أكثر ثباتاً من النبيبات الدقيقة.

تتألف الخيوط الوسيطة من اجتماع وحدات أولية هي سلاسل من متعددات الببتيد لها البنية ذاتها (شكل ٦-٢٦). تشكل هذه الخيوط شبكة في كل السيتوبلازم تحيط بالنواء وتبلغ محاط الخلية، حيث ترتبط مع الغشاء البلاسمي. كما تلاحظ الخيوط الوسيطة في النواة حيث تبطن السطح النووي للنشاء الداخلي وتدعى باللامينا lamina .

الخيوط الدقيقة : Microfilaments

تتميز في خلايا حقيقيات النوى شبكة من الخيوط الدقيقة المرنة، التي يبلغ قطرها نحو ٧ نانومتر، وهي عبارة عن خيوط الأكتين (أو الخيوط الدقيقة). تبلغ نسبة الأكتين وسطياً من

٤ إلى ٥٪ من البروتينات الخلوية (أو حتى ٢٠٪ في بعض الخلايا الحيوانية كالعضلات الهيكلية). هذا البروتين محافظ جداً خلال مسيرة التطور، وهو يتألف من ٣٧٥ حمضًا أمينيًّا. وبشكل له مورثة توجد بنسخ متعددة غالباً.



الشكل ٦٤١: لنموذج يوضح طريقة تجميع الخيوط الوسيطة:

أ: سلسلة مفردة

ب: سلسلة مزدوجة تتكون من اجتماع سلسلتين مفردين لهما نفس الاتجاه

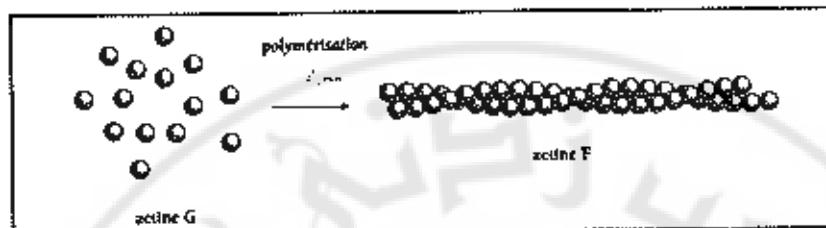
ج: سلسلة رباعية ناتجة عن اتحاد سلسلتين مزدوجتين لهما توجه متعاكش

د: خيط أولي مؤلف من ارتباط عدد من العلامات الرباعية

هـ: خيط وسيط مؤلف من اجتماع ٨ خيوط أولية.

خيط الأكتين (ويرمز له بالأكتين F) مؤلف من اجتماع سلسلتين تلتقيان على بعضهما بشكل حلزوني. وتتألف كل سلسلة من وحدات كروية متماثلة تدعوها بالأكتين G (شكل ٦-٢٧). تحتاج بلمرة جزيئات الأكتين G إلى وجود طاقة، ولذلك نجد أن كل وحدة أكتين مقدرة بترابط مع جزء ATP يتحول إلى ADP بعد توضع الأكتين G في الخيط. لخيوط الأكتين

قطبية بنوية فهسي وبشكل مشابه للنبيبات الدقيقة لها نهاية موجبة وأخرى سالبة. ولكنها أكثر مرونة وقصراً من النبيبات الدقيقة وتلوقها عدداً.



الشكل ١٧-٦: بذرة خيوط الأكتين:
وحدات الأربيلية actine G تجتمع لتشكل خيط الأكتين F.

خيوط الأكتين بنيات غير ثابتة يمكن أن تتفكك من كلا نهايتيها، أو أن تكبر بإضافة وحدات أكتين كروية جديدة إلى نهايتي السلسة. وهناك توازن حركي دائم بين خيوط الأكتين والوحدات المفردة التي تكونها. تشوّش بعض السموم الفطرية وظائف الخيوط الدقيقة وذلك سواءً بمنع بلمرتها أو بمنع تفككها. تعد خيوط الأكتين أساسية للخلية في كثير من تحركاتها، فعلى سبيل المثال لا تستطيع الخلية الإحاطة بجزيء كبير غير البلعمة أو أن تنقسم إلى خلستان بغياب هذه الخيوط الدقيقة. إنها باختصار تؤدي دور "عضلة" الخلية.

العصارة الخلوية : The Cytosol

العصارة الخلوية هي الجزء المذاب من السيتوبلاسم الذي يغمر العضيات الموجودة في السيتوبلاسم. وهي غنية بالماء (٩٠ إلى ٧٠٪) وبأملاح معدنية مختلفة، إضافة إلى جزيئات صغيرة تتشكل محاليل حقيقية كالأملاح والسكاكر والحموض الأمينية والحموض الدسمة والنوكليوتيدات والفيتامينات وغازات مذابة. وجزيئات كبيرة تتشكل محاليل غروية كالبروتينات والرنا بدرجة أقل. وهي موقع لمسارات استقلابية معينة مثل التحلل السكري glycolysis إلى جانب قيامها بدور مجمع للمواد الكيميائية الحيوية. ويجري فيها أيضاً اصطناع الحموض الدسمة والنوكليوتيدات وبعض الحموض الأمينية.

التنظيم المورثي The Control of Gene Expression

لا يحتاج الكائن الحي إلى كل منتجات مورثاته في الوقت ذاته، كما أنه من الضروري أن ينظم الكمييات التي يحتاج إليها من الأنزيمات والجزيئات الحيوية الأخرى تبعاً لحاجاته. تدعى عملية ضبط تركيب البروتينات في الخلية بالتنظيم المورثي.

يمسر تركيب البروتين بمرحلتين أساسيتين هما النسخ والترجمة، ويمكن أن يسيطر على تركيب البروتين على كلا المستويين. تعرف آليات تنظيم تركيب البروتينات في الخلية بشكل أفضل لدى طلائعيات النوى، ولذلك سنتناول عملية التنظيم المورثي لدى الطلائعيات أولاً.

١: التنظيم المورثي على مستوى النسخ لدى طلائعيات النوى:

تعيش الخلية الجرثومية بتناسق مباشر مع الوسط الذي يمكن أن تتغير مكوناته الكيميائية بشكل مفاجئ. ففي لحظة ما يمكن لمركب ما أن يكون متوفراً، ثم يفقد لاحقاً. ماذا يحدث للخلية الجرثومية عندما تنقل من وسط زرع يتضمن الحاجات الدنية الأساسية إلى وسط آخر يتضمن اللاكتوز مثلاً؟

عند زراعة العصيات الجرثومية *E. coli* على وسط يحتوي على الغلوكوز، فإن هذه العصيات تتكاثر وتنمو بشكل طبيعي. ولكن عند استبدال الغلوكوز باللاكتوز، يتوقف نمو الجراثيم في البداية، وكأنها لا تستطيع استعمال اللاكتوز للحصول على الطاقة (مع أن اللاكتوز سكر مركب مؤلف من الغلوكوز وسكر آخر هو الفالاكتون). ولكن بعد فترة من الزمن يلاحظ عودة البكتيريا للنمو. لقد أصبحت هذه العصيات قادرة على الاستفادة من اللاكتوز بحملهته والحصول على الغلوكوز. تعود عدم قدرة الجرثومة على الاستفادة من اللاكتوز في البداية إلى عدم توفر الأنزيم الضروري لعملية هذا السكر المركب.

سوف ندرس بالتتابع كيف يتم تحفيز تركيب هذا الأنزيم، وكيف يتم كبح هذه العملية من خلال التعرف على الورقة المسؤولة عن تركيبه.

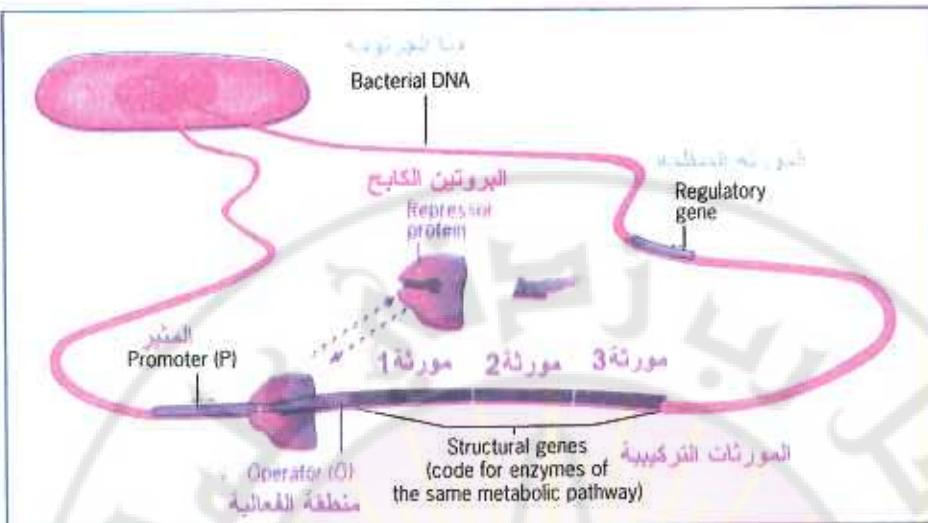
أوبيرون Operon اللاكتوز:

يغلب لدى الجراثيم أن تتشجع المورثات التي تشير إلى عدة أنزيمات تتواجد في المسار

الاستقلابي ذاته في مجموعة واحدة، تشكل بنية وظيفية محددة ندعوها الأوبيرون operon يتضمن الأوبيرون بشكل عام المكونات التالية (شكل ٢٨-٦) :

- المورثات التركيبية structural genes: وهي المورثات التي تشفّر لأنزيمات التي تتوسط في المسار الاستقلابي. وتقع إلى جانب بعضها البعض، وتنسخ في رنا رسول واحد. تتم تجزئته لاحقاً إلى عدة قطع، يترجم كل منها إلى الأنزيم المألف.
- منطقة المثير promoter region وهي منطقة من الدنا توجد أمام المورثات التركيبية. يتعرف عليها أنزيم بلمرة الرنا (الرنا بوليميراز) ويرتبط معها، ويستدل من خلالها على وجود مورثة يجب نسخها إلى رنا رسول.
- منطقة الفعالية operator region وتقع بالقرب من منطقة المثير وقد تتدخل معها. وهي الموقع الذي يرتبط معه جزيء بروتيني خاص ندعوه الكابح repressor بعد تعرفه على تتابع خاص في سلسلة الدنا يقع في هذه المنطقة ويرتبط معه بقوة. تعود مقدرة البروتين الكابح على التعرف ومن ثم الارتباط مع المنطقة الفعالة إلى وجود توافق فراغي بين بنيته والتتابع الخاص في سلسلة الدنا، يؤمن تقابل بعض الزمر الكيميائية من كلا الجزيئين.
- مورثة منظمة regulatory gene هي المورثة التي ترمز للبروتين الكابح الذي سيمنع عملية نسخ المورثات التركيبية إلى رنا رسول. يمكن أن تقع المورثة المنظمة قريباً أو بعيداً من المورثات التركيبية.

وُصف أوبيرون اللاكتوز من قبل Jacob و Monod عام ١٩٦١ وهو يتضمن ثلاثة مورثات تركيبية متراصة هي : المورثة z والتي ترمز إلى الأنزيم بيتا غالاكتوسيداز (وهو الأنزيم الخاص بحلمية اللاكتوز)، والمورثة l والتي ترمز إلى الأنزيم غالاكتوسيد بيرمياز galactoside permease (وهو أنزيم يعزز عمور اللاكتوز إلى الخلية الجرثومية)، والمورثة a والتي ترمز إلى الأنزيم thiogalactoside acetyltransferase وهو أنزيم لا يزال دوره الفيزيولوجي غير واضح تماماً (شكل ٢٩-٦).



الشكل ٢٨-٦: بنية الأوبيرون لدى الجراثيم

وهكذا نجد أن المفتاح في التعبير المورثي في هذه الحالة يرتبط بشكل أساسى بالبروتين الكابح.

آلية عمل أوبيرون اللاكتوز:

لتأخذ من جديد التجربة السابقة في محاولة لشرحها على المستوى الجزيئي (شكل ٢٩-٦) :

١ : بوجود الغلوكوز: بما أن الغلوكوز متوفّر في الوسط، واللاكتوز غير موجود، فإن المورثات المشفرة للأنزيمات المخصصة لاستعمال اللاكتوز ستكون مكبوحة.

٢ : بغياب الغلوكوز ووجود اللاكتوز: لكي تستمر الجراثيم في العيش فلا بد لها الاعتماد على اللاكتوز. ولذلك نرى أن الجراثيم ألغت الكبح الذي كان مفروضاً على نسخ المورثات الثلاثة، وتم تحفيز إنتاج هذه الأنزيمات. كيف تم كبح وتحفيز هذا الأوبيرون على المستوى الجزيئي؟

يمكن تبسيط عمل أوبيرون اللاكتوز على الشكل التالي :

- في حال وجود الغلوكوز وفيما ينعدم اللاكتوز (حيث لا حاجة للعضوية إليه) يتثبت البروتين الكابح على منطقة الفعالية (الأوبيراتين) ويمنع إنزيم الرنا بوليميراز من الارتباط مع المثير.

وبالتالي لن يكون هناك نسخ ولا تركيب للأنزيمات اللازمة لاستعمال اللاكتوز.

- أما في حال غياب الغلوكوز ووجود اللاكتوز، فيتم تحفيز تركيب هذه الأنزيمات من جديد،

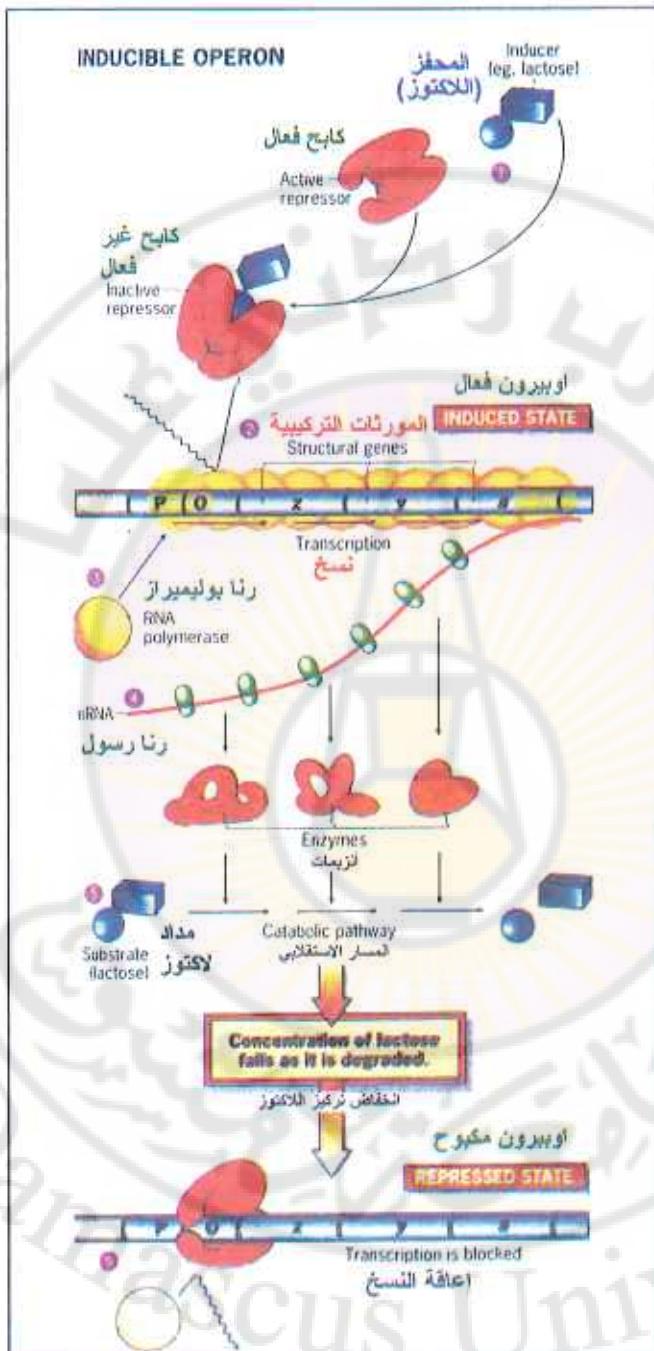
ويتم ذلك عبر ارتباط اللاكتوز مع البروتين الكابح مما يؤدي إلى تغيير في الشكل الفرافي للبروتين الكابح وبصبح غير قادر على الارتباط مع الدنا في منطقة الفعالية. في هذه الحالة، يصبح الطريق سالكاً أمام الرنا بوليميراز ليتثبت على منطقة المثير ويقوم بنسخ المورثات الثلاثة، وعندما يقل تركيز اللاكتوز في الوسط، ينفصل اللاكتوز عن الجزيء الكابح، ومن ثم يصبح هذا الأخير قادراً على الارتباط مع المنطقة الفعالة ويعيق عملية نسخ المورثات التركيبية.

يمكن تشخيص آلية عمل أوبرون اللاكتوز بما يلي: يتم تركيب عدد قليل جداً من جزيئات إنزيم بيتا غالاكتوسيداز (أقل من ١٠) في خلية جرثومة المصبة المعاوية عند توفر الغلوكوز، ولكن يركب عدة آلاف من جزيئات هذا الإنزيم في حالة غياب الغلوكوز وجود اللاكتوز. يتم التحفيز في هذه الحالة عن طريق إزالة الكابح. ينظر إلى هذا النموذج في التنظيم على أنه تنظيم سلبي فالكابح يمنع نسخ الرنا الرسول، والمحفز يعني تأثير الكابح. نصادف هذا النمط السلبي من التنظيم كثيراً في حياتنا: فصنابير المياه أو الغاز أو الكهرباء تكون مغلقة، ولفتح فقط عند الحاجة إليها.

٤- التنظيم على مستوى الترجمة

المثال الأكثر دراسة في هذا المجال هو تركيب البروتينات الريباسية لدى *E. coli*. نذكر بأن الريباسة تتالف من اتحاد عشرات الجزيئات البروتينية المختلفة مع ٣ أنواع من الرنا الريبياسي rRNA، وبالتالي يستهلك اصطناع الريباسة الكثير من الطاقة. ولكي لا يحدث هدر في الطاقة، فإن إنتاج الريباسات يجب أن يضبط حسب الحاجة إليها. يتم تنظيم هذا الإنتاج على مستوى النسخ أو الترجمة، ولكننا سنعرض فقط للتنظيم على مستوى الترجمة لترى كيف يتم الكبح على هذا المستوى.

يتم تجميع الريباسات في الخلية الجرثومية طالما أن الرنا الريبياسي متوفّر فيها، حيث تتحد البروتينات الريباسية مع rRNA. وعندما يوجد فائض من البروتينات الريباسية فإن هذه البروتينات تثبت على الرنا الرسول المسؤول عن تركيبها وتعيق عملية ترجمته، وتعمل ككابح لتشكيل بروتين جديد على مستوى الترجمة.



الشكل ٢٩-٦: آلية عمل أوبيرون اللاكتوز

تعد السيطرة على تركيب البروتينات على مستوى الترجمة أكثر فعالية من مستوى النسخ، لأنه أكثر سرعة. فالسيطرة على تركيب البروتين على مستوى النسخ لا يؤثر إلا بعد تفكيك كافة mRNA الموجود في السيتوبلازم.

تنظيم تركيب البروتينات عند حقيقيات النوى:

يتم تنظيم التعبير الورثي لدى حقيقيات النوى بأكثر من أسلوب، نشير إلى بعضها:

١: التنظيم عبر تغيير في البنية الأولية للدنا DNA

٤: تغيرات كيميائية بسيطة (إضافة زمرة الميثيل Methylation):

لدى فحص الدنا لعدد كبير من المتغيرات تبين أن هناك نسبة لا يزيد بها عن أزواج التكليوتيدات قد أضفت إليها زمرة ميثيل. تتم إضافة زمرة الميثيل دائمًا في الموقع + لأساس السيتوزين الذي ينتهي إلى الثنائي CG. وتبيّن أن إضافة الميثيل للمورثات يترافق مع انخفاضها كبير في نسخ هذه المورثات.

هذه الآلية في التنظيم غير منتشرة لدى كل المتغيرات حقيقة النوى. فهناك كائنات لم يلاحظ فيها ذلك. ولكن النباتات يحدث لديها ذلك وبمعدل أعلى مما يلاحظ لدى الحيوانات. وقد تم في تجربة، عبر تقانات الهندسة الوراثية، التأثير على نسبة مثيلة الدنا (تقليل نسبة هذه العملية بنحو ٧٠٪) لدى نباتات *Arabidopsis thaliana*. فشاهدنا نمو الجهاز الإعاضي والتكتاري لدى النباتات المعالجة بشكل أفضل بكثير من النباتات الشاهدة والتي كانت نسبة مثيلة الدنا فيها عالية (الشكل ٦-٣٠).

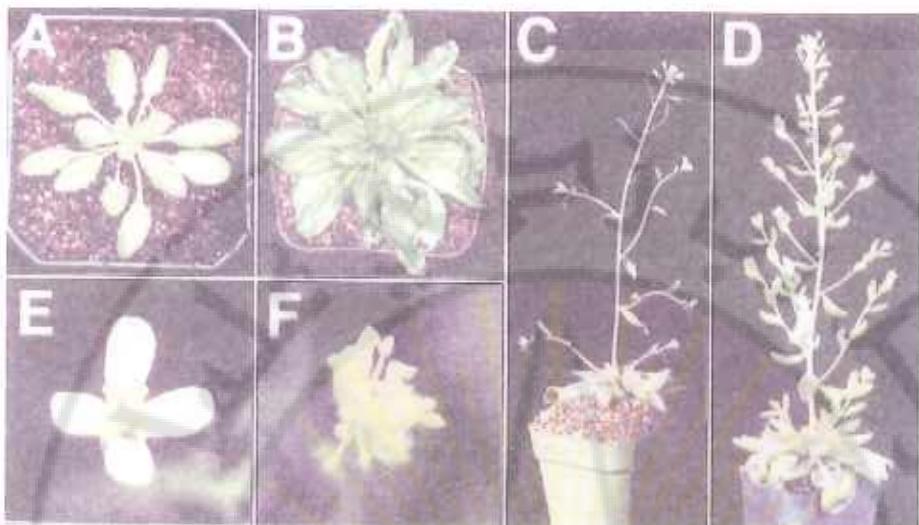
٤: تغيرات في تتابعات الدنا:

لاحظ العلماء أن هناك بعض المورثات التي تبقى مكبوبة ولا تغير عن نفسها إلا بعد حدوث إعادة ترتيب في التتابعات التي تختلف منها. كما هو الحال في مورثات الناعمة.

٤: تنظيم التعبير الورثي عبر الهرمونات

بشكل مشابه للتأثير سكر اللاكتوز على فيزيولوجية الجرثومة *E. coli* فإن هناك العديد

من الهرمونات التي تؤثر على مجموعة من المورثات في الخلايا الهدف.



الشكل ٦ -٣٠: تجربة تظهر تأثير مثيلة الدنا على نمو النبات
وC وE نباتات شاهدة
وD وF نباتات معالجة (نسبة المثيلة أقل بنحو ٧٠% من الشاهد).
لاحظ زيادة النمو لدى النباتات المعالجة

الفصل السابع

مشتقات البروتوبلاست

تُعد مشتقات البروتوبلاست الماحصلات الأساسية لنشاط العضيات الخلوية المختلفة، وتضم عدداً كبيراً من المواد التي تتحصر في السيتوبلاسم، عدداً أقل يترسب خارج حدودها للتشكيل الجداري الخلوي. تصنف هذه المركبات في ثلاث زمر رئيسية:

- ١- المواد الفيزيولوجية النشطة كالبروتينات والأنزيمات والهرمونات النباتية والفيتامينات وغيرها.
- ٢- ماحصلات الإستقلاب الخلوي وهي موكيبات متعددة. قد تأخذ أشكالاً محددة (كمباتات النساء أو البيلورات وغيرها)، وقد تكون منحلة في الصارة الخلوية.
- ٣- الجدار الخلوي.

تفصي الإشارة إلى صعوبة إيجاد تصنيف واحد يشمل جميع مشتقات البروتوبلاست، وما التصنيف السابق إلا أكثرها شيئاً وشمواً وأهمية،
المواد الفيزيولوجية النشطة

ستدرس طبيعة وتركيب هذه المواد بصورة تفصيلية في محاضرات الفيزيولوجيا النباتية والكيمياء الحيوية.

البروتينات

تشتمل الكائنات الحية كافة، سواء النباتات منها أو الحيوانات، على عدد كبير ومتتنوع من البروتينات. يشكل بعض هذه البروتينات الجزء الأساسي من العضيات السيتوبلاسية وهي البروتينات البنائية. وبعضها الآخر، يوجد ويحدد مجرى كافة التفاعلات البيوكيميائية "الأنزيمات". كما تؤلف البروتينات الدخilarية زمرة ثالثة. يُعرف حالياً في الطبيعة نحو ١٥٠ حمضأً أمينياً، يدخل منها في تركيب البروتينات ٢٢ حمضأً فقط.

الهرمونات النباتية Phytohormones

تتمسّع هذه المركبات بنشاطٍ فيزيولوجيٍّ كبيرٍ. دروس بعضها بشكلٍ جيد، ويدعى بهرمونات النمو، كالأوكسينات Auxins والجيبريلينات Gibberellins، ينشط الأوكسين خلايا النسج القسمة ويُسرع نموها (من انقسام وتطاول) وتُميّزها إلى نسجٍ وأعضاء. يستخدم الجيبريلين، المستخرج من فطور جنس الـ *Gibberella*، على نطاقٍ واسعٍ في الأبحاث التجريبية، بهدف رفع مردود المحاصيل الزراعية. فهو يُسرع نمو المجموع الجذري لعددٍ كبيرٍ من النباتات، كالتبغ والقنب والخضروات.

الفيتامينات Vitamins

اكتُشفت عام ١٨٨٠، وقد أخذت تسميتها الراهنة "فيتامينات" بعد ذلك. تتعمّى إلى هذه المركبات موادٌ عضوية ذات تركيب كيميائيٍّ متنوعٍ، وتقوم في النبات، كالأنزيمات بدور النشطات. تمَّ حاليًا الحصول على بعض الفيتامينات بصورةٍ نقية، وقد جرى تركيبها صناعيًّا. يرمز، للسهولة، لمختلف الفيتامينات بأحرف الأبجدية اللاتينية. تتصنّف بعض الفيتامينات بقدرتها على الانحلال في الماء مثل فيتامين H, PP, C, B وغيرها. ولذلك توجد منحلة في العصارة الخلوية. ويستطيع بعضها الآخر الانحلال في الدسم مثل D, A, E حيث توجد في السيتو بلاسم.

لا تتساوى جميع النباتات بمحنتها بالفيتامينات، كما أنها تترافق في أعضاء نباتية محددة. وهكذا تتركز فيتامينات المجموعة (B₁, B₃ وغيرها) في الجنين، وفي غلاف البذرة أو في السبادرات الفتية، كسبادرات القمح والذرة. بينما يغزو الفيتامين C بصورةٍ خاصة في ثمار توت العليق والليمون وغيرها. ويغزو الفيتامين B في الحمضيات والبندورة، ويتوارد الفيتامين K بكثافة كبيرة في أوراق القرص وفي الجذور اللحمية للجزر. يُعرف حاليًا نحو ٤٠ فيتاميناً فقط.

الصادات Phytoncids والمبيدات النباتية Antibiotics

تُقسّم هذه الزمرة عدداً كبيراً من المواد التي تُصطنع في خلايا النباتات الدنيا (الصادات) أو في النباتات الراقية (المبيدات النباتية). وتُستخدم جميعها في حماية النبات أو الدفاع عنه.

تحمي الصادات الباردات وتساعدها على النمو والتطور، وتقاوم المبيدات النباتية المكتربا
الشاربة بالمزروعات وتنقضي عليها.

توجد هذه المركبات بالحالات الثلاث: الغازية والسائلة والمصلبة. أما طبيعتها الكيميائية فمتنوعة جداً، فقد تكون حموضاً أمينية أو قلويدات، حموضاً عضوية أو استرات. ومن المعتقد أن يكون حمض سيان الماء أحد المركبات الأساسية في المبيدات النباتية.

لقد استخدمت الصادات في الأغراض الطبية منذ عام ١٨٧١-١٨٧٢ بعد أن درست خواص فطور جنس *البّ* *Penicillium* باهتمام كبير. وقد أعلن عن اكتشاف البنسلين عام ١٩٢٩ من قبل العالم الإتكليزي *A. Fleming*. واستطاع زميله *Flory* الحصول عليه بصورة نقية، عام ١٩٤٠. بعد ذلك، تم اكتشاف عدد كبير من الصادات، وجرى تصنيع أكثرها تأثيراً أو استخداماً في الطب والبيطرة مثل البنسلين والستربتوميسين والتراسيكلين وغيرها. يشجع تطور صناعة الصادات على استخدامها لحماية النباتات من الأمراض والأضرار المختلفة.

تعصف المبيدات النباتية والصادات بتأثير نوعي، فهي مبيدة لبعض العضويات وأقل أو أكثر ضرراً لبعض الكائنات الأخرى. يشتمل البصل والبطاطس على نسبة عالية من المبيدات النباتية، التي تستخدم في القضاء على فطر البياض الرغبي *Phytophthora infestans*. كما تستطيع المبيدات النباتية في الليمون *Citrus limon* أن تقضي على عصيات الزحاج.

حاصلات الاستقلاب الخلوي

تراكم في الخلايا النباتية خلال نشاطها كمية كبيرة من المواد المختلفة الغذائية وغير الغذائية. تستهلك المواد الغذائية في بناء العضوية والحصول على الطاقة. أما المواد غير الغذائية فينظر إليها كنواتج نهائية لتفاعلات الاستقلاب الخلوي، إذ أنها لا تقوم بدور فيزيولوجي محدد. فقد تستخدمها النباتات، في بعض الأحيان، بأشكال مختلفة. إلا أنها كقاعدة عامة، لا تشارك في التفاعلات الكيميائية، وحينئذ ينظر إليها كفضلات.

تشتتى المواد الداخلية الغذائية، من حيث طبيعتها الكيميائية، إلى ثلاث زمرة رئيسية:

السكاكر، واللبيبات والبروتينات.

السكاكر (صليات الفحم):

يعد النشاء، والغليوكجين والإندولين من أهم المركبات المركبة الأدخارية.

النشاء

يتجتمع النشاء في الخلايا النباتية، بكميات كبيرة، على شكل حبيبات صغيرة، مختلفة الأشكال. يشكل النشاء المادة الأدخارية الرئيسية في النبات، ويقايه الغليوكجين في الحيوان. يصادف النشاء في النبات بأشكال ثلاثة: أولي وانتقالي Transit وثانوي.

يتركب النشاء الأولي في الصانعات الخضراء نتيجة الاصطناع الضوئي. بعدها، وبتأثير بعض الأنزيمات (اميلاز، غالتاز) يتحول هذا النشاء إلى سكاكر بسيطة، فيستطيع حينئذ الانتقال من خلية إلى أخرى. تتعرض السكاكر البسيطة الناتجة عن إماهة النشاء الأولي، لتفاعلات أنزيمية معاكسة، فتشكل "مؤقتاً" نشاء جديداً يسمى النشاء الانتقالي. يتلفك النشاء الانتقالي ثانية إلى سكاكر بسيطة بتأثير الأنزيمات السابقة. وهكذا تبقى السكاكر البسيطة على هذه الشكلة، حتى تصل إلى تلك الخلية أو النسج، حيث يتم اصطناع النشاء الثانوي وإدخاره فيها. يصنعن النشاء الثانوي أو الأدخاري، غالباً في الصانعات النشوية.

يؤخذ عادة، نبات البطاطا، كمثال على تطور النشاء وتحوله كما مر سالقاً. فيجري تشكيل النشاء الأولي في القسم، بنتيجة الاصطناع الضوئي، في الأجزاء الهوائية من النبات. ينتقل النشاء بعد ذلك عبر الساق (النشاء الانتقالي)، إلى الدرنات ليترأكم ويدخن فيها (النشاء الثاني).

تحتختلف أشكال حبات النشاء وأبعادها حسب الأنواع النباتية. فهي بحدود في البطاطا ١٠٠-٧٠ ميكروناً، وفي القمح ٤٠-٣٠ ميكروناً، وفي الذرة ١٢-١٣ ميكرون. تبدو حبات النشاء بأشكال كروية أو بيضوية، وقد تأخذ أشكالاً أخرى أكثر بساطة من ذلك. توجد حبات النشاء بصورة بسيطة أو مضاعفة أو مركبة (شكل ١-٧). ويمكن عدّ بنية حبات النشاء وشكلها

من الصدفات التصنيفية الهامة.

يتركب النشاء من اتحاد نحو ألفي جزيء، من الغليكوز لتشكيل مركبين مختلفين: الأмиجلوز Amylose ويتضمن بنية جزيئية ذات سلسلة خطية، وبالحالله في الماء الساخن وتلونه بالأزرق بصفة اليود اليدوي، والأميلوبكتين Amylopectin، ويتصف، على العكس، ببنية جزيئية متفرعة، وبعد انحلاله في الماء، وتلونه بالبنفسجي بالصفة السابقة.

يشكل كل من المركبين السابعين طبقات متتالية، تؤلف بمجموعها حبة النشاء، حيث يكون الأميجلوز نحو المحيط والأميلوبكتين نحو المركز والذي يسمى السرة Hilum، يدخل في تركيب حبة النشاء كذلك: حمض الفوسفور وبعض العناصر المعدنية كالكبريت والكلسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. لقد اكتشف أخيراً وجود بعض المحموض الدسمة فيها أيضاً.

يتراكم النشاء الدخاري في مختلف أعضاء النبات وبطاصة في البذور والدرنات والوصلات والجذور الحممية وفي أفنان الأشجار.

النشاء مركب غير ثابت إطلاقاً، فتحت تأثير بعض العوامل، كالماء الساخن مثلاً، يتحول إلى جملة غروية "مطبوع النشاء". ويتفكك بتغير درجات الحرارة المنخفضة إلى السكارى البسيطة. في الشتاء، يلاحظ أن طعم درنات البطاطا وحراشف البصل وأوراق السبانخ قد أصبح حلواً، نتيجة تفكك النشاء الدخاري فيها إلى سكارى بسيطة.

الغليكوجين

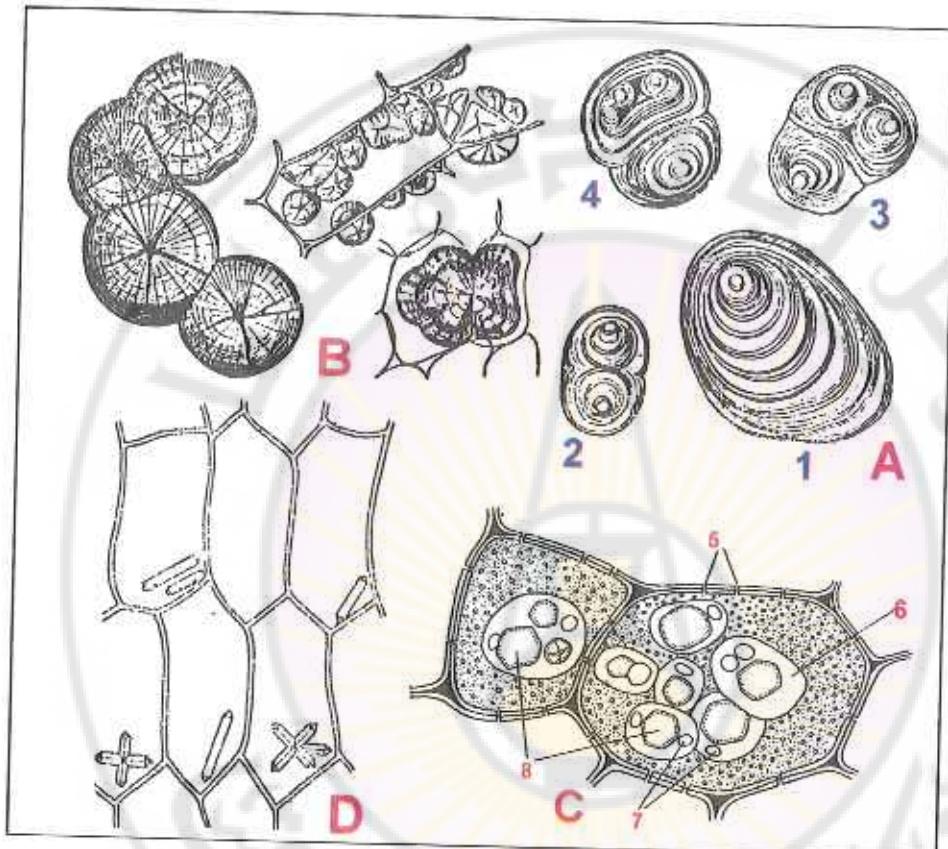
يتراكم كمادة ادخارية في النباتات الباختضورية غالباً (الفطور، البكتيريا). بعد الغليكوجين، من الناحية الفيزيائية، من الغرويات المحبة للماء. ينتشر الغليكوجين بصورة واسعة في الحيوانات كمادة ادخارية.

الإتولين

يعزز الإنولين معظم أنواع الفصيلة النجمية Asteraceae (الركبة Compositae) كالأساليا المتغيرة *Dahlia variabilis* وزهر الشمس الدرني *Helianthus tuberosus* وغيرها. يتراكم الإنولين في العصارة الخلوية بالحالة الغروية، وقد تصل كميته في درنات الأساليا إلى

.١٢٪ يتربّس الإنولين بتأثير الكحول على شكل بالورات كروية أو مروحية . (شكل ١-٧).

يتفكك الإنولين عند حله في سكر الفركتوز.



شكل ١-٧: مركبات الخارجية في الخلية النباتية
حيات نشاء في درنات الباطن، B: بالورات سكر الإنولين في درنات الأضاليا، C: جباث الأورون في خلايا
سيوداء بذرة الغروع، D: بالورات مشوهرية بسيطة من حمضات الكالسيوم في خلايا جرشف البصل اليابسة.
١: حبة نشاء بسيطة، ٢: حبة نشاء مضاعفة، ٣ و ٤: جباث نشاء مركبة

الليبيادات

تتراكم المواد الليبيدية الادخارية في ستيوبلاسم جميع الخلايا النباتية على شكل قطرات سائلة. وتكون بكمية كبيرة في بذور زهر الشمس الجولي، القطن، القنب، الكتان ... الخ، وفي بعض الشمار كالزستون. تتذبذب كمية المواد الدسمة كثيراً حسب النوع النباتي. فتبلغ نسبتها

في شجرة التونغ (تنبت في الصين والهند وذات زيوت ثمينة) ٧٥٪، وفي النزرة والشووفان ٤٦٪ وفي القمح ٢٪ وتكون على شكل قطرات زيتية سائلة.

تعد الليبيادات الادخارية الشكل الأكثر اقتصاداً للخلية من سائر المواد المغذية الأخرى.

فهي غنية جداً بالطاقة إذ يتألف ٤٠٪ من وزنها من عنصري الهيدروجين والكربون و ١١٪ فقط من الأوكسجين. فمثلاً أكسدة الشحوم، تتحرر كمية كبيرة من الطاقة تفوق مثيلتها كثيراً في حالة السكاكر والبروتينات. وهكذا يتحرر عند احتراق "١" غ من الدسم ٩,٣ حرقة، حيث تقابل فقط ٤,٢ حرقة عند احتراق "١" غ من السكاكر. تدخل المواد الدسمة في الانثيرات والكلوروفورم والبنتزين والتولوين والكريولول... الخ، وتنحل بصفة في الكحول، وعديمة الانحلال في الماء.

ترتبط الليبيادات بالسيتوبلازم بصورة ضعيفة جداً. وتستخدم هذه المركبات في مجالات صناعية مختلفة، كتحضير الدهانات وزيوتها ومعاجناتها، وفي صناعة الأغذية وغير ذلك.

البروتينات

تبين الإشارة إلى ضرورة التفريق بين البروتينات الادخارية والبروتينات البنائية في جميع الخلايا النباتية. يتم إصطناع البروتينات الادخارية في السيتوبلازم على شكل حبات بروتينية عديمة الشكل، أو على هيئة أجسام شبه بللورية. غالباً ما تدخل هذه البروتينات على شكل حبات تسمى حبات الألورون. تتفايز وتترسب هذه الحبات، كما يفترض، نتيجة فقدان الماء من "المحلول" البروتيني الفجوي. فيتبلور جزء من المواد البروتينية لتشكل ما يسمى الجسم شبه البللوري Crystallloid، حيث تحيط به مادة بروتينية غير متبلورة. يتربس أيضاً ضمن حبة الألورون، خلال فقدان الفجوة البروتينية للماء، ملح الكالسيوم والمغنيسيوم لحمض الفوسفور الأينوزيتي (يوجد سكر الأينوزيت في كافة الخلايا الحيوانية تقريباً، وفي كثير من النباتات). يتوضع المركب السكري السابق إلى جانب الجسم شبه البللوري، مشكلاً جسماً آخر، يسمى الجسم شبه الكروي Globoid يتشكل في حبة الألورون أحياناً، عدة أجسام شبه بللورية وشبه كروية ضمن المادة البروتينية الأساسية غير المتبلورة، والتي تسمى بالقالب

Maltix تدعى حبات الألورون هذه، الحبات المعقدة، تمييزاً لها عن حبات أخرى بسيطة، توجد في بذور المحمص والسبازلاء والفول من الفصيلة البقولية. تكون حبات الألورون البسيطة مقنافية البنيّة ويصعب تمييز الأجزاء السابقة التي تشاهد في بذور الخروع. وعلى هذا يمكن تصنیف حبات الألورون في ثلاثة أشكال مختلفة:

١- حبات الألورون المشتملة على أجسام شبه كروية فقط، كما هو الحال في بذور الفصيلة البقولية.

٢- حبات الألورون المشتملة على أجسام شبه كروية وأجسام شبه بلوريّة، كما هو في بذور الخروع وغيرها (شكل ١-٧).

٣- حبات الألورون المشتملة على حمامضات الكالسيوم، كما في بذور القتب.

تتميز الأجسام شبه البلوريّة في حبات الألورون، عن البلورات الحقيقية لأملاح المحموض المشتملة، بكونها تتألف من بروتينات تتشرب الماء وتنتفخ. وهي مثلاً، تتشرب الماء عند إنشاش البذور مستحولة إلى فجوات من جديدة. تتحلل البروتينات الارخارية في المحموض والقلويات في الماء الساخن.

العصارة الخلويّة والفحوات

تُعد العصارة الخلويّة محسولاً من حاصلات نشاط البروتوبلاست دائمة الوجود. فيمكن بسهولة، الكشف عن قطرات العصارة الخلويّة في الخلايا الفتية، حيث تزداد كميّتها بشكل ملحوظ مع نمو هذه الخلايا وتطورها. تترافق العصارة الخلويّة في قنوات الشبكة البلاسمية الباطنة. تتجمع هذه العصارة بعدد في فقاعات حيوانية الشكل، تعرف باسم الفجوات Vacuoles. يمكن النظر إلى العصارة الخلويّة ك محلول ضعيف التركيز لعدد كبير من المواد العضوية واللاعضوية، ذات التركيب الكيميائي المتباين.

المواضيع العضوية

تترافق في العصارة الخلويّة مواد ادخارية آزوتية كالبروتينات والقلويات، وغير آزوتية كالسكاكر والغليوكوزيدات والمحموض العضوية وأملاحها والمواد العفصية.

القلويّدات Alkaloids

مركبات آزوتية معقدة، مشحونة؛ لأنّها المجموعات العضوية، تمثل تفاعلاً قلويّاً، وهذا ما يسمح بمعاصرة أملاحها بمحمض. ولذلك تتواجد كثيرة في تركيبها. تعتبر القلويدات؛ كما يعتقد، المركبات النهائية في عملية استقلاب المواد، ولكنها تمتلك بأهميّة حموليّة كبيرة، إذ تُعدّ معظم القلويدات مواد سامة ولا تُقدم علفاً للحيوانات العشيّة. وهذه السبب، لا تتموّل الأحياء الدقيقة، كالقطرور والبكتيريا، في الشّاليا النباتيّة، التي تستعمل على القلويدات. وهي لذلك، تؤدي دور الصادفات في الكائنات النباتيّة.

تتمثل معظم القلويدات استخدامات طبّية هامّة. فيستعمل قلويّ الـكينون، المستطهّر من قشور شجرة الكينا، كدواء نوعي ضدّ مرض الملاريا. كما تشتغل بذور نبات طفيف المسيدة الجميلة *Atropa belladonna* وأوراقه على قلويّ الأثربين. وبالأمر في بذور نبات الخشخاش وعصاراته عدّة قلويدات هامّة مثل الباباقيرين والمورفين والكودئين. وتشتمل أوراق العين على الفليكتون الذي يستخدم في الزراعة لكافحة الآفات النباتيّة. تُستخدم بعض النباتات المذكورة على القلويدات في صناعة المشروبات منعشة؛ مثل أوراق الشاي وثمار القهوة والكافـاوـ.

الغليكوزيدات Glucosides

مركبات سكرية الدّهريّة أو فونيولية أو غولجيّة. وتنسّق بينها مركبات عضويّة غير آزوتية. تتجمّع الغليكوزيدات في العصارة الخلويّة كموادٍ إدخاريّة أو كمركبات سمّيّة. تنتشر من هذه المركبات، عند أكسدتها، روائح عطرة ومنعشة، تذكرنا برائحة الشاي أو القهوة عند غليها.

يعد الأميداليين من الغليكوزيدات المسامة، ويقتصر في بذور اللوز والدرّاق والبذور المرة للمفعش وغافريها. وتوجد مجموعة من الغليكوزيدات تدعى بالقلبيّة، تنظرُ لها أدتها في معالجة الأوعيّة القلبيّة.

الأصبغة الـأكتوسـيانـية

تُوجّد في العصارة الحلوية أصبغة مُشكّلة، تميّز النوع النباتي، ومن أكثرها انتشاراً،

الأصبغة الأنتوسiana. تعد الأصبغة الأنتوسiana مركبات عضوية غير آزوتية، قريبة جداً بتركيبها الكيميائي من الغليكوزيدات. يدخل في تركيبها الغليكوز بالإضافة إلى مركبات أنتوسiana مختلقة. من أهم مركباتها الأنتوسian، الذي ينتشر بصورة واسعة، سواء في النبات أو في الحيوان.

تشكل هذه الأصبغة بدءاً من أكسدة الفلافونات، ويرتفع تركيزها في النباتات الجبلية، بسبب انخفاض درجة الحرارة وتعرضها لفترة أطول لأشعة الشمس. كما تزداد كميتها عند فقدان عنصر البوتاسيوم من التربة. فتبدو على شكل بقع بنية، بروتزرية، حمراء، أو أرجوانية في أوراق البطاطا والملفوف والقطن، والنفاث والحمضيات. ويؤدي نقصان عنصر المغنيسيوم أيضاً إلى ظهور ألوان حمراء، أرجوانية، ما بين أصلاب أوراق نبات القطن.

وبصورة عامة، تكسب الأصبغة الأنتوسiana بعض الأعضاء النباتية (كالأزهار والأوراق)، وبخاصة في الخريف، ألواناً زاهية: حمراء، أرجوانية، بنفسجية، بنية أو زرقاء، وذلك حسب حموضة الوسط.

المواد العفصية Tannins

مركبات عضوية غير آزوتية، تنتشر بصورة واسعة في خلايا قشور الأشجار، كالبلوط، كما توجد في الثمار الفجة لمختلف النباتات، وتتجمع بكمية كبيرة في خلايا قشور ثمار الرمان. تستخدمن كمسواد دباغية قابضة، فتستعمل في الطب، وفي الصباغة ودباغة الجلد وغيرها. تنحصر عملية دباغة الجلد، في الأساس، بتشكيل هذه المواد رواسب غير منحلة مع البروتينات. لم يتضح دور المواد العفصية بالنسبة للنباتات بعد، وإن كان من المعتقد أنها تلعب دوراً دفاعياً عن الخلية ضد الأمراض الفطرية والبكتيرية وغيرها.

الحموض العضوية وأملأحها

تعد العصارة الخلوية غنية جداً بالحموض العضوية المختلفة، كحمض التفاح والليمون والحماص والعنبر وغيرها. يوجد حمض الحماص بكمية كبيرة في جنس الحماص *Oxalis*

ولذلك سمي بـ Oxalic Acid، كما يوجد في أوراق السبانخ وغيرها. ويوجد حمض التفاح بكمية كبيرة في أوراق بعض أنواع التفاح. ويوجد حمض العنبر، عادة، في ثمار العنبر، وحمض الليمون في ثمار الليمون وفي أوراق التبغ.

توجد الحموض العضوية بكمية كبيرة في الثمار الفجة، تتحول بعدها إلى مركبات ادخارية عند نضج الثمار. تؤدي الحموض العضوية نسبياً، دور الصادات والمبيدات النباتية، حيث تدافع عن النباتات ضد الأمراض الفطرية والبكتيرية والفيروسية. عدا ذلك، تملك الحموض المضوية أهمية كبيرة في عملية التنفس.

البلورات

توجد أسلاح بعض الحموض العضوية السابقة في العصارة الخلوية على شكل بلورات. تملك هذه البلورات بنية وشكلًا مميزين للنوع النباتي. يلاحظ في الخلايا النباتية عادة، بلورات أملأ حمض الهايمان وأهمها حموضات الكالسيوم، التي تأخذ ثلاثة أشكال مختلفة:

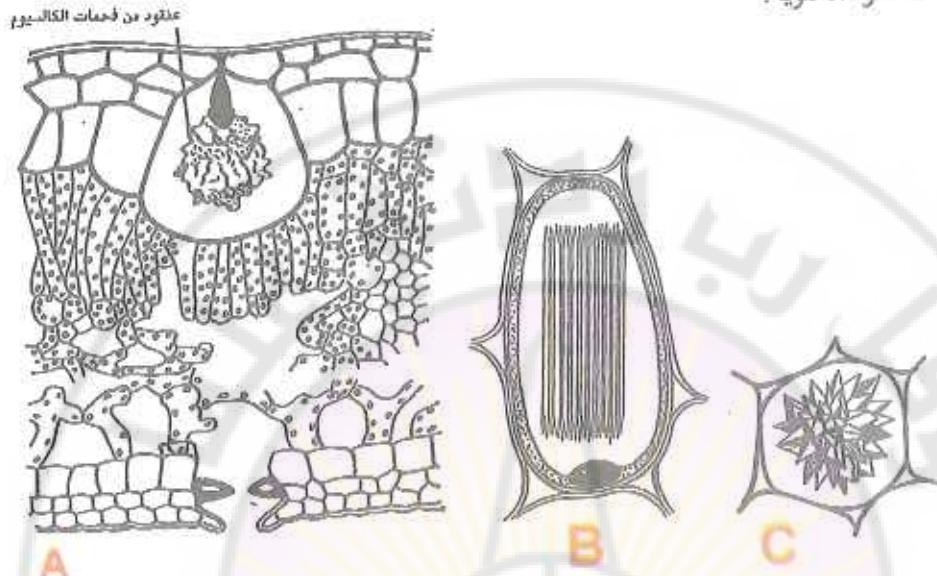
- ١: بلورات بسيطة: توجد في حراشف بصلات البصل وغيرها، على شكل مواشير بسيطة (شكل ٢-٧)

- ٢: بلورات إبرية: توجد في خلايا أوراق جنس المكحلة *Tradescantia* وغيرها.
- ٣: بلورات معقدة: وتأخذ أشكالاً مختلفة، فمنها التجمبة أو المسنة أو القنفذية كما في جنس البيغونيا *Begonia* والتين.

تصادف البلورات، بصورة واسعة، في الخلايا المفرزة في النباتات العشبية أو الشجرية. وتكون بكمية كبيرة في النباتات التجمبية والصمغية. ففي بعض هذه النباتات، تشتمل خلايا البشرة على كتلة من البلورات تسمى العنقود. تند البلورات العنقودية من مثلثات الجدار الخلوي، إذ تكون مشبعة بفحوصات الكالسيوم، (شكل ٢-٧).

تميز هذه العناقيد نباتات بعض الفصائل، مثل القراسيات والتوتيات، حيث تكثر، عادة، في أوراق أشجار التين والتوت وغيرها. كما تعد بنية العنقود نفسه من الصفات التصنيفية للنوع النباتي.

تؤدي هذه الباللورات (أصلح مختلفة) دوراً هاماً في حفظ الشغط الخلوي ودرجة pH العصارة الخلوية.



الشكل ٢-٧. باللورات مختلفة في العصارة الخلوية:

- A: عقود في إحدى خلايا ورقة لقين الشانغ *Ficus carica*
- B: حزم من الباللورات الإبرية في خلايا المكحلة الفيرجينية *Tradescantia virginica*
- C: باللورات قنفذية وبسيطة في خلايا معلق ورقة الbegonnia *Begonia*

المواد اللاعضوية

تشتمل العصارة الخلوية أيضاً أملاحاً معدنية، تبلغ أحياناً نسبة كبيرة. توجد التترات، بخاصة، في النباتات المشببة، كما في نبات الوري الأبيض *Chenopodium album* ونباتات الفصيلة القولية. وتتراكم الفوسفات وأملاح الكالسيوم أو البوتاسيوم في جميع الخلايا الحية، وبخاصة في الأغصان النباتية الفتية. وتفسر أملاح الكلور، (كلور الصوديوم أو البوتاسيوم) في أوراق الشوفان وفي أوراق النباتات النامية في الأرضي الملحية.

الجدار الخلوي Cell Wall

تحاط جميع الخلايا النباتية بجدار قاس نسبياً تفرزه البروتوبلاست ذي تركيب

كيميائي معقد. ويختلف تركيبه في النباتات عن تركيبه لدى القطور والبكتيريا، فهو عُولف من السيلولوز لدى النباتات، بينما يكون ذا طبيعة كيتنينية في البكتيريا والقطور. يؤمن الجدار الخلوي وظائف متعددة ومهمة كالحماية والدعم ويعطي للخلايا النباتية شكلاً محدداً.

بنية الجدار الخلوي:

يبدأ تشكيل الجدار الخلوي في المراحل النهائية لانقسام الخلية، وهو يظهر بارئ الأمر كصفيحة خلوية رقيقة في وسط الخلية المنقسمة تتشكل بين الغشائين البلازميدين للخلتين البيتين اللتين هما في طور التتشكل. تعرف هذه الصفيحة بالصفيحة المتوسطة وهي تتألف من مواد بكتينية. ثم يتوضّع على طرف الصفيحة المتوسطة طبقة من لييفات صمغيرة من ألياف السيلولوز، يخسّف إليها قالب مكون من عدة أنصاف من الجزيئات أهمها الهيميسيلولوز والبكتينات. ترتبط جزيئات الهيميسيلولوز مع لييفات السيلولوز بشكل متزامن (شكل ٣-٧)، بينما تتشكل المواد البكتينية الهمالامية ملائمة تماماً لملء الفراغات بين الألياف الجدار الخلوي. تتشكل هذه البنية الأولى للجدار الخلوي الجدار الابتدائي. مع استمرار تمايز الخلية وبلوغها حجمها الأقصى يتربّس على السطح الداخلي للجدار الخلوي الابتدائي طبقات إضافية من السيلولوز (ثلاث طبقات عادة) تؤدي إلى بناء جدار خلوي ثانوي. ويكون توجّه الألياف السيلولوز في الطبقة الواحدة متوازياً، ولكنها تكون متزامنة في الطبقات المتتالية وتتشكل بذلك بنية مجدولة عرضياً تمنح الجدار قوة كبيرة. يتمتع الجدار الابتدائي بالرونة الشديدة والرقّة النسبيّة وهو يسمح بـنـكـاثـرـ الخـلـيـةـ، أما الجدار الثنائي فهو أكثر صلابة ويسمح بـقـطـاوـلـ الخـلـيـةـ. وعندما تنهي الخلية تمايزها وتأخذ شكلها النهائي يصبح الجدار غير قابل للتغيير. وهذه لا يلاحظ تشكيل الجدار الثنائي في الخلايا ذات الفعالية الحيوية النشطة كالخلايا الماصة أو الخلايا الفقية القسمة، ويقتصر بناء الجدار الخلوي لديها على الجدار الابتدائي. في العديد من الحالات يتم ضم بوليمر آخر للجدار الخلوي يحتوي الفينول يدعى اللاغنن lignin وهو يؤمن دعماً أكبر للجدار (يشكل اللاغنن المكون الأساسي للخشب). وتكون ترسّبات اللاغنن كبيرة في الجدر الخلوي للخلايا الناقلة للماء في النسيج الخشبي، وهذا يكسبها دعماً كبيراً تحتاج إليه

لنقل الماء في النبات.

السيلولوز من متعددات السكاريد polysaccharides ، وهو بوليمر للفلوكوز يتتألف من ارتباطآلاف الوحدات بعضها بعض لتشكل سلاسل مستقيمة تماماً. ترتبط السلاسل المجاورة بعضها مع بعض جانبياً عبر روابط هيدروجينية ويتشكل فيما بينها شبكات متينة لتؤلف لييفات دقيقة قطرها من ٥ - ١٠ نانومتر وطولها عدة ميكرونات. تنظم اللييفات الدقيقة في حزم أكبر قطرها نحو ٥٠ نانومتر وطولها عدة ميكرونات لتشكل ألياف السيلولوز macrofibrils . يعطي هذا التنظيم لألياف السيلولوز خصائصه الميكانيكية ويعطيه قوة شد كبيرة.



شكل ٣-٧: الجدار الخلوي
a: صورة بالمجهر الإلكتروني لخلية نباتية محاطة بجدارها تظهر الصفيحة المتوسطة (١) والجدار الابتدائي (٢).
b: صورة بالمجهر الإلكتروني لخلية البصل بعد استخلاص البكتيريات. تظهر لييفات السيلولوز والهيموسيلولوز. ترتبط ألياف الهيموسيلولوز بشكل متزامن مع لييفات السيلولوز.

يتم تشكيل (بالمراة) جزيئات السيلولوز على سطح الخلية. إذ تضاف وحدات الفلوكوز تدريجياً إلى نهاية الجزيئات الأخيرة بالتشكل وذلك بوساطة أنزيم يدعى سيلولوز سينتاز Cellulose synthase . يتتألف هذا الأنزيم من اجتماع ٦ تحت وحدات على شكل حلقة أو وريدة تنفس ضمن الشاه البلاستي (شكل ٧-٤)، بينما يتم تركيب الموارد التي تشارك في

تركيب القالب في السيتوبلاسم وتنقل إلى سطح الخلية في حويصلات إفرازية.

يعد السيلولوز من أكثر المركبات العضوية وفرة على سطح الأرض، إلا أن معظم الحيوانات، وكذلك الإنسان، لا تستطيع الاستفادة منه لعدم قدرتها على هضمه، باستثناء المجترات التي تتعايش قناتها الهضمية مع جراثيم تستطيع هضم السيلولوز لامتلاكها إنزيم السيلولاز، ورغم قوة ومتانة الطبقات السيلولوزية فإنها نفوذة كلياً للماء والمواد المذابة.

أما القالب في الجدار الخلوي فهو ملطف من ثلاثة أنماط من الجزيئات الفخمة:

١: الهيميسيلولوز hemicelluloses: وهي عبارة عن مزيج من السكريات المتعددة المتفرعة، يتالف هيكل السلسلة للجزيء (العنصر المفترى) من سكر، مثل الغلوكوز، وسلسل جانبيه لسكر آخر مثل الكربيلوز، ترتبط جزيئات الهيميسيلولوز إلى سطح ألياف السيلولوز، وبالتجاه ملتحمة معها مشكلة بنية شبكيّة محقدة.

٢: البكتينات pectin: مجموعة متمايزة مشحونة سلبياً، تتالف من سكريات متعددة تضم حمض الغالاكتورونيك acid galacturonic ، وهي لوعة (تحتبس) بالهاء وتشكل بذلك هلاماً يملأ الفراغات بين عناصر الألياف. وعندما يهاجم الخلية عامل ممرض، فإن أجزاء من البكتينات تتحرر من الجدار وتندفع رداً دفاعياً من قبل الخلية. البكتينات المستخلصة التقنية لاستعمال تجارياً للحصول على مواد هلامية القوام، والمواد البكتينية المكونة للصفيحة المتوسطة هي بكتينات الكالسيوم المغنزيوم.

٣: البروتينات: ولا تزال وظائفها غير معروفة جيداً.

تحتفق النسبة المئوية لهذه المواد في جدر الخلايا النباتية، وذلك حسب نوع النبات، أو نمط الخلية، أو المرحلة التي بلغها الجدار في تعديله. ويتمتع الجدار الخلوي ببنية ديناميكية يمكن أن تتغير استجابة للتغيرات تحصل في الوسط المحيط

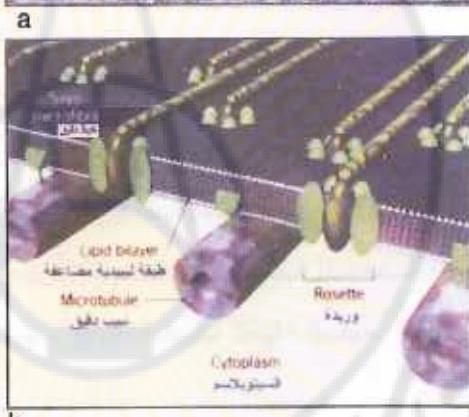
تذوب الصفيحة المتوسطة في زوايا الخلايا. تاركة مكانها فجوات صغيرة ثلاثية أو رباعية الأضلاع، تمتلئ بالهاء وتدعى بالأصمحة meats أو الفراغات بين الخلويات. يمكن لهذه الشفوق أن تتسع طولياً وتفصل الوجهين الخلويين المتلاصقين، وهذا ما يؤدي إلى تكون فراغ

هوائي بين خلوي يخترق كل أعضاء النبات، ويحرض التبادل الغازي بين الأنسجة والجو المحيط يختلف التركيب الداخلي للهواء الموجود داخل هذه التجاويف فهو يغتني بالأكسجين عندما يكون الاصطناع الضوئي كثيفاً، ويفتني بثاني أكسيد الكربون عندما يستهلك التنفس هذا الأكسجين.

شكل ٤-٧: تركيب الجدار الخلوي السيلولوزي:
a: الغشاء البلاسمى لخلية ملطف: يظهر ضمن الغشاء البلاسمى وريادات تمثل الأنزيم المسؤول عن تركيب سيلولوز.

b: نموذج يوضح كيفية توضع لييفات السيلولوز. شكل كل وريدة وحدة أليزيمية مكونة من ٦ تحت وحدات (اللون الأخضر الفاتح) وتكون مسؤولة عن وضع لييف سيلولوزي واحد (اللون الأخضر الغامق) يمكن أن يرتبط جانبياً مع لييفات سيلولوزية أخرى لتشكيل ليف سيلولوزي أكبر. ويمتد أن اتجاه حركة الوريدات (الأليزيمات) موجهة من قبل التبيبات الدقيقة الموجودة في السيلوبلاسم المحيطية.

c: صورة بالمجهر الإلكتروني لوريصلات غولجي المعنونة بالبكتينات والتي تساهم في تكوين الصفيحة المتوسطة.



يهدى الجدار الخلوي انقطاعات أو ثوراً هي الوصلات السيتوبلاسمية (البلاسماودس) وهي بني تمعز النباتات، يحدث في مستوى اتصال بين سينوبلاسم الخلايا المجاورة، وتسع للجزئيات بالانتقال من خلية لأخرى بسهولة أكبر مما يحدث عند الخلايا الحيوانية. تتصل في مستوى الوصلات البلاسمية سينوبلاسم الخلايا المجاورة عبر قناة بلاسمية دقيقة قطرها من ٢٠ إلى ٤٠ نانومتراً.

الوصلات السيتوبلاسمية plasmodesmata

هي اتصالات حية تمر بين الخلايا النباتية المجاورة خلال ثقب دقيق جداً في الجدران الخلوية المجاورة. وهي عبارة عن قنوات سينوبلاسمية يربطها الشاء البلاسي وتتضمن في المركز بنية تدعوها الأنبوية الوصلة desmotubule وتشتق هذه البنية من الشبكة البلاسمية المنساء لكلا الخلويتين. تستخدم الوصلات السيتوبلاسمية كمركز للاتصالات بين الخلوي، وتسع لخلايا النسيج النباتي بأن يعمل كوحدة استقلالية (شكل ٥-٧).

حتى وقت قريب كان يعتقد بأن الوصلات السيتوبلاسمية غير نفوذة للجزئيات التي يفوق وزنها ١kDa ، ولكن الدراسات الحديثة أظهرت أن بعض الوصلات السيتوبلاسمية تسمح بمرور جزيئات أضخم من ذلك ويمكن أن تبلغ ٥٠kDa . ويبدو أن النسيج الفقير تتضمن وصلات بسيطة قطرها واسع، ومع نضج النسيج تصبح الوصلات السيتوبلاسمية متفرعة وتضيق أقنيتها. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن للوصلات القدرة على التمدد والاتساع وذلك تحت تأثير بروتينات خاصة.

التحولات النوعية في مواد الجدار الخلوي:

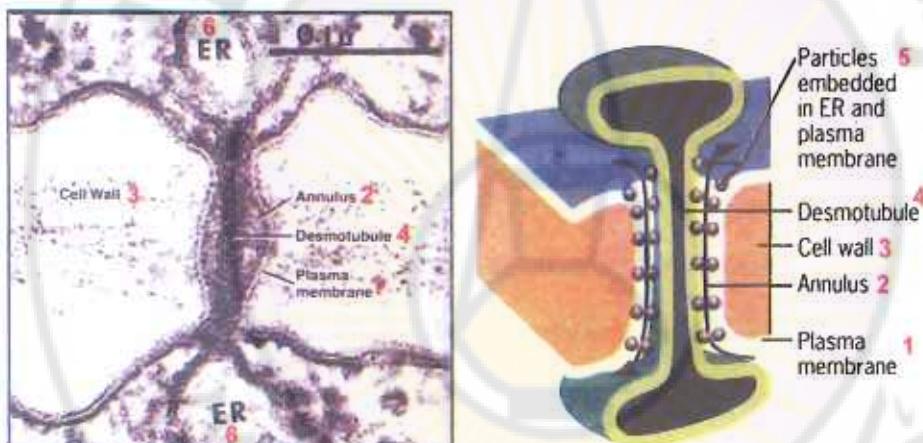
قد تحدث تغيرات ثانوية في التركيب الكيميائي أو في الخواص الفيزياكيميكية للجدار الخلوي وخاصة عندما تكتسب الخلايا وظيفة فيزيولوجية محددة. من أهم هذه التغيرات ذكر:

التخشب :Lignification

هو تشرب الجدار الخلوي لادة الخشبين Lignin فترتفع بذلك قساوته وكثافته، وتختفي مرونته وقدرته على النمو. يترب الخشبين في الفراغ ما بين الليفيات السيلولوزية

الدقique في الجدار الأولي والثانوي. من الطريق الإشارة إلى إمكانيةإصابة مختلف الأعضاء والنسج النباتية، وحتى توجيات الأزهار بالتخشب. ولكن يستمر انتقال الماء والهواء حينئذ إلى النسج النباتية وتبقي هذه الأعضاء حية.

يتوضع الخشبين في بعض الخلايا، مثل الأوعية الخشبية، وفق أنماط حلقة أو لولبية أو شبكية ...، ويكون التوضع على كامل الجدر في بعض الخلايا الأخرى ما عدا الحقول الهمالية. يزول تخشب الجدار الخلوي أحياناً عندما ينحل ويتبلاشى الخشبين. مثل هذه الظاهرة معروفة جيداً عند نضج ثمار الأحاجام الشائع *Pyrus communis* والسفرجل *Cydonia oblonga* وغيرها.



الشكل ٥-٧: الوصلات السيتوبلازمية:
 (١) الغشاء البلاسمي، (٢) حلقات، (٣) جدار الخلية، (٤) أليوية ووصلة، (٥) جزيئات منظمة بين الشبكة الباطنة والغشاء البلاسمي، (٦) الشبكة السيتوبلازمية الباطنة

التللن :Suberification

يبدأ الجدار الخلوي بالتللن، بتطبيق سطحة بطبقة كثيفة من مادة كيميائية خاملة هي الفلين Suberin. الطبيعة الكيميائية للفلين قريبة جداً من الشحوم، وهو مركب لا يذوب في الماء. ويتألف من سلاسل ضخمة من الحموض الدسمة المشبعة مع حموض هيدروكسيلية ممقددة. غالباً ما يتراكم الفلين في جدر خلايا النسج الواقية الثانوية، كمادة عازلة للماء

والحرارة. وقد يلاحظ الفلين أيضاً، بكميات قليلة، في جدر خلايا مختلف النسج النباتية. عندما يكون تلالن الجدار الخلوي كاملاً، تموت البروتوبلاست الخلية سريعاً، نظراً لإفاقه الفلين تسرب الماء والهواء إلى الخلية. أما عندما يكون التفالن جزئياً فإن البروتوبلاست تحافظ على حيويتها لفترة طويلة.

التقشرن Cutinization :

هو ترسب طبقة سطحية على الجدار الخلوي من مادة القشرين Cutin الذي ينتهي أيضاً إلى المواد الشبيهة بالشحوم. تفرز البروتوبلاست القشرين على شكل طبقات تتوضع على السطح الخارجي من الجدار الخلوي، وبخاصة على الجدار الخلوي لخلايا البشرة، مشكلاً طبقة مستمرة متجلسة.

يحفظ التقشرن أعضاء النبات من التبخر الشديد، ويهبها من تسلل الطفيليات ومن المؤثرات الميكانيكية.

التمعدن Mineralization :

تتشرب الجدر الخلوية في بعض الأعضاء النباتية بمواد معدنية متباينة، وخاصة أكسيد السيلسيوم وفحمات الكالسيوم. يلاحظ أحياناً تشرب خلايا البشرة بالأملال العدنية في بعض أنواع النجمليات وأذناب الخيل وغيرها. قد لا يقتصر هذا التطعيم بالأملال على الجدار الخلوي وإنما يمتد إلى ملحقات البشرة كالأوبار Trichomes. تكون الأعضاء النباتية المقشربة بالأملال العدنية أقل عرضة للتream الحيوانات العاشبة أو الطفيليات، وخاصة إذا كانت تملك أغصاناً أو أوراقاً ذات رفوس حادة.

التهلم :

تتهلم أحياناً مركبات الدار الخلوي كالمواد البكتينية والسيلولوزية وغيرها، مشكلة مواد معقدة، كالعصائد أو المخاط النباتي Mucilage و الصموغ Gommes

وظائف الجدار الخلوي:

تلخص الوظائف الرئيسية للجدران الخلوية النباتية فيما يلي :

- ١ : تعطي للخلايا شكلها الهيكلية متعدد الأضلاع، وتؤمن لها وللنباتات بكامله دعماً ميكانيكياً.
يزيد التخشب الشديد قوة بعض الجدران الخلوية.
- ٢ : تؤمن الجدر الخلوية انتصاب النبات إذ بفضل قساوتها ومقاومتها للتمدد فإن الخلايا النباتية تتبعع عندما يدخل الماء إليها عبر التناقض osmosis. وبعد ذلك المصدر الرئيسي للدعم والانتصاب في النباتات العشبية والأعضاء التي لا يحدث فيها نمو ثانوي مثل الأوراق.
- ٣ : يحمي الخلايا من التأثيرات الميكانيكية والعوامل المعرضة التي من الممكن أن تسبب لها الأذى.
- ٤ : تتوسط في التفاعلات بين الخلايا عبر الوصلات السيتوبلاسمية.
- ٥ : تشكل حاجزاً أولياً يمنع مرور عدد كبير من المواد، بينما يسمح بالمرور السريع للأيونات والجزيئات الصغيرة.
- ٦ : أثبتت الدراسات الحديثة أن الجدار الخلوي يتلقى الإشارات التي يمكن أن تغير من نشاط الخلايا المستقبلة.
- ٧ : تشكل الجدران الخلوية طبقة شمعية تدعى القشيرة على السطوح المعرضة لخلايا البشرة تخفف فقدان الماء وخطر العدوى.
- ٨ : تسهل نقل المواد المختلفة عبر فراغات الجدر الخلوي التي تدعى الفراغ الحر Apoplast.

الباب الثاني

علم النسج

Histology



الفصل الثامن

النسخ النباتية

١- مفهوم التمايز الخلوي:

قطعت الكائنات النباتية الراهنة، بأهدافها الفضخمة المتعددة، والمنتشرة في جميع أرجاء الكورة الأرضية، طریقاً طويلاً خلال تطورها التاريخي. وقد تم هذا التطور بدءاً من وحدات الخلايا الدنيا، طلائمية أو حقيقة النوى، حتى العضويات المقددة شديدة التمايز. ولكن لم يتقدم هذا التطور دوماً باتجاه استبدال بالنباتات الدنيا بسيطة البنية، نباتات راقية ذات بنية معقدة متباينة. فيلاحظ اليوم إلى جانب النباتات الراقية، وجود نباتات دنيا وحيدة الخلايا أو كثيراتها. استطاعت كل مجموعة نباتية، مهما بلغ مستوى تطورها، أن تتكيف بطريقتها الخاصة مع الوسط الغذائي الذي تعيش فيه وأن تقيم معه صلة محددة.

لقد ترافق انتقال النباتات من شروط الحياة فيه المتماثلة في الوسط المائي، إلى سطح اليابسة، بعملية تمايز Differentiation تنشطة للأعضاء النباتية المختلفة.

ففي النباتات وحيدة الخلية، تقوم هذه الخلية الوحيدة، التي تؤلف العضوية بكاملها، بجميع الوظائف الحيوية بما في ذلك وظيفة التكاثر. أما في كثيرات الخلايا الدنيا، التي تتالف عضويتها من طبقة واحدة من الخلايا (كما هو الحال في معظم الطحالب الخيطية والقطرور الدنيا)، فتقوم جميع خلايا العضوية بوظائف حيوية متشابهة من تنفسية وتنفس وغيرها. لهذا السبب، تملك خلايا مثل هذه الكائنات بنية مورفولوجية أساسية واحدة، ولها الوظائف الفيزيولوجية نفسها.

أما في بقية النباتات الخضراء الأكثر تطوراً، التي تشتمل بنية متفرعة ذات طبقات خلوية متعددة. فيختلف النشاط الفيزيولوجي قليلاً مما ذكر آنفاً. إذ تقوم الخلايا المشكلة

للسطح الخارجي للعشووية بوظائف امتصاص المواد الغذائية من الوسط، بينما تجري في خلايا الطبقات الداخلية تفاعلات كيميائية حيوية هامة، وتدخل فيها حاصلات هذه التفاعلات المختلفة.

وهكذا يلاحظ في مثل هذه النباتات تمايز بدائي للخلايا، حيث تنقسم إلى مجموعتين: خلايا ماصة وأخرى صانعة. من الجدير بالذكر أن هذا الاختلاف في النشاط الوظيفي للخلايا، قد ترك بصماته بصورة واضحة على بنيتها المورفولوجية أيضاً.

أما النباتات الراقية، التي تتألف عضويتها من عدد كبير من الطبقات الخلوية، فقد استطاعت الارتباط إلى أعلى درجات سلم التطور والتمايز. فتتفقّع بنية مورفولوجية معقدة، ونشاط فيزيولوجي متعدد الجوانب، وعلى سبيل المثال، يلاحظ في النباتات البذرية الراقية، بالإضافة إلى تمايز عضويتها إلى الأعضاء الأساسية (كالجذر والساقي والأوراق) وأعضاء متقدمة (كالأزهار والدرنات والوصلات) تغيرات كبيرة في بنيتها التشريحية الداخلية. فتظهر في جسم النبات وبطريق مختلف، مجموعات خلوية تقوم بوظائف متنوعة، تتفقّع هذه المجموعات الخلوية بنية مورفولوجية واضحة تماماً، ومتقابلة للنشاط الفيزيولوجي لكل منها، التي سوف تشكل (حسب العالم ١٦٧١ Cry)، النسج النباتية المختلفة *Plant tissues*.

تنتصف الخلايا المشكّلة لأي نسيج نباتي بالميزات التالية:

- ١- تملك بنية مورفولوجية مشابهة.
- ٢- تقوم بوظائف فيزيولوجية واحدة.
- ٣- تتفقّع بأصل عام واحد. علامة على ذلك، فإن لكان تشكّل النسيج النباتي أهمية كبيرة في تحديد صفاتها.

وهكذا يتّألف جنين بذرة القمح كما هو معروف، من جذير وبرعم وسوققة (بالإضافة إلى الفلقة). إن خلايا الأعضاء الجنينية السابقة، التي تسمى الخلايا المسومة تنتصف بما يلي:
١- ذات بنية مورفولوجية مشابهة، تتجلى بضخامة نواتها ورقة جدارها السيلولوزي، وفجواتها الجنينية الصغيرة.

٢- تقوم بوظيفة فيزيولوجية واحدة، تتحضر في توليد خلايا فتية جديدة، ذات انقسام خطي سريع ونمو كبير.

٣- تتمتع باصل واحد، إذ تطورت كلها بدأً من خلية واحدة، هي البيضة الملقحة أو الزيغوت Zygote. بعدها، يتمايز بعض خلايا الجنين لتشكيل الجذر الرئيسي وبعضها الآخر لتشكيل السوبقة. والجزء الثالث لتكوين الساق والأوراق.

يمكن تعريف التمايز الخلوي إذاً بأنه اختصاص الخلية النباتية بوظيفة فيزيولوجية معينة، واكتسابها تبعاً لذلك بنية مورفولوجية واضحة ومحددة، حيث تتشابه بنية خلايا النسج النباتي الواحد ووظيفتها بعضها مع بعض.

ويتم التمايز في مراحله الأولى بصورة بطيئة وبطريقة متشابهة في النسج النباتية المختلفة، بينما يختلف في مراحله الانتهائية حسب النسج النباتي. يمكن إيجاز مراحل التمايز، بالنحو التالي:

١. توقف الانقسام الخطي، أو الأصح امتداد الطور البيئي لفترة طويلة.

٢. نمو الخلية وتطورها. فيترافق نمو الخلية وكبرها، بتغير شكري في بنيتها الداخلية، وخاصة فيما يتعلق باتحاد الفجوات بعضها مع بعض.

٣. تضخم حجم الخلية وتنقصان العلاقة النوروية البلاسمية تدريجياً.

٤. تمايز الصانعات إلى أشكالها المختلفة.

٥. تشكل الفراغات بين الخلايا Intercellular spaces .

٦. تبدلات كيميائية تطرأ على الجدار الهيكلي السيلولوزي.

من الضروري الإشارة، إلى أن التمايز في التمايز قد يؤدي إلى موت الخلية. ويتجلى ذلك، بضمور السيتوبلاسم وتلاشي المضيّات الخلوية تدريجياً. فالشدة في التمايز تؤدي إلى شيخوخة الخلية وهرمتها. من أهم مظاهر الشيخوخة:

١- ازدياد العلاقة البلاسمية النوروية إلى حد كبير.

٢- ازدياد لزوجة العصارة الخلوية.

- ٣- وجود فجوة كبيرة واحدة.
- ٤- ازدياد نفاذية الأغشية البلاسمية.
- ٥- تباطؤ تدريجي في الوظائف الحيوية المختلفة وخاصة في التنفس، وذلك لتلاشي المخidorات.

تستطيع الخلية المتمايزة في بعض الأحيان، إذا لم تبلغ بعد مرحلة الشيخوخة، العودة إلى حالتها القسمة. فتحتفظ بالحجم الذي وصلت إليه وتزداد فيها كمية السيتوبلازم، كما تضمر فيها الفجوات، وهذا ما يُدعى بالتمايز الرجعي **Dedifferentiation**.

تطرأ على مثل هذه الخلايا، انقسامات خططية جديدة، وتشكل نسيجاً قسوماً حديثاً.

٢- تصنیف النسج النباتیة Classification of Tissues

وضع العالم الفيزيولوجي ساكس **Sacks** عام ١٨٦٨ أول تصنیف طبیعی ومفصل للنسج النباتیة ما يزال حتى العصر الحاضر محافظاً على أهمیته وحيويته. فقد قسم ساكس النسج النباتیة إلى ثلاثة مجموعات: الواقعیة والناقلة والأساسیة.

تقوم النسج الواقعیة بالدفاع عن جميع أعضاء النبات، سواءً في النباتات الحولیة أو المعمرة. وقد میز في مجموعة النسج الناقلة بين الخشب **Xylem** الذي يقوم بنقل النسخ الخام، المُمتصن بواسطة الجذور من التربة، إلى الأوراق الخضراء ماراً بالمساق، واللحاء **Phloem** ويقوم بنقل المواد العضویة المركبة في الأوراق بنتیجة الامتصانع الضوئی إلى جميع أعضاء النبات (النسخ التام). تكون النسج الناقلة عادةً، محاطة بنسيج استنادي هو الإسکلیرنشيم. تسمی المجموعة الثالثة، النسج الأساسیة أو الصانعة، وتشكل الكتلة الأساسیة للعضاویات النباتیة.

يساعد تصنیف ساكس السابق إلى الصفات الفیزیولوجیة والبنیة المورفولوجیة للنسج المختلفة. من الجدير بالذكر، استناداً معظم التصانیف الحديثة للنسج النباتیة إلى الصفتين السابقتین أيضاً، بالإضافة إلى أصل النسيج وتطوره، ثم مكان تشكله وتوضّعه.

يُلاحظ عادةً، عند دراسة البنیة المجهریة للأعضاء ست مجموعات نسيجیة رئيسیة هي: القسمة، الواقعیة، الأساسیة، الدعامیة، الناقلة والمفرزة. في حدود هذه المجموعات

البت من النسج، يمكن وضع اللوحة التفصيلية التالية:

Meristematic tissues	I: مجموعة النسج المولدة أو الفosome
Apical meristem	١: الميرستيم ظاهري
Lateral meristem	٢: الميرستيم الجانبي
Intercalary meristem	٣: الميرستيم البيضي
Traumatic meristem	٤: ميرستيم الإصابات
Intergumentary tissues	II- مجموعة النسج الوالدية
Dermatogen or Protoderm	٥: طبقة البشرة
Epiblema	٦: الأذمة
Epidermis	٧: البشرة
Spermoderma	٨: بشرة البذرة
Periderma or Cork	٩: نسيج لواكي الفليني
Rhytidome	١٠: القلف
Parenchyma tissues	III- مجموعة النسج الأساسية أو البرنشيمية
Chlorenchyma	١١: البرنشيم الخضوري
Storage parenchyma and Water storage parenchyma	١٢: البرنشيم الاحاري و البرنشيم المدخر للماء
Absorbing parenchyma	
Aerenchyma	
Mechanical Tissues	IV- مجموعة النسج الاستنادية
Collenchyma	١٥: النسج المتصلخ أو الكولانشيم
Sclerenchyma	١٦: النسج لمتحض أو الأسكنلرنشيم
Sclereids	١٧: الأسكنلريدات
Vascular Tissues	V- مجموعة النسج الناقلة
Tracheas and Tracheids (Xylem)	١٨: القصبات والقصيبات (الخشب)
Sieve tubes (Phloem)	١٩: الأنابيب الغربالية (اللحاء)
Secretory Tissues	VI- مجموعة النسج المفرزة
	٢٠: البنيات المفرزة الخارجية
	٢١: البنيات المفرزة الداخلية
من الممكن توحيد النسج الناقلة والمفرزة في مجموعة نسيجية واحدة، بسبب قيامها	
بالوظائف الحيوية نفسها. فتقوم أحياناً بوظيفة الإفراز، وفي حالات أخرى بوظيفة النقل،	
وفي حالة ثالثة تقوم بالوظيفتين السابقتين معاً، فمثلاً، تتحدد الوظيفتان السابقتان في حالة	
الإدامع Guttation. وهي إفراز الأوراق لقطيرات من محلول معدني وعصوي، عن طريق	
الثوغرات السمية المائية Hydrathodes.	

١-٤ مجموعة النسج المولدة أو القسمة Meristematic Tissues

من الصفات التي تميز النباتات الراقية عن الحيوانات قدرتها على النمو باستمرار خلال فترة حياتها بكميتها. فقد ظهرت النسج القسمة في مناطق خاصة من العضوية النباتية التي بلغت أعلى مستوى من الرقي والتباين، لتساعدها على النمو والتطور. تشكل النسج القسمة، مجموعة غير متجانسة. بالإضافة إلى ذلك، لا يستمر بعضها بالوجود طوال حياة النبات الواحد، ولهذا السبب، يتبع تصنيف هذه المجموعة من النسج بأهمية كبيرة. يتم هذا التصنيف وفق المبدئين التاليين: (١) استناداً إلى زمن تشكيلها (تاريخ نشوئها). (٢) واستناداً إلى مكان وجودها وتطورها.

يميزون استناداً إلى زمن التشكيل، بين نسج قسمة أولية Primary meristems ونسج قسمة ثانوية Secondary meristems. تتحدد النسج القسمة الأولية منذ مرحلة الجنين، وتتميز بنشاط مرتفع في النمو والانقسام والتباين، مؤدية بذلك إلى تشكيل النسج النباتية الأولية المختلفة. يسمى النمو الناتج عنها النمو الأولي Primary growth الذي يحمل بصورة عامة، على نمو الأعضاء النباتية طولاً.

تشكل مجموعة النسج الأولية التمايز عن الميرستيم الأولي ما يُعرف بالبنية الأولية أو الابتدائية في النبات. أما النسج القسمة الثانوية، فتتمايز كقاعدة عامة، بعد النسج القسمة الأولية وتؤدي خاصة، إلى نمو الأعضاء النباتية عرضاً - النمو الثانيي Secondary growth . لقد أصبح هذا المبدأ في تصنيف النسج القسمة في الوقت الحاضر، أقل انتشاراً واستخداماً، إذ من الصعب، حتى من المستحيل أحياناً تحديد لحظة بدء نشاط أي نسج قسم. ولذلك يبقى التصنيف الأكثر انتشاراً للنسج القسمة، هو التصنيف الآخر، الذي يعتمد مكان ظهورها وتشكيلها، أساساً لتمييزها بعضها عن بعض. واستناداً إلى ذلك نميز:

أ- النسج القسم القمي Apical meristem

يوجد في قطبي النبات، أي في نهاية المحاور الرئيسية والجانبية للساق والجذر.

ويحدد، بصورة رئيسية ، نمو الأعضاء طولاً. تعد النسج القسمة القمية من أكثر أشكال النسج القسمة تنوعاً وتعقيداً في البنية. فيتمايز فيها ثلاثة صفوف من النسج، التي تميز بنية النبات الابتدائية المتطورة (شكل ١-٨) :

- ١: طليعة البشرة *Protoderma*: نسيج قسم أولي، يُعد أصل النسيج الواقي الأولي.
- ٢: طليعة الكامبيوم *Procambium*: نسيج قسم أولي، يُعد أصل النسج الناقلة الأولية (يؤدي إلى نمو الأعضاء المحورية عرضاً).
- ٣: النسيج القسم الأساسي *Ground meristem*: وهو أصل النسج الأساسية (البرنشيمية) في النبات.

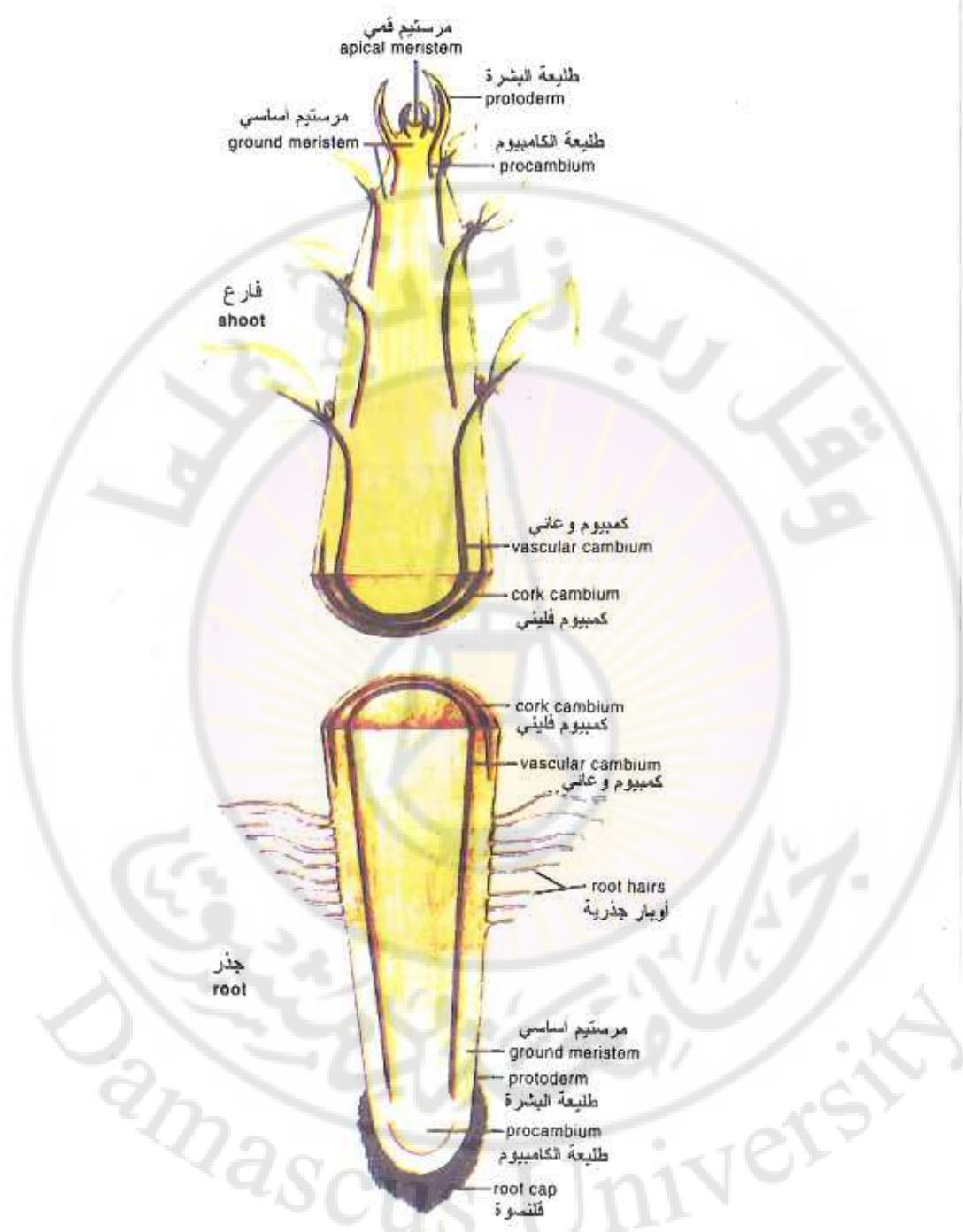
١: خلايا النسيج القسم.
٢: خلايا القنسوة



شكل ١-٨: مخروط النمو في الجذر

بـ- النسيج القسم الجانبي *Lateral meristem*

وهو، بصورة أساسية، نسيج قسم ثانوي، ينتشر عادةً في الأعضاء النباتية المحورية المعمرة لعمريات البذور وثنيات الفلقة ، ويتووضع بصورة موازية لسطحها المحيطي. تؤدي النسج القسمة الجانبية إلى نمو الأعضاء النباتية عرضاً وتعرف باسم الكامبيوم *Cambium*، وله شكلان: الكامبيوم الوعائي *Vascular cambium* والكامبيوم الفليني *Cork cambium*.



شكل ٢-٨: توضع النسج القسمة القمية في النبات

جـ- النسيج القسم البيئي Intercalary meristem

ينتشر هذا النسيج، بصورة عامة، في الجزء السفلي لسلاميات الفوارع والأوراق، غالباً ما ينشط لفترة قصيرة فقط كما في حالة تطور البراعم. وأحياناً يستمر في نشاطه، كما في قاعدة سلاميات ساق أذناب الخيل Equisetopsida والنجميليات Graminales وغيرها من وحدات الفلقة، وبعض ثلاثيات الفلقة، كما في الفصيلة الكرفسية Apiaceae (الخيمية Umbelliferae). وفي الحقيقة فإن جميع الفوارع الإغاثية لمحاذيف النباتات تتصرف بنحو بيئي في قاعدة سلامياتها، إلا أن مدة هذا النمو ونشاطه يختلفان حسب الأنواع النباتية.

دـ- ميرستيم الإصابات أو الجروح Traumatic Meristem

يمكن أن يظهر مثل هذا النسيج في أي جزء من النبات تعرض لإصابة أو لجرح. ويتشكل بدءاً من خلايا حية برضوخية متراصة، تتنقسم بنشاط كبير، تتمدد هذه الخلايا نواة ضخمة، وفجوات صغيرة جداً وكثيرة كبيرة من السيتوبلازم وجدار بكتوسيلالوزي رقيق جداً. تتمتع الخلايا القصومة، بشكل عام، بالصفتين الأساسيةين التاليتين:

- ١: الانقسام النشط.
- ٢: التمايز، أي قدرتها على التحول إلى عناصر نسيجية متخصصة في مختلف النسج.
وهكذا يلاحظ في النسيج القسم النشط، وخاصة في الميرستيم القمي:
آ) سلسلة من الخلايا، تكون في حالة انقسام دائم، وتدعى بالخلايا الأصلية أو البدائية . Initials cells

ب) نوائح الخلايا الأصلية، وهي خلايا في طريقها إلى التمايز. إذ يتغير شكلها وتتبدل الطبيعة الكيميائية لمجردها وتنقل إلى عناصر متخصصة في المجموعات النسيجية الأخرى.

٤-٢ مجموعة النسج الواقية Integumentary tissues

تُعدُّ الوظيفة الأساسية للنسج الواقية، حماية أعضاء النبات من الجفاف، أو الدفاع عنها من العوامل المؤذية للوسط الخارجي: كالإضاءة الشديدة، والحرارة المرتفعة، والتأثيرات

الميكانيكية المختلفة وغيرها.

استناداً إلى زمن تشكل النسيج الواقية ومكانها، يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات أساسية: البشرة Epiderma، والفلبين Cork، والقلنس Rhytidom. بالإضافة إلى الأدمة Epiblema، التي تغطي سطح الجذور الفتية، التي يمكن عدها، بالنظر لوظيفتها، نسيجاً ماصاً نموذجياً.

البشرة Epiderma

تحتاج وظيفة البشرة حسب المضو النباتي. فتقوم في الورقة مثلاً، بتنظيم عملية التتح والتبادل الغازي، بالإضافة إلى الوظائف السابقة آنفة الذكر. تشتق البشرة اعتباراً من الطبقة السطحية للنسيج القسم اللمفي في الساق (طبقة البشرة أو مولد البشرة Dermatogen). تحيط البشرة بالأعضاء النباتية الخضراء كالأوراق والأخصان الفتية، كما تغطي أعضاء النبات الظليلية عديمة الخضور. غالباً ما تتألف من طبقة خلوية متراصة واحدة، إلا أنها أحياناً تكون مدعومة بطبقة ثانية تحتها Hypoderma، ذات دور حيوي متعدد. فقد تقوم بادخار الماء، وأحياناً تؤدي دور نسيج استنادي أو تساعد البشرة على تنظيم عملية التتح. وتتميز خلايا البشرة بعدم تجانس جدرها الخلوية، فيكون جدارها الذي يجاور الوسط الخارجي أكثر سمكة من بقية جدرها، بالإضافة إلى ارتصافها الوثيق بعضها إلى جانب بعض. في حين تتحد مع الخلايا البرئشمية التي تقع تحتها بشكل ضعيف، ولهذا السبب يسهل نزعها بعملية "السلخ". وتألف البشرة من خلايا حية، تشمل فجوة كبيرة، ولا تحوى بصورة حامة صانعات خضراء، إلا في حالات نادرة كما في السراخس وفي عدد قليل من مخلفات البذور. يؤدي فقدان الصانعات الخضراء من خلايا البشرة إلى اكتسابها شفوفية كبيرة ويزيد من قدرتها على امتصاص الأشعة الضوئية. وبهذه الصورة، تؤدي خلايا البشرة دور نوافذ ضوئية.

يُلاحظ، غالباً، في خلايا البشرة وجود صانعات عديمة اللون وبلورات لأملاح معدنية مختلفة، مما يكسب البشرة بريقاً ولعاناً خاصين. فيوفر لها ذلك، القدرة على عكس بعض الأشعة الضوئية، والمحافظة على الورقة أو الغصن الفتية من تجاوز حدود التسخين وبالتالي

الاحتراق. ولهذا السبب ينخفض مستوى النتح في العضو النباتي وخاصة في نباتات المناطق الصحراوية أو الجبلية. تمتلك الفجوات في خلايا البشرة، عادةً، بعشاره عديمة اللون، وقد تكون أحياناً ذات ألوان مختلفة، بفضل الأصبغة الأنتوسيانية (البتلات).

يختلف شكل خلايا البشرة حسب العضو النباتي المدروس، فهي مسطحة، دائرة أو أمبوبية في بشرة أوراق ثانية الفلقة. ومتطلعة مقلعة في أوراق وساق النباتات وحيدة الفلقة. من الضروري الإشارة أخيراً إلى احتفاظ خلايا البشرة بقدرها على الانقسام لمدة طويلة. وبفضل ذلك، لا تعيق البشرة نمو العضو النباتي عرضاً. وفي المقابل، تتمزق البشرة عندما لا توافي انقسامات خلاياها نمو العضو النباتي وتتطوره.

تكون الخلايا البشرة عادةً مغطاة بطبقة مستمرة من مادة القشرين Cutin وأحياناً بطبقة شمعية رقيقة (شكل ٣-٨). تتعزز الوظائف الدفاعية للبشرة عندما تحمل بعض الزواائد مثل الأوبار، الحراسف أو الحليمات التي يطلق عليها Trichomes. وبفضل وجود بعض الأوبار المفرزة، تستطيع البشرة أن تقوم بوظيفة إفرازية بالإضافة إلى وظيفتها الدفاعية. ولكن يا ترى، كيف تستطيع الأعضاء النباتية الخضراء القيام بتبادل الغازات المختلفة ما دامت مغطاة بطبقة كتيمة من القشرين؟ يتحقق ذلك بفضل المسام.

- ١: طبقات القشرة
- ٢: خلايا البشرة

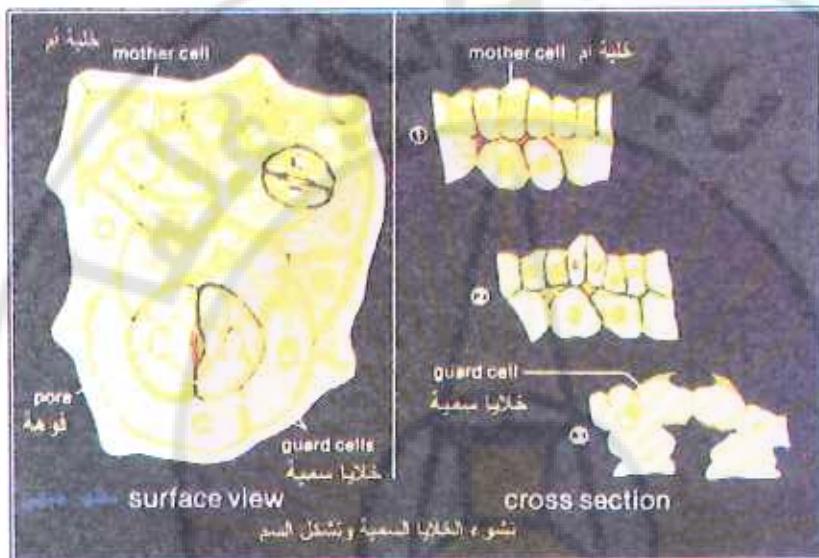


شكل ٣-٨: مقطع عرضي في بشرة الدبق الأبيض *Viscum album*

المسام Stomata

تُشرف على التبادل الغازي ما بين النسج الداخلية في العضو النباتي، من ساق

وأوراق، وبين الوسط الخارجي. يتألف السم من خليتين هاليتي الشكل، تتقابلان من ناحية وجههما المقرع، أصغر حجماً من خلايا البشرة المجاورة، تسميان الخلايا السمية. بعد التشكّل الكامل لهاتين الخليتين، يتسلّك الجدار الخلوي المتوسط في منطقة تقابلهما، وتشكل بينهما فوهة تؤدي دوراً هاماً في إنجاز عملية تبادل الغازات تسمى الفوهة السمية (شكل ٨-٤).

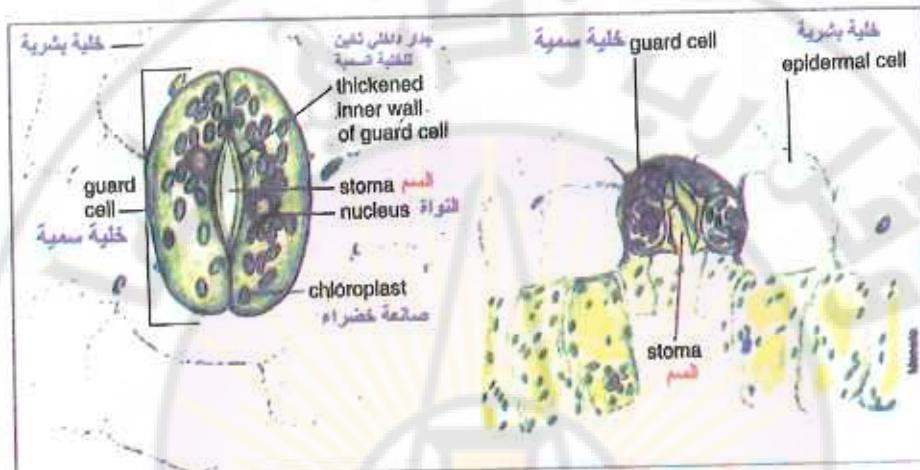


شكل ٨-٤: نشوء الخلايا السمية وتشكل المسام في مظهر جبهي ومقطع طولي.

تشرف الخلايا السمية على عملية غلق الفوهة السمية وفتحها، وأحياناً تensem معها خلايا البشرة المجاورة. يتميز الجدار الخلوي للخلايا السمية بأنه غير متجانس الثخانة. فهو سميك في ناحية الفوهة السمية ورقيق من الجوانب الأخرى المجاورة لخلايا البشرة (شكل ٨-٥).

ما هي يا ترى آلية افتتاح الفوهة السمية وإنغلاقها؟ حسب نظرية العالم Moll عام ١٨٥٦ يترافق افتتاح الفوهة السمية وخروج بخار الماء عبرها بانتباخ الخلايا السمية وتتوترها. وبالمقابل، يرتبط انغلاق الفوهة السمية بانكماس الخلايا السمية وارتخاء جدرها الخلوية والتصاقها بعضها ببعض. لوجود الصانعات الخضراء في الخلايا السمية وغيابها من خلايا البشرة المجاورة، أهمية كبيرة في عملية انتباخ الخلايا السمية. فعندما يتسلّك نشاء الصانعات

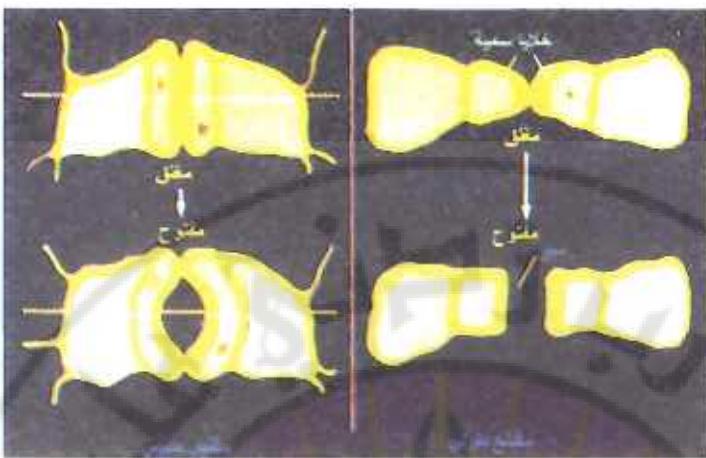
الخضراء إلى سكاكير بسيطة منحللة ، يزداد تركيز العصارة الخلوية ، وبالتالي يرتفع الضغط الخلوي لهذه الخلايا. تقوم الخلايا السمية حينئذ بامتصاص الماء من الخلايا المجاورة، وتنتقل إلى حالة الانتباخ والتتوتر. وبالمقابل ، عندما تتحول السكاكير البسيطة إلى نشاء ، تنتقل الخلايا السمية إلى حالة الانكماش وتنتقل الفوهة السمية (شكل ٦-٨).



شكل ٦-٨: بنية سم نموذجي لدى ثليليات الماء

من الطريق الإشارة ، في هذا المجال ، إلى أن هطول المطر لمدة طويلة ، يؤدي إلى تشرب خلايا البشرة بالماء وانتقالها تدريجياً إلى حالة الانتباخ الأعظمي ، حيث تضيق بذلك على الخلايا السمية . وبتأثير هذا الضغط الميكانيكي تنتقل الفوهة السمية وتحمي النسج الداخلية من التبلل.

يجري تشكيل السم بصورة موازية لعملية تطور الورقة أو الفارع الفتى . فخلال الانقسامات الخيطية لخلايا طبيعة البشرة ، تظهر بينها خلية (أو خلايا) أصلية initial . ت分成 الخلية الأصلية انقساماً خيطياً ، لتعطي خلقتين متساويتين . ثم يتتكث ويتلاشى الحاجز المتوسط بينهما وتتشكل الفوهة السمية . يلاحظ أحياناً استمرار الانقسامات الخيطية على الخلية الأصلية المولدة للخلايا السمية إلى أن يتم تشكيل الفوهة السمية . يتالف السم حينئذ من خلقتين سعيتين مع خلقتين مرافقتين أو أكثر .



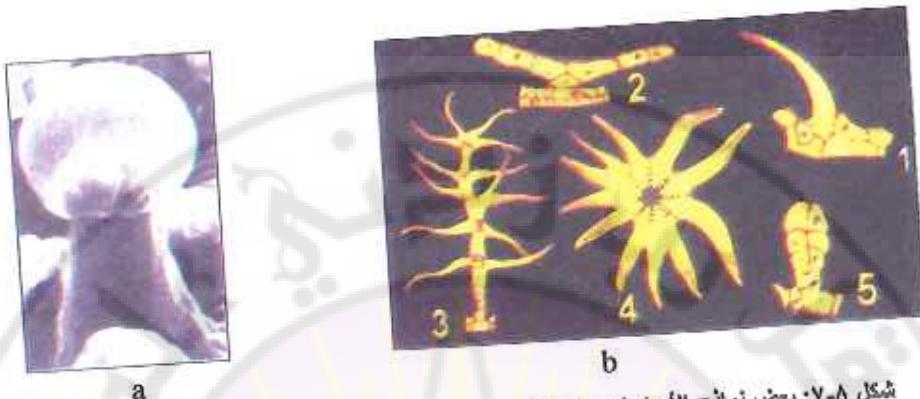
شكل ٦-٨ آلية فتح وغلق السمه

الزوابد - ملحقات البشرة Trichomes

هي أوبار، أشعار، استطلالات، حراشف أو حلقات تنمو على السطح العلوي للبشرة، وتقوم بوظيفة حيوية متنوعة في معظم الحالات. فتقوم طبقة الأوبار الكثيفة التي تغشى البشرة بحماية النبات من الحرارة المرتفعة وتساعد على تخفيف النتح. ففي النباتات الجبلية، تقوم هذه الأوبار بحفظ النبات من تغيرات الحرارة ما بين الليل والنهار (شكل ٧-٨). غالباً ما يموت المحتوى الحي لهذه الأوبار. تأخذ خلايا الأوبار المتميلة بالهواء شكلاً براقاً ولاماً، فتعكس أشعة الشمس وتحمي الأوراق والفواكه الفتية من تجاوز حدود التسخين ومن زيادة النتح. تؤدي مثل هذا الدور الأوبار المظلية في ورقة الزيتون. وتكون الأعضاء النباتية المنطة بأوبار قاسية (عكوب الجبل) في منأى عن الحيوانات العشبية وغيرها من الحيوانات ملتئمة النباتات.

توجد مجموعة أخرى من الأوبار، تقوم بإفراز كثير من الزيوت العطرية الإتيرية أو الراتنجية أو القلويدية، وتسمى الأوبار المفرزة. تحمي هذه الأوبار النبات من التهام الحيوانات العشبية. تشتمل الأوبار المفرزة على رأس واحد أو عدد من الرؤوس (بسقطة أو مركبة)، حيث تترافق فيها المفرزات. تصادف الأوبار المفرزة البسيطة على بشرة أوراق وساق عدد كبير من النباتات. بينما تلاحظ المركبة على أوراق نبات الفناعن. تتنوع بينية الأوبار العادمة أو المفرزة

كثيراً: فهناك أوبار وحيدة الخلية وأخرى عديدة الخلايا، بسيطة ذات نواة واحدة أو مركبة عديدة النوى.



شكل ٧-٨: بعض نماذج الأوبارات لدى النباتات:

- أوبار خلية
- أوبارات لا خلية بسيطة (١) وعديدة الخلايا (٥-٢)

القشيرة Cuticle

طبقة عديمة اللون، غير نفوذة للماء، وتقريباً غير نفوذة للغازات، تغطي السطح الخارجي لخلايا البشرة، وقد تبلغ أحياناً سماكة كبيرة. تتركب القشيرة عادة من مادة القشيرين Cutin التي تدخلها مادة السيلولوز، وتعلوها طبقة أخرى من القشيرين التقى. تتميز القشيرة التي تعلو سطح كل خلية بشريّة عن تلك التي تغطي خلايا البشرة بكمالها، بأنجزالها وعدم ارتباطها بقشيرة الخلايا المجاورة، (شكل ٣-٨). تتشرب القشيرة في كثير من النباتات مادة الشمع، وفي بعض الأحيان تتغطى بطبقة شمعية رقيقة (كما في ثمار الكرز والخوخ، وفي أوراق الملفوف والقصص والشوفان وغيرها). ينتمي الشمع والقشيرين إلى المواد الشبيهة بالدهن، وتنحصر أهميتها في حفظ النبات من زيادة التفتح ومن قتل المضادات الدقيقة إلى داخله. كما تحميه من الأمطار الغزيرة وتمنع تسريبها إلى نسج النبات الداخلية. استناداً إلى سبق، تتمتع القشيرة والطبقة الرقيقة الشمعية بأهمية بالغة، بالنسبة للثمار الغضة الناضجة في المناطق الجافة، كما في التفاح.

وأخيراً، تحيط البشرة بصورة عامة، بالأعضاء النباتية الفتية الخضراء، وبالتالي، تعيش وتقوم بوظائفها لمدة عام واحد تقريباً. ونادرًا ما يستمر النشاط الوظيفي للبشرة عدة سنوات، كما في أوراق الدبق الأبيض *Viscum album* والتين ومعظم المثمرات. ولهذا السبب، يتشكل مع الزمن (وغالباً في الخريف) نسيج واق ثانوي هو القلين *Cork*، والذي يدخل في تركيب بنية خاصة تدعى البيريدرم *Periderma*. تملك البيريدرم بنية معقدة، وتقوم بحماية الأعضاء المحورة النامية بصورة أفضل.

النسيج الواقي الثانوي *Periderma*

يتكون كالبشرة، بحماية النسج النباتية، ويحيط عادةً، بالأعضاء المحورة - السوق والجذور. كما يتميز عن البشرة، بأنه نسيج واق ثانوي، يحل محل البشرة بعد موتها وانسلاخها. تتشكل البيريدرم، بصورة موازية لزيادة قطر الجذر أو الساق في النباتات عريانة السيدور وثنائية الفلقة، تتميز البيريدرم وتتطور بدءاً من ميرستيم ثانوي هو الفللوجين *Phellogen*. ويتميز الفللوجين بدءاً من البشرة نفسها وأحياناً من طبقات برنشيمية متراصمة، تقع تحت البشرة مباشرةً أو من خلايا البشرة نفسها وأحياناً من طبقات برنشيمية أكثر عمقاً، أو من خلايا المحيط الدائري. تبدأ خلايا الفللوجين بالانقسام مماسياً *Periclinal*، أي بصورة موازية لمحور العضو النباتي. فتنفصل عنه خلايا جديدة باتجاه المحيط أولأً (أي ذات تعابز جاذبة)، سوف تتمايز إلى القلين *Phellem*. كما تنفصل عنه بعد ذلك، وباتجاه المركز، من ثلاث طبقات إلى أربع طبقات خلوية (ذات تعابز نابذ) سوف تتشكل نسيجاً برنشيمياً ثانوياً هو الـ *Phelloderm*. وعلى هذا الأساس يعد البيريدرم نسيجاً معقداً يتألف من ثلاثة نسيج مختلفة هي: القلين والفللوجين والفللودرم (البرنشيم الفلقني) (شكل ٨-٨). يتالف القلين من صفوف خلوية منتظمة شعاعياً ومتراصمة جداً، ذات جدر خلوي متقللة وصحتوى ميت. وهكذا تتشكل طبقة من الخلايا الميتة، لا تشتمل فراغات فيما بينها ولا تسمح للماء والغاز بالمرور من خلالها. تحمي هذه الطبقة الأعضاء النباتية من زيادة التفتح ومن التأثيرات الخارجية المؤذية. لا تقوم خلايا الفللودرم بوظيفة دفاعية، وإنما هي خلايا يخضوريّة حية. تعيق زيادة رطوبة

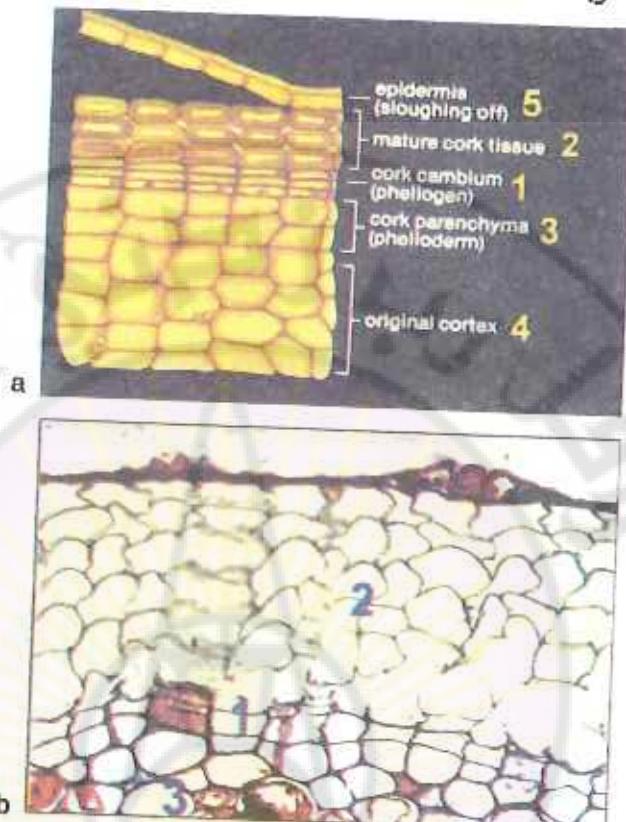
التربة عملية تشكل الفلين، إذ لوحظت هذه الظاهرة في تجربة على درنات البطاطا.
١: الكلسيوم الفليني،

٢: الفلين،

٣: البرنشيم الفليني (الفيلاورديم)،

٤: القشرة،

٥: بشرة منسلحة.

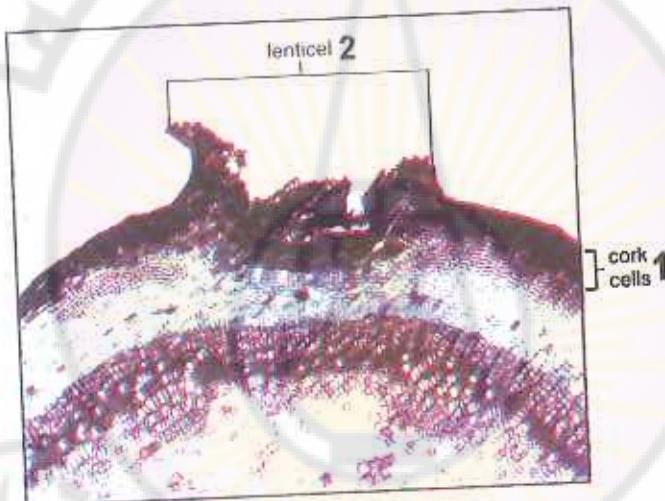


شكل ٨-٨: النسيج الوافي الثانوي:
شكل تخطيطي، b: مقطع عرضي

Lenticels العديسات

تشكلات خاصة في النسيج الفليني، تساعد على تحقيق عملية التبخر وتبادل الغازات. تأخذ من الأعلى شكل درنات صغيرة مع شق في الوسط. تتراوح أبعاد العديسة من مليمتر واحد وحتى المستقر، ويزداد حجمها مع نمو النبات (شكل ٨-٩). والعديسات بنية معزولة في البيئدرم، تتصف بارتباط رخو نسبياً، وذات خلايا برنشيمية كبيرة مستديرة أو بيضوية. يساعد شكلها على تمييز فراغات كبيرة فيما بينها، حيث ترتبط مع الفراغات في النسيج الداخلية من الساق أو الجذر، فتساعد بذلك على تبادل الغازات. تتشكل العديسات، غالباً،

مكان وجود المسام، وهذا يعني وجود رابطة وظيفية مشتركة بين المسام والعديسات. ولكن قد يتشكل الفلوجين في عدد كبير من النباتات (كما في جنس الريهاس *Ribes* والبربريس *Berberis*) وبالتالي البربريدم، في الطبقات العميقة من القشرة. ففي هذه الحالة تتعايز العديسات مباشرةً ضمن طبقة الفلوجين. من السهولة تمييز العديسات دراستها على أغصان البيلسان الأحمر *Sambucus racemosa* والخوخ الطيري *Prunus avium*. ينشط الكامبيوم الفلبيني في بعض الأنواع الشجرية، كما في السنديان الفلبيني *Quercus suber* لمدة سنوات متتالية بدون توقف. ونتيجة لذلك تتكثف طبقة سميكة من الفلين، تبلغ سماكتها أحياناً نحو ٢٥ سم، ولذلك يستفاد منها صناعياً.

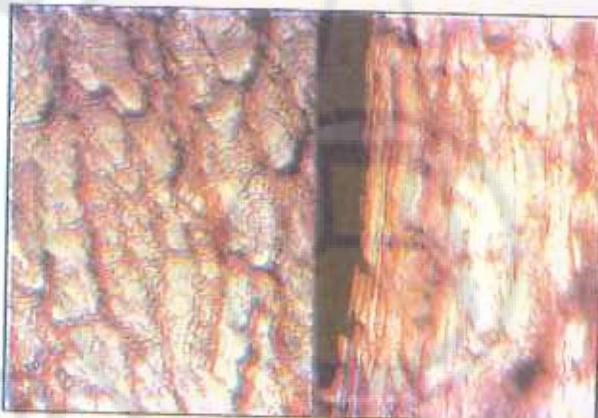


الشكل ٩-٨: النسيج الواقِي الثالثي والعديسة
مقطع عرضي في ساق فني في جنس البيلسان *Sambucus* (١) خلايا الفلين، (٢) العديسة

Rhytidome

يحل القلف مكان الفلين، ولذلك يسمى أحياناً النسيج الواقِي الثالثي، ويصادف عادةً في الأشجار. فتحت تأثير النمو التدريجي لجذع الشجرة عرضاً، يلاحظ بعد مرور سنتين أو ثلاث، تمزق البربريدم وتشكل طبقة جديدة من الفلوجين إلى الداخل من الطبقة الأولى. يعطي الفلوجين الجديد، نحو المحيط، طبقات فلينية جديدة، تعزل وتفصل جميع النسيج الميتة من

القشرة، بما فيها الفلوجين القديم والفلودرم التي تقع إلى المحيط من النسيج اللبني الحديث. تتكاشف طبقة النسج الميتة والمعزولة عن مركز العضو النباتي ويتغير شكلها وتسمى حينئذ القلف Rhytidome. وهكذا يتتألف القلف من مجموعة متكاملة من النسج الميتة المتنوعة (شكل ١٠-٨). تعد الخاصة الدفاعية للقلف أكثر فائدة وفعلاً من الفلبين. فعلى قلف الأشجار، تستوطن أنواع عديدة من الفطور والطحالب والبرنيويات. وتنبع على قلف أشجار الغابات الاستوائية الرطبة بعض النباتات الفوقية Epiphyte، وأنواع مختلفة من السراخس Filicales وأرجل الذئب Lycopodiophyta وغيرها. تنسلخ وتتساقط أجزاء القلف المعزولة تدريجياً. وبفضل ذلك، يتحرر النبات من الغبار والأحياء المستوطنة على جذوعه، التي تشكل أحياناً طبقة سميكة وكتيمة، تؤدي إلى تعقيد الوظائف الحيوية للنبات وعرقلتها.



شكل ١٠-٨: القلف طبقات متتالية من طبقات الفلبين المتسلخة

مجموعة النسج الأساسية أو البرنشيمية Parenchyma Tissues

تُدعى النسج الأساسية أيضاً النسج الصانعة، كما تسمى النسج البرنشيمية، إلا أن الاصطلاح الأخير لا يفضل كثيراً. تؤلف هذه النسج الكتلة الأساسية للأعضاء النباتية وتملا الفراغ بين النسج الناقلة والاستنادية، ولذلك تسمى أحياناً النسج الشامنة. وفي الحقيقة تُعد هذه النسج أساسية، سواء من الناحية المورفولوجية أو من الناحية الوظيفية، إذ تقوم بأفعال الاستقلاب. وتُعد أساسية أيضاً من الناحية التطورية، إذ تشكل كتلة خلوية متراصة منذ

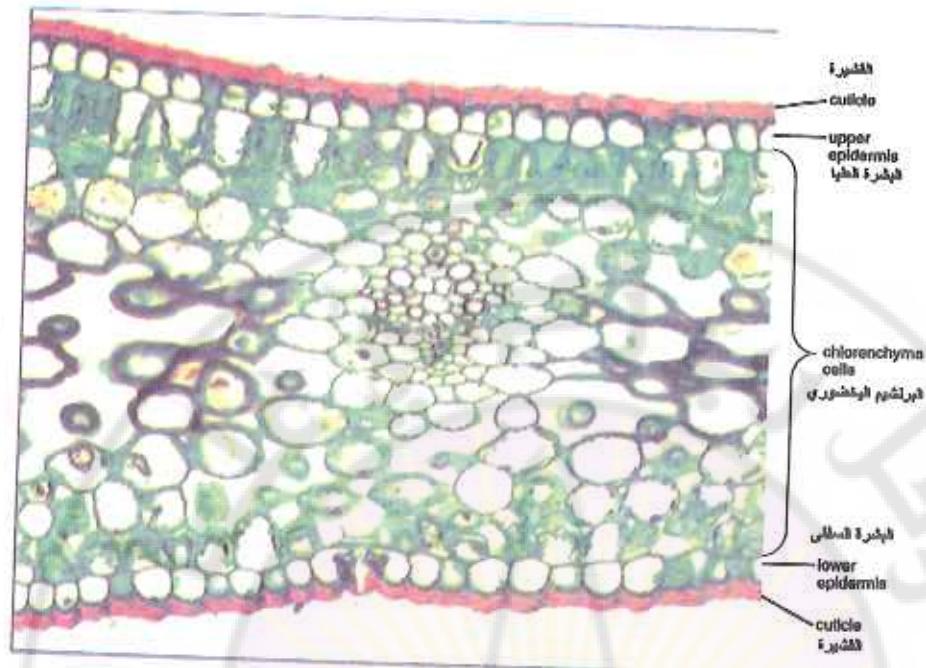
انتاش الجذرة ونحو الباردة، حتى تشكل أعضاء النبات المختلفة. وأخيراً، لوحظ خلال التطور التاريخي للعالم النباتي، أنها شكلت الكتلة الأساسية لجميع العضويات النباتية كثيرة الخلايا، وقد سبقت بالشكل جميع النسج الأخرى. تتميز النسج الأساسية في النباتات الراقية إلى نسج أخرى متنوعة، تقوم بوظيفة محددة: كالاصطناع الضوئي، وادخار المواد الغذائية، ونقل الماء والمركبات العضوية وغيرها. استناداً إلى وظيفة النسج الأساسية، وإلى بنيتها، ومكان تشكيلها، وأصلها، تميز أربعة نماذج رئيسية.

من الجدير بالذكر أن جميع أشكال النسج البرنشيمية، تحافظ بقدرة نشطة على الانقسام الخطي، وتتميز بخلايا بيضوية أو عديدة الأضلاع، تترك فيما بينها فراغات خلوية كبيرة.

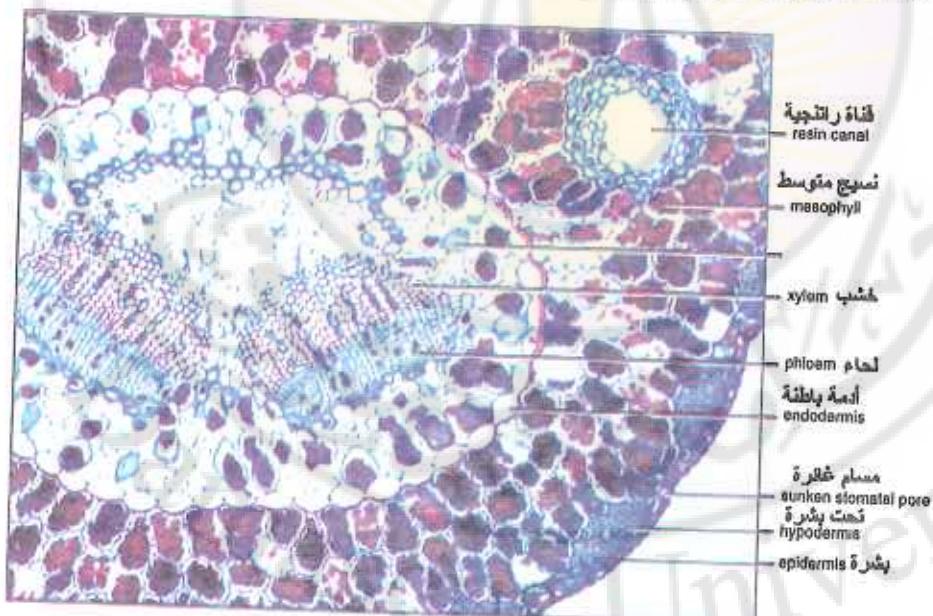
آ- البرنشيم البخضوري *Chlorenchyma*

ويسمي أيضاً البرنشيم الصانع *Photosynthetic P*. يصادف غالباً في الأوراق وفي الأغصان الفتية الخضراء. تشمل خلايا هذا النسيج على الصانعات الخضراء، وتقوم بوظيفة الاصطناع الضوئي. يتميز البرنشيم البخضوري في الأوراق، بصورة عامة، إلى برونشيم حبكي وبرنشيم إسفنجي أو فراغي (برنشيم مخصوص (في أوراق الصنوبريات) (شكل ١١-٨ و ١٢-٨).

يتناصف النشاط التركيبى للنسج المتوسط *Mesophyll* في الأوراق، مع عدد الصانعات الخضراء التي يحتويها. وهذه النسبة في خلايا النسيج الحبكي والفراغي كما يلي: في زهر الشعس الحولي *Helianthus annuus* ٧٣٪ و ٢٧٪ وفي الخروع الشائع *Ricinus communis* ٨٢٪ و ١٨٪ وفي الفريز الحرجي *Fragaria vesca* ٨٦٪ و ١٤٪. تتمتع الفراغات الخلوية في النسيج البخضوري بأهمية كبيرة، فهي تزيد كثيراً من مساحة سطح التلامس بين خلايا النسيج المتوسط بالسطح الداخلي للورقة. وتشكل البشرة السطح الخارجي للورقة. وعلى سبيل المثال، تبلغ مساحة السطح العام الخارجي لجميع أوراق نبات واحد من جنس الكتالية *Catalpa* في عامه العشرين 0.390 m^2 مقابل 0.110 m^2 للسطح الداخلي. تتعلق هذه النسبة إلى حد كبير بشروط الوسط الغذائي.



الشكل ١١-٨ جزء من مقطع عرضي في ورقة جنس *Clivia*



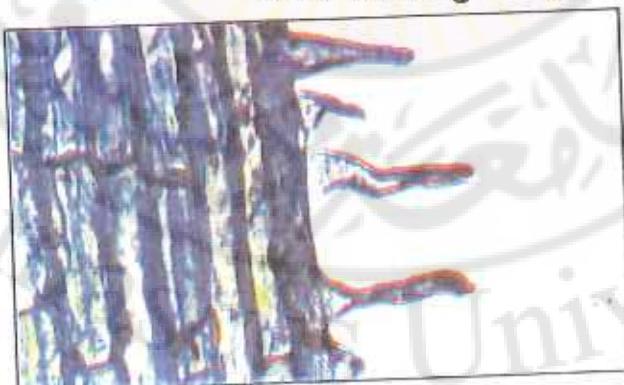
الشكل ١٢-٨: مقطع عرضي في الورقة الإبرية للصنوبر *Pinus*

بــ البرنشيم الادخاري Storage P.

يتميز هذا البرنشيم بفقدان خلاياه للصانعات الخضرا، وبمكان تشكله. ينمو البرنشيم الادخاري خاصة، في الأعضاء المحورية للنبات، في المخ والأشعة المخية للمساق. وكذلك في أعضاء التكاثر الجنسي والإعashi، كالبذور والثمار والبصلات والدرنات والجذور اللحمية وغيرها. ينتشر البرنشيم الادخاري في الجذر أكثر منه في المساق، إذ أن الجذر أكثر قدرة على القيام بوظيفة ادخار المواد العضوية المختلفة. يمكن عد النسج المدخر للماء Water storage P. في النباتات الصبارية نسيجاً برنشيمياً ادخارياً بمعنى الواسع، كما في أوراق الصبر *Aloe* والفصيلة الصبارية *Cactaceae* والأغاف *. Agave*.

جــ برنشيم الامتصاص Absorbing P.

ينتشر الشكل النموذجي من هذا البرنشيم في منطقة الأوبار الماصة للجذر الفتى (شكل ١٣-٨)، ويمكن أن يقوم بالوظيفة نفسها برنشيم القشرة الأولية Cortex وممتصات النسج الماصة في النباتات الطفيليية والرمية وأكلة الحشرات. كما تنمو النسج الماصة في البذور المنتشرة وفي أوبارات الأوراق والنسج الواقية للجذور الهوائية وغيرها. أما الجذريات Rhizoids، التي تصادف في النباتات الدنيا كالبرديويات وغيرها، فتقوم بوظيفة الجذور نفسها ولكنها تتطلع ببنية أبسط بكثير. فهي تتركب من خلايا متجانسة وغير متمايزة. ويمكن فهم الفطور الجذري Mycorrhiza إلى مجموعة النسج البرنشيمية الماصة.



الشكل ١٣-٨: الأوبارات الماصة في الجذر

Aerenchyma P.

يتركب هذا النسيج من خلايا مستديرة تقريباً. ويختلف عن جميع النسج الأساسية السابقة بوجود فراغات خلوية كبيرة ما بين خلاياه، تشكل كلها شبكة هوائية واحدة. يلاحظ في بعض المجموعات النباتية، وخاصة في مغلفات البذور المائية، امتداد البرنشيم الهوائي من الجذر إلى الساق حتى الأوراق. يعتقد، بأن الفراغات الهوائية في الساق والأوراق، تساعدها على السباحة في الماء بسهولة كبيرة. يقوم البرنشيم الهوائي أيضاً بوظيفة استثنائية. فبنية البرنشيم الهوائي، التي تذكرنا بخلايا النحل، توفر للأعضاء النباتية المثانة واللحقة والرونة في الوسط المائي.

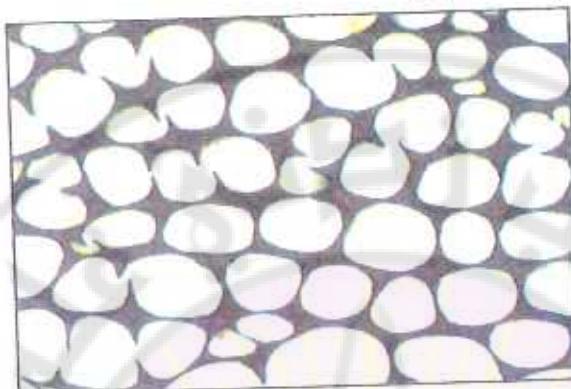
Mechanical Tissues

تنشر النسيج الاستثنائية في كتلة البرنشيم أو حول محبيطه. وهي من النسج الهام، وذات البنية الخاصة. تتألف من خلايا ذات جدر سميك، وغالباً ما تكون متخلبة. تكون هذه الخلايا في معظم الحالات ميّة، وذات أشكال متنوعة جداً. تتميز في الأعضاء المحورية بدءاً من الخلايا البرنشيمية. تؤلف النسيج الاستثنائية، بمجموعها، هيكلآً متيناً لدعم الأعضاء النباتية ومنعها من كسرها وتهشمها. يمكن تصنيف النسيج الاستثنائية حسب شكل خلاياها ومكان تميزها والطبيعة الكيميائية لجدرها الخلوية، إلى المجموعات التالية:

آ- النسيج المتضخم أو الكولانشيم Collenchyma

نسيج دعامي حي، يشاهد على سطوح الأعضاء النباتية تحت البشرة (شكل ١٤-٨). تشتمل خلاياه العضيات الخلوية الضرورية، وأحياناً على الصانعات الخضراء أيضاً و غالباً ما تكون جدر خلاياه سميك جداً وذات طبيعة سيللولوزية (بالإضافة إلى مواد أخرى كالبكتين). لا يشبه الكولانشيم بهذه الصفات، أي نسيج استثنادي آخر. فهو قادر على النمو بصورة نشطة، ويعُد أول نسيج استثنادي تاماً في الساق والأوراق وفي جذور النباتات الراقية. كما يهد النسيج الاستثنادي الأساسي في الأوراق والسوق العشبية لعدد كبير من قنائص الفلقة. ينمو هذا النسيج إلى حد كبير في الجذور النامية في الضوء. تعداد نباتات جنس المكحلة من *Tradescantia*

وحيدات الفلقة، أفضل المحضرات لدراسة هذا النسيج، بالرغم من ضموره في معظم النباتات وحيدة الفلقة، بما في ذلك النجيليات.



الشكل ٤-٨: خلايا الكولانشيم، لاحظ التخانة غير المتسلسلة لمدراها

ينتشر الكولانشيم، غالباً في محيط الأعضاء النباتية، سواءً في الساق أو في الأوراق. فهو يتشكل مباشرةً تحت البشرة، إنما في حالات أخرى، قد لوحظ متمايزاً تحت البرنشيم الذي يلي البشرة. يمكننا حسب ترسب المواد المكتوسيللوزية في الجدار الخلوي لهذا النسيج، تمييز الكولانشيم الزاوي والمامسي والحلقي، يشق هذا النسيج بدءاً من البرنشيم مباشرةً.

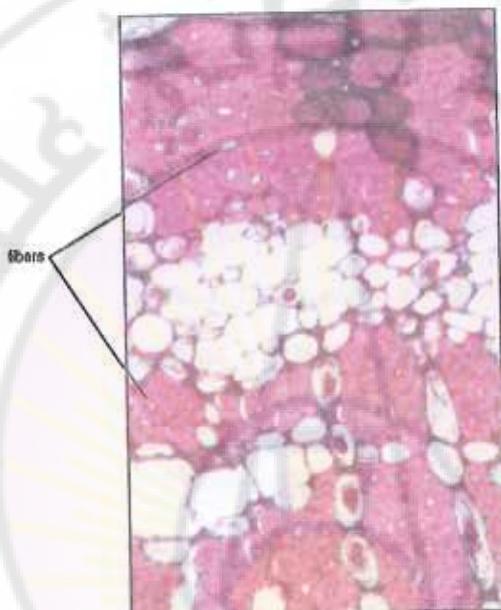
بـ- النسيج المتخشب أو الإسكليرنشيم *Sclerenchyma*

يُعدُّ الإسكليرنشيم من أكثر النسيج الاستثنائية انتشاراً في الأعضاء الإعashية للنباتات الراقية الهوائية، إنما لا يلاحظ في النباتات المائية.

ينتشر الإسكليرنشيم الأولي، بشكل واسع، في جميع الأعضاء الإعashية للنباتات وحيدة الفلقة. ولكنه قليل الوجود نسبياً ضمن البنية الابتدائية للأعضاء المحورة في ثلثيات الفلقة. وبالمقابل ينتشر الإسكليرنشيم بصورة طبيعية وواسعة في البنيات الثانوية لهذه الأعضاء، ويكون فيها أكثر تخصصاً وأوضاع تمايزاً. تنتظم الخلايا الإسكليرنشيمية، عادةً بشكل متراص جداً، بحيث لا تترك فيما بينها فراغات هوائية. تسمى الخلايا الإسكليرنشيمية المنفصلة بالألياف وتمييز منها:

آ- أليافاً لحائية Phloem fibers ترافق اللحاء في البنية الثانوية، وذات جدر خلوية سيللولوزية غالباً.

بـ- أليافاً خشبية Xylem fibers ترافق الخشب في البنية الثانوية، وذات جدر خلوية متخلسبة دائمأً (شكل ١٥-٨).



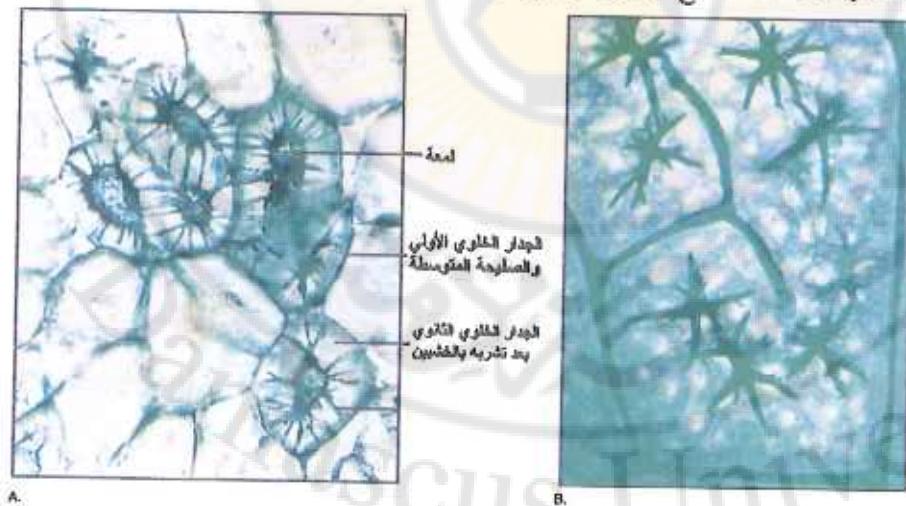
الشكل ١٥-٨: الألياف الخشبية:
مقطع عرضي في جزء من ساق الـ *Tilia*

يتميز الإسكليرنشيم الأولي، عادةً، بدءاً من خلايا البروكاميبيوم أو من ألياف المحيط الدائري، بينما يتشكل الإسكليرنشيم الثانوي بدءاً من الكاميبيوم. يكون إسكليرنشيم المحيط الدائري منظوراً بصورة جيدة، سواء حول محيط الساق أو حول الحزم الناقلة. يتركب الإسكليرنشيم من خلايا بروزنشيمية ذات جدر خلوية متساوية التخانة، مع العلم أن طولها يمكن أن يتجاوز عرضها بـألف مرة أو أكثر. والاسكليرنشيم نسيج متين جداً، إذ أن مقطعاً منه مساحته 1 mm^2 يستطيع تحمل ثقلاً حتى $20-15$ كغ (بينما الفولاذ أمن من بأكثر من مرتين فقط 50 kg/mm^2).

عندما تحتفظ الألياف اللحائية بموادها السيلولوزية، يمكن الاستفادة منها صناعياً. فمتوسط طول الألياف ١-٢ مم. ولكنها قد تبلغ في الكتان ٤٠ مم طولاً، وفي أنواع أخرى كما في *Behmeria nivea*.

الاسكليريدات Sclereids

هي خلايا برنشيمية، ذات جدر خلوي سميكة جداً، ومتساوية الثخانة. أما جوف هذه الخلايا، فضامر جداً ولا يتجاوز قطر قنوات دقيقة للغاية. تصادف الاسكليريدات في الأعضاء النباتية المختلفة وتميز الشمار خاصة. تعدد الاسكليريدات مجموعة مركبة من جميع مناصر النسج الاستنادية المختلفة. إلا أن أكثرها انتشاراً هي الخلايا الحجرية Stone cells أو *Pyrus communis* في جنس السفرجل *Cydonia* وغيرها. تتعلق الصفات الفذائية لهذه الشمار بكمية الاسكليريدات التي تحتويها. فعادةً يتم انتقاء الأنواع التي تجري في ثمارها الناضجة، عملية تفكك مادة الخشبين وانحلالها في جدر الخلايا الحجرية. تقوى الاسكليريدات عادةً النسج الرخوة، وتؤمن لها الانتصاب (الشكل ١٦-٨).



الشكل ١٦-٨، الاسكليريدات (الخلايا الحجرية)
A. ثمار الاجاص (قطع عرضي) B. ورقة *Trochondendron*

مجموعة النسج الناقلة Vascular tissues

تقوم النسج الناقلة بإيصال المواد الغذائية المختلفة والمنحلة في الماء، إلى جميع أعضاء النبات، لم تتمايز هذه النسج مباشرةً، بالشكل الذي تشاهد عليه اليوم، منذ الراحل الأول لتطور العالم النباتي. فلا تلاحظ في النباتات ذات البنية البسيطة، وتكون مثلاً، في الطحالب والسمراء بسيطة جداً وفي بداية تمايزها، بينما تكون في البذرية على أعلى مستوى من التطور والتمايز، باستثناء بعض النباتات المائية، إذ تكون فيها ضعيفة التمايز.

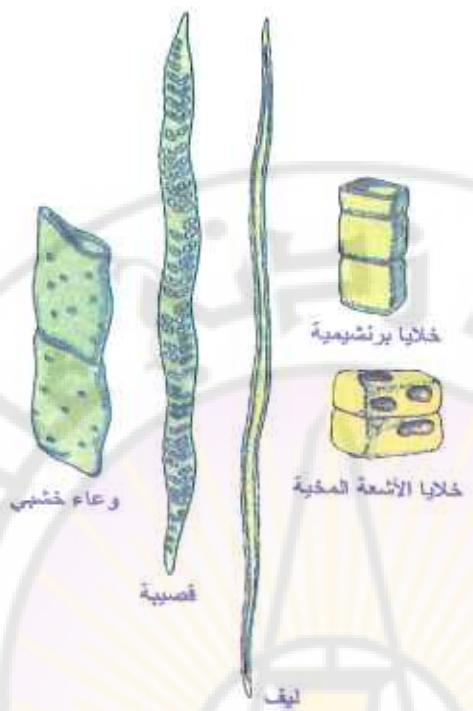
تملك خلايا النسج الناقلة، حسب وظيفتها، شكل أووعية أو أنابيب تتعدد بعضها مع بعض، وفق المحور الطولي للنبات، لتشكيل الجهاز الوعائي Vascular system في النبات، يتكون هذا الجهاز من مجموعتين متكاملتين من النسج وهي: الخشب Xylem، الذي ينقل الماء، ومحاليل الأملاح العذنية التي تقتضيها الجذور من التربة، والملحاء Phloem الذي ينقل المواد العضوية التي يصنعها النبات بنفسه.

تحتل النسج الناقلة مكانة أساسية في الكثير من النباتات الراقية، وذلك ابتداءً من التردييات حتى البذرية، ولذلك تسمى هذه النباتات بالوعائية Tracheophyta.

Xylem

يتتألف الخشب من العناصر النسيجية التالية: الأوعية Vessel أو القصبات Tracheas، القصبيات Tracheids، برئيم الخشب Xylem parenchyma وألياف الخشب Xylem fibers. تؤلف القصبات والقصبيات الجهاز الناقل للنسج الخام (محاليل الأملاح العذنية)، ولذلك تتفق بأهمية فيزيولوجية خاصة (شكل ١٧-٨).

استناداً إلى أصل الخشب وزمن تشكيله، يعيزون ما بين الخشب الأولي Primary Xylem والخشب الثانوي Secondary Xylem. يتمايز الخشب الأولي بدءاً من صف الخلايا القصومة المتوضعة بشكل موازٍ للمحور الطولي للنبات في النسيج القسم القمي، وتسمى طليمة الكامبيوم (البروكامبيوم). ويتشكل الخشب الثانوي بدءاً من الخلايا التمايزية عن الكامبيوم.



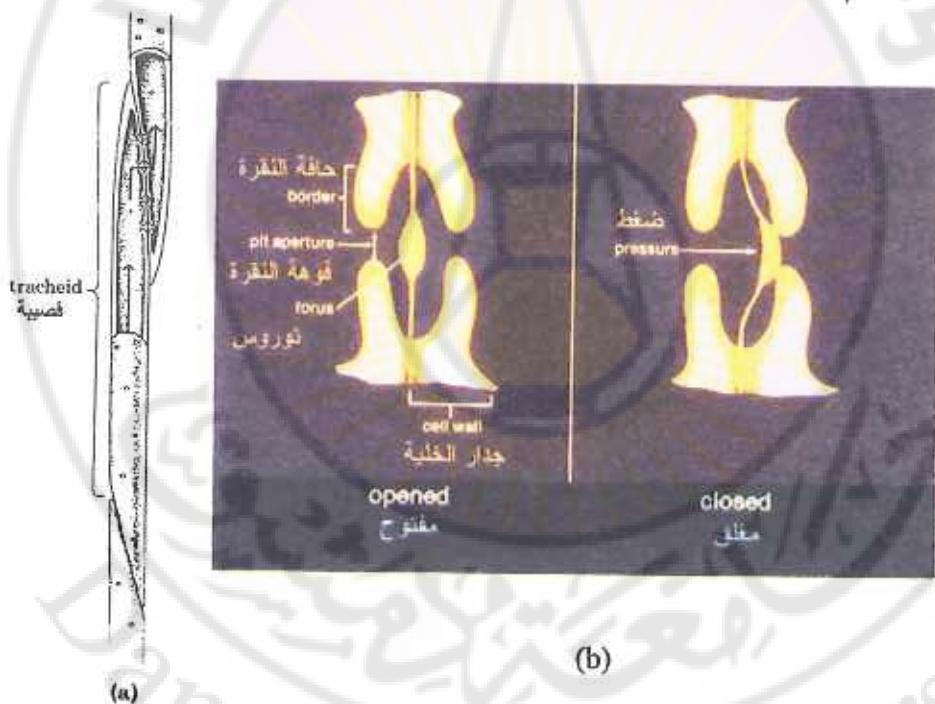
شكل ١٧-٨. العناصر النسيجية المكونة للخشب

تنتقل المحاليل المائية للمركبات المعدنية من الجذر باتجاه الساق فالأوراق. يُعد الماء وسطاً هاماً تجري فيه جميع التفاعلات الاستقلابية التي توفر نمو النبات وتطوره. ويعد من أهم المواد الفرورية للنبات، إذ يزوده بانتظام، بالهيدروجين والأكسجين. كما يشتمل محلول الماء على أملاح معدنية مختلفة وعناصر متعددة ضرورية لبناء العضوية النباتية (كالآزوت والفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم وكثير من العناصر الصفرى).

تسهم عناصر الخشب، في أوائل الربيع، بنقل المواد العضوية وخاصة السكارر منها، وذلك بسبب النمو النشط لأجزاء النبات المختلفة وتفتح البراعم. فبالحظ، في هذا الوقت، تدفق النسغ التام من جذور الأشجار عند جرحها. على هذا الأساس، يمكن الحصول على السكارر من جذور بعض الأشجار، التي تشتمل في نسغها الريعي كمية كبيرة منها (كالقيقب والمسكري).

القصيبات Tracheids

خلايا ذات جدار عرضي كامل ونهايات مدببة، في حين يتمزق الجدار العرضي في القصيبات، وتشكل مكانه نافذة كبيرة، تسمى الثقب البسيط simple perforation يكون الجدار العرضي لخلايا القصيبات مائلاً، ويبقى موجوداً طوال نشاطها الوظيفي. ويشتمل كثيراً من النقر الهاлиة. يندفع النسخ الخام في القصيبات نحو الأعلى عبر هذه النقر التي تفصل خلايا القصيبة بعضها عن بعض. يمكن تمييز شكلين من القصيبات: وعائية vascular وتشتمل كمية كبيرة من النقر الضخمة الهاлиة، وليفية fibrous وتشتمل عدداً قليلاً من هذه النقر (شكل ١٨-٨). يتراوح طول هذه الخلايا ما بين ١٠-١٢ مم، أما قطرها فلا يتجاوز ٥٠-٦٠ مم.



شكل ١٨-٨. القصيبات

(a) الشكل العام للقصيبة وطريقة انتظامها

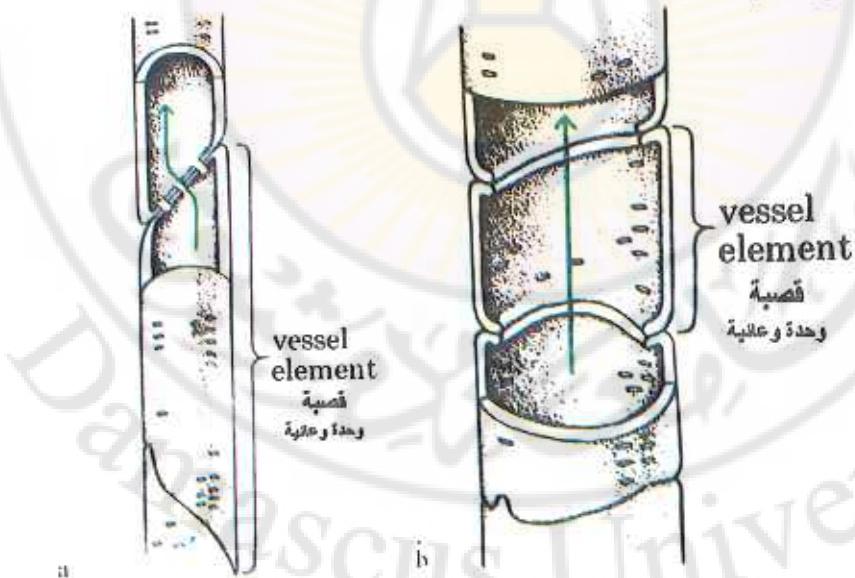
(b) بنية النقرة في مقطع طولي، موضحاً آلية فتح وإغلاق النقرة

تشكل القصبيات بدءاً من حزم البروکامبیوم. وتتميز عن الأوعية أيضاً بطريقة تشكلها، إذ يتغلب رأسها المدبب ما بين القصبيات الأخرى المجاورة. تتمايز على الجدر الخلوي للقصبيات أعداد كبيرة من النقر الهاлиة، التي تأخذ شكلـاً سليماً *Scalariform* كما في قصبيات التریديات *perforation*.

تُلْفُ القصبيات الكتلة الرئيسية للخشب في التریديات وعريانات البذور، وتلاحظ نادراً في عرقفات البذور، وبصورة رئيسية، في الخشب الأولي.

الأوعية أو القصبات *Vessel*

تتألف القصبة من اتحاد عدد كبير من الخلايا المتطاولة شاقولياً، خلية فوق أخرى ثم يزول الجدار العرضي الذي يفصلها بعضها عن بعض، ويمر فيها تيار النسغ الخام بحرية كاملة. تجتمع الأوعية بعضها إلى جانب بعض مشكلة حبالاً متغيرة، تمتد من قاعدة النبات حتى قمته. يفترض بأن الجدر العرضي التي تفصل خلايا الوعاء بعضها عن بعض تشكل زاوية قائمة مع الجدر الجانبية. تتمزق الجدر العرضي السابقة وتزول تدريجياً تحت تأثير تيار النسغ الخام (شكل ١٩-٨).



الشكل ١٩-٨. مخطط تشكل الأوعية:
عدد كبير من القصبات تصطف بعضها فوق بعض شاقوليا (a). ثم تزول الجدر العرضي التي تفصلها (b).

يبلغ طول هذه الأوعية الفاصلة عدة أمتار (وأحياناً عشرات الأمتار)، ويتوافق قطرها بين ٧،١٠،١٣ م.

تشكل الأوعية الأولية بدءاً من خلايا البروکامبیوم في قمة الساق أو الجذر. وتتسوّع على طول العضو النهائي، وتمتد من قاعدة الجذر حتى قمة الساق فالأوراق.

تطاول خلايا الأوعية (الوحدات الوعائية) سريعاً أثناه نمواها. وتبداً بنقل محاليل الأملاح المعدنية، الأمر الذي يزيدها طولاً. تهرم هذه الخلايا بعدها، وتظهر فيها فجوات كبيرة. كما تزداد جدرها سمكّاً، وتتعاظم فيها أعداد هائلة من النقر. وبعد أن تأخذ هذه الجدر سماكتها النهائية، تبدأ بالتحشّب، وتنشط وظيفتها الناقلة. تُبدي تيارات المحاليل الملحية التي تجري في القصبات شغطاً مرتفعاً على الحاجز العرضي للوحدات الوعائية التي لا تشتمل ترسّبات ثانوية. تترافق لهذا السبب، الحاجز السابلة وتزول، ويحل مكانها ثقب بسيط. في هذه المرحلة تقيّها، تخسر الخلايا الوعائية محتواها الحي، نتيجة تحشّب جدرها الخلوي، ونقلها للنسخ الخام الذي يجرف عضياتها المختلفة. تشير بعض الراجع إلى بقاء المحتوى الحي لوحدات الأوعية لعام واحد في بعض الأحيان.

يمكن تمييز الحدود الفاصلة بين خلايا الوعاء الواحد، بوجود تضيق خاص، يقابل نهاية هذه الخلايا. وهكذا يبقى دوماً جزء بسيط من الحاجز المترافق على شكل "طوق" يحيط باللمعة الداخلية للوعاء، يسمى إطار الثقب. فإذا ما كان هذا الإطار وحيداً سي الثقب السابق ببساطة، (قد يكون هذا الإطار غير ملحوظ في بعض الأحيان). تتشكل الثقوب البسيطة، عادةً، في الحاجز العرضي القائمة. وتتشكل في الحاجز العرضي المائلة ثقوب كثيرة، يمكن أن تأخذ شكلاً شبكيّاً أو سليماً أو افديراً (بالنسبة إلى الـ *Ephedra*). إن أكثر الثقوب السابقة قدماً وبذائية هي الثقوب الداعمة، وأكثرها تقدماً وتطوراً هي الثقوب البسيطة.

تتحدد أشكال الأوعية والقصبات بصفات وطبيعة البنية الثانية لجدرها. فيميزون عادةً، بين أوعية حلقيّة Annular وحلزونية Spiral وسلمية Scalariform وشبكيّة Reticulate ومنقرة Pitted ومنقرة Reticulate ومنقرة Reticulate ومنقرة Reticulate (شكل ٢٠-٨).

فعلى جدار الأوعية الحلقة، يتم ترسب طبقات الجدار الثاني على شكل حلقات منفصلة، وعلى جدار الأوعية الحلزونية، يتم التغليظ الثاني على هيئة حلزون متصل. تتبع الأوعية الحلقة والحلزونية بمرنة عالية، فتستطيع التطاول بسهولة. ولهذا السبب تلاحظ في المخاريط النامية من النبات، إذ لا تعيق نمو الأعضاء النباتية. كما تنتشر بصورة واسعة في الأوراق. تُلاحظ الأشكال المختلفة من الفقر، ما بين حلقات الأوعية السابقة.



شكل ٢٠-٨: نماذج لنظمات الأوعية الخشبية

تشكل الأوعية الحلقة والحلزونية، عادةً، في الخشب الأول عند جميع مخلفات البذور. فتبديا بالتماييز في مخاريط النمو للأعضاء الإعashية. ولا تُلاحظ مثل هذه الأوعية في الخشب التالي أو الثاني. في المراحل المقدمة من تطور النبات، وخلال تباين عناصر الخشب الثاني، تقترب الترسيبات الحلقة والحلزونية بعضها من بعض، وتتحدد فيما بينها لتكوين الأشكال الأخرى من الترسيبات الثانوية. وقد ظهرت أثناء ذلك نقر متطرفة هالية، توضعت على جدار الوعاء حسب صفوف متوازية. سمي مثل هذا الانتشار للنقر السلمي، وسمى الوعاء، أيضاً باسم نفسه. تميز الأوعية السلمية الكثير من الترسيبات، كما تصادف في مختلف النباتات مخلفة البذور (شكل ٢١-٨).



شكل ٢١-٨: النسج النباتية في ساق الكوسا:
١: نمذاج من الأوعية الخشبية، ٢: خلايا البرشيم

تطورت بعده النقر المتطاولة في الأوعية السلمية، وأخذت شكلًا دائرياً أو بيضويًا، حيث توضعت وفق نظام أفقي أو مائل، وأخذت شكل تثقبات متقابلة أو متsequبة. تتصف الأوعية والقصيبات سليمة أو متsequبة التثقبات بعدم مرؤونتها، وبالتالي بعدم قدرتها على التطاول.

تعد الأوعية الحلقية والحلزونية من أقدم أشكال القصبات. بينما تتتنوع أشكال الأوعية والقصيبات، في مختلفات البذور، مما يدل على تقدمها التطوري.

برنشيم الخشب

يتتألف من خلايا برنشيمية متخشبة، تنتظم وفق صفوف شعاعية (نصف قطرية)، في مركز الجذر أو الساق (الأشعنة الخشبية). كما يتتألف من خلايا برنشيمية حية تحيط بالأوعية والقصيبات، إلا أن جدرها، غالباً، ما تتخشب مع الاحتفاظ بمحتوها الحي، يُسمى مثل هذا البرنشيم المتخشب. أحياناً تزداد الجدر المتخشبة لبعض الخلايا البرنشيمية سماكة وتتحول إلى خلايا دعامية (اسكليريدات أو خلايا حجرية)، فتساعد الأوعية والقصيبات على تعزيز

وظيفتها الناقلة وتقويتها.

ألياف الخشب

تعد العناصر الاستنادية في الخشب، الدعامة الأساسية لكامل النبات، فبدونها يخسر النبات هيكله وشكله العام. تقوم بمثل هذه الوظيفة الهامة العناصر الناقلة في الخشب (الأوعية والقصيبات) ذات الجدر الخلوي المتخلسبة. ولكن تستدعي الكمية الكبيرة من الماء التي تجري فيها، وجود دعامة إضافية. وهكذا حصلت مختلف النباتات الوهائية على هيكل استنادي متين، ذي بنية متنوعة، تنتشر عناصره بين الأوعية والقصيبات والخلايا البرنسيمية أو بالقرب منها.

تحيط الألياف الاستنادية في كثير من النباتات العشبية، بالخشب، مشكلة دعامة قوية لها شكل السوار. يتحول "السوار الاستنادي" السابق في معظم وحيدات الفلقة إلى قصص متين من الألياف، يحيط بالخشب واللحاء معاً. تقوم القصيبات، التي تشتمل عدداً قليلاً من النقر، في الأنواع الشجرية من مقلفات البذور بوظيفة استنادية وتسمى القصيبات الليفية. تخسر القصيبات الليفية، خلال تطورها، ثقلياتها الهايلية وتتحول إلى ألياف متخلسبة حقيقة.

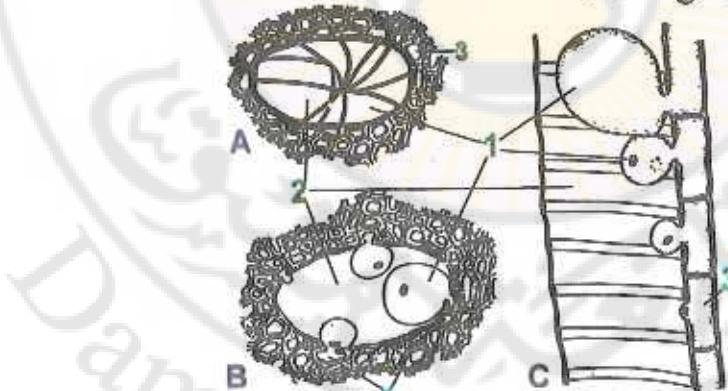
انسداد العناصر الناقلة في الخشب

تقوم العناصر الناقلة في كثير من النباتات العشبية الحولية أو المعمرة، بنقل النسخ الخام طوال فترة حياتها. أما في النباتات الشجرية المعمرة، فلا تستطيع الأوعية والقصيبات القيام بوظيفتها بصورة مستمرة. فمع الزمن، يتغلق جري الأوعية، وأحياناً، جوف القصيبات، ولا تستطيع بذلك مواصلة نقلها لمحاليل الأملاح المعدنية. يتم غالباً انسداد هذه الأوعية بسبب نمو وتضخم تشكيلات فقاعية الشكل، تنشأ بدءاً من الخلايا البرنسيمية المجاورة، وتدخل وتمتد إلى العناصر الناقلة عن طريق النقر الموجودة في جدرها الخلوية. يمكن لنواة الخلية البرنسيمية أن تتحول إلى شكل فقاعي وأن تنتقل إلى الأوعية الناقلة. ولكن أحياناً، تنقسم مثل هذه النواة في الخلية البرنسيمية إلى نواثنين، تهاجر أحدهما إلى الوعاء

الناقل. تقسم النواة المهاجرة من جديد وتظهر بين هذه النوى المقسمة حواجز خلوية. يتشكل، بالتالي، نسيج بروتسيمي راشف، يغلق الوعاء. تسمى عملية تشكيل الخلايا البروتسيمية، كما سبق، لم انسداد جوف الأوعية بـ *Tilloformation*.

في معظم الحالات تتجمع الحالات النهائية لتفاعلات الاستقلاب، في الخلايا البروتسيمية السابقة، حيث تعد سبباً هاماً في موتها. كما تترسب أحياناً في هذه الخلايا مواد ادخارية متنوعة، كحبات النشاء مثلاً. تلاحظ هذه التشكيلات الفقاعية أو الخيطية في الأجزاء القديمة من الساق، وأحياناً في الفوارع الفتية أيضاً، كما في جنس الروبينيا *Robinia* (شكل ٢٢-٨). تتشكل الفقاعات البروتسيمية في السوق الفتية بالقرب من الأماكن المخدوشة أو المجرورة، كما تلاحظ عند بعض النباتات العشبية. تنافق الأوعية الخشبية، في بعض النباتات الشجرية، بفعل مواد معدنية أو عضوية مختلفة، وتتوقف عن القيام بوظيفتها الناقلة.

تحتفل مدة النشاط الوظيفي للأوعية الناقلة حسب النوع النباتي، وتتراوح عادةً، من ثلاثة سنوات أو أربع حتى الأربعين أو الخمسين سنة. تملك هذه التشكيلات الفقاعية البروتسيمية أهمية حيوية كبيرة في النبات، إذ تعزز وتنقى الوظيفة الاستنادية للعناصر الناقلة في الجزء المركزي من جذور الأشجار



شكل ٢٢-٨: تشكيلات بروتسيمية في ساق الأكاسيا البرهضاء
A و B مقطع عرضي في الوعاء، C مقطع طولي في الوعاء
١: تشكيلات بروتسيمية، ٢: جوف الوعاء، ٣: بروتسيم متختب

اللهاء Phloem

تقوم جميع العناصر النسيجية في اللهاء بنقل المواد العضوية (كالحموض الأمينية والسكاكر والشحوم والفيتامينات) إلى جميع أجزاء النبات. تصنف هذه المواد، كما هو معروف، في الأعضاء النباتية الخضراء، كمحصلة نهائية لعملية الإصطناع الضوئي. ثم تهاجر منها إلى أعضاء النبات الأخرى، بما في ذلك الشمار والبذور، أو إلى النسخ الادخارية.

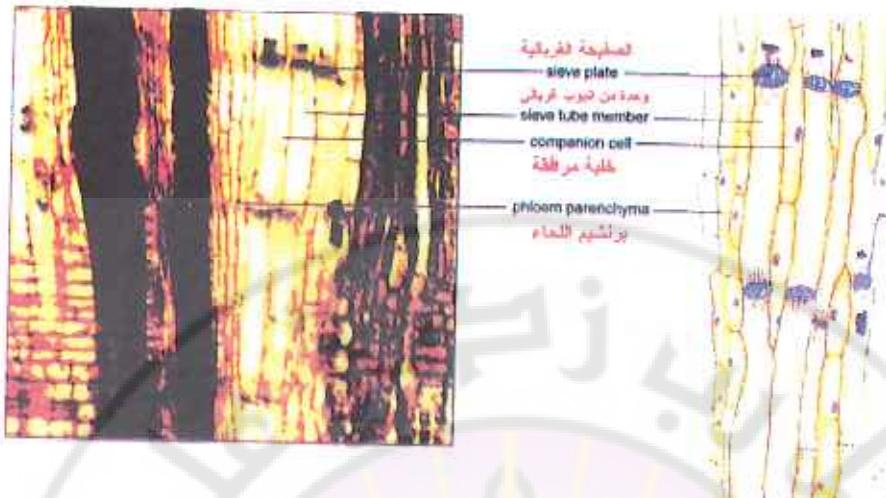
يتوضع اللهاء عادةً في النباتات ثنائية الفلقة، في الجهة المحيطية من سوقها وجذورها. واستناداً إلى أصل اللهاء وزمن تشكله، يمكن التمييز بين اللهاء الأولي Primary phloem الذي يشمل اللهاء الأول Protophloem واللهاء التالي Metaphloem، وبين اللهاء الثانوي Secondary phloem.

يتميز اللهاء الأولي بدهاً من حزم البروكاميبيوم في النسخ القمي. بينما يتميز اللهاء الثاني بدهاً من الخلايا المنفصلة عن الكاميبيوم بعد نشاطه.

يتقابل النسخ الخام، الذي يحمل محاليل الأسمال العدنية إلى أجزاء النباتية الخضراء، نسخ آخر يدعى الثام، حيث يحمل المواد العضوية إلى جميع أعضاء النبات. يتكون اللهاء من العناصر الأساسية التالية: الأنابيب الفريالية sieve-tubes والخلايا المرافقة companion cells وبرنشيم اللهاء phloem parenchyma والياف اللهاء (شكل ٢٣-٨).

الأنبوب الغريالية

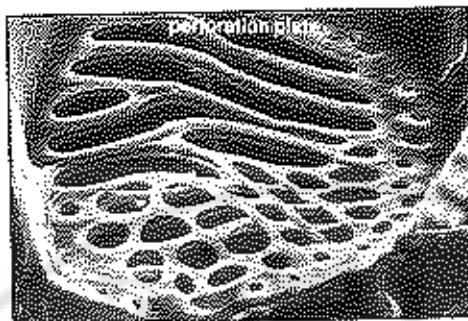
تناقض الأنابيب الغريالية من التحاد عدد كبير من الخلايا الغريالية sieve cells التي يتصل بعضها ببعض طولياً، حيث تشبه القصبات، ولكنها تختلف عنها بكونها خلايا حية. تقابل الخلايا الغريالية القصبات، وتقوم بنقل النسخ الثام في كثير من النباتات، كما في عربانات البذور والتربيضيات. للائق الحواجز العرضية في الأنابيب الغريالية (الجدر العرضية للخلايا الغريالية) على شكل الفريال، ولذلك سميت بهذا الاسم (شكل ٢٤-٨). كما تظهر حواجز غربية (الصفائح الغريالية)، في كثير من الحالات، على الجدر الطولي للخلايا الغريالية.



شكل ٢٣.٨: عناصر اللحاء:
قطع طولي في ساق روبينيا الأكاسيا الزانفة
Robinia pseudo-acacia

تشكل الأنابيب الغربالية الأولية بدءاً من خلايا البروكامبیوم، التي يصطف بعضها إلى جانب بعض مشكلةً حباً طولية، حسب المحور الطولي للنبات. تنقسم الخلية القسمة الأم طولياً إلى خليتين: الكبيرة منها، هي خلية الأنابيب الغربالي، والثانية هي الخلية المرافقة لهذا الأنابيب. وقد تنقسم الخلية الأم السابقة مرتين أو ثلاث مرات متتابعة، وتشكل تبعاً لذلك خليتان أو ثلاث خلايا مرافقة لأنابيب غربالي واحد. كما قد تنقسم الخلايا المرافقة عرضياً، وتشكل خليتان أو ثلاثة، خلايا مرافقة، يتوضع بعضها فوق بعض على امتداد الأنابيب الغربالي السابق.

يساهم النشاط الوظيفي للأنانبيب الغربالية، اختلافاً مورفولوجياً كبيراً بينها وبين الخلايا الحية الأخرى. يشتمل الأنابيب الغربالي في بداية تشكيله سيتوبلاسم ونواة وفجوة وجداراً خلويّاً رقيقاً. يترافق النشاط الوظيفي للأنانبيب الغربالية بتطاول وازدياد سمكها جدرها الخلوية قليلاً، ثم يؤدي هذا التطاول إلى تمزق هذه الجدر في مناطق التقر.



الشكل ٢٤-٨: صورة بالمجهر الإلكتروني لصفحة غربالية

يساعد انتقال محليل المواد العضوية في الأنابيب الغربالية التمايز، على ظهور ثقبات في جدرها العرضية بأعداد كبيرة، وعلى تشكيل الصفيحة الغربالية sieve-plate. تزداد في هذه المرحلة سماكة الجدر الطولية للأنابيب الغربالية فتمكّن الضوء بشدة، وتبدو متلائمة مضيئة، ولكنها تحافظ بطبيعتها السيلولوزية.

وهكذا تتغير وضعيّة البروتوبلاست في الخلايا الغربالية، بعد تشكيل الأنابيب الغربالي، إذ تتحد الوصلات البلاسمية Plasmodesmata التي تخترق الثقوب الغربالية في الصفيحة الغربالية، بعضها مع بعض. ثم تبدي محليل المواد العضوية، التي تنتقل في الأنابيب الغربالية الفتية، تأثيراً قوياً في الصفات الفيزياكيميائية للسيتوبلاسم. فتفتكك النواة والمانعات عديمة اللون، وتزول الحدود الفاصلة بين الفجوة والسيتوبلاسم. ثم تدمج جميع هذه المركبات في كتلة حيوية واحدة، وتتوقف الحركة الذاتية للسيتوبلاسم، ثُدُعى مثل هذه الحالة غير الطبيعية للسيتوبلاسم التشوه Denaturation. وبنتيجتها تخسر السيتوبلاسم، نفاياتها الاصطفائية، وتتصبح نفونة تماماً بالنسبة لجميع محليل والمادة العضوية واللاعضوية. على هذا المستوى ينتهي تشكيل الأنابيب الغربالي بشكل أساسي. وعندئذ لا يؤثر محليل مرتفع التركيز في السيتوبلاسم "المشوهة" في الأنابيب الغربالية، وبالتالي لن تتعرض لحادية الانكماس البلاسي Plasmolysis. تعاني الصفائح الغربالية بعد ذلك تغيراً محدوداً، فتشكل أسطوانة من مادة سكرية خاصة هي الكالووز Callose، حول كل ثقب من الغربال.

تعد الأنابيب الغربالية، من الناحية التطورية، أكثر تجانساً من العناصر الناقلة الأخرى. فهي دقيقة جداً (بالمقارنة مع القصبات)، ولا يتعدى طول الأنابيب الغربالي الواحد في البطاطا ١٣٨ ميكروناً، ويتراوح طولها بشكل عام ما بين ١٥٠-٣٠٠ ميكروناً، ويصل أطولها إلى ٥٥٠ ميكروناً. أما قطرها فيتراوح من ٣٠-٢٠ ميكروناً.

تحتختلف مدة النشاط الوظيفي للأنبوب الغربالي حسب النبات. وهي قصيرة نسبياً، فلا تتجاوز حياتها في النباتات العشبية الحولية، وفي الأجزاء الهوائية من الأعشاب المعمرة، مرحلة إعائية واحدة. ولا يعيش الأنابيب الغربالي في كثير من الأنواع الشجرية أكثر من عامين. وقد يستمر الأنابيب الغربالي، في نشاطه، في بعض الأنواع الشجرية، من ثلاث سنوات إلى أربع سنوات. وفي هذه الحالة، ينفلق الأنابيب الغربالي بأسطوانات سكرية^٢ (Callus) في الخريف، ثم يعود وينفتح في الربيع ليتابع نشاطه الوظيفي. تقوم هذه "السدادات السكرية" أحياناً، التي تغلق ثقوب الصفحة الغربالية، بتنطية كامل سطح الغربال. وحيثند، يتوم الكالوز بقطع الوصلات السيتوبلاسمية، فاصلاً المادة الحية في الخلايا الغربالية التجاورة بعضها عن بعض، وبالتالي سينتهي الأنابيب الغربالي إلى الموت.

الخلايا المرافقة

تشكل الخلايا المرافقة مع الأنابيب الغربالية، في الوقت نفسه، وبداء من خلية قسمة مشتركة. ولذلك يمكن التفكير بأن الأنابيب الغربالي وخليته أو خلاياه المرافقة، تشكل وحدة وظيفية متكاملة، وما يؤكد هذا أيضاً، اقتران موت البروتوبلاست في الأنابيب الغربالية، بهوت الخلايا المرافقة، ولكن من الضروري الإشارة إلى أن مشاركة الخلايا المرافقة في نقل المواد العضوية ما يزال في حيز الافتراض.

لقد تميزت الخلايا المرافقة، خلال التطور التاريخي للعالم النباتي، في أكثر النباتات

(٢) يجب التمييز ما بين الكالوز Callus والكالوس Callous، فال الأول يعبر عن مادة سكرية خاصة (غير متبلورة، وعديمة الانحلال بالماء البارد) من مواد الجدار الخلوي، بينما يعبر الاصطلاح الثاني عن الشكل الذي تأخذه هذه المادة عند ترميمها، كفرق تماماً بين الشبرين Cutin والقشرة Cuticle.

الراهنة رقياً وتقدماً. وبال مقابل، لم تلاحظ في النباتات البوغية أو في بعض مخلفات البذور خلايا مرافقة حقيقة ومتخصصة. كما تغيب أيضاً حسب معطيات العالم I.Beily في الأنواع القديمة من مخلفات البذور، كما في *Austrobaileya maculata*.

برنشيم اللحاء

يُعد من عناصر اللحاء الأساسية، إذ تجري في خلاياه تفاعلات حيوية متنوعة. وتتجمع فيها غالباً، مواد ادخارية مختلفة، كحبات النشاء، لبيهادات، مواد عضوية متفرقة، راتنج وغيرها. تلك خلايا برنشيم اللحاء الأولى شكلاً متطاولاً، وتتوسع بصورة موازية للألياف الغرالية.

أما برنشيم اللحاء الثانوي فيتميز إلى جملتين: جملة شاقولية وأخرى أفقية. تتألف الجملة الأفقية من برنشيم الأشعة الغرالية.

ألياف اللحاء

تدخل الألياف الاستنادية في تركيب اللحاء الأولى والثانوي. تختلف الألياف الأولية عن الثانوية، ببعض الفروق المورفولوجية الواضحة.

يمكن تعميل تطور اللحاء كما يلي: يتألف اللحاء الأولى كما رأينا، من لحاء أول ولحاء ثالٍ. ففي مرحلة النمو النشط للأعضاء النباتية طولاً، تتميز الخلايا المتسللة عن حيال البروكاميبيوم جزئياً إلى عناصر اللحاء الأول. يتألف اللحاء الأول من خلايا ضيقة، سوف تتحول إلى أنابيب غرالية ولا تشتمل فيما بينها، عادة، خلايا مرافقة. تخسر الأنابيب الغرالية المتسلكة نواتها سريعاً وتتوقف عن النمو والتطاول. يتميز بعد ذلك بعد أن ينتهي نمو العضو النباتي طولاً - اللحاء التالي. يتألف هذا اللحاء من أنابيب غرالية ذات نشاط وظيفي ملحوظ، ومن خلايا مرافقة. بعد تطور عناصر اللحاء التالي ونشاطها تزول عناصر اللحاء الأول، أو تتحول إلى ألياف استنادية، كما في ثانيةات الفلقة.

يختلف اللحاء التالي في وحدات الفلقة من ثانيةاتها ببعض الفروق الهامة:

تضم عناصر اللحاء التالي في ثناياات الفلقة بالإضافة إلى الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة المتطرفة برونشيمياً غرماليًا، يكون مفقوداً في وحدات الفلقة. يمكن التمييز بسهولة في وحدات الفلقة، ما بين اللحاءين الأول والثاني، بينما في ثناياات الفلقة لا يلاحظ مثل هذا الانتقال الواضح. يستمر اللحاء التالي في وحدات الفلقة بنشاطه طوال حياة النبات، وذلك لعدم وجود كامبيوم في هذه النباتات. وبالتالي لعدم تشكل لحاء ثانوي.

يتميز اللحاء الثانوي في عريضات البذور وثناياات الفلقة بعد نشاط الكامبيوم مباشرةً، فتتموت عناصر اللحاء التالي وتتحول إلى ألياف متخصبة (اسكليرنثيم). من الجدير بالذكر، أن اللحاء في عريضات البذور، لا يشتمل خلايا مرافقة ويقوم بوظيفتها كما يعتقد، البرنشيم الغربياني. ومن جهة ثانية تكون عناصر اللحاء الأولى في هذه النباتات غير واضحة.

Fibro-Vascular Bundles

الحزم الناقلة - الحزم الوعائية الاستثنائية تنتشر عناصر النسج الناقلة في العضوية النباتية وفق نظام محدد. يتعلق هذا النظام بوجود مجموعة من الحزم الناقلة، التي تجتاز جميع أعضاء النبات، بدءاً من نهاية الجذر حتى قمة الساق والأوراق. بفضل هذا الجهاز المتكامل من الحزم الناقلة، تجري في أعضاء النبات المختلفة عمليات استقلاب متكاملة أيضاً. يمكن ملاحظة هذه الحزم بالعين المجردة في الأوراق وفي بعض السوق الفتية الغضة. فهي تشكل شبكة معقدة في الأعضاء الإعائية، وفي بعض الشمار كالشمش والكرز.

تتألف الحزم الناقلة عادةً من كتلة من الخشب وأخرى من اللحاء مع مجموعة من الألياف الاستثنائية والبرنشيم الوهابي. تأخذ كل من هذه النسج وضعية محددة في الحزمة الناقلة تتعلق بشكل العضو النباتي، وإلى حد ما، بشرط الوسط الخارجي، يلاحظ أحياناً بالإضافة إلى الألياف الاستثنائية المنتشرة داخل الحزم الناقلة للنباتات وحيدة أو ثنائية الفلقة، وجود ألياف استثنائية أخرى، تعطي كالسوار، بالحزم الناقلة من جميع الجهات أو من جهة

اللحاء فقط. ونادراً ما يلاحظ في الحزمه الناقلة، اللحاء فقط دون الخشب، أو بالعكس الخشب دون اللحاء. تسمى مثل هذه الحزمه الناقلة بالحزمه غير الكاملة، وتصادف في الأوراق. يتألف الخشب فيها من أوعية أو قصبيات ذات تحسب حلقي أو حلزوني. وبالمقابل تدعى الحزمه التي تشتمل الخشب واللحاء معاً الكاملة. واستناداً إلى وضعية الخشب واللحاء في الحزمه الكاملة يمكن تمييز أربعة أنماط رئيسية من هذه الحزم:

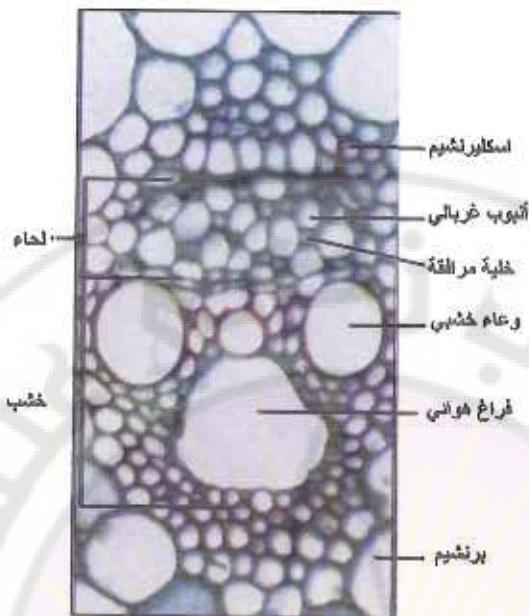
١- الحزم المتطابقة جانبياً Collateral bundles

وفيها يتوضع اللحاء إلى جانب الخشب. فمن أحد طرفي الحزمه يتشكل اللحاء، ومن الطرف المقابل يتمايز الخشب. يكون اللحاء في الأعضاء المحورية (الساق والجذن) أقرب إلى محيط العضو النباتي، بينما يكون الخشب أقرب إلى مركز هذا العضو. أما قرص الأوراق، فيتجه الخشب نحو البشرة العليا واللحاء نحو البشرة السفلية. ينتشر هذا النمط من الحزم، بصورة واسعة في معظم النباتات العشبية والشجرية لوحيدات الفلقة أو ثنائياتها وفي عريانات البذور (شكل ٢٥-٨)

٢- الحزم المتطابقة ثنائية الجانب Bicollateral bundles

يتشكل اللحاء في هذه الحزم على طرف الخشب. فيوجد لحاء داخلي Internal phloem على الجانب الداخلي للخشب، ولحاء خارجي External phloem نحو محيط العضو النباتي. يتمايز اللحاء الداخلي عادةً، بعد تشكيل اللحاء الخارجي ولا يختلف عنه، إلا بكونه لا يزداد حجماً لعدم نشاط الكامببوم في مستوى.

يفترض بأن الحزمه الناقلة ثنائية الجانب قد تشكلت بالتحام حزمتين متطابقتين وحيديتي الجانب، بواسطة حزمتيهما الخشبيتين، كما في الفصيلة القرعية والبازنجانية واللافة والركبة وغيرها. وقد يلاحظ أحياناً، كما في بعض أنواع الفصيلة الوردية (السرمية)، حزماً متطابقة ثنائية الجانب يشغل اللحاء مركزها، بينما يتوضع الخشب على طرفيه الداخلي الخارجي (شكل ٢٦-٨). تنتشر الحزم ثنائية الجانب بشكل محدود جداً.



الشكل ٢٥-٨: مقطع عرضي في حزمة ناقلة متطابقة جانبياً لدى أحديات الفلقة (الذرة المائية)

٣- الحزم متعددة المركز Concentric bundles

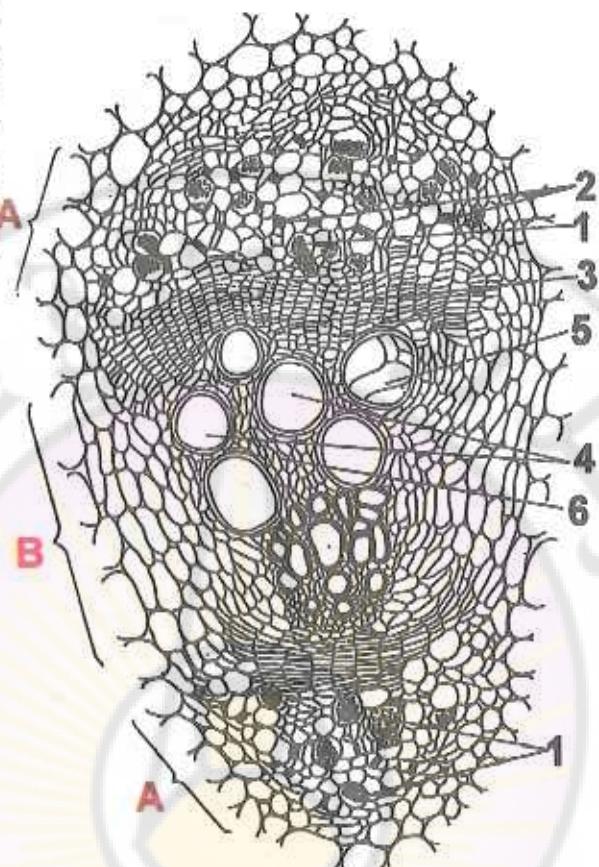
ويحيط فيها اللحاء بالخشب بصورة تامة كما في السراخس، (شكل ٢٧-٨) أو بالعكس يحيط الخشب باللحاء كما في بعض أنواع السوسن. تصادف هذه الحزم في كثير من التربيديات، وفي بعض وحدات الفلقة (سوسن الوادي).

٤- الحزم المتناوية أو الشعاعية Radial bundles

يصادف هذا النموذج من الحزم الناقلة في البنية الابتدائية فقط، لجذور النباتات ثنائية الفلقة، كما يستمر وجوده في جذور النبات وحيدة الفلقة طوال حياتها. تملك الحزم المتناوية بنية معقدة: فالحزم الخشبية تتناوب قطرياً مع الحزم الغربالية مشكلة أشعة قطرية متماثلة. تجدر الإشارة هنا، إلى أن الانتقال من البنية الابتدائية إلى البنية الثانية في جذور النباتات ثنائية الفلقة يتزامن مع تحول الحزم المتناوية إلى حزم متطابقة جانبياً (شكل ٢٨-٨).

A : لحاء، B : خشب

- ١: أنابيب غربالي
- ٢: خلايا مرافقية
- ٣: كامبيوم
- ٤: أوعية
- ٥: انفاق الوعاء بالتشكلات تيرشبر
- ٦: بروتنيم متخصب

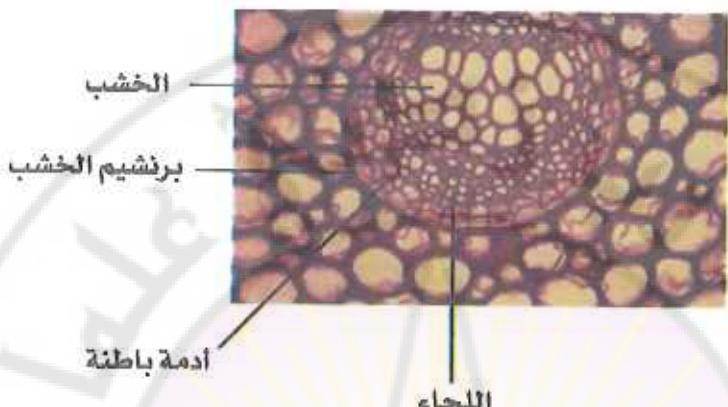


الشكل ٢٦-٨: مقطع عرضي في حزمة متباينة ثلائية الجانب في ساق الكوسا

يتراافق تشكل البنية الابتدائية في الجذر بظهور عدد محدد ومتباين من الحزم الغربالية والحزام الخشبية. تُصادف عادةً، حزم متباينة وحيدة، ثنائية، ثلاثية، رباعية أو عديدة، ولكن أكثرها انتشاراً هي الحزم الخماسية.

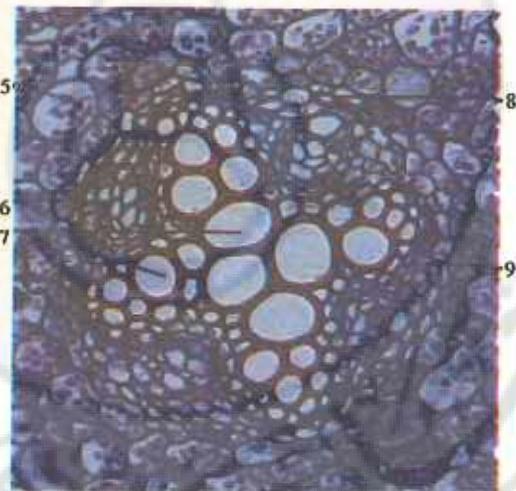
تمتاز الحزم الناقلة الأولى في التسريح القسي، بدءاً من مجموعات حبال البروكاميبيوم، تحول حزم البروكاميبيوم، في النباتات وحيدة الفلقة بكاملها إلى عناصر قسمة ناقلة. إذ لا يبقى منها خلايا قسمة نشطة وظيفياً. وبالتالي لا يلاحظ فيها بعد ذلك، ظهور تشكيلات نسيجية جديدة ثانوية. تدعى مثل هذه الحزم المفلقة (شكل ٢٥-٨). تكون الحزم

المغلقة، عادةً، من نمط الحزم المتطابقة جانبياً. وقد لوحظت حزم مغلقة متطابقة ثانية الجانب، في بعض أنواع الفصيلة الوردية (السرمية).



الشكل ٢٧-٨: حزمة ناقلة مركبة

- ٥: برنشيم القشرة
- ٦: لحاء أولي
- ٧: خشب أولي
- ٨: أدمة باطنية
- ٩: محيط دلائر



الشكل ٢٨-٨: حزم ناقلة متنافية تبدو في مقطع عرضي لجذر الحوذان

أما في النباتات ثنائية الفلقة، فيحتفظ شريط من خلايا البروكاميبيوم، ما بين الخشب واللحاء، بصفته القسمة، تتبع خلايا البروكاميبيوم، بعد التشكيل الكامل للحزم الناقلة الأولية، نشاطها من جديد وتشكل عناصر جديدة ثانوية من اللحاء والخشب. تدعى مثل هذه

الحزم المفتوحة، إذ تستطيع متابعة نموها وتطورها.

تكون الحزم المفتوحة عادةً من نمط الحزم المتطابقة جانبياً، ونادرًا ما تكون متطابقة ثنائية الجانب. تنتشر الحزم المتطابقة المفتوحة في النباتات عريانة البذور وثنائية الفلقة. يتميز في هذه الحزم ما بين الخشب واللحاء الأوليين: نسيج قسم ثانوي يدعى الكامبیوم الحزمي. تتصل أقواس الكامبیوم الحزمي، في الحزم المتباورة بعضها مع بعض، بوساطة الكامبیوم بين الحزم وتشكل اسطوانة مستبردة من الكامبیوم الوعائي.

إن أكثر أشكال الحزم الناقلة قدماً وبدائية، هو نمط الحزم متحددة المركز، وأكثرها تطوراً وتقدماً هو نمط الحزم المفتوحة المتطابقة.

الأوعية البنية *Laticiferous vessels*

تشتمل الأعضاء الإعashية أو التكاثرية في بعض النباتات، على سائل أبيض اللون، يشبه اللبن أو الحليب، يدعى اللبن النباتي *Latex*. تجمع العصارة البنية في خلايا صخمة متفرعة، أو في مجموعة من الخلايا المتعددة بعضها مع بعض حسب المحور الطولي للنبات. يُعد اللبن النباتي، العصارة الخلوية للأوعية أو للخلايا البنية. تنتشر الأوعية البنية، عادةً، بين الخلايا البرنسحيمية في أعضاء النبات المختلفة، مشكلة شبكة معقدة متداخلة. وتتصف الأوعية البنية بجدرها الخلوية الرقيقة، إلا أنها قد تكون أحياناً سميكه كما في جنس الإيفورب *Euphorbia*. وسع ذلك تحافظ على ليونتها ومرؤتها، ويلاحظ عليها عدد قليل من النقر. تتميز هذه الأوعية أيضاً بسيتوبلاسم دائمة تضم عدداً كثيفاً من النوى مع صانعات عديمة اللون.

من الصعب تمييز الحدود الفاصلة ما بين العصارة البنية والسيتوبلاسم، فتبعدان كأنهما كتلة حيوية واحدة. يسد التركيب الكيميائي لهذه العصارة مقدماً ومتنوغاً. فالبن النباتي مستحلب *Emulsion* (نسبة الماء فيه من ٥٠ إلى ٨٢٪) لكثير من المواد الادخارية أو لنتائج التفاعلات الاستقلالية. ويشتمل عادةً على سكري، حبات نشوية، حبات بروتينية،

فيتامينات، قلويادات متنوعة، صموغ متنوعة رائحة وغير ذلك. تأخذ حبات النشاء في اللبن النباتي شكلاً مميزاً، يشبه شكل عظام اللحذ. ويعتبر الكاوتشوك والمطاط من المواد العzinة التي توجد في هذه العصارة أيضاً في حالة غروية معلقة.

يعطي اللبن النباتي بعض النباتات أهمية صناعية أو زراعية خاصة. فيمكن استخدام النباتات اللبنية الغذية بالسكاكر والنشاء والبروتينات أعلاهاً جيدة للمواشي. وتستخدم تلك التي تشمل القلويادات والغليوكوزيدات كمصدر للمورفين والبارافيرين والباتوبان وغيرها. كما تستعمل بعض النباتات الاستوائية اللبنية في عمليات التخدير، وتمنع بعض النباتات اللبنية السامة، الحيوانات العذبة من القضا، عليها، يساعد اللبن النباتي أيضاً على التئام الجروح، إذ يشكل على سطح الجرح طبقة شبه مطاطية.

يستخرج الكاوتشوك والمطاط من بعض الأنواع النباتية، ذات العصارة اللبنية الغنية بهما. ولهذا السبب انتشرت زراعة هذه النباتات بشكل واسع. فأشجار الكاوتشوك البرازيلية *Hevea brasiliensis* معروفة جيداً، وتعد المصدر الرئيسي لكاوتشووك في الأسواق العالمية. تلتزم معظم النباتات الغذائية بالكاوتشووك إلى النباتات اللبنية، والفصيلة المركبة. كما تعدد بعض أنواع الفصيلة التوتية *Moraceae* نباتات كاوتشووكية هامة، وخاصة من جنس التين *Ficus carica* ومنه شجرة التين المطاطي *Ficus elastica* والتين الشائع *Ficus carica*. ينتمي الكاوتشووك، من حيث التركيب الكيميائي، إلى السكاكر العقدة.

تنبع أهمية الأوعية اللبنية إذن، من عصارتها اللبنية، التي تشمل كثير من المركبات الكيميائية ذاتفائدة الاقتصادية الكبيرة.

يسهل بعض المؤلفين إلى تصنیف الأوعية اللبنية مع مجموعة النسج الثاقلة، لأنها تشتمل مواد مغذية ادخارية. وينظر إليها آخرون كنسج مفرزة، إذ تضم كمية كبيرة من نواتج الاستقلاب النهائية. وما يزيد الأمر تعقيداً في هذا المجال، عدم وجود الأوعية اللبنية، كعناصر تسيجية، في جميع النباتات الراقية.

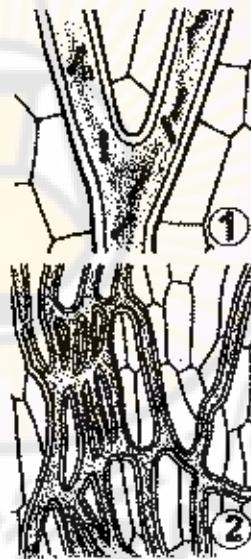
يعتقد حالياً، أن البنية المورفولوجية والوظيفة الذين يولوجية للأوعية اللبنية في بعض

النباتات، وقد انها في كثير من النباتات الراقصة الأخرى، تضعها في مكانة خاصة. فتشكل بالنسبة لمجموعة محددة من النباتات، نوعية إضافية لادخار مختلف المواد ونقلها إلى جميع أعضاء النبات.

استناداً إلى البنية المورفولوجية للأوعية اللبنية. يمكن التمييز بين نوعية لبنية بسيطة وأخرى مركبة (شكل ٢٩-٨).

تشتق الأوعية اللبنية البسيطة بدءاً من خلية نباتية واحدة. تنمو هذه الخلية وتتطور بصورة موازية لنمو الجذر والساق. مخترقة كامل المضوئية النباتية ورابطة أعضاءها بعضها البعض، كمشيجة الفطر تماماً. لا تملك هذه الأوعية حواجز عرضية. يوجد أحياناً، في النبات الواحد، عدد من هذه الخلايا الفضفحة العلاقة. تنمو الأوعية اللبنية البسيطة، خاصة في النباتات اللبنية كما في الإيفورب.

- ١: أوعية لبنية بسيطة لدى الإيفورب *Euphorbia splendens*
- ٢: أوعية لبنية مركبة لدى المطرخترون *Taraxacum officinale*



الشكل ٢٩-٨: الأوعية اللبنية

وتتشكل الأوعية اللبنية المركبة بدءاً من سلسلة من الخلايا المتوضعة بعضها فوق بعض بصورة عمودية موازية المحسور الطولي للنبات. تتحد هذه الخلايا بعضها مع بعض، وتزول الحواجز العرضية فيما بينها. ثم تتفرع وتتمتد إلى جميع أعضاء النبات. يشبه تشكل هذه

الأوعية التصبات تماماً، وتنشر، بصورة واسعة في الفصيلة المركبة والخشائية وفي بعض جرسيات الأزهار وفي جنس الخس *Lactuca* خاصة. يكون اللبن النباتي أبيض اللون، وأحياناً أصفر أو برتقالي أو عديم اللون. ويكون في كثير من الخشائيات، وخاصة في جنس الخشائيات *Papaver* بلون أصفر، ثم يأخذ في الهواء لوناً أسمراً داكناً (يسبب أكسدة بعض المركبات فيه). ويكون في التوت والدفلة عديم اللون.

مجموعة النسج المفرزة Secretory Tissues

تتراكم أحياناً، في بعض الخلايا النباتية، مركبات كيميائية، تنتج عن تفاعلات الاستقلاب الخلوي. غالباً ما تشكل هذه المركبات الحالات النهائية لاستقلاب المواد. لا تُستخدم عادة، المفرزات أو الفضلات السابقة في عملية نمو النبات وتطوره. تنتشر الخلايا المفرزة في مختلف أقسام النبات، إذ لا تملك أصلاً مورفولوجياً محدداً، وبالتالي يتم تصنيفها استناداً إلى وظيفتها الفيزيولوجية فقط. وقد تجتمع أحياناً، بعض الخلايا المفرزة بعضها إلى جوار بعض، مشكلة نسيجاً مفرزاً أو غدة Gland. قد تتالف الغدة، في بعض الحالات، من خلية مفرزة واحدة.

تقسم مختلف البنيات أو النسج المفرزة إلى مجموعتين كبيرتين:

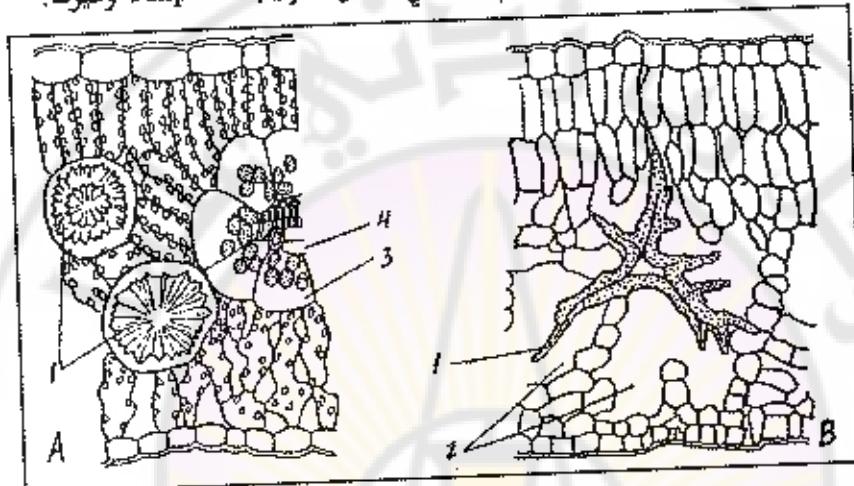
أولاً- نسج داخلية للإفراز: وهي التي يتم فيها إفراز المواد إلى داخل الخلايا المفرزة. ومثالها الأوعية البنية، والخلايا المفرزة المتخصصة Idioblasts والجيوب والقنوات المفرزة.

ثانية- نسج خارجية الإفراز: وهي التي يتم فيها طرح المواد إلى خارج الخلايا المفرزة. ومثالها الأوبار الغذية المتنوعة، والغدد الريحية والهاضمة والمسام المائية، تتوضع هذه الغدد على السطح الخارجي للنبات. تعدد الزيوت الطيارة والريحق ولائه من أهم مفرزات التشكيلات خارجية الإفراز.

النسج داخلية الإفراز

آ: الخلايا المفرزة المتخصصة Idioblasts: تشمل غالباً، على بالورات لأملاح حمض

الحماض أو غيره من الحموض. وتأخذ شكل حزم باللوربة إبرية Raphides. تنتشر هذه الأملاح المتبلورة، بصورة واسعة، في النباتات العصيرية أو اللحمية. وقد تأخذ المواد المتبلورة شكل عقد Cystolith، مشبع بضمامات الكالسيوم أو بالسيликين (شكل ٨-٣). تنمو الخلايا المفرزة للزيوت الطيارة جيداً في البرنشيم الأساسي لشجرة التوليب Tulip tree وغيرها.



الشكل ٨-٣، خلايا مفرزة متخصصة:

A: خلية من الصبيج المتوسط لورقة المنتعش العطاطي Amaranthus retroflexus

B: خلية نكيريدية في ورقة جنس Trochodendron

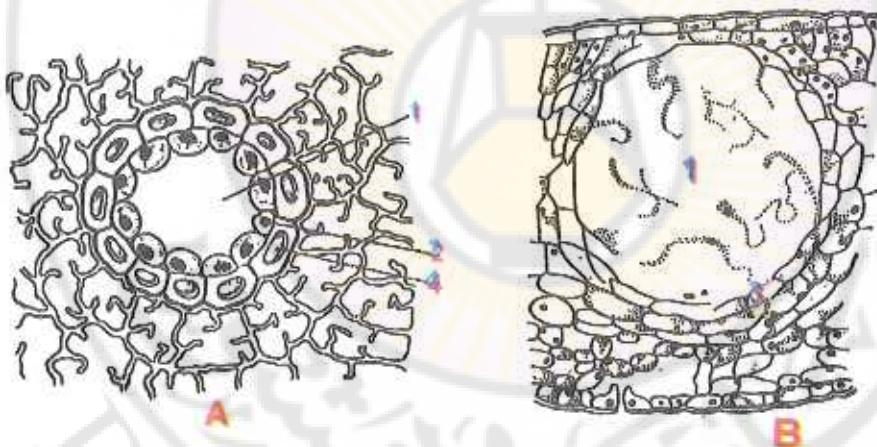
١: ليوبلاست، ٢: صاخ خلوي، ٣: خلايا محاطة بالحرمة، ٤: حرمة دالة

بـ: الجيوب والقنوات المفرزة: فعد داخلية الإفراز، تتفايرز يأحدى طريقتين، واستناداً إلى ذلك يميّزون ما بين:

I- القنوات المفرزة-انفصالية المنشأ Schizogenous: وتشكل في النسج الفتية، بعد اتساع الأسمخة الخلوية، وتراجع الخلايا المحاطة بها إلى الوراء بسبب تراكم المفرزات المتعددة في هذه التراغفات. وقد تتفايرز القنوات المفرزة أحياناً، بدءاً من خلية جينية واحدة، تنقسم أولاً إلى خليتين، ثم إلى أربع. وبعد ذلك يتتشكل فيما بينها صاخ خلوي، تراكم فيه المفرزات بصورة تدريجية، تتألف الخلايا المحاطة بهذه الأسمخة، بصورة عامة من طبقة خلوية واحدة تسمى الخلايا المبطنة Epithelial cells. وهي خلايا حية ذات نوى ضخمة وسيتوبرلاس كثيفة

حبيبية (شكل ١٨-٣). تؤدي زيادة كمية المفرزات التي تطرحها الخلايا المبطنة في الصماخ الخلوي، إلى اتصال الأصمعة الخلوية بعضها مع بعض، وتشكيل شبكة معقدة، شاقولية وعرضية، من القنوات canals المفرزة، التي تخترق أعضاء النبات وخاصة الساق. تحاط لعنة القناة بطبة واحدة من الخلايا المفرزة المبطنة السابقة. تلاحظ القنوات المفرزة الانفصالية في كثير من المجموعات النباتية، ابتداءً من الطحالب حتى مغلفات البذور. وتنشر، بصورة واسعة في الصنوبريات من عريانات البذور.

من الطبيعي أن تفرز هذه القنوات في المجموعات النباتية المتباينة مركبات كيميائية مختلفة. فحسب العالم (I. Kissel) عام ١٩٥٨ تختص الفصيلة الآسية Myrtaceae والفصيلة الكرفسية Apiaceae بالتربيبات الطيارية، والفصيلة اللبلابية Araliaceae والصلوبرية Marattiaceae بالمواد الراتنجية، والفصيلة الستيركولية Sterculiaceae والماراتية Pinaceae بالصمغ والهلام.



الشكل ١٨-٣. القنوات المفرزة:

A: قناة مفرزة انفصالية المنتشأ في جنس الصنوبر *Pinus*
 B: جيب مفرز الخلالي المنتشأ في القشرة الخارجية لثمرة البروفف الوندي *Citrus unshiu*.
 ١: لعنة القناة، ٢: خلايا مبطنة، ٣: خلايا مشكلة لجدار الجيب المفرز، ٤: خلايا داعمة محاطة بالقناة.

II- الجيوب المفرزة انحلالية النشأ Lysigenous: تتميز بنتيجة انحلال مجموعة من الخلايا، تراكمت فيها، قبيل انحلالها، حاصلات كيميائية متباينة، مشكلة قطرات من مواد

مفرزة. تلاحظ الجيوب المفرزة الانحلالية في أوراق الحمضيات بصورة عامة، وفي غيرها من النباتات الأخرى، كالغار التبيل وشجرة الكافور.

توجد ما بين الفرد المفرزة الداخلية، الانفصالية والانحلالية، جميع الأشكال الانتقالية. فقد تتشكل اللدد المفرزة الداخلية بالطريقة الانفصالية والانحلالية في الوقت نفسه، وبصورة عامة، لا تختلف اللدد الداخلية بعضها عن بعض بطريقة تشكلها فقط، وإنما بالتركيب الكيميائي لفرازاتها، وخاصة تركيب الزيوت الطيارة.

النسج خارجية الإفراز

تنصف النباتات المفرزة الخارجية، بأصل عام مشترك. فتشتت عادةً على سطح الأعضاء النباتية، بدءاً من خلايا البشرة. وقد يُساهم في تشكيلها أيضاً، طبقة الخلايا تحت البشرة، أو طبقة خلوية أعمق من ذلك.

١- الأوبار الغدية Trichomes

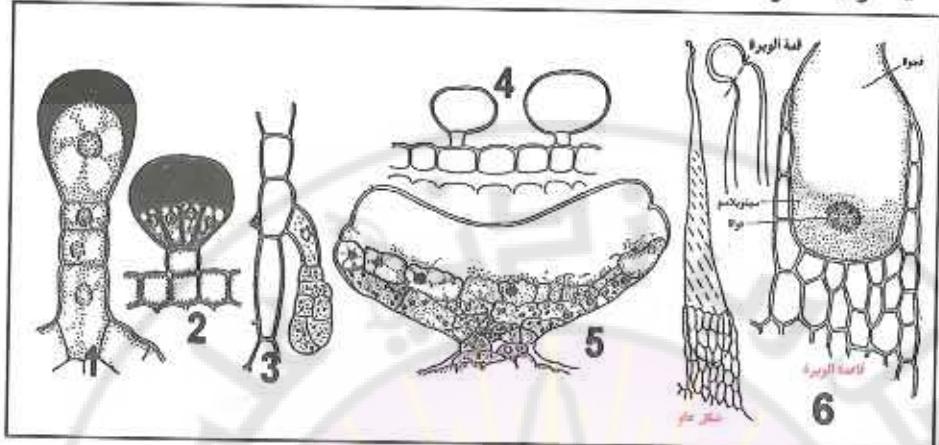
تشكلات خاصة بالبشرة. تختلف عن الجيوب والقنوات المفرزة، بكونها ليست مخزناً للراتنج والزيوت الطيارة وغيرها فقط، وإنما تعد جهازاً مفرزاً نشطاً. فتستطيع أن تفرز من المضوئية النباتية إلى الوسط الخارجي مواد كيميائية متنوعة، في الحالة الغازية أو السائلة أو الصلبة، ولذلك يمكن تعريفها حقاً الأوبار المفرزة (شكل ٣٢-٨).

تحتلت بنيتها كثيراً حسب الأنواع النباتية، ولكنها تختلف ببنية مورفولوجية ثابتة في النبات الواحد. يمكن تصنيف الأوبار المفرزة استناداً إلى:

(آ) بنيتها ومكان تشكلها - فهناك أوبار خارجية وأخرى داخلية المنشأ وأوبار غدية ذات رأس وحيد الخلية، كما في اللقلق الزيني *Pelargonium roseum* أو ذات رأس عديد الخلايا، كما في حشيشة الدينار *Humulus lupulus*. كما توجد أوبار لاسعة في القرacs (شكل ٣٢-٨).

(ب) واستناداً إلى مفرازاتها الكيميائية هناك أوبار ملحية وصمغية وزيتية وهلامية. تملك مفرزات الأوبار الغدية أحصاناً، أهمية صناعية خاصة (في العطرة والصناعات الغذائية) أو

أهمية دولية متنوعة.



الشكل ٣٢-٨. أوبار غدية في أوراق:

١: اللقق مخططة الورق *Pelargonium zonale*, ٢: إكليل الجبل *Rosmarinus*, ٣: البطاطا, ٤: الورق *Urtica dioica*, ٥: الريبان الأسود *Ribes nigrum*, ٦: القرص ثانى المسكن *Chenopodium album*.

٢- الغدد الهاضمة

هي أوبار غدية، تشاهد في النباتات اللاحمة (أكلة الحشرات). تأخذ عادة بنية أكثر تعقيداً من الأوبار الأخرى، وخاصة في نبات الندية مستديرة الورق *Drosera rotundifolia* وتنفرز مواد لزجة وهاضمة للحشرة كالبسبسين والتربيسين. تنفرز الأوبار الغدية في جنسين الديونية *Pinguicula* والـ *Dionaea* أنزيمات هاضمة عند ملامستها للحشرة (شكل ٣٢-٨). ومن الجدير بالذكر، أن بعض النباتات آكلة الحشرات تملك جهازاً محكماً لصيد الفريسة وهضمها بوساطة أنزيمات خاصة، تنفرزها خلايا البشرة أو تحت البشرة للورقة.

٣- الغدد الرحيقية Nectaries

غدد متخصصة في إفراز الرحيق. تصنف حسب مكان تشكلها إلى: غدد رحيفية زهرية تنتشر على الأزهار، وغدد رحيفية لا زهرية تنتشر على الأعضاء الإعائية. يشتمل كل نموذج من الغدد السابقة سلسلة كاملة من أشكال أخرى أكثر تعقيداً. وهكذا تنتشر الغدد الرحيفية الزهرية في ثنايات الفلقة في قاعدة الأسدية (الترنفل) أو في قاعدة المدقة. على شكل حلقة

(الفصيلة الباذنجانية) أو على الميسم (على شكل أنبوب خاص). وأحياناً قد تأخذ الغدد الريحية شكل أسدية متحورة، أو أشكالاً أخرى. تتشكل الغدد الريحية اللازهرية على معلاق الزهرة أو كرسي الزهرة، أو على السوق والأوراق، كما في نبات الساعة الزرقاء *Passiflora coerulea*. تتمايز الغدد الريحية أحياناً، بدءاً من خلايا البشرة فقط. وتتشكل غالباً من الطبقة الخلوية تحت البشرة وتلامس، عادة، النسج الناقلة.

يُفرز الريحق عن طريق المسام، أو مباشرة عبر خلايا البشرة، إذ تتفكك وتتلاشى القشيرة في مثل هذه الحالة. والريحق محلول مائي لسكاكر متنوعة وفيتامينات مختلفة مع مواد أخرى. يتحول الريحق إلى العسل بعد تصنيعه من قبل النحل. يأخذ العسل مذاقاً مرّاً، عندما تدخل بعض القلويدات في تركيب الريحق.



الشكل ٣٣-٨. الأوربار الغدية في نبات *Dionaea*

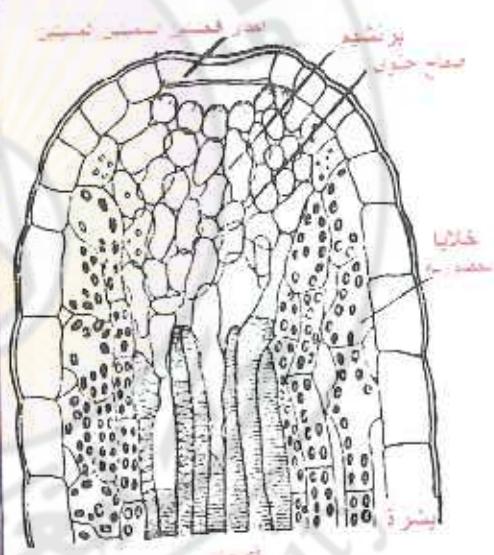
٤- المسام المائية *Hydrathodes*

بنيات مفرزة نشطة، تتشكل في الأطراف النهائية للورقة، وغالباً في نهايتها القيمة الحادة. تفرز الورقة الواحدة في الحالات القياسية وخلال دقيقة واحدة فقط، ما يقارب (١٨٠) قطرة من الماء، كما في جنس اللقلقاس *Colocasia* الاستوائي.

تنتمي المسام المائية إلى النسج المفرزة شكلاً، وتشبه بصورة عامة، بنية المسام العادي،

إلا أنها تجاور كتلة رخوة من خلايا النسيج المتوسط ذات الجدر الخلوي الواقية (شكل ٣٤-٨). تنتهي غالباً العناصر الخشبية في الحزم الناقلة وخاصة في القصيبات منها، بكتلة الخلايا الرخوة السابقة. يتتألف السم المائي في بعض الحالات من أوبار متعددة الخلايا، كما في الفاصوليا الإسبانية *Phaseolus multiflorus*.

تسمى عملية إفراز الماء، على شكل قطرات سائلة الإدامع Guttation. وقد يشتمل ماء الإدامع بعض الأملاح والسكاكر وغيرها من المواد العضوية.



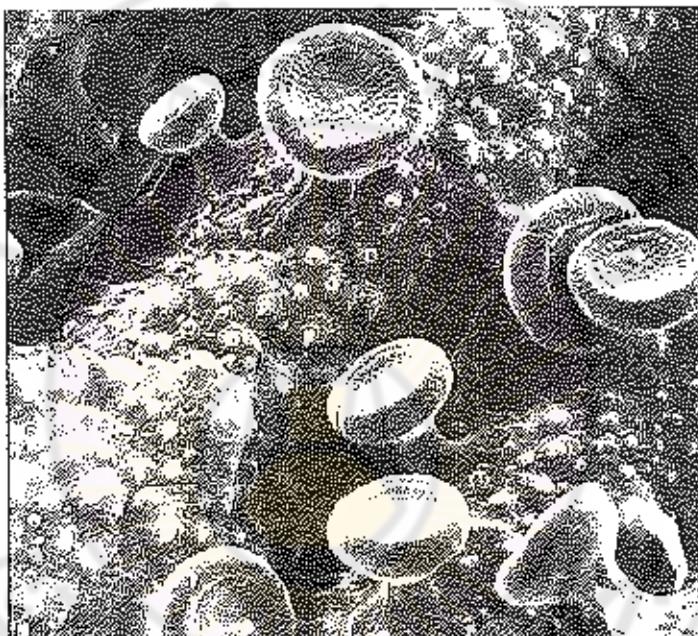
الشكل ٣٤-٨، ظاهرة الإدامع:
A: مقطع طولي في سم مائي في قمة ورقة البريمولا الصينية *Primula sinensis*
B: نقاط من الماء على حالة لوراق القريرز بسببها ظاهرة الإدامع.

٥- الغدد العطرية Osmophores

هي بنية متخصصة في تركيب وإفراز الزيوت الطيارة. تتميز الغدد العطرية اعتباراً من خلايا بشرة الكأس أو التوهج. تفرز هذه الغدد أريجاً مطابقاً لنوع الزهرة، خلال فترة قصيرة من الزمن. يجذب عبير الأزهار، الحشرات إليها لتساعدها في عملية التأثير.

تتميز الغدد العطرية جيداً في النباتات ذات الإزهار الطويل. فتفوق بتركيب المواد

المطرية وإفرازها، وتأخذ أشكالاً متنوعة: أجنبحة أو أوياراً أو أهداباً مخملية (شكل ٣٥-٨). يتالف النسيج المفرز فيها من عدة طبقات خلوية.



للشكل ٣٥-٨. أويار خلية لها شكل مسمر صغير على سطح قنابات الزهرة لنبات *tarweed* الصورة بالمجهر الإلكتروني لكائن $200\times$

الباب الثالث

علم الأعضاء النباتية

Organography



الفصل التاسع

تخصي الجهاز الإاعاشي في النباتات

يمكن تصنیف الكائنات النباتية استناداً إلى شكل وبنية أعضائها الإاعاشية إلى

مجموعتين كبيرتين :

١- النباتات الدنيا.

٢- النباتات الراقية.

فالنباتات الدنيا - كائنات بدائية، ذات بنية متباينة، نتيجة حياتها المائية أو نمط تغذیتها المتباينة (غير ذاتية التغذیة)، يتألف جسم النباتات في هذه الحالة، من طبقة خلوية وحيدة متباينة Thallus، غير متمايزة إلى نسج وأعضاء.

وتنتمي النباتات الراقية، بجهاز إاعاشي متمايز إلى أعضاء Organs. يتألف العضو الثاني كما نعلم، من عدد من النسج المتخصصة. من أهم أسباب تشكل النسج والأعضاء انتقال النباتات من الوسط المائي إلى الحياة على سطح اليابسة، إذ ترافق ذلك بتغيرات جوهرية في المناخ والمتوسط المغذي وغير ذلك.

يتتألف عضوية النباتات الراقية من عضويين إاعاشيين أساسيين هما: الفارع (الساقي والأوراق والبراعم) والجذر (شكل ١-٩).

من المفيد أولاً الإشارة إلى بعض القواعد العامة عن البنية المورفولوجية للأعضاء.

فالتساناظر Symmetry من أهم هذه القواعد. إذ توجد أعضاء غير متناظرة، وأعضاء وحيدة التنااظر، وأخرى عديدة التنااظر. فلا يمكن تجزئة الأعضاء غير التنااظرة Asymmetric إلى قسمين متشابهين ومتنااظرين بمستوى طولي (عمودي) إطلاقاً، كما هو الحال في ورقة الـ *Ulmus laevis*. بينما يمكن تجزئته الأعضاء وحيدة التنااظر (ذات تنااظر جانبي) Monosymmetric بمستوى واحد إلى قسمين متنااظرين، وهذا شأن معظم الأوراق وبعض

الأزهار كما في جنس البازلاء *Phaseolus* والفاصلوليا، *Pisum* وغيرها. وأخيراً يمكن تجزئة الأعضاء عديدة التماضير (ذابت تماضير شعاعي) Polysymmetric، بأكثر من مستوى تماضيري، كالسوق العامة، والجذور اللحمية وكثير من الأزهار كما في جنس الحوذان *Ranunculus* والورد *Rosa* وغيرها.

تمد القطبية Polarity ثانية هذه القواعد المورفولوجية العامة للأعضاء الإعashية. وتعني تميز العضوية النباتية أو العضو النباتي إلى جزأين: قبي وقاعدي. تبدو هذه القاعدة واضحة جلية على الفوارع فكل قطعة من الفارع تملك قطبين متمايزين. تتشكل الجذور في الجزء القاعدي، بينما تتشكل البراعم في الجزء القبلي. يختلف القطبان السابقان الواحد عن الآخر من الناحية الفيزيولوجية أيضاً. يتجلّى هذا التباين الفيزيولوجي بين القطبين خاصة الانجذاب Tropism.

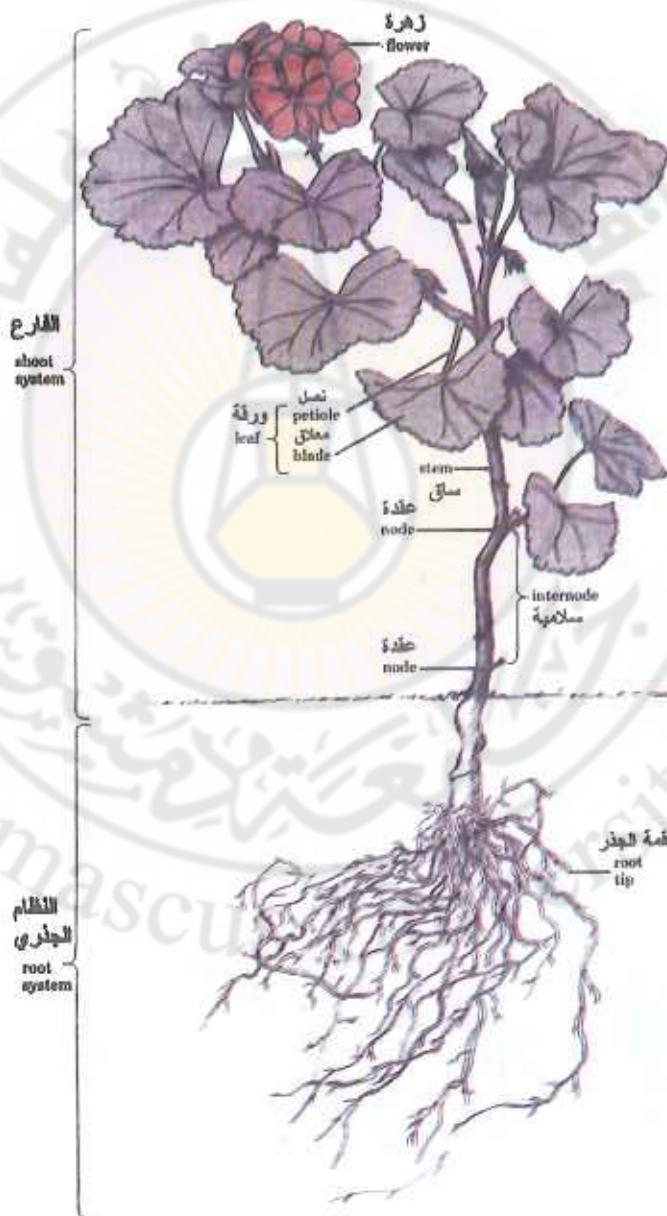
يتميز الساق (القطب القبلي) بانجذاب ضوئي موجب Phototropism، أي أنه ينموا باتجاه الضوء. وبانجذاب أرضي سالب Geotropism، أي أنه ينתרس سلباً بالجاذبية الأرضية. أما الجذر فهو على العكس تماماً: يتميز بانجذاب ضوئي سالب وانجذاب أرضي موجب.

وأخيراً، يلاحظ تميز الأعضاء الإعashية الأساسية في البذرارات، سواءً ما كان منها تحت سطح التربة (الجذن) أو فوق سطحها (الفارع) في البذرة. وبالتالي يمكن دراسة تطورها عند إنتشار البذرة وتشكل البادررة.

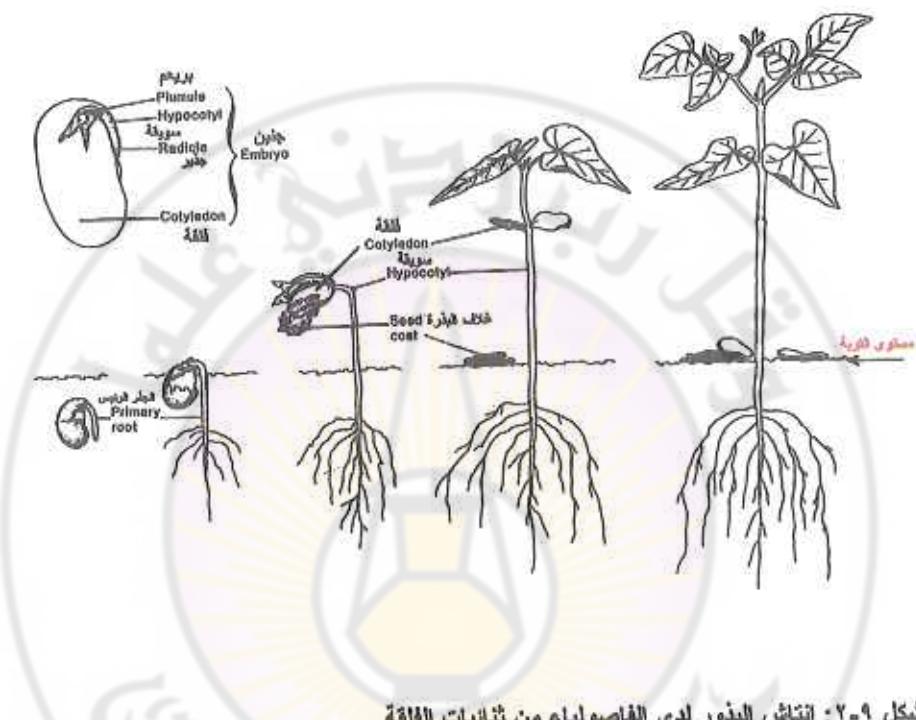
البادرة Seedling plantlet

تبدأ البذرة بالانتشار عندما تتتوفر لها الشروط الملائمة من حرارة ورطوبة وهواء (شكل ٩ - ٢ - ٣). ينمو الجذير في البدء غالباً، متوجلاً إلى الجذر الرئيسي، كما في الفاصلوليا العادي *Phaseolus vulgaris*. وقد يزول الجذر الرئيسي مباشرة ويموت، ولتشكل مكانه جذور عارضة كما في جنس القمح *Triticum*. تعلم الجذر العادة

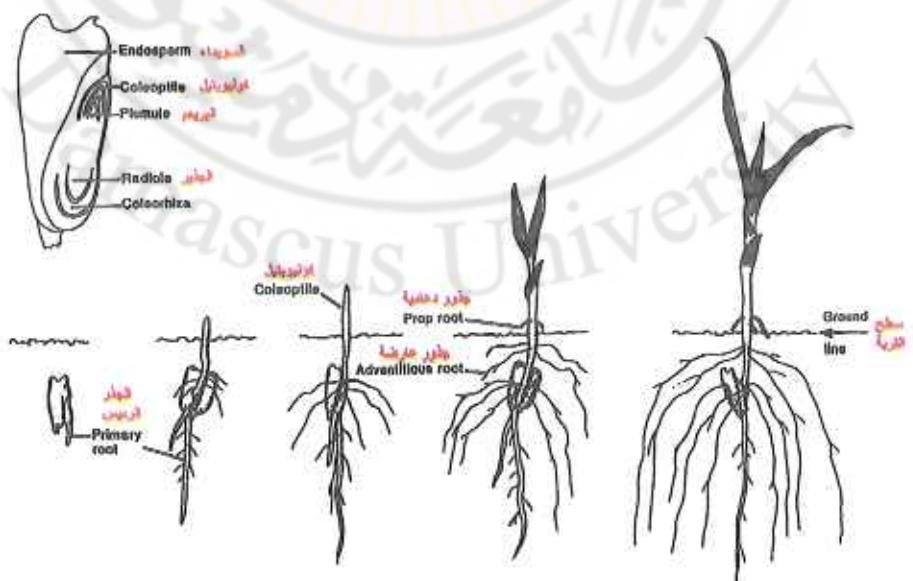
على تثبيت البادرة في التربة بشكل أفضل، كما تقوم بامتصاص الماء والأملاح المذابة فيه.



الشكل ١-٩: أجزاء النبات الرئيسية



الشكل ٤-٩: إنتشار البذور لدى الفاصولياء من ثانويات الملة



في المرحلة التالية، وعند معظم البذريات، تتحني السوقة وتتقوس، ثم تبرز نحو الأعلى مخترقاً طبقات التربة، وبهذه الطريقة يحفظ البريم من التلف.

بعد ذلك، ترتفع الفلقتان في بادرات بعض النباتات، كما في زهر الشمس الحولي *Helianthus annuus* والفاوصوليا، فوق سطح التربة. ثم تكتسبان لوناً أخضر، وتقومان بوظيفة الاصطناع الضوئي. تدعى الفلقتان حينئذ الورقتين القبليتين، وتتميزان بالشكل والعجم عن الأوراق الأخرى، (هناك ورقة قبلية واحدة عند أحاديات الفلقة). فالسوقة محور يمتد اعتملاً من الفلقتين حتى العنق الجذري، وتسمى أحياناً المحور تحت الفلقي، ويقابل المحور فوق الفلقي الذي يمتد من الفلقتين وحتى الورقة الحلقية الأولى. من الجدير بالذكر عدم نمو المحور تحت الفلقي بشكل واضح، عند جميع النباتات ثنائية الفلقة. فمثلاً في البازلاء الزراعية *Pisum sativum*، ليس له وجود إطلاقاً.

استناداً إلى ما تقدم يميزون شكلين أساسيين لإنعاش البذور:

(آ) الإنعاش الهوائي: تتطاول السوقة، فترتفع الفلقتان إلى المسطح العلوي للتربة (الفاوصوليا).

(ب) الإنعاش الأرضي: لا تتطاول السوقة، فتبقى الفلقتان داخل التربة (البازلاء).

أما في النجوليات، فتبقى الفلقة الوحيدة داخل البذرة عند إننشها، بينما ينمو غمد البريم (الكوليوبتيل) Coleoptile شاقاً طريقه خلال جزيئات التربة وحاجياً البريم من التلف. وفي هذه الحالة تتشكل أول ورقة حقيقة تنبثق إلى الخارج بعد تمرق الكوليوبتيل، بدءاً من الفلقة بصورة جزئية.

الجذر The root

غالباً ما يأخذ الجذر شكل عضو محوري ترابي. تنمو قمة الجذر النهائية (مخروط النفو) نحو الأسفل. والجذر لا يشكل أوراقاً، ولا يحمل، كالساقي، براعم متنوعة ومتخصصة، ولا يشتمل نمواً بيئياً intercalary growth (راجع البرستيم البيئي). كما أن النسج القسم

القمي في الجذر، ليس في الحقيقة قميًّاً، طالما يكون محاطاً بالقلنسوة. يتشكل الجذر والساق في البذريةات، في وقت واحد تقريباً، وهما يشكلان منذ المرحلة الجنينية محوراً واحداً متكاملاً من حيث البنية.

تتشكل الجذور في المجموعات النباتية المختلفة بطرائق متباعدة. فتتمايز في عريانات البذور ومعظم النباتات ثنائية الفلقة، بشكل أساسى اعتباراً من الجذير Radicle. يتصف الجذير بنشاط انقسامي مرتفع، مؤدياً إلى تشكيل الجذر الرئيسي (جذر أولى Primary root)، والذي يتفرع إلى جذور ثانوية Secondary roots ثم إلى ثالثية.. وهكذا. أما في النباتات البوغية الراقية وفي النباتات وحيدة الفلقة، فيبدو النشاط الانقسامي للجذير ضعيفاً، وعادةً يخبو هذا النشاط مبكراً. ولذلك تنمو الكتلة الأساسية للجذور، فوق الجذر الرئيسي، على المحور تحت الفلقي، في مستوى الفلقات أو على المحور فوق الفلقي (أي على الساق). تسمى مثل هذه الجذور "الجذور العارضة"، وتشمل عادةً جميع الجذور التي تنشأ من أي عضو من النبات عدا الجذر (شكل ٤-٩). تتشكل في المجموعات النباتية السابقة أيضاً، كما في الشعير والقمح، جذور خاصة، تنمو بدءاً من بذاءات جنينية في البذرة، تسمى الجذور البذرية Seminal roots يبلغ عددها في القمح والشعير من (٦-٧) جذور فقط. تتمتع معرفة أصل الجذور المختلفة، الرئيسية والعارضة، بأهمية خاصة.



الشكل ٤-٩: الجذور الداعمة (العارضة) في الأفوكادو.

وظائف الجذر:

يقوم الجذر بوظائف فيزيولوجية و biomechanical متعددة أهمها:

- ١- امتصاص الماء والأملاح المعدنية، وتنبيه المواد العضوية، من التربة إلى الساق فلالأوراق. تعدد هذه الوظيفة من أهم وظائف الجذر، وتقوم بها الأجزاء الفتية منه، إذ تختلف بنية ابتدائية وتحصل أوباراً ماضة.
- ٢- تثبيت النبات في بيئته. تقوم بعض الجذور بهذه المهمة بصورة جيدة، كالمرساة تماماً.
- ٣- اصطناع بعض المواد العضوية. فقد كشفت أبحاث (Sabinin و De-Rope) ما ينوف على ١٣٠ كغ من ساقية *Zea mays* رياحنة الأشهر، ما ينافس على ١٣٠ كغ.
- ٤- إيجاد صلة بين النبات والمعضويات النامية في التربة. فيفضل مفرزات الجذر الخاصة، يتم التعايش مع الفطريات وبكتيريا التربة، التي يكون لنشاطها أهمية كبيرة في تغذية النبات.
- ٥- ادخال المواد الغذائية. يتحول الجذر أحياناً إلى عضو ادخاري، كما في جنس الفجل *Tumanava*، القدرة التوسيعية للجذر في تشكيل بعض المواد العضوية، التي لا يمكن أن يصنعها غيره من الأعضاء.
- ٦- التكاثر الإعashi.

أما من حيث العمق الذي يمكن أن تصل إليه الجملة الجذرية، ومقدار انتشارها، فيمكن التمييز بين جملة جذرية علوية (جذور عارضة غالباً)، وجملة جذرية عميقية، قد تبلغ المياه الجوفية، وهكذا يعتمد المجموع الجذري للقصص والشوفان من (١-٥ م) عمقاً، والذرة من *Medicago sativa* أكثر من خمسة أمتار. وقد تصل

المحصول السابق. ومن المهم الإشارة هنا، إلى وظيفة خاصة ومتينة للجذور، وهي المساعدة في تشكيل التربة وتهويتها.

تصنيف الجذور

تأخذ الجذور، عادةً، أشكالاً متنوعة جداً. فمن حيث الأصل، يمكن التمييز ما بين الجذر الرئيسي، والجذور العارضة، والجذور الجانبية.

يتشكل الجذر الرئيسي، كما نعلم، بدءاً من الجذير في البذرة. بينما تتشكل الجذور العارضة، بدءاً من عدة أعضاء، نهائية: كالسوق والأوراق والذرنات والوصلات. إنما لا تتشكل إطلاقاً من الجذر الرئيسي أو من تفرعاته. وتتشكل الجذور الجانبية، من محاور ثانوية وتفرعاتها التالية، بدءاً من الجذر الرئيسي أو من الجذور العارضة.

يسعى الجذر الرئيسي أحياناً، الجذر الأولي، وبالتالي تسعى تفرعاته الأولى بالجذور الثانوية، وتفرعات هذه الأخيرة بالجذور الثالثية.. وهكذا، إلا أن مورفولوجيا النبات لا تأخذ بمثل هذا التصنيف.

يمكن أن تصادف أحياناً، جذور غريبة جداً، بحيث يصعب وضعها ضمن تصنيف معروف. من أهم أشكال الجذور: الليفية، الشريطية، المخروطية، المزالية، واستناداً إلى البيئة الغذائية التي تنمو فيها الجذور ومتضمن منها الماء والماء المعدنية، يميزون أربعة أشكال رئيسية للجذور:

- الجذور الترابية: تنمو كلياً أو جزئياً تحت سطح التربة، وتنتشر في أكثر من ٧٠٪ من النباتات الراقية.

- الجذور المائية: تنتشر في طبقة من الماء، ولكنها لا تبلغ قاع البركة، كما في جنس عدس الماء *Lemna* وكلوي الماء العادي *Hydrocharis morsus ranae*.

- الجذور العائمة: مثلاً في-

وظائف الجذر:

يلوم الجذر بوظائف فيزيولوجية وبيكانيكية متنوعة أهمها:

- ١- امتصاص الماء والأملاح العضوية، ونسبة المواد العضوية، من التربة إلى الساق فالأوراق. تعد هذه الوظيفة من أهم وظائف الجذر، وتقوم بها الأجزاء الفتية منه، إذ تحفظ ببنية ابتدائية وتحمل أعباءً ماضة.
- ٢- ثنيات النبات في بيئته. تقوم بعض الجذور بهذه المهمة بصورة جيدة، كالمرساة تماماً. فنادرًا ما تستطع الرياح والعواصف انزعاف النبات من تريله. تتفتح الجذور بمثانة كبيرة ضد الكسر والتمزق وكمثال على ذلك: تبلغ القوة الواجبة بذلك من أجل قطع نبتة ذرة مایسیہ *Zea mays* رياضية الأشهر، ما ينوف على ۱۲۰ کغ.
- ٣- اصطناع بعض المواد العضوية. فلقد كشفت أبحاث (Sabinin و De-Rope) و (Tumanava)، القدرة النوعية للجذر في تشكيل بعض المواد العضوية، التي لا يمكن أن يصنعاً غيره من الأعضاء.
- ٤- إيجاد صلة بين النبات والعمويات النامية في التربة. فيفضل مفرزات الجذر الخامسة، يتم التعايش مع القطور وبكتيريا التربة، التي يكون لنشاطها أهمية كبيرة في تغذية النبات.
- ٥- ادخال المواد الغذائية. يتحول الجذر أحياناً إلى عضو ادخاري، كما في جنس الفجل

المحصول السابق. ومن المهم الإشارة هنا، إلى وظيفة خاصة ومتمنية للجذور، وهي المساعدة في تشكيل التربية وتهويتها.

تصنيف الجذور

تأخذ الجذور، عادةً، أشكالاً متنوعة جداً، فمن حيث الأصل، يمكن التمييز ما بين الجذر الرئيسي، والجذور العارضة، والجذور الجانبية.

يتشكل الجذر الرئيسي، كما نعلم، بدءاً من الجذير في البذرة، بينما تتشكل الجذور العارضة، بدءاً من عدة أعضاء ثانوية: كالسوق والأوراق والدرنات والبصيلات، إنما لا تتشكل أطلاقاً من الجذر الرئيسي أو من تفرعاته. وتتشكل الجذور الجانبية، من محاور ثانوية وتفرعاتها التالية، بدءاً من الجذر الرئيسي أو من الجذور العارضة.

يسعى الجذر الرئيسي أحياناً، الجذر الأولي، وبالتالي تسمى تفرعاته الأولى بالجذور الثانوية، وتفرعات هذه الأخيرة بالجذور الثالثية.. وهكذا، إلا أن مورفولوجيا النبات لا تأخذ بمثل هذا التصنيف.

يمكن أن تصادف أحياناً، جذورٌ غريبة جداً، بحيث يصعب وضعها ضمن تصنيف معروف. من أهم أشكال الجذور: الـليفية، الشريطية، المخروطية، المغزالية.
واستناداً إلى البيئة القائمة التي تنمو فيها الجذور وتملص منها الماء والماء العذبة،

تظهر على النوارع الهوائية وتنمو نحو الأسفل (شكل ٥-٩). تقوم هذه الجذور بامتصاص الهواء وبخار الماء من الجو عن طريق طبقة خلوية سطحية ذات قوام إسفنجي.

الشكل ٥-٩: الجذور الهوائية لدى أحد أنواع الأوركيد.



٤- الجذور المصبية (المصات Haustoria): وهي جذور عارضة، تنتشر في النباتات الطفيلية، كما في جنس الحامول *Cuscuta* والديق الأبيض *Viscum album* (شكل ٦-٩).



خاصة من الجذور، تعرف باسم الجذور المقلصة Contractile roots التي تنتشر في النباتات ذات الأ يصل أو الكورمات Corms كما في جنس الزعفران *Crocus*. وهي جذور عارضة، تنشأ من قاعدة الساق وتتقلص جاذبة النبات إلى الأسفل، لتشبه في مستوى ملائم من التربة لحياته.

تصنيف المجاميع الجذرية

للمجاميع الجذرية ثلاثة أشكال أساسية: وتدية، ليفية، مختلطة.

١- المجموع الجذري الوتدي Tap root system: وينشا غالباً، من الجذير في البذرة. ويتميز بسيطرة الجذر الرئيسي (الأولي) على جميع فروعه الجانبية (الثانوية والثالثية .. الخ). ينتشر هذا النمط في معظم ثنائيات الفلقة وفي عربانات البذور (شكل ٧-٩).



أو ينمو بصورة ضعيفة. إذ لا يمكن تمييزه عن كتلة الجذور العارضة الدقيقة. تشكل الجذور المارضة، بتفرعها، جذوراً جانبية - ثانية، ثالثية...الخ. ينتشر هذا النمط في وحيدات الفلقة، كما في النجيليات وغيرها. ونادراً ما يشاهد في ثالثيات الفلقة كما في جنس الحوذان *Ranunculus*. تكون الجذور العارضة في وحيدات الفلقة متجانسة ومتباينة، نظراً لأنها لا تشمل بنية ثانوية.

٣-المجموع الجذري المختلط: ويتشكل بنتيجة نمو المجموعين الجذريين السابقين بالوقت نفسه، كما هو الحال في كثير من النباتات المشبية لثنائية الفلقة مثل الفريز الحرجي

Fragaria vesca

تتعلق أبعاد المجموع الجذري بالشكل الحياني للنبات (شجري، شجرياً، مشجرياً، مشجرياً) وبالشروط الخارجية. فالمجموع الجذري، عند النباتات الثنائية، يكون ضعيف النمو، وعلى العكس، يكون عند نباتات الأراضي القاحلة مثخماً جباراً.

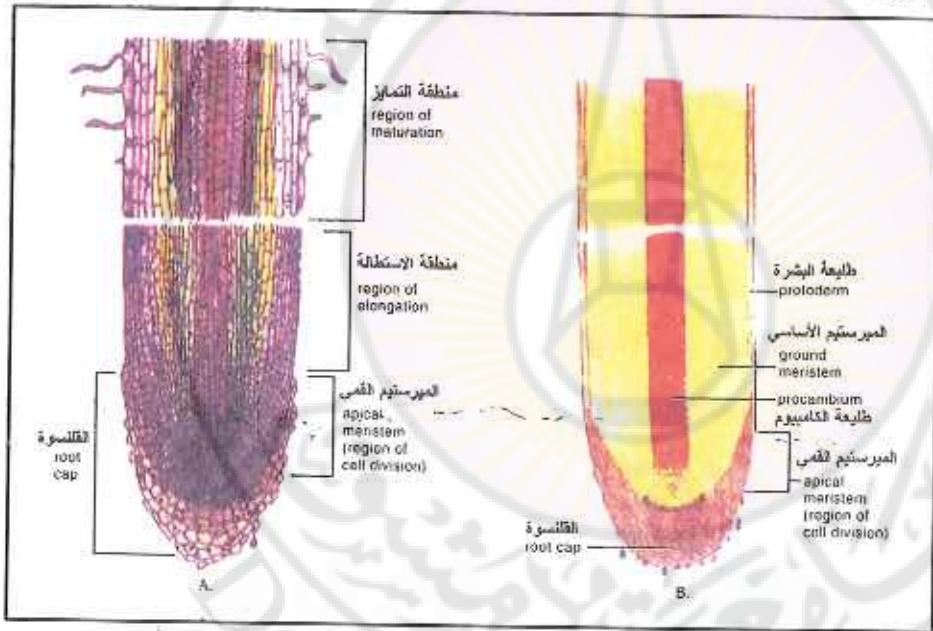
البنية المجهرية للجذر

تنصف الجذور بمختلف أشكالها، رئيسة أو عارضة أو جانبية، بنية داخلية متشابهة. وبين القطع الطولي للجذر، وجود عدة مناطق متباعدة التركيب، مختلفة الوظيفة، يلاحظ عند الانتقال من قمة الجذر باتجاه الساق، وجود ثلاث مناطق رئيسية بالإضافة إلى

- تفرز الخلايا المحيطة من القلاسوسة مادة مخاطية لزجة، تسهل احتراق الجذر للترية.
- منطقة النسج غير التمايزية**: تؤدي هذه المنطقة إلى نمو الجذر طولاً، وذلك بفضل انقسام خلاياها النشط من جهة أولى، وتطاول هذه الخلايا من جهة ثانية. تتألف هذه المنطقة، في الحقيقة، من منطقتين مختلفتين:
- آ- **المنطقة القسمة Meristematic Zone**: تنقسم خلاياها باستمرار لتعوض عن الخلايا التي بدأت بالتمايز في منطقة الأوبار الماصة. وهي خلايا صغيرة الحجم، صغيرة النوى، رقيقة الجدران، عديمة الأصمة، تتميز بلونها الأصفر.
- ب- **منطقة الاستطالة Zone of elongation**: تعلو المنطقة السابقة، وتتصل مباشرة بالمنطقة التي تليها - منطقة الأوبار الماصة. في هذه المنطقة، تتوقف الخلايا القسمة عن الانقسام وتبدأ بالتمايز والتطاول. إن مقدار النمو اليومي للجذر ليس متساوياً بالنسبة لجميع النباتات. فبينما لا يتعدى النمو اليومي لجذر أحد أنواع النجيليات ٢ سم، قد يصل هذا النمو في نجيل آخر إلى ٥ سم. إن لهذه الناحية، أهمية تطبيقية في الزراعة، فمثلاً انتقام النباتات المحتملة للجفاف، يختار منها، ما كان جذره ينمو بصورة نشطة. لا يتعدى طول منطقة النسج غير التمايزية على ١,٥ مليمتر إلا نادراً.

منطقة الأوبار الماصة Zone Root-hairs Zone: ولدغعه، أنهاً بمنطقة الـ ١- ٣ لامبر

الأوبار الماصة.



الشكل ٨-٩: مقطع طولي في قمة جذر ثالثيات الفلقة:
A: مناطق الجذر الرئيسي، B: موقع توضع النسج للقسمة الأولى

تتشكل الوبرة الماصة نتيجة تطاول الجدران السطحية لخلية الأدمة، حيث تتركز فيها السيتوبلاسم وتتوسط في قمتها النواة (شكل ٩-٩)، بينما تشتمل خلية الأدمة الأساسية على

النيلي *Nymphaea* وغيرها.

يبلغ متوسط طول الوربة الماصة الواحدة نحو ١ ميليمتر، ويصل في التجاريات إلى ١٥ ميليمتر. ولقد وجد أن كل ميليمتر مربع من هذه المنطقة في جذر الذرة يشتمل ١٩٠٠ وبرة ماصة تقريباً. كما يبلغ سطح الامتصاص العام لجذر نبات واحد في القمح نحو ٤,٢ متر مربع، ويفوق بذلك سطح الأعضاء الهوائية بـ ١٣٠ مرة. أما الطول الكلي للأوبار الماصة لنبات واحد فقد يصل إلى ٣-٤ كم، ويصل هذا الرقم في الكوسا *Cucurbita pepo* إلى ٢٥ كم.

الوربة الماصة قصيرة العمر، فتموت خلال ١٠ إلى ٢٠ يوماً. ولكن عند بعض نباتات الفصيلة السيزاليبينية وغيرها، كما في غليدتشيا ثلاثي الأشواك *Gleditschia triacanthos* تتخلّب الأوبار الماصة، وتبقى لمدة سنتين كاملتين. يحصل تخلّب الأوبار الماصة، غالباً، في شروط شديدة الجفاف، أو بالعكس، في تربة شديدة الرطوبة.



الداخلي، كما، جنس الجزر *Daucus*. وقد تتشكل أحياناً، من الأدمة الباطنة أو من الطبقات الخلوية العميقه من القشرة، كما في نبات الحمص *Cicer arietinum*. فالجذور الجانبيه إما، داخلية المنشأ *Endogenous*، في حين تكون الفسوارع الثانوية خارجية المنشأ *Exogenous*.

البنية الابتدائية للجذر

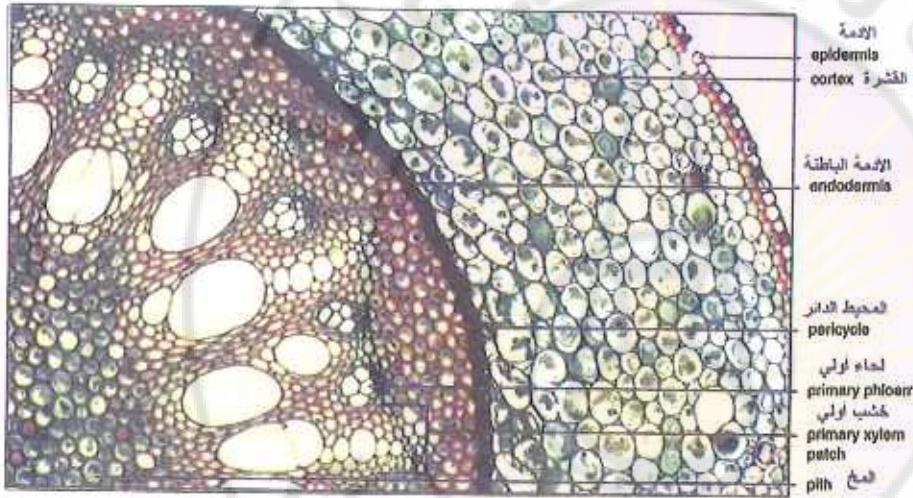
تتألف البنية الابتدائية للجذر من مجموعة النسيج الأولية Primary tissues، أي مجموعة النسيج المتباينة عن النسيج القسم الأولي.

من المفيد الإشارة أولاً، إلى أن البنية الابتدائية للجذر هي نفسها بالنسبة لجذور جميع النباتات: عربانة البذور ومثيلاتها، ومعظم النسبات البوغية الراقية. تصادف البنية الابتدائية، في الزمر النباتية السابقة في منطقة الأويار الماصة.

يبين القطع العرضي للجذر في هذه المنطقة، وجود أسطوانتين متحدلتين المركز: الأسطوانة الخارجية هي القشرة الأولية **Cortex**. والداخلية الأسطوانة المركزية **Stele**. وتسمى أيضاً الأسطوانة الوعائية **Vascular cylinder** (شكل ٩). (١٠-٩).

Cortex القشرة الأولية

تمدُّ أسطوانة تخينة من الخلايا، تقع في الناحية المحيطة من المقطر، تسمى القشرة



. الشكل ١٠-٩: البنية الإيكولوجية لجذور أحديات الفلقة لدى جنس *Smilax*.

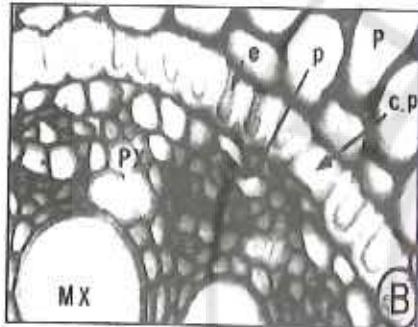
تتألف القشرة الأولية، بصورة عامة، من طبقات عديدة من الخلايا البرنشيمية. تدعى الطبقة المحيطية منها، التي تقع تحت الأدمة مباشرة **الأدمة الخارجية Exoderma**، وتسمى الطبقة الداخلية التي تجاور المحيط الدائري **الأدمة الباطنة Endoderma**، وما بينهما من برنسيم قشرى، يدعى **الأدمة المتوسطة Mesoderma**.

تتألف الأدمة الخارجية من طبقة واحدة، أو عدة طبقات من الخلايا المفلعة عديدة

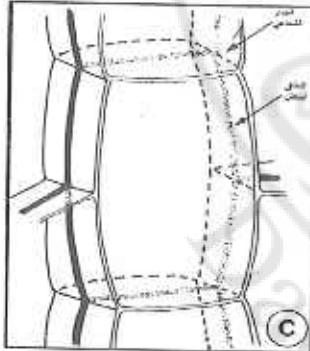
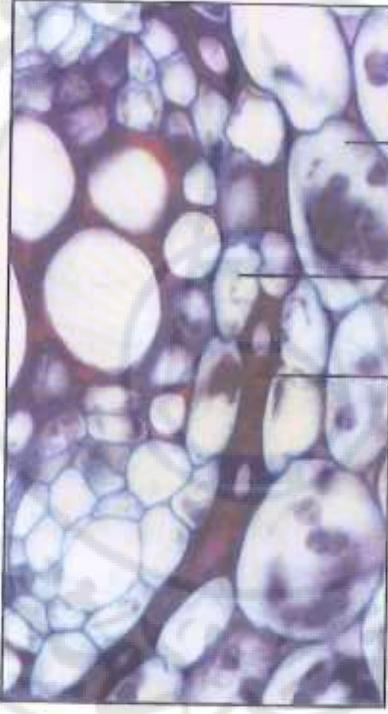
وتكون مليئة بغاز ثاني أكسيد الكربون.

تتكون الأدمة الباطنة من صف واحد من الخلايا المتراسة. تتميز الأدمة الباطنة عما يجاورها من الخلايا، بوجود شريط كاسبار Caspary strip على الجدر الشعاعية الأربعية من كل خلية. أما شريط كاسبار، فهو ترسبات ملade الخشبين أو اللثين وأحياناً للمادتين معاً، على الجدار الأولي لخلايا الأدمة الباطنة. يتم تشكيل شريط كاسبار في مختلف مراحل تطور الجذر، إن ما يميز خلايا الأدمة الباطنة، هو الالتحام الوثيق بين شريط كاسبار وسيتوبلاسم هذه الخلايا. إذ لا ينفصل أحدهما عن الآخر، إذا ما وضع هذا النسج في سائل يسبب البلزمة. يفترض أن شريط كاسبار، يحيط بالنبيبات الدقيقة في الأغشية البلاسمية ويجعلها غير نفوذة، ولكنه لا يحول دون نفاذية محلول الترابي من القشرة إلى الاسطوانة المركزية بالاتجاه الشعاعي ماراً خلال سيتوبلاسم خلايا الأدمة الباطنة.





أدمة باطنية على شكل نعل الفرس، E خلية عبور، p، المحيط الداير.



الشكل ١٢-٩ : الأدمة الباطنة
(A) جزء من الأدمة الباطنة في نبات الحوذان *Ranunculus* (ثانيات الفلقة)
(B) جزء من الأدمة الباطنة في نبات السومن *Iris germanica* (حاديات الفلقة)
(C) خلية من الأدمة الباطنة تظهر كيفية ترسب الفلين على جدرها

الغذائية بين القشرة والأسطوانة المركزية في الاتجاه الشعاعي.

الأسطوانة المركزية Stele

تتميز جذور جميع النباتات البذرية بأسطوانة مركزية محددة وواضحة. وهي إلى حد ما، منفصلة ومتغيرة عن القشرة. فالأسطوانة المركزية في الجذر أكثر وضوحاً منها في الساق. فهي غير متقطعة بالثوافذ أو الثفرات الورقية Leaf gaps طالما أن الجذر لا يشتمل الأوراق. يحيط بالأسطوانة المركزية عادةً، صف واحد من الخلايا التراصية تُعرف بـ المحيط الدائري Pericycle، وهو أول طبقاتها - وتجاوره إلى المحيط الأدمة الباطنة، وهي الطبقة الداخلية من القشرة.

المحيط الدائري Pericycle

يتالف المحيط الدائري، غالباً، من صف واحد من الخلايا البرئية رقيقة الجدران. وقد يتكون أحياناً من عدة صفوف خلوية، كما في عرياثات البذور وبعض وحدات الفلقة (مثلاً بعض النجيليات والذيليات والأشفاف Agave، وفي قليل من ثلثيات الفلقة (كما في الجوز الملكي *Juglans regia* وبعض أنواع الفصيلة الفولية Fabaceae). كما توجد بعض النباتات المائية والطفيلية التي لا تشتمل محيطاً دائرياً إطلاقاً. من الجدير بالذكر، أن المحيط الدائري في وحدات الفلقة، قد يتحسب مع الزمن طالما لا تتشكل، فيما ينبع ثانية

متناوبة أو شعاعية، وبأعداد متتساوية. يختلف عدد الحزم الخشبية (أقطاب الخشب)^٤، باختلاف النباتات. فهناك أسطوانة مركبة ذات قطبين من الخشب كما في جنس الملفوف *Vicia*, وأسطوانة مركبة رباعية الأقطاب - كما في القرنيات، مثل نبات الفول *Brassica faba*, وأسطوانة خماسية الأقطاب كما في جنس الحوذان *Ranunculus*, وأسطوانة سداسية الأقطاب كما في جنس البصل *Allium* ويمكن أن تصادف أسطوانة مركبة ذات حزمة خشبية واحدة كما في نبات كمة الماء *Trapa natans*.

تُعدُّ أولى الأوعية الخشبية تشكلاً من حيث الزمان، أو عصية الخشب الأول *Protoxylem*، التي تكون متاخمة للمحيط الدائري. ثم تتشكل بعد ذلك أولى الأوعية الخشب التالي *Metaxylem* نحو مركز الجذر. وهكذا يكون تمثيل الخشب الأولى في الجذر جاذباً (أي اعتباراً من المحيط ونحو المركز). تأخذ الأوعية الخشبية الأشكال التالية، وذلك على التسلسل من المحيط ونحو المركز: حلقة حلزونية، شبكيّة، سلمية، منقرة.

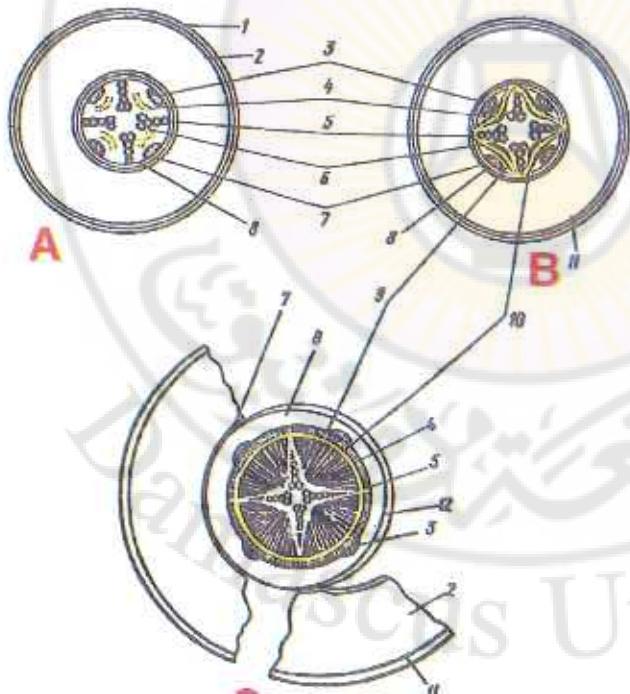
أما اللحاء *Phloem*، فيتووضع في الأسطوانة المركزية على شكل حزم متناوبة مع مثيلتها الخشبية، ويقتصر بتمثيلها جاذباً أيضاً. فاللحاء الأول *Protophloem* يتanax المحيط الدائري، بينما يكون اللحاء التالي *Metaphloem* أقرب إلى المركز. تنتشر ما بين حزم اللحاء

وهامة إذا تباين فيها خلال تطورها، البنية الثانوية. من المهم الإشارة ثانية، إلى أن منطقة الأوبار الماصة في هذه النباتات تتتألف من نسج أولية فقط.

تبعد البنية الثانوية بالتمايز، بعد تشكل الكامبيوم الوعائي *Vascular cambium*. ويتشكل هذا الكامبيوم بفضل ظهور أقواس خلوية صغيرة وضيقة في الأسطوانة المركزية، إن الجهة الداخلية من حزم اللحاء. تنمو هذه الأقواس عرضاً، بتحول الخلايا البرنشيمية، ما بين الخشب واللحاء، إلى خلاياها قسمة. ثم تحيط الأقواس السابقة تدريجياً باللحاء، مرتكزة من طرفيها على المحيط الدائري (شكل ١٣-٩). في هذا الوقت تبدي بعض الأجزاء من المحيط الدائري، التي تقابل الحزم الخشبية، نشاطاً انقسامياً ملحوظاً. وعلى هذه الحال، تتشكل أسطوانة متكاملة من خلايا الكامبيوم (أو حلقة مستمرة كما تبدو في المقطع العرضي)، تقع ما بين اللحاء (في المحيط) والخشب (في المركز). إن أسطوانة الكامبيوم المتشكلة كما سبق، ليست متجانسة الأصل إذ شارك بتكوينها المحيط الدائري أيضاً.

يبدأ نشاط الكامبيوم، بانقسام خلاياه مماسياً أي بصورة موازية لسطح العضو (الانقسام بين كلييني). تتفاوت نواتج هذا الانقسام إلى عناصر نسيجية متنوعة: فالمركز يتمايز الخشب الثاني (تمايز ثابذ)، وإلى المحيط يتمايز اللحاء الثاني (تمايز جابذ). عدا ذلك، فالكامبيوم ينتج خلايا برنشيمية تشكل الأنسجة المحيية، وذلك بدءاً من أقواس المحيط الدائري. ساهمنـ

الأدمة الباطنة. وقد يتشكل الكامبيوم الفليني بدهاً من طبقات أكثر عمقاً، مؤدياً حينئذ إلى موت بعض نسيج الأسطوانة المركزية (حتى طبقات اللحاء الثانوي المحيطية) وذلك بالإضافة إلى القشرة الأولية.



اللحائية، وبرنشيم لحائي (تستخدم خلاياه في ادخار المواد). بالإضافة إلى الأشعة الخفية اللحائية والمؤلفة من خلايا برنشيمية.

التحولات الرئيسية للجذر

تشاهد الجذور الطبيعية الوصفة سابقاً، في معظم النباتات البدنية، ولكن قد تتغير أشكال الجذور في بعض الأنواع النباتية خلال مراحل تطورها. فقد لاحظ جذور متكيفة مع وظيفة الادخار أو التكاثر الإمامشي أو جذب النبات إلى التربة. كما قد تشاهد جذور أخرى متكيفة مع الحياة في أوسط مغذية خاصة (الاستنقعات، والمساهم، والتربة الفقيرة بالهباء وغيرها). وتعرف أيضاً أمثلة كثيرة لتعايش الجذور مع الفطورو (الفطور الجذرية *(Mycorrhiza)*).

١-الجذور الادخارية: يرتبط تطور الجذور هنا، بنمو البرنشيم الثانوي المتخلب واللحائي وترابك المواد الادخارية فيها، كما هو الحال عند كثير من ثنائيات الفلقة، مثل الشمندر والقجل وجنس الهندياء *Cichorium*. يمكن تمييز شكلين من الجذور الادخارية، استناداً إلى أصلها وشكلها الخارجي: الجذور اللحمية (أو التمرية)، والجذور الدرنية.

آ-الجذور اللحمية: وتنتشكل بدءاً من الجذر الرئيسي (جذور وتدية متغيرة) وقد يسمى في

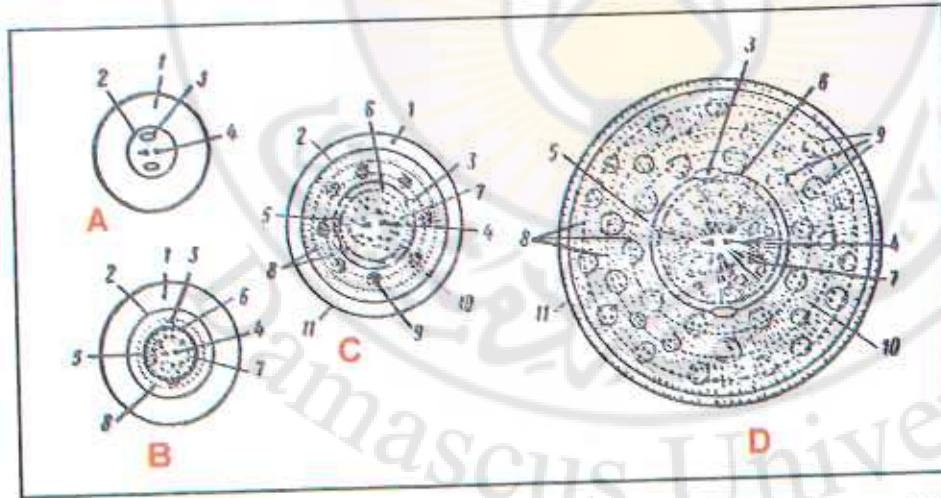
هذا الجذر فوق سطح التربة، والمؤلف من المحور تحت القلقي القصدير، بالإضافة إلى جزء من القارع المتحور.

وفيما يلي عرض لتطور هذا الجذر بدءاً من البادرة: تشمل بادرة هذا النبات في مرحلة الورقتين القبليتين، جذراً فترياً ذي بنية ابتدائية. تتالف هذه البنية من حزمتين من الخشب الأولي متناوبة مع حزمتين من اللحاء الأولي. تظهر بعد ذلك الأوراق الحقيقية، ويتغير الكامبيوم وبpedia بنشاطه عندما يبلغ عمر البادرة نحو (١٢-١٥) يوماً، بتشكيل البنية الثانية (شكل ١٤-٩ A و B). تبقى البنية الثانية لفترة قصيرة، وتعقبها مباشرة التطورات المرافقة للبنية الثالثية للجذر، وهكذا يتم الانتقال من بنية وحيدة الكامبيوم إلى بنية عديدة الكامبيوم.

يمكن تلخيص التطورات الأساسية المرافقة للبنية الثالثية كما يلي:

ففي الوقت الذي يبدأ فيه الكامبيوم المتشكل نشاطه، تنقسم أيضاً وبنشاط شديد طبقة المحيط الدائري واللحاء المتأخر أي اللحاء الأول. وبنتيجة ذلك، تتشكل طبقة ضخمة (عديدة الصوف الخلوي) من الخلايا البرنشيمية المتجانسة، بدءاً من مركز الأسطوانة نحو المحيط تدعى طبقة البرنشيم الحلقي. تنقسم الصوف الخلوي السابقة، والمنتشرة على شكل حلقات هندسية منتظمة، معايسياً، متعاكزة إلى طبقات الكامبيوم الإضافي يبلغ عددها أحياناً ثمانين طبقات أو أكثر من ذلك (شكل ١٤-٩ D و C).

الساق الدرنية (كما هو الحال في البطاطا وغيرها) بأنها خالية من الأوراق الحرشفية والبراعم (شكل ١٥-٩). وقد اكتشفت أخيراً حالة خاصة لنمو شاذ في جذر نبات البطاطا الحلوة *Ipomoea batatas*. فلاحظ في برنسيم الخشب، تشكل كامبيوم خاص حول كل وعاء من الأوعية الخشبية. يعطي هذا الكامبيوم الموضعي إلى المحيط من الأوعية، لحاءً ضخماً، يتالف من خلايا برنسيمية عادية مع قليل من الأوعية اللبنيّة. والي المركز منها، تتعايز عناصر الخشب.



الشكل ١٤-٩. مخطط تطور التشكيلات الثانوية في جذر الشمندر العادي:

A. الندة الابتدائية. B. C. النبات البالغ. D. التسلسل التنموي للجذور.

السلبية مثل شريطي الورق *Taeniophyllum zolingeri* صانعات خضرا، فتقوم بعملية الاصطناع الضوئي، وتأخذ شكل الأوراق.

الشكل ١٥.٩. الجذور الدرنية لدى نبات البطاطا الحلوة . *Ipomoea batatas*



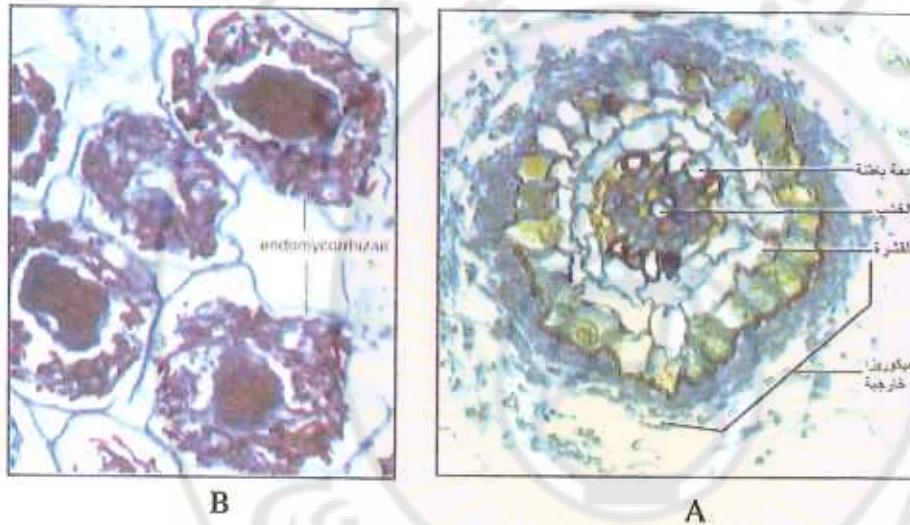
٣- الجذور المتصبة *Haustoria*: وهي المصات في النباتات الطفيلية. تخرق هذه الجذور نسج النبات الضيف وتمتص منها المواد الغذائية بالإضافة إلى الماء. تلاحظ مثل هذه المصات متطرفة في جنس الحامول *Cuscuta* (شكل ٦-٩) والدبق الأبيض *Viscum album* (شكل ٩)

٤- الفطور الجذرية Mycorrhiza والعقد البكتيرية:

تحلق التغذية الترابية عند كثير من النباتات بمساهمة خيوط Hyphae بعض الفطريات. وأحياناً، ينمو النبات بفضل تعاشه مع فطر في التربة، خلال مرحلة إنثاش بذوره فقط. يؤدي الانتشار الواسع لخيوط الفطر على جذر النبات، إلى عدم نمو الأوبار الماصة، وتقوم بوظيفتها خيوط الفطر نفسها. تتشكل في مثل هذه الحالات، أعضاء معقدة متعاشرة، مؤلفة من الجذر والفطر، تسمى الفطور الجذرية Mycorrhiza. يمكن تمييز نموذجين من الفطور الجذرية: خارجية التغذية Ectotrophic M. وداخلية التغذية Endotrophic M.

آ- خارجية التغذية: وفيها تحيط خيوط الفطر سطح الجذر فقط، (تنقلل جزئياً ما بين الخلايا)، ويستعراض بها عن الأوبار الماصة. اكتشفت هذه الفطور الجذرية ودرست عند كثير من النباتات الشجرية منذ زمن بعيد، كما في جنس السنديان *Quercus* والقضباني *Betula* والزان *Fagus* والصنوبر *Pinus* وغيرها. ثم اكتشفت عند بعض المحاصيل الزراعية، كما في القمح القاسي *Triticum durum* وفي الدخن *Panicum miliaceum* والكتان كثير الاستعمال *Linum usitatissimum* وغيرها.

تؤدي خيوط الفطر في الحالات السابقة، وخاصة في مرحلة إنثاش البذور وفي وقت



الشكل ١٧-٩، الفطريات الجذرية (الميكوريزا):
A: داخلية التغذية، B: خارجية التغذية
العقد البكتيرية:

تقطن في البرنშيم القشرى لجذور النباتات البقلية، بكتيريا ترابية خاصة هي *Rhizobium leguminosarum* تتنفس هذه البكتيريا بمواد النبات العضوية، وينتدى توغلها في الجذر إلى تشكيل تدرنات أو أورام في البرنשيم القشرى. فتبدو على جذور هذه النباتات، عقد صغيرة (شكل ١٨-٩). تنحصر الأهمية الحيوية للعقد البكتيرية في قدرتها

الشكل ١٨-٩. العقد الجذرية لدى بعض
أنواع جنس اللصمة *Medicago*.



تجدر الإشارة أخيراً إلى وجود جذور عارضة مت恂ورة تدعى بالداعمية، كما في زنار.



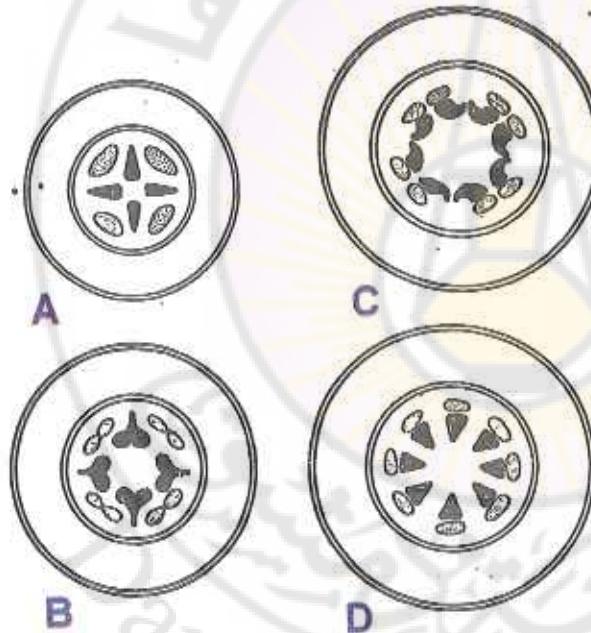
الفصل العاشر

الجملة الفارعية Shoot system

السوبيقة:

تصل السوبيقة، التي تسمى أيضاً المحور تحت الفلكي Hypocotyl ما بين الجملة الجذرية والجملة الفارعية، وتنتهي من العنق الجذري حتى مستوى الورقتين القبليتين. تُعد السوبيقة صلة الوصل ما بين الجذر والساق، بالرغم من اختلاف بنيتها الداخلية: فالخشب الأولي ذو تمايز جاذب في الجذر ونابذ في الساق، واللحاء والخشب متناوبان في الجذر ومتطابقان في الساق. وهكذا يتم الانتقال من البنية الداخلية في الجذر إلى مثيلتها في الساق، عبر هذا المحورقصير. تكون السوبيقة أكثروضوحاً في البادرة، ويسميهَا بعضهم المنطقة الانتقالية أو منطقة التحول Transitional region. يتم في هذه المنطقة، اتحاد النسج النباتية في كل من الجذر والساق بعضها مع بعض. ويتحقق ذلك بصورة مباشرة، وبدون تعقيد بالنسبة للبشرة والقشرة والأدمة الباطنة والمحيط الدائري والنسج الناقلة الثانوية. وبصورة غير مباشرة، وأكثر

والخشب في الجذر. ينتشر هذا النموذج في كثير من النباتات ثنائية الفلقة كالفاصوليا، والقرع والترمس وغيرها.



الشكل ١-١٠. مخطط يظهر طريقة انتقال بنية الجذر في بنية الماق:

A: البنية الابتدائية في الجذر

B: قاعدة المنطقة الانتقالية: شعب حرم الخشب واللقاء

C: الجزء العلوي من المنطقة الانتقالية: دوران أنصاف الحزم الخشبية

D: الجزء السفلي من الماق: توزيع الحزم في الماق

يملك نسيجاً قسوماً دائماً، فينمو على حساب الميرستيم القفي، وقد ينمو أحياناً على حساب الميرسليم البيني. وبعد الساق الجزء الأساسي من النبات، الذي ينمو عادةً فوق سطح التربة ويحمل الأوراق والأزهار والثمار والبراعم، ويتميز بانجداب أرضي سالب.

من الصعب إعطاء تعريف دقيق للساق، ويعود السبب في ذلك، إن التنوع الواسع للسوق، بدءاً من جذوع الأشجار الضخمة والسوق المتحورة، إلى السوق العشبية المتباينة، ويكون السبب الثاني، في عدم الساق والأوراق معاً، عضواً نباتياً متكاملاً واحداً، حسب رأي معظم علماء النبات. فمن الخطأ النظر إلى الساق كعضو إعاعشي مستقل. وبالفعل يتداخل الساق والورقة بنية في كثير من الأحيان، لدرجة أنها يرتبطان معاً من الناحية الوظيفية أيضاً، مما يستدعي النظر إليهما كجزئين لعضو واحد هو الفارع. ينطبق الرأي السابق بصورة واضحة تماماً على النباتات الحولية والعشبية. ولكن من الصعب تعميم هذا الاعتقاد على جميع النباتات وخاصة المتخشبة منها، كأشجار التفاح والصنوبر (حسب Hrjanovsky, 1976).

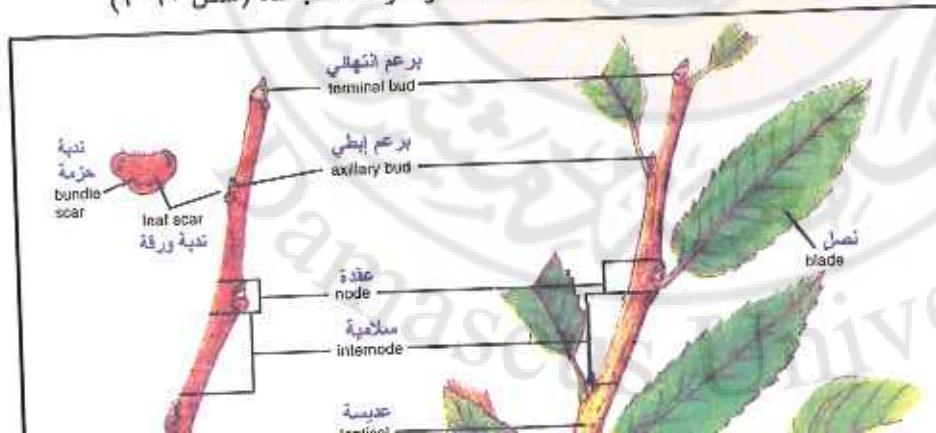
ينشأ الفارع عادةً، من نمو بريعم Plumule جنين البذرة وتطوره. وهذا يؤكد الصلة الوثيقة ما بين الساق والورقة، وقيامهما بسلسلة متكاملة من الوظائف العامة، كما في تشكيل الأزهار وأعضاء التكاثر الإعاعشي، من بصلات وذرنات وبراعم فتية وغيرها. ولذلك، غالباً ما ينظر إلى الفارع كعضو معقد خاص.

كالجذر تماماً، القيام بوظيفة التكاثر الإهاشي.

يتصرف الفارع بنسل تفرعه، ببنية متكررة ومت詹سة، إذ يتشكل برعم على كل عقدة.

يعطي كل برعم بعد نموه وتطوره نفس الوحدات البنوية التي نشا منها، وتتكرر هذه العملية مرات عديدة.

وهكذا ينمو الفارع الجانبي بدءاً من برعم جانبي، وسوف يحمل الأوراق في مناطق محددة. يسمى مكان التصاق الورقة على الساق العقدة Node، والمسافة الفاصلة بين عقدتين متجلوزتين السلامية Internode. يتميز الفارع القصير، بسلاميات صغيرة وعقد متقاربة. ويكون الفارع طويلاً، فيما إذا كانت سلامياته متطاولة وعقدة متباude (شكل ٤-١٠).



محددة، تعرف بمناطق النمو، فينمو الساق طولاً بفضل قمته التي تحمل برعمًا قميًا. وقد تتطاول سوق كثير من النباتات بفضل النسج القسم البيني في قاعدة سلامياته.

بعد النسج القسم البيني أولياً، وغالباً ما يعد النسج القسم البيني ثانوياً. كما توجد براعم في أبسط الأوراق المتطورة تدعى البراعم الجانبية (أو الإبطية).

تتميز سوق النجيليات وخاصة الخيزرانيات، وكثير من النباتات ثنائية الفلقة، بنمو بیني نشط ومستمر. أما النمو البيني لفترة قصيرة فيلاحظ بشكل واضح عند تطور البراعم. تملأ السوق الفتية للخيزرانيات رقماً قياسياً في سرعة نموها، فتنمو يومياً ما يقارب من ٧٠ إلى ٩٠ سم.

البراعم Buds

بعد البرعم فارعاً عادياً، متقارب العقد، قصير السلاميات. ويتألف من عدد كبير من الأوراق الجنينية، هي بذاءات الأوراق Leaf primordia، ومن أوراق حرشفيّة متداخلة تقطي الأوراق العاديّة. تسقط هذه الحراشف بعد نمو البرعم وتتطور لتكوين فارع جديد. تخفي الأوراق السابقة القمة القسمة للساق، التي تسمى مخروط نمو أو نقطة نمو الساق. يؤدي نشاط هذا المخروط وتطوره، كما رأينا، إلى نمو الساق وتطاؤله.

يبدي البرعم تكييفاً عالياً لحماية مخروط نموه، إذ تشرب الأوراق الحرشفيّة مادة

فيبقى لها أثر في الفارع. تستمر هذه الظاهرة لعدة سنوات، حيث يمتد أثر البرعم في الفارع خلال حلقات النمو السنوية للساق (شكل ٤-١٠). تتشكل مثل هذه البراعم على سوق النباتات الشجرية وتسمى البراعم النائمة *Dormant buds*، وذلك تعييزاً لها عن البراعم النشطة. من المستحسن الإشارة هنا، إلى عودة البراعم النائمة للنمو والنشاط بعد قطع الأجزاء العلوية من الساق.

الشكل ٤-١٠: برمي قمي في ساق نبات متخلب وقد تم قطعه طوليا لإبراز الأوراق المتنامية
 ١: برمي جانبي
 ٢: ساق
 ٣: بدأدة ورقية
 ٤: حرشفة



الشجرية فقط

كما قد تتشكل البراعم العارضة في الشروط المناسبة، بدءاً من الخلايا البرنشيمية النشطة للورقة وشمران الزهرة والمدقع وغيرها. وبفضل نشاط البراعم العارضة، يصبح التكاثر الإعashi بواسطة أعنق الأوراق ممكناً وسهلاً في كثير من النباتات كما في جنس البيغونيا *Begonia* والجلبان *Lathyrus* وغيرهما.

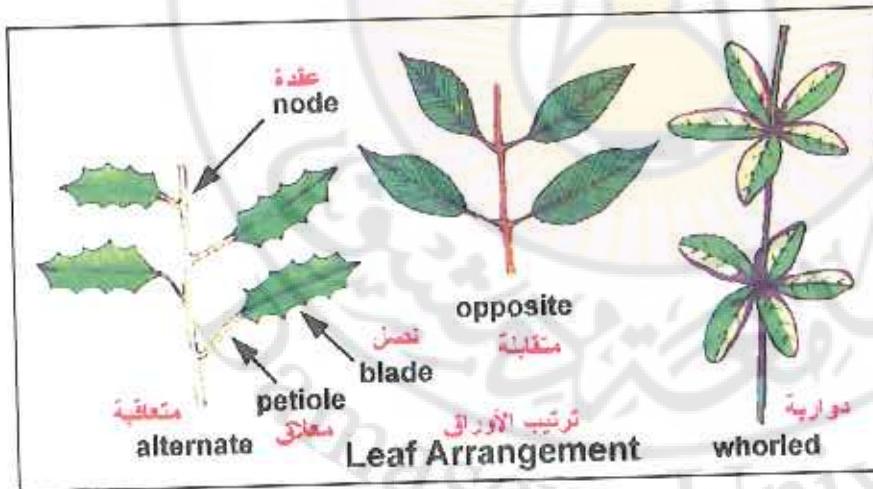
تنشأ البراعم العارضة غالباً، بدءاً من الكامببوم أو المحيط الدائري أو من النسج القسمة الأخرى. وقد تتشكل أيضاً، بدءاً من النسيج البرنشيمي النشط (عند غياب النسج القسمة) في أي جزء من أجزاء النبات. وفي جميع الحالات، تتميز البراعم العارضة التي تتشكل على الجذور، بمنشاً داخلياً *Endogenous* ، بينما تتصف مثيلتها التي تظهر على الساق والأوراق بمنشاً خارجي *Exogenous*.

يميزون أيضاً ما بين براعم إعashية وبراعم زهرية. ففي حين تتشكل البراعم الإعashية فوارغ جديدة، تعطي البراعم الزهرية الأزمار. كما تتميز البراعم الإعashية عند كثير من النباتات بنهائية مدبة حادة. بينما تأخذ بالمقابل البراعم الزهرية شكلاً كروياً وحجماً أكبر.

بصورة متطابقة، حيث يظهر البرعم بجانب آخر. كما في التين الشائع *Ficus carica* وفي كثير من النباتات وحيدة الفلقة وخاصة النجيليات. تنتشر البراعم على الفارع إما بصورة متراكبة وإما بصورة متناظرة.

النظم الورقية Phyllotaxis

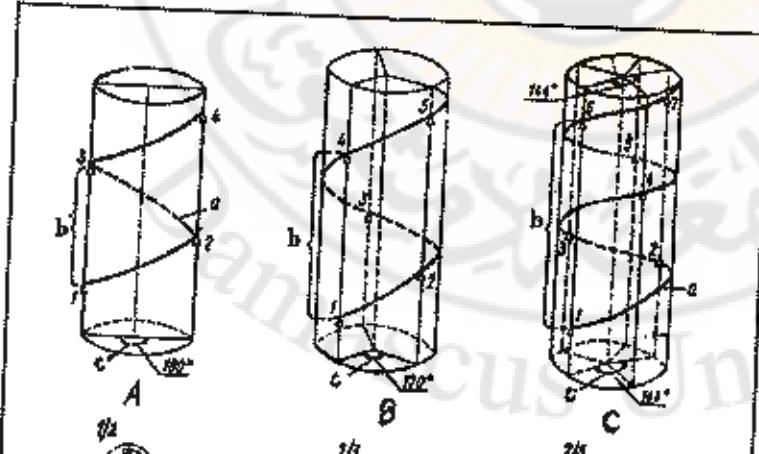
تنتشر الأوراق على الساق وفق ثلاثة طرائق رئيسية هي: المتراكبة والمتناظرة والدوارة (شكل ٥-١٠).



الشكل ٥-١٠ : انظام الأوراق على الساق.

مباشرة، تسمى عدد الدورات هذه، الحلقة الورقية ويتألف المخرج من عدد الأوراق التي يمر منها الحلزون.

تُسمى أبسط نسبة نظم الأوراق في معظم التجانسات. إذ تتألف الحلقة الورقية من دورة حلزونية واحدة وتمر من ورقتين فقط، وتتساوى زاوية التباعد في جنس التوليب *Tulipa* والكارك *Carex* $1/3$ الدائرة. إذ تتألف الحلقة الورقية من دورة حلزونية واحدة وتمر من ثلاث أوراق. تنتشر الأوراق المتعاقبة على الساق بشكل واسع وفق الصيغة $2/5$ الدائرة. إذ تتألف الحلقة الورقية من دورتين حلزونيتين وتمر خلال ذلك من خمس أوراق، كما في الأجام والخوخ وبعض أنواع التفاح وغيرها (شكل ٦-١٠).



تساوي زاوية التباعد 180° درجة في حالة الصيف٪، وتساوي 120° درجة في حالة النسبة $1/3$ و 144° درجة في حالة $2/5$ و 135° درجة في حالة $3/8$ وتلاحظ في الملفوف.

أما في نحط الأوراق المتقابلة، فتحمل كل عقدة ورقتين متقابلين كما في أجناس التمناع *Mentha* والقراص *Urtica* والياسمين *Jasminum* واللبلوك *Syringa* والواثقية *Ligustrum* والمراتلي *Lonicera* وغيرها. تشكل الأوراق المتقابلة أيضاً ما يسمى الحلقة الورقية إذ تبدل الأوراق المقابلة، أماكن توضعها على الساق، مشكلة خلال ذلك حلزوناً مؤلفاً من عدد من الدورات (وذلك عند الانتقال من زوج من الأوراق المقابلة إلى الزوج الذي يقع فوقه مباشرة وفي المستوى نفسه).

وأخيراً يلاحظ في نحط الأوراق الدوارية وجود ثلاث أوراق أو أكثر على كل عقدة، كما في الدفلة *Nerium oleander* (ثلاث أوراق)، وفي الصلباني *Crucianella chlorostachys* (أربع أوراق) وفي القوي الإيبيري *Rubia iberica* (خمس أوراق).

بعد تكيف الأوراق لتلقي أشعة الشمس، العامل الأساسي في طريقة انتشارها. فكل ورقة من أوراق النبات تسمى لأن تكون عرضة للضوء مباشرة. كما يلاحظ خلال عملية سعي الأوراق لتلقي الإضاءة بعض التغيرات الشكلية في أقواصها الورقية. فقد تطول أو تقصر أو تظهر عليها بعض الثنيات وغير ذلك.

فوارع أولية وثانوية وثالثية وما يليها.

تنوع طرق تفرع الساق إلى حد كبير، ويتعلق ذلك بتباعين مكان البراعم واختلاف شروط الوسط الغذائية وغيرها. من الهام الإشارة أولاً، إلى وجود بعض النباتات غير المتفرعة، مثل معظم الذجيليات ونبات الكينجيا الأسترالي *Zea mays Kingia australis* والذرة المائية *Musa* وجنس الموز *Lycopodium clavatum* وغيرها. يميزون عادة الطرق الأربع التالية للتفرع (شكل ١٧-١) :

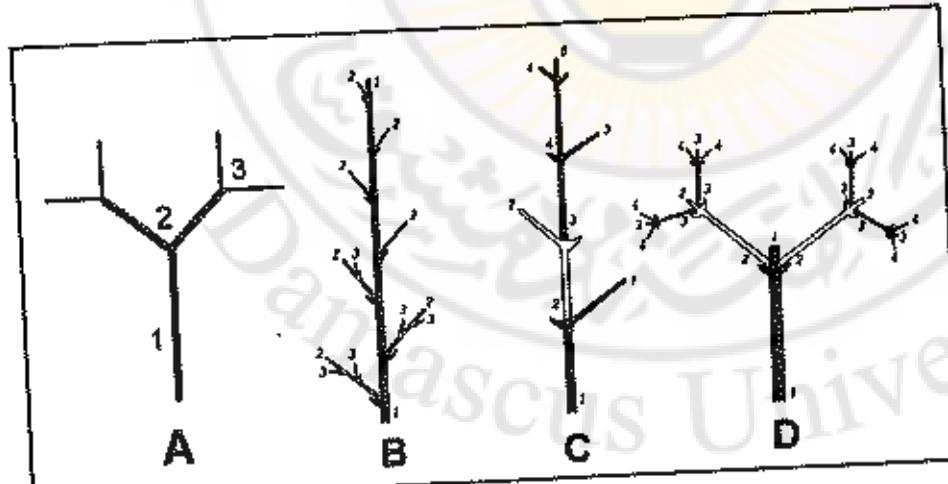
١: التفرع القصي الثنائي الحقيقي: تنتهي نقطة النمو في هذا النموذج إلى نصفين متساوين، يعطي كل منها محوراً ثانوياً مستقلاً. ثم يعود مخروط النمو في كل محور، إلى الانقسام ثانية وبالطريقة نفسها، لإعطاء محورين ثالثين. وهكذا تتكرر هذه العملية مرات متعددة كما في رجل الذئب *Lycopodium clavatum*.

٢: التفرع وحيد المحور **Monopodial branching**: ينتشر هذا النمط بالإضافة إلى النموذج الذي يليه، في النباتات البذرية الراقية. في هذا الشكل من التفرع، يحافظ مخروط النمو في البرعم القصي على نشاطه زمناً طويلاً. ففي العام التالي وبعد الاستراحة الشتوية، يبدأ هذا المخروط بالنشاط من جديد، مؤدياً إلى نمو وتطور محور النبات الرئيسي مجدداً، وللهذا السبب يتميز المحور الرئيسي للنبات بنمو غير محدود. وتتشكل الفوارع الجانبية بدءاً من براعم جانبية، وبكون أكبرها قريباً من قاعدة الساق، وأصغرها قريباً من قمة القارع الرئيسي. لا

من أفضل أمثلة هذا النموذج: جنس الأجاص *Pyrus* والتيلو *Tilia* وغيرها.

٤: التفرع القمي الثنائي الرازف: لا يجد هذا النمط من التفرع نموذجاً مستقلّاً، وإنما حالة خاصة مشتقة عن التفرع مدغم المحاور. ففي هذا النموذج، تموت أيضاً القمة النامية للقاهر، ويظهر عوضاً عنها في العام التالي، وبالوقت نفسه، برعمان متقابلان جانبين يعطيان فارعين جديدين متساوين تقريباً، وتبقى بينهما قمة القاهر الميتة في العام السابق.

يلاحظ هذا النمط في جنس اللبلب *Syringa* والقرنفل *Dianthus* وفي نبات كسلنا،
الحصان *Aesculus hippocastanum*



من فوافع هذه "الشجيرة" بشمراخ زهري لستبلة بسيطة أو مركبة، ولهذا السبب تتمتع النجيليات التي تتفرع بهذه الطريقة، والتي تدخل في صناعة الخبز، بقيمة اقتصادية باهظة، نظراً لوفرة محصولها (شكل ٨-١٠).

يميزون عادة ما بين نجيليات متراصة "الشجيرات"، يتم تفرعها فوق سطح التربة، وتشكل غطاء أخضر كثيفاً، وبين نجيليات متراصية "الشجيرات"، يجري تفرعها تحت سطح التربة مباشرة. يتم تشكيل الفوافع الإضافية وفق هذه الطريقة في المراحل المبكرة من تطور النبات وبداءً من العقد المتقاربة الأولى، بصورة موازية لظهور الجذور العارضة. تظهر على كل فارع جديد عقد الإشطاء الخاصة به.

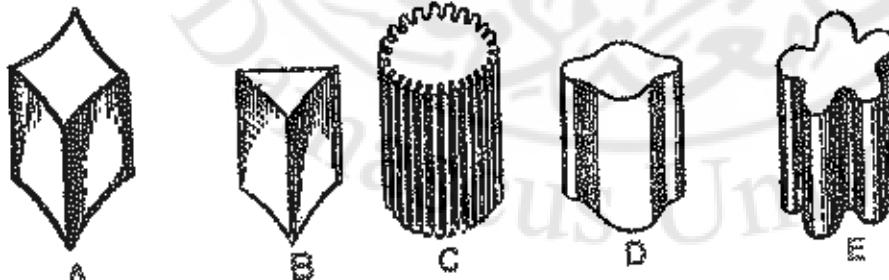
من الجدير بالذكر أن كمية الفوافع الإضافية السابقة في النجيليات البرية، تفوق إلى حد كبير مثيلتها في النجيليات المزروعة التي تدخل في صناعة الخبز. فيبينما لا يتشكل في الشعير والقصص والجودار خلال مرحلتها الإعائية أكثر من (١٢) فارعاً، يتشكل مقابلها في النجيليات البرية عدة عشرات. هذا مع العلم، أن الفوافع الجديدة المتشكلة تكون قادرة دوماً على التفرع بطريقـة الإـشـطـاء.

أنواع الساق Stem Types

تباين أشكال الفواز، باختلاف الأنواع النباتية، سواءً من حيث شكلها العام أو شكل مقطعها العرضي ودرجة تخشيبها وغير ذلك من الخواص الأخرى (شكل ٩-١).

غالباً ما يكون لقطع الساق شكل مستدير. وقد يأخذ شكلًا مثلثاً كما في نباتات الفصيلة السعدية Cyperaceae، أو مربعاً كما في الفصيلة الفاغرة Lamiaceae (الشفوية Labiate)، أو مخمساً كما في الفصيلة القرعية Cucurbitaceae، أو مخرماً كما في كثير من أنواع الفصيلة الكرفسية Apiaceae (الخيمية Umbelliferae) وغيرها.

ويكون القارع في معظم النباتات مليئاً. وقد يكون في بعضها، مجوفاً في مركز السلاميات ومليئاً في مناطق العقد، وتسمى مثل هذه الفواز القشية. تنتشر الفواز القشية عادة عند جميع النباتات النجيلية وفي كثير من نباتات الفصيلة الخيمية.



يسنموا الساق عادةً، فوق سطح التربة ويسمى لذلك، الساق الهوائي Aerial stem. وقد يسنموا في بعض الأحيان، تحت سطح التربة ويسمى حينئذ الساق الترابي أو المنظر Underground stem. وبعد معظم علماء النبات السوق الترابية من الأشكال المتحورة للساق.

السوق الهوائية

تؤدي النسج الاستثنائية ودرجة تطورها، دوراً كبيراً في إكساب الفارع شكله المحدد، واستناداً إلى ذلك تقسم السوق الهوائية إلى قائمة وناهضة وملتفة ومتسلقة وزاحفة.

١: السوق القائمة Erect stems: وتلاحظ في معظم النباتات الشجرية والشجيرية، التي تنتصب قائمة في الهواء، بفضل نسجها الاستثنائية المتقدمة، كما في الحور والجوز والتين.

٢: السوق الناهضة Sitting up stems: وتصادف عند النباتات العشبية كالزعتر Thymus. وتعتبر بنسجها الاستثنائية الأقل تطوراً ونمواً، من مثيلتها في السوق القائمة.

ولكن قد لا يستطيع الساق الانتساب قائماً في الهواء، عندما لا تنمو النسج الاستثنائية فيه بالشكل الكافي. في هذه الحالة يظهر الساق تكييناً عالياً على الانتساب بصورة شاقولية، كما في السوق الملتقة والمتسقة.

٣: السوق الملتقة Climbing stems: تحاول هذه السوق الاحتفاظ بوضعها الشاقولي عن طريق إلتصاقها بمنارة ما، وبتقى ذلك بفضل استطالة خلايا الساق

أما النباتات التي لا تشمل على نسج استنادية متقدمة، ولا تستطيع الالتفاف حول الدعامات ولا تملك أعضاء تسلق وظيفية، فإنها تستلقي أو تزحف على الأرض بصورة أفقية.

٥: السوق المستلقة Creeping stems: وتصادف في الفصيلة القرعية مثل الخيار والبطيخ الأحمر والأصفر والكوسا وجنس القبار *Capparis* وغيرها. تنمو السوق في هذه الحالة بصورة أفقية على سطح التربة ولا تشكل جذوراً عارضة من عقدها.

٦: السوق السراويلة Runner stems: تنمو هذه السوق أفقياً على سطح التربة. وتتميز عن السوق المستلقة بكونها تشكل جذوراً عارضة من عقدها نحو الأسفل، وفوارع هوائية متنامية نحو الأعلى، كما في الفريز *Fragaria vesca* وجنس القادر *Potentilla* والمليق *Rubus* وغيرها (شكل ١٠-١). يسمى القارع الزاحف في هذه الحالة الروث. يستطيع الروث بفضل جذوره العارضة تثبيت نفسه على سطح التربة واحتلال مساحة واسعة من الأرض.



خاص. وتبعاً لذلك تأخذ هذه السوق شكلاً لحمياً متنفساً، وتختفي بطبقة كثيفة من القشرتين لتقليل عملية النتح. وللسبب السابق، قد تتحول أوراقها إلى أشواك صغيرة، ويقوم الساق حينئذ بعملية الاصطناع الضوئي، كما في معظم نباتات الفصيلة الصبارية Cactaceae وبعض أنواع الفصيلة الإيفوربية Euphorbiaceae (الشكل ١١-١٠).



A



B

الشكل ١١-١٠: تحورات المساق
A: المساق اللحمية: تحور الأوراق إلى أشواك، وقيام السوق بوظائف الأوراق بالإضافة إلى ادخار الماء
B: المساق الصلبة (أي، الصنف)
AUSCUS sp.: ساق، مقطوع يحمل أوراق حرشفية ويراعم زهرية

تشكل هذه الفوارع المتحورة في إبط الأوراق، وتأخذ شكل أشواك حادة الرؤوس، يدافع بها النبات عن نفسه من أذى الحيوانات العشبية. تحمل الأشواك في بعض النباتات أوراقاً حرشفية، يتمايز في إبطها براعم زهرية، كما في جنس العاقول *Alhagi*. ثلاحظ هذه الأشواك في النباتات الصحراوية ونباتات المناطق الجافة، فتساعدها على تقليل عملية التح عن طريق اختزال سطح التعرق، كما في جنس الزعور *Crataegus*.

٤: الساق المحلاقي - المحالق : Tendrils

تنشأ هذه المحالق في إبط الأوراق، مما يشير إلى أصلها الفارعي، كما في الكرمة. فتساعد النبات على التسلق والانتساب. تعتبر المحالق الفارعية في الفصيلة القرعية، كما في البطيخ مثلاً، غير وظيفية. وبالتالي تبقى ساق هذه النباتات مستلقة على الأرض (شكل ١١-١٠).

الشكل ١١-١٠: المحالق في الكرمة ذو أصل
فارعي

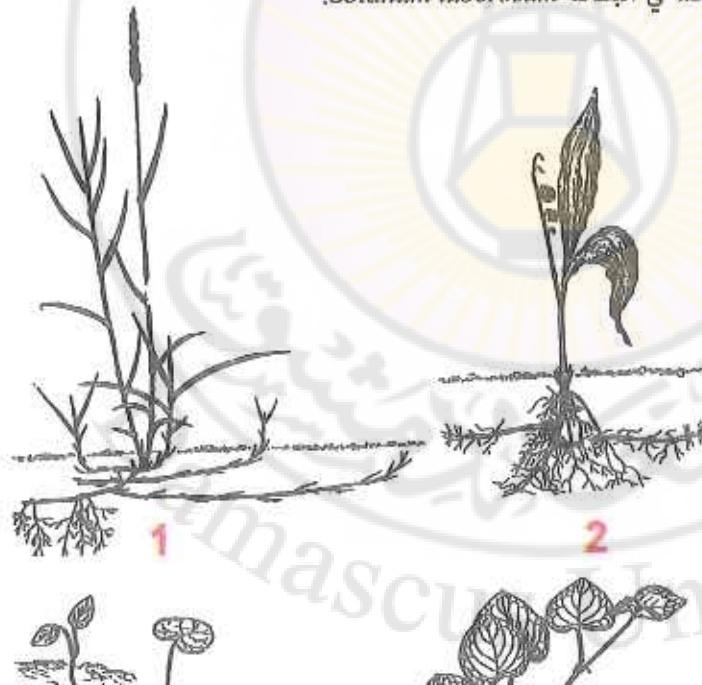


الفارعي، أنها تحمل أوراقاً حرشفية، تتشكل في إبطها براعم جانبية. كما تشتمل برعمها انتهائياً، وتنمّي من عقدها جذور عارضة. وتتميز عن الجذور أيضاً، بكونها لا تنتهي بالقلنسوة. والجذامير كالفوارع الهوائية تماماً، يمكن أن يكون تفرعها وحيد المحور أو مدعم المحاور (شكل ١٣-١٠). كما يمكن أن تكون الجذامير في وضع شاقولي أو أفقي في التربة.

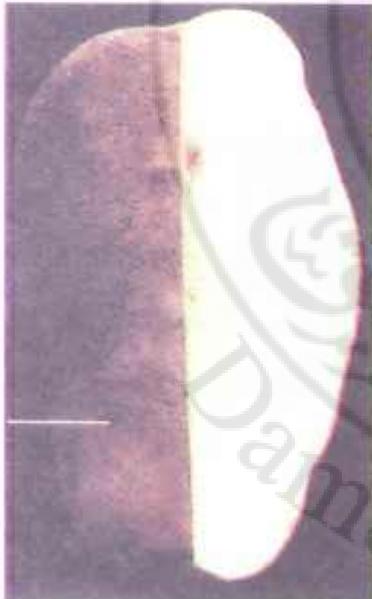


يرتبط تحرّر الفارع إلى جذمور بتحقيق بعض الوظائف الحيوية الهامة: كادخال المواد الغذائية، وحماية هذا العضو من شروط الوسط القاسية (كالبرد شتاء)، والقدرة على القيام بعملية التكاثر الإعashي. تصادف الجذامير غالباً، في النباتات العشبية المعمرة، وتعطي كل عام فوارع هوائية جديدة، تعيش سنة واحدة فقط. تموت الأجزاء الهرمة من الجذمور بصورة مستمرة. تشكّل النباتات الجذمورية المتعرّفة أفقياً، فوارع هوائية عديدة، ولذلك سرعان ما تشغّل مساحة واسعة. فإذا ما كانت هذه النباتات طفيلية أو ضارة مثل حب البر الزاحف

الهوائية، انتفاخات في محور الساق الرئيسي، كملفووف *Brassica oleracea* أو في الفوارع الجانبية، كما في أنواع السحلب *Orchis*. تحمل مثل هذه الدرنات أوراقاً عادبة، أما الدرنات الترابية فتعد انتفاخات في المحور تحت الفلقي، كما في السيكلاما *Cyclamen*، أو في الفارع الترابي، كما في البطاطا *Solanum tuberosum*.



الأوراق، براعم جانبية تستقر في تجاويف صغيرة تسمى العيون Eyes، وتمثل عقد الساق. يمكن أن يوجد في كل عين من ٣-٢ براعم. ينمو منها غالباً، برعم واحد فقط ويعطي فارعاً هوائياً، تتشكل الدرنة عادةً، في نهاية فارع دقيق يسمى الرئد Stolon. يحمل طرف الدرنة المقابل للرئد برعمان قبياً، (شكل ١٥-١٠ آ). يستطيع كل برعم في الدرنة توليد نبات جديد.

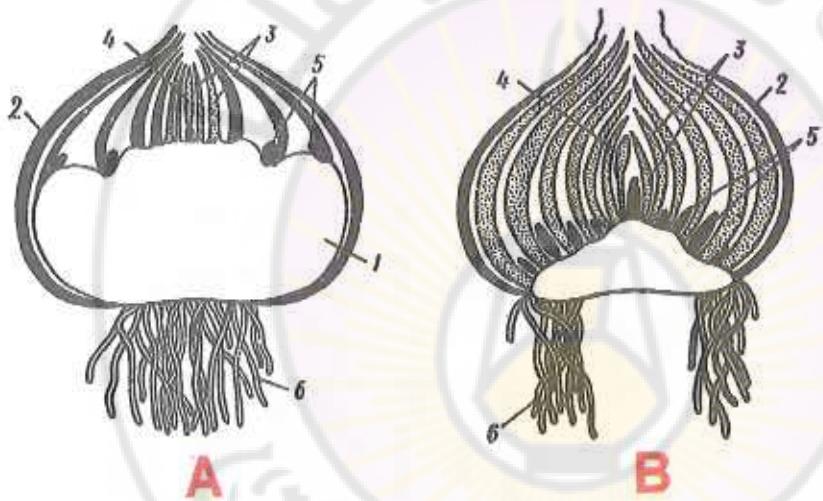


الأوراق الحرشفية الداخلية اللحمية والفنية بالمواد الغذائية (شكل ١٦-١٠).

توجد البصلات عادةً تحت سطح التربة، إلا أنها قد تتشكل في بعض الأنواع فوقها.

فقد تظهر عند بعض النباتات على الساق في إبط الأوراق، بدءاً من البراعم الجانبية، كما في جنس الـ *Dentaria* وبعض أنواع الزنبق *Lilium*، أو بدءاً من البراعم الزهرية كالثوم *Allium sativa* تتميز هذه البصلات بأنها صغيرة الحجم، تستخدم في التكاثر الإعashi وتسمى البصيلات (شكل ١٥-١٠ - ب).





الشكل ١٦-١٠. مقارنة بين بنية الكورمة والبصلة

A: كورمة، وفيها تراكم المواد اللاحخارية في الساق

B: بصلة، وفيها تراكم المواد اللاحخارية في العرائش (أوراق مت拗رة)

١: ساق قصيرة، ٢: حرشفة موئية، ٣: أوراق المرحلة الإعائية القادمة، ٤: فارع جنيني زهري، ٥: براعم، ٦: جذور عارضة.

حياة الساق وأبعاده

يمكن أن تمتد حياة الساق في بعض النباتات الشجرية، كشجرة الماموت *Sequoia*

١٠ (في شمال أمريكا) وشجرة التنين الجنيني *Dracaena draco* (أفريقيا) (شكل

فيصل إلى ١٢٠ متراً، وفي شجرة الماموت إلى أكثر من ١٤٠ متراً، في حين يبلغ قطر جذعها عند القاعدة، عشرة أمتار.



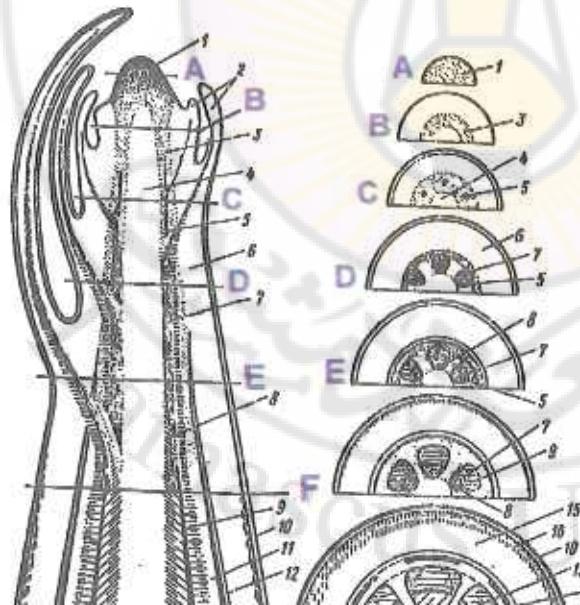
الشكل ١٧٠١٠، شجرة التين اللبناني

البنية المجهرية للسوق

تأخذ البنية المجهرية للسوق، أشكالاً عديدة جداً لا تحصى، إذ لا توجد بيئة عامة

البرعم، تقع تحت حماية الأوران الجنينية والحرافش البرعمية.
يعد التسريح القسم العملي أصل جميع النسج في الساق، كما يحدد نموه طولاً. ويتمتع
بحجم صغير نسبياً، إذ تبلغ أبعاده بصورة عامة، من ١٠-١٥ ملم، وهو الجزء الأكثر فتوة في
الساق. تصبح بنية الساق أكثر قدماً، عند الانتقال من قمةه باتجاه قاعدته (شكل ١٨-١٠).
ت تكون قمة الساق، كما رأينا من خلايا متجانسة صغيرة الحجم، رقيقة الجدران ضخمة

النوى.



١- نظرية مولدات النسج للعالم هانشنباين عام ١٨٦٨ : يتألف مخروط النمو، حسب هذه النظرية من ثلاث طبقات خلوية هي: مولد البشرة Dermatogen، ومولد القرفة Periblema، ومولد الأسطوانة المركزية Pieroma. فالديرماتوجين، هو الطبقة الخارجية من المخروط، ويتألف من صف واحد من الخلايا التي سوف تتمايز إلى البشرة. أما الد Periblema، فهي الطبقة المركزية الفضمية التي سوف تشكل الأسطوانة المركزية ومح الساق. وأخيراً تمتد الد Pierome ما بين الطبقتين السابقتين وسوف تعطي القشرة الأولية. لقد فقدت هذه النظرية أهميتها في العصر الراهن.

٢- نظرية القميص والجسم Tunica and corpus للعالم Schmidt (عام ١٩٢٠) : يتألف النسج القسم القسي وفق هذه النظرية، من طبقتين فقط، هما القميص والجسم. فالقميص Tunica يكون مسؤولاً عن تشكيل البشرة وجزء من القشرة الأولية. بينما يسمم الجسم جزيئاً في تشكيل القشرة الأولية، ويعطي الأسطوانة المركزية بكاملها. تعد هذه النظرية أكثر انتشاراً من سابقتها على الرغم من عدم إتباعها.

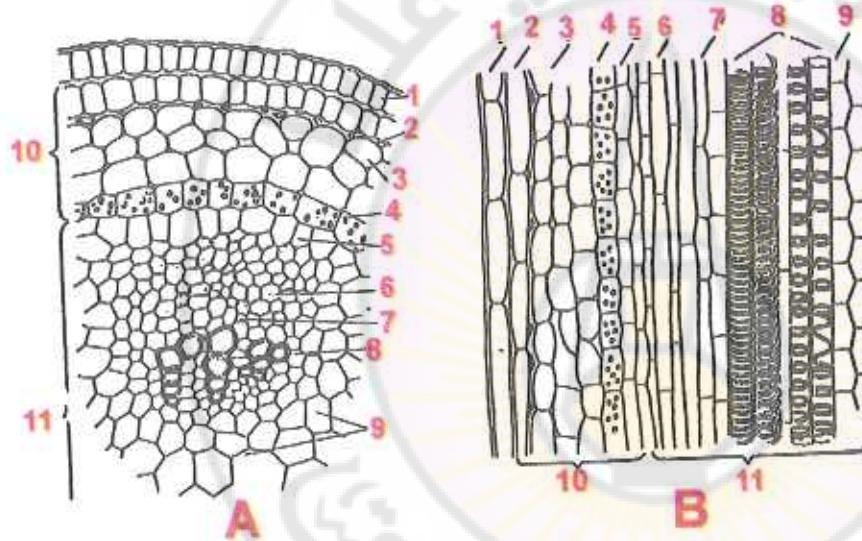
يجري في مخروط النمو، اردياد عدد الخلايا، وذلك عن طريق انقسامها النشط، خاصة في الشروط الملائمة، يلي مخروط النمو مباشرة منطقة استطاله الخلايا، حيث تبدأ الخلايا فيها بالتمايز. تعرف هذه المنطقة جيداً من خلال الندبات المرقبة، التي يستخدم دعائين الماء

التمايز ابتداءً من المحيط نحو المركز. وهكذا يصبح الخشب الأول أقرب إلى مركز الساق، بينما يتشكل الخشب التالي في الجهة القريبة من المحيط، وبذلك يكون تمايز الخشب الأولي في الساق ظاهرة.

ويجري تمايز اللحاء الأولي بطريقة مماثلة، في الجهة المقابلة للخشب الأولي. ويتم ذلك ببداً من الخلايا الخارجية من البروكامبيوم، أي القريبة من محيط الساق. يجري هذا التمايز ابتداءً من المركز نحو المحيط. وبهذه الصورة سوف يتوضع اللحاء الأول في محيط الساق، بينما سوف يتشكل اللحاء التالي في الجهة القريبة من المركز، وبالتالي يكون تمايز اللحاء الأولي في الساق جاذباً.

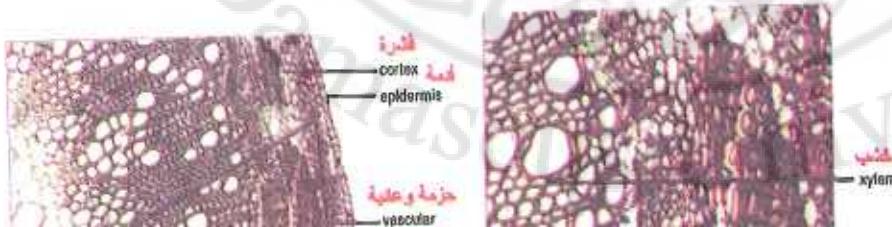
وبهذا الشكل، تتقابل طبقات اللحاء والخشب التاليين ضمن العزم الناقل. ففي بعض الأحيان تتطابق هذه الطبقات بعضها على بعض تماماً، كما في وحدات الفلقة. وفي حالات أخرى تتوسط بينهما طبقة الكامبيوم، كما في عريانات البذور وثنائيات الفلقة. إذ يبدأ صف من الخلايا في طبقة البروكامبيوم بالانقسام معاكساً، وتشكل بذلك طبقة الكامبيوم . يسمى بتنكيل الكامبيوم عادةً، المحيط الداير أيضاً.

يتشكل المحيط الداير من بعض طبقات الحلقة الانقسامية التي تقع تحت اللحاء الأولي. مباشرةً، أي إلى المحيط منه. يتوضع البروكامبيوم في الساق على شكل أسطوانة متصلة



الشكل ١٩. بنية ساق قثي من نبات الحلوب العوالي *Mercurialis annua*

A: جزء من القطع العرضي، B: مقطع طولي (الساقي)
 ١: بشر، ٢: كولانشيم، ٣: برنشيم القشرة، ٤: لقمة باطنية، ٥: محيط دافر، ٦: لحاء، ٧: كامبیوم، ٨: خشب، ٩: برنشيم المخ،
 ١٠: قشرة اولية، ١١: اسطوانة مرکزية

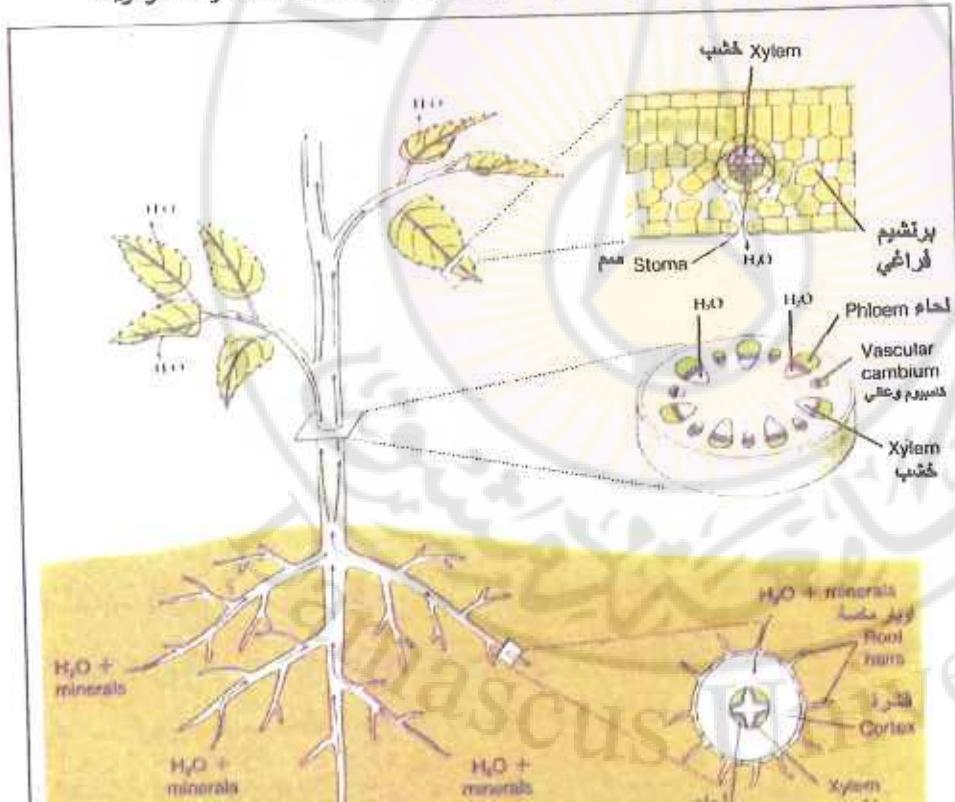


الأولية، المحاطة بالبشرة. الثانية هي الأسطوانة الركزية. تتألف القشرة الأولية عادةً من:
آ: نسيج استنادي، هو الكولانشيم، ويتوسّع تحت البشرة مباشرة.
ب: برنشيم القشرة الأولية، وتشتمل معظم خلاياه على الصانعات الخضراء.
ج: الأدمة الباطنة.
أما الأسطوانة الركزية فتتكون من: ١- المحيط الداّئر، ٢- اللحاء، ٣- الخشب، ٤- برنشيم
المح.

من المفيد في هذا المجال مقارنة البنية الإبتدائية للسوق مع مثيلتها في الجذر (شكل ١٠-٢١). كما وتبيني الإشارة أولاً إلى مظاهر الاختلاف الأساسية بينهما. فهي القطع الطولي من السهل ملاحظة ما يلي:

- ١: تكون القشرة النامية في الجذر محاطة بالقلنسوة، بينما تكون في السوق منفطة بالأوراق الجنينية وبالحراشف البرعصية.
- ٢: تحيط الأدمة بالقشرة الأولية في الجذر، وتقوم بوظيفة امتصاص المحلول الترابي، وتتألف من خلايا رقيقة الجدران ومتجانسة الشخانة ومزودة بالأوبيار الماصة. وفي المقابل، يكون السوق محاطاً بالبشرة المؤلفة عادةً من خلايا رقيقة الجدران غير متجانسة السماكة، يتوضّع الكولانشيم تحتها مباشرة.

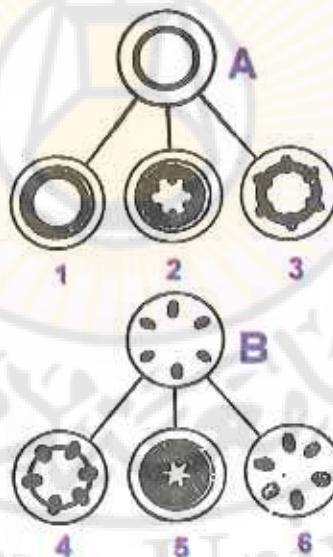
لهذين العضوين. فهنا وهناك، تتشكل بنيةان أساسيةان، هما القشرة الأولية والأسطوانة المركزية تتمايز بينهما الأدمة الباطنة، والمحيط الدائري- أول طبقات الأسطوانة المركزية.



رئيسية. مع العلم أن بعضها كان متقارباً لدرجة كبيرة من الناحية التخطيطية (شكل ٢٢-١٠) وقد استند في تصنيفه السابق إلى طريقة تمييز البروكامبيوم، وأصل طبقة الكامبيوم، وقدرة كل خلية من خلاياه على الانقسام وفق جميع سطوحها. كما وُضعت في الحسنان، طبيعة النسج النباتية المتمايزة عن نشاط الكامبيوم وكميتهما ومكان وجودها.

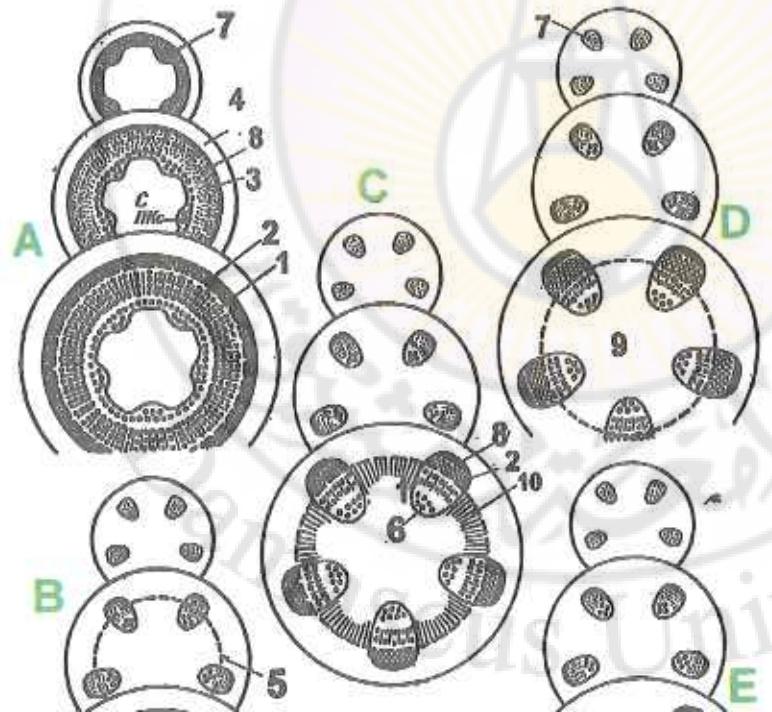
الشكل ٢٢-١٠. مخطط لأنماط البروكامبيوم:
A: بروكامبيوم متصل.
B: بروكامبيوم متقطع إلى حبال.

- ١: الصابونية المخزنية *Saponaria officinalis*
- ٢: في التيلور القلبي *Tilia cordata*
- ٣: في جنس النفل *Trifolium*
- ٤: الكليدونيوم الأكبر *Chelidonium majus*
- ٥: زهر الشمس الحولي *Helianthus annuus*
- ٦: جنس الحوذان *Ranunculus*



من الضروري في هذا المجال، دراسة أكثر هذه البنى انتشاراً، وخاصة في المناطق

وفي المقابل يتمايز الخشب الثانوي، بدءاً من محيط حلقة الكامبيوم و باتجاه مركز الساق. ويضم العناصر التالية: الأوعية، القصبات، الألياف الخشبية، البرنثيم المتختب، وأشعة الخشب المخية.



والدوسي الأرجواني *Ipomoea purpurea officinalis* وغيرها. كما ينتهي إلى المخطط السابق، عدد كبير من النباتات التي تختلف قليلاً عن سابقتها في بنية اسطوانتها المركزية. إذ يمكن رؤية قم الخشب الأول، بشكل واضح حول المخ، كما في نبات التيلو القلبي *Tilia cordata* والتفاح المدجن *Malus domestica* والقيقب التري *Acer tataricum* والكتان كثير الاستعمال *Linum usitatissimum* تنبئي الإشارة أخيراً، إلى بعض الخصائص العامة في بنية السوق الخشبية (باستثناء سوق وحيدات الفلقة).

ترتبط البنية الثانوية للسوق، كما في الجذر، بتشكل النسج القسمة الجانبية، من كامبيوم وفللوجين. وتحت تأثير تميز البنية الثانوية وتطورها، تتلاشى البنية الابتدائية وتزول تقرباً. تتحدد البنية الثانوية للسوق بطبيعة نشاط طبقة الكامبيوم.

يتجلّى هذا النشاط، بأنه يؤدي إلى تميز كمية من الخشب الشعاعي، أكبر بكثير من كمية اللحاء الماثل. كما أن عناصر الخشب المتشكلة، تزداد كتلتها العامة، عاماً بعد عام، بصورة موازية لراحتل نشاط الكامبيوم. في حين تحول عناصر اللحاء، تحت تأثير نشاط الفللوجين، من وقت لآخر إلى قلف *Rhytidome*، يتراكم تدريجياً. وبذلك يتضح أن الكتلة العامة للسوق المعمرة تتالف بشكل أساسى من الخشب الشعاعي.

يتجلّى نشاط الكامبيوم الفصلى، بتشكيل طبقات خشبية متتابعة هي الحلقات

التطور، إذ أنها تحتل الحلقات الحدية في سلسلة التطور التاريخية. لقد تحققت التحورات الشكلية للأعضاء الإعashية، وكذلك الانتقال المستمر من الأشكال الشجرية إلى الجنباث فالأشباب بطرق مختلفة، كان من أهمها: سيطرة النسج البرئي على بنية الساق، وضمور الكامبيوم أو اختزاله. ينشط الكامبيوم، في مثل هذه الحالات، وقتاً قصيراً جداً وخلال فصل واحد فقط.

فعلاً يلاحظ في النباتات ثنائية الفلقة (عند بعض الحوذانيات، والنباتات سريعة الزوال) عدم تشكل طبقة الكامبيوم بكاملها، وإنما تظهر أقواس الكامبيوم الحزمي فقط، وتنشط فترة قصيرة جداً، ولهذا السبب، تضم مثل هذه السوق الناضجة، حزماً ناقلة مغلقة، كما في وحيدات الفلقة ولكنها لا تنتشر بصورة عشوائية، وإنما تنتظم في حلقة واحدة.

يُخبو نشاط الكامبيوم الانقسامي أو يتوقف نهائياً، حسب الوحدة التصنيفية للنبات العشبية ويتم ذلك، في مستويات متباينة من مراحل تطورها الخاصة. كما يتضح عند مقارنة سوق النباتات العشبية مع مثيلتها الشجرية في عامها الأول، أن نمو النسج المتعددة في سوق النباتات العشبية ثنائية الفلقة، يكون أسرع بكثير من مثيلتها الشجرية أو الشجيرية. يشير ذلك إلى قدرتها العالية على التمايز.

تملك السوق العشبية بُنية أساسية تميّزها عن السوق العشبية مثلاً: غبار الفالوجين،

٤- البنية الحزمية: يتوضع فيها البروكامبيوم على شكل حبال منفصلة تبدو في المقطع العرضي للسان على شكل أقواس متفرقة.

يتمايز الكامبيوم بـهـ من البروكامبيوم ومن برنسيم الأشعة المخية الأولية. يشق الكامبيوم الحزمي من البروكامبيوم، ويتمايز مشتقاته في كل حزمه، إلى عناصر اللحاء والخشب الثانويين. بينما يشق الكامبيوم ما بين الحزم من الأشعة المخية، ويتمايز منتجاته إلى برنسيم الأشعة المخية الثانية.

استناداً إلى ما تقدم تستمر البنية الابتدائية الحزمية للسان، في بنائه الثانية أيضاً.

لتتميز هذه البنية عن مثيلتها في وحيدات الفلقة، بانتظام الحزم في ثناياها الفلقة في حلقة واحدة وابتداها بعضها عن بعض بمسافة محددة، اعتباراً من قمة الساق حتى قاعدته (١٠-٢٢ و ٢٣-١٠). ثلاحظ البنية الحزمية للسان في النباتات العشبية بصورة عامة، كما في الزراوند السحاري *Aristolochia sipho* والكوسا *Cucurbita pepo* (شكل ٢٤-١٠) والكيليدونيوم الأكبر *Chelidonium majus* والوحوزان الزاحف *Ranunculus repens* وغيرها.

الشكل ٢٤-١٠، البنية الحزمية في مقطع عرضي
لسان نبات الكوسا:

١: بشرة، ٢: كولانسيم، ٣: حقبة سكليرنسيم، ٤:
برنسيم، ٥: لحاء، ٦: كامبيوم، ٧: خشب، ٨: لحاء



الكامبيوم ما بين الحزم إلى تشكيل لحاء وختب ثانويين أيضاً، كما في الكامبيوم الحزمي تماماً. وبالتالي تتشكل حزم ناقلة جديدة تتوضع ما بين الحزم القديمة. وهكذا مع مرور الزمن يتحدد الكامبيوم الحزمي مع نظيره ما بين الحزم في الجزء الأقدم من الساق. وتتشكل نتيجة لما سبق، اسطوانة مستمرة من الكامبيوم، تتوسط اسطوانتين متحدلتين المركز. تضم المحيطية مثهما عناصر اللحاء الثانوي، والداخلية عناصر الخشب الثانوي.

تأخذ النسج الثانوية السابقة في المقطع العرضي، شكل طبقات حلقة كثيفة متراصة. وتبقى قم الخشب واللحاء الأوليين، الشاهد الوحيد على البنية الحزمية للمساق في المراحل المبكرة من تطوره. تلاحظ البنية الانتقالية عند الكثير من النباتات العشبية في الفصيلة المركبة، مثل زهر الشمس الحولي *Helianthus annuus* وسيرسيوم الحقنول *Cirsium arvense* وغيرهما.

٣- البنية المسفلة: يتوضع الكامبيوم في هذه الحالة على شكل اسطوانة كاملة مستمرة، تأخذ في المقطع العرضي شكل حلقة متصلة. تقوم خلايا البروكامبيوم، كما هو معروف، بوظيفتين هامتين: آ- الانقسام والنمو السريعين بـ- التمايز.

فعلى أثر تمايز خلايا البروكامبيوم يظهر الخشب واللحاء الأوليان على شكل اسطوانتين مستمرتين، متحدلتين المركز. المحيطية منها اسطوانة اللاحاء، والداخلية اسطوانة

النباتات الشجرية، سواء من عريانات البذور أو من مخلفاتها (ثماريات الفلفلة).

تدرس المقاطع العرضية لسوق الكتان عادةً، عندما يُراد تحديد صفات الألياف اللحائية وجودتها. فالألياف الجيدة صناعياً، هي التي تكون متراصة، سميكة الجدر الخلوية، وذات لعنة خلوية داخلية صغيرة. وبالمقابل، عندما تكون الألياف اللحائية مبعثرة وذات جدر خلوية رقيقة، ولعنة خلوية داخلية كبيرة، فإنها تفقد معظم قيمتها الصناعية.

يتم تشكيل الحلقات السنوية، بسبب عدم تجانس بنية الخشب. فالخشب الريعي (الخشب المبكي)، يتكون من أوعية ضخمة، كبيرة القطر. ثم يتشكل الخشب المصيفي-الخريفي، الذي يتكون من أوعية صغيرة القطر وقصيبات.

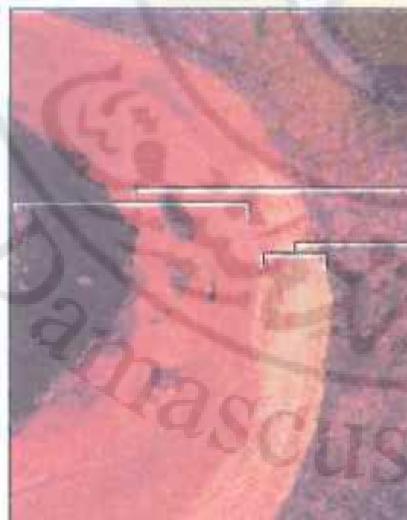
بتأثير تشكل عناصر الخشب الجديدة، تنزاح طبقة الكامبيوم تدريجياً نحو المحيط، دافعةً معها بنفس الاتجاه، جميع النسج التي تقع إلى محيطها. يتوقف نشاط الكامبيوم بعد ذلك، حتى ربيع السنة القادمة، حيث يبدأ النمو الريعي مجدداً، ويستأنف الكامبيوم نشاطه وتنتشكل أوعية ضخمة. ثم تتشكل بعد الأوعية السابقة. عناصر الخشب الصغيرة في نهاية الصيف وب بداية الخريف. تتكرر هذه العملية في ربيع السنة القادمة. وهكذا في كل عام. يتجلى هذا الانتقال الحاد من الخشب الخريفي ذي الخلايا الصغيرة إلى الخشب الريعي ذي الأوعية الضخمة بظهور فواصل مرئية بالعين المجردة، ما بين طبقات النمو السنوية للخشب.

يعتد نشاط الكامبيوم، في هذه الحالة، بضع سنوات، ويتمتع الساق حينئذ، بنية خشبية ويشكل نسيج برنشيمي متطور جداً. يرتبط توقف النشاط الانقسامي للكامبيوم في النباتات العشبية المعمرة بعدد من العوامل. أحد هذه العوامل: تفتح الأزهار وتشكل الثمار بصورة مبكرة. فمن الممكن إطالة مدة عمل الكامبيوم كثيراً، والحصول نسبياً، على بنية خشبية للساق، فيما إذا قطعت محاور النورات، أو أوقف نموها بطريقة ما. تلاحظ مثل هذه الظاهرة، في القطن الخشن *Gossypium hirsutum* والخروع وغيرها.

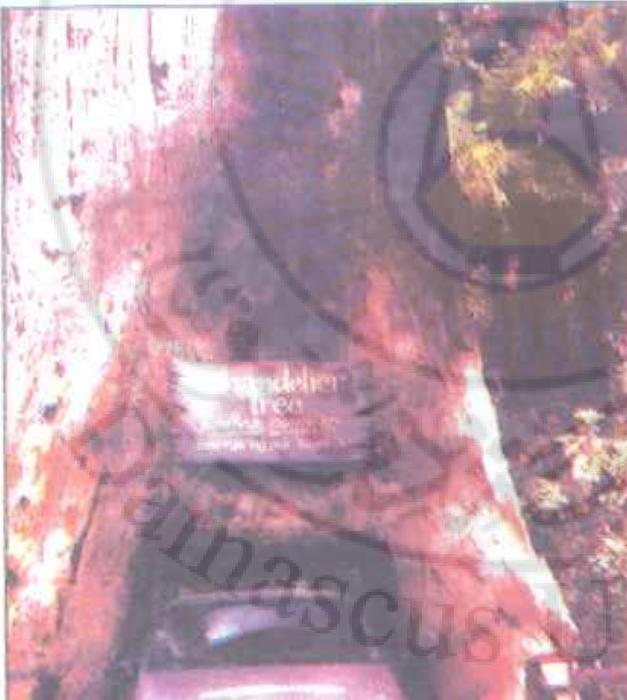
يبدي القطع العرضي لجذع أو لقانع نباتات لا يقل عمرها عن (٣٠ - ٣٥) سنة، طبقات الخشب المتتالية (الحلقات السنوية)، والتي يمكن تعدادها، وبالتالي معرفة عمر الجذع تقرباً.



عند النظر إلى قطع عرضي لجذع بعض النباتات الشجرية (كاللسديان مثلاً)، يمكن ملاحظة جزءٌ مركزيٌّ ملونٌ في الجذع، يدعى نواة الخشب أو الخشب الصميمي. أما كتلة الخشب الضخمة المضيئة الواقعة ما بين نواة الخشب والقشرة فتسمى الخشب الرخو (شكل ٢٦-١٠ و ٢٧-١٠). تفقد العناصر الناقلة في الخشب الصميمي وظيفتها في النقل تدريجياً، وتقوم بخزن مواد متنوعة، سواء في جدرها الخلوية أو في باطنها: غصبية، راتنجية صifie، ملحية، وغيرها من حاصلات الاستقلاب الخلوي.



بالقشرة. تظهر حلقات النمو السنوية في القطع الطولي للساق، على شكل خطوط مائلة متوازية. تكون هذه الحلقات، واضحة تماماً في جميع أشجار ثانويات الفلقة وعرى ثانيات البذور، سواء في القطع الطولي أو العرضي ، باستثناء بعض الحالات المحددة.



Betula pubescens وغيرها، بوجود حلقات سنوية غير واضحة. تتصف البنية المجهرية لسوق النباتات الشجرية ببنية بسيطة ومجانية نسبياً، خاصة في عريانات البذور. فهي تتمتع ببعض الخصائص البيئية الهامة: فتتألف الجملة الناقلة الأولية فيها، من حزم متطابقة جانبياً، وذلك بالقرب من محروط النمو. ثم تتشكل بعد ذلك، وخلال تمايز البنية الثانية أسطوانة مستمرة، من اللحاء وأسطوانة مماثلة من الخشب، كما تظهر في المراحل الأولى من تطور النبات، قنوات راتنجية نموذجية، سواء في القشرة أو في الخشب. ويكون النسيج الواقي الثانوي ضعيف التمايز. ويتتألف الخشب في الصنوبر، كما في عريانات البذور، من عناصر مجانية، تتكون بصورة عامة من القصبيات، بينما تغيب منها الأوعية والعناصر الاستثنائية المتخصصة *Libriforms*.

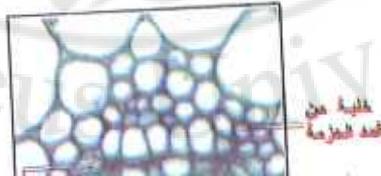
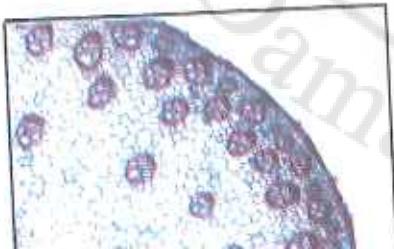
يشير تنوع العناصر الناقلة للخشب، إلى مستوى التطور المرتفع للنبات، كما في معظم مخلفات البذور.

بنية الساق في وحدات الفلقة

تتصف الحزم الناقلة في وحدات الفلقة، كما هو معروف، بأنها مغلقة، أي تتصف بنشاط انقسامي محدود، وبالتالي ينمو عرضي بطيء. تنشر الحزم السابقة، بشكل حلزوني في المقطع العرضي. تتميز سوق النباتات وحيدة الفلقة وجذورها ببنية ابتدائية فقط، إذ لا يتمايز

وهكذا يمكن استعراض البنية العامة لسوق وحيدات الفلقة، من خلال دراسة المقطع العرضي لسوق السوسن الألماني : *Iris germanica*

يتشكل تحت النسيج الواقي (أي البشرة) ثلاث لبනات من النسج المتباينة بعضها عن بعض، يوضح تتألف اللبنة الأولى من البرنشيم اليخصوصي. وتتكون اللبنة الثانية من الإسكليرنشيم المتخلب غالباً، الذي يتوضع إلى الداخل من البرنشيم اليخصوصي. ويعتبر المخ اللبنة الثالثة في مركز هذا الساق. يشقق الإسكليرنشيم بدءاً من المحيط الدائر، وبالتالي، تعدد الطبقة الخارجية منه، أولى طبقات الأسطوانة المركزية. تفصل الأدمة الباطنة، المؤلفة من صف واحد من الخلايا البرنشيمية المتراسدة ما بين الإسكليرنشيم والبرنشيم اليخصوصي، فتعد لذلك آخر طبقات القشرة. وأخيراً يشاهد المخ الذي يتتألف من طبقة ضخمة من البرنشيم الأساسي، تنتشر فيه الحزم الناقلة المتطابقة والمغلقة. يكون اللحاء فيها نحو محيط الساق، بينما يتوضع الخشب نحو المركز.



تتفق سوق معظم النجيليات بنية فريدة خاصة، إذ يجري الحديث هنا عن بنية الساق القشية. فجميع النجيليات، باستثناء جنس الذرة *Zea* والسورغ *Sorghum* ونبات قصب السكر *Saccharum officinarum*، تملك سوقاً قشية. لذلك كان من الضروري استعراض البنية العامة لثل هذه السوق. وكمثال عليها، يمكن دراسة بنية المقطع العرضي لسوق القمح (شكل ٢٩-١٠).

يلاحظ في محيط المقطع، حلقة متصلة من الإسكليرنشيم. تبرز الخلايا الإسكليرنشيمية في بعض المناطق نحو السطح الخارجي من السوق، مشكلة أعرافاً مخلعة. تتصل الأعراف السابقة ببعضها عن بعض في السوق الفتية، كتل خلوية برنشيمية، مليئة بالصانعات الخضراء، وذات جدر خلوية رقيقة. وتدرجياً مع مرور الزمن، تتشرب جدر خلايا البرنشيم البيطوري وخلايا البشرة مادة الخشبين. تنتشر الحزم الناقلة في صفين، واحداً في ثلاثة صفوف، تتأخر الحلقة الخارجية من الحزم الناقلة الإسكليرنشيم. في حين تتوزع الحزم الداخلية ما بين الخلايا البرنشيمية، وتحاط عادة، بغمد من الألياف المتختبة.

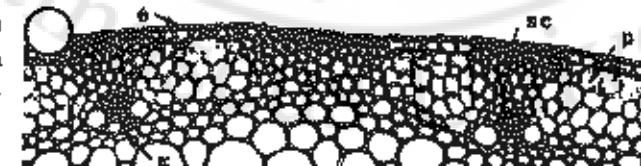
الشكل ٢٩-١٠. جزء من

مقطع عرضي في ساق

الثوفان : *Avena*

ج: بشرة مخططة بالثمرة ثانية،

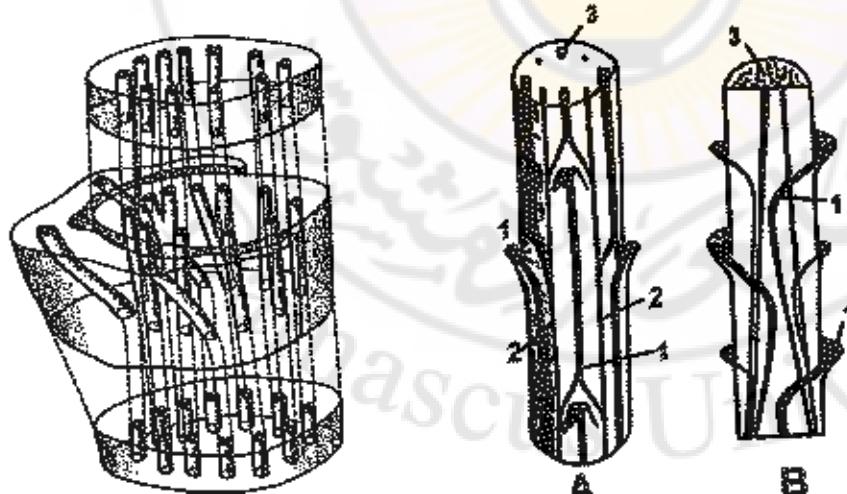
د: برنشيم محيطي،



إلى إحدى مجموعتين:

آ: مجموعة الحزم الناقلة الخاصة بالساق فقط.

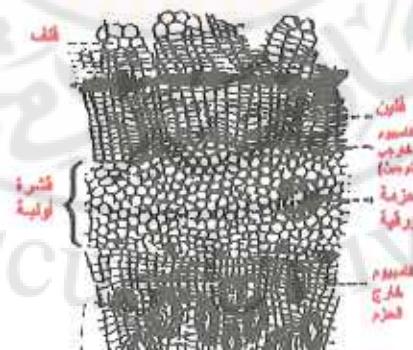
بـ: مجموعة الحزم الناقلة العامة، أي المشتركة بين الساق والورقة الطابقة (شكل ٣١-١٠) يسمى جزء الحزمة العامة، الآتي من الورقة الموجودة في الساق الآخر الورقي. ينحدر هذا الأخير حينئذ، مع الحزم الخاصة بالسان. أما أصل الحزم الناقلة في وحدات الفلقة، فيكون مخالفاً للسابق. إذ تعدد جميع الحزم الناقلة في سوق هذه النباتات آثاراً ورقية (أي حزماً عامة)، حيث تلتقي في الساق وتتعدد مع حزم أخرى مشابهة لها.



شجرة التنين التيني *Dracaena draco*. هذا النبات متفرع جداً، يبلغ ارتفاعه ١٥ متراً وقطر جذعه، أربعة أمتار تقريباً. كما يصل طول ورقة إلى ٦٠ سنتيمتراً وعرضها ٢,٥ سنتيمتر.

لا تختلف بنية ساق الدراسينا الفتية في عامها الأول، من حيث تركيب عناصرها النسيجية، عن ساق النباتات العشبية وحيدة الفلقة، كالذرة المائية *Zea mays*. تبرز الاختلافات الجوهرية مع ظهور النسج الثانوية في الساق. فتبدى الطبقات العميقية من القشرة نشاطاً انقسامياً مرتفعاً، إذ تنقسم خلاياها مماسياً على كامل محيط الساق. ونتيجة لذلك، تتميز حلقة خاصة، تهد نسيجاً قسوماً ثانياً شاذَاً وفريداً. يؤدي النشاط الانقسامي للحلقة السابقة إلى تراكم خلايا برونشيمية فقط نحو الوحشي، والتشكيل نسيج برونشيمي وحزم ناقلة مبعثرة نحو الأنسي. يتالف الخشب في هذه الحزم من قصبيات فقط (شكل ٣٢-١٠).

الشكل ٣٢-١٠. جزء من مقطع عرضي لساق التنين التيني *Dracaena draco*.



الورقة Leaf

تتميز الورقة عن الجذر والسان بتناظرها الجنسي، ونوعها المحدود. فتنمو في البداية، بفضل نشاط النسج القسم العماني في نهايتها، ثم لتابع نموها، وتأخذ شكلاً مسطحاً بفضل انقسام خلايا النسج القسم البيني الذي يتمايز على جانبي فرص الورقة. تتصف الأوراق في النباتات الشجرية، بأنها محدودة العمر أيضاً، فتسقط دورياً، ويتشكل عوضاً عنها، أوراق فلية جديدة. أما في النباتات العشبية حولية، فغالباً ما تنتهي حياة السان والأوراق في وقت واحد تقرباً، وذلك بعد ٤٥ إلى ١٢٠ يوماً من بداية حلقة تطورها. وأخيراً، تستطيع الأوراق في النباتات دائمة الخضرة الحياة من ستة واحده حتى خمس سنوات، وأحياناً إلى عشر سنوات كما في الصنوبريات من جنس الطقسوس *Taxus* والتنوب *Abies*. يعد جنس الكلفيتشيا *Welwitschia* حالة استثنائية في هذا المجال إذ يحمل النبات فيه ورتقين متقدرين فقط. تعيشان حتى نهاية حياة النبات (من ٩٠ إلى ١٢٠ سنة).

تقوم الأفراص الورقية ببعض الوظائف الأساسية، كالاصطدام الضوئي والتنفس والتنفس. كما تدخل أحياناً، بعض المواد الغذائية. تملك الأجزاء الأخرى من الورقة وظائف متنوعة، أقل أهمية وتعدديداً. فالأذنات *Stipules* مثلاً لا تقوم في كثير من الأحيان، بأي دور وظيفي. فقد تسقط مبكرة كما في جنس التفاح *Malus*، وقد تبقى طوال المرحلة الاعاشية للنبات، ولكن لا

الفصائل الكبرى كالثقوفية Lamiaceae (أو الصليبية Cruciferae) والفالغرة

والنجمية Asteraceae وغيرها، (شكل ١٠-٣٣).



أما وظيفة المعلاق Petiole فأكثر تحديداً. إذ يقوم بتوجيه القرص نحو الأشعة الضوئية، ويؤدي دوراً هاماً في النظم الورقي، بحيث لا تضلل الأوراق بعضها على الساق بصورة عامة (شكل ١٠-٣٤). ويتم ذلك عن طريق:

- ١: الاختلاف في طول المعالق وفي درجة انحنائها.
- ٢: التباين في مساحة سطح الأقران الورقية.
- ٣: الحساسية الضوئية الموجبة للأوراق.

الشكل ١٠-٣٤، أوراق اللبلاب : *Hedera helix*
لاحظ كيف أن نصل كل ورقة
يتوجه بشكل ينافي فيه
أكبر كمية من الضوء

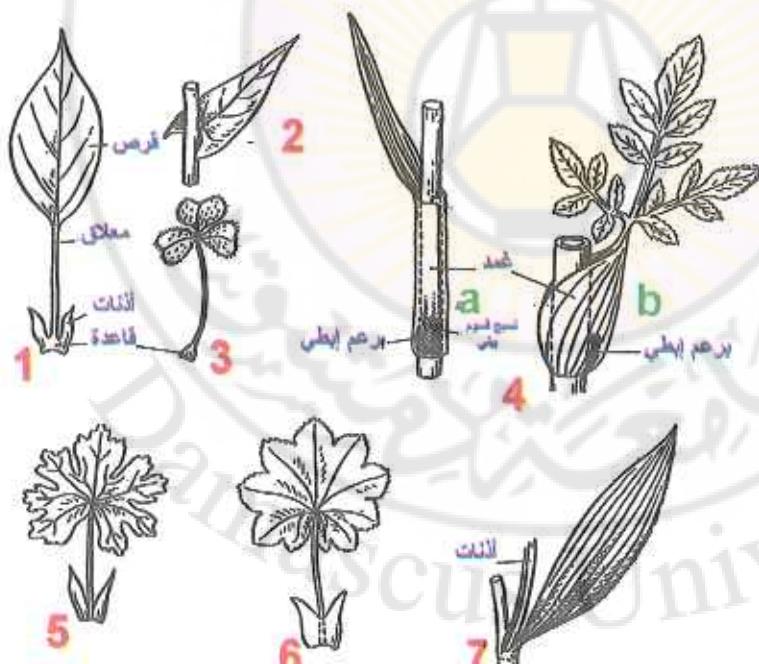


متر، وفي رافية الخيطان *Raphia taedigera* إلى ٢٠-٢٢ م طولاً و ١٢ م عرضاً.

أجزاء الورقة:

تتألف الورقة عادةً من عدة أجزاء مختلفة، يتراوح عددها من جزء واحد حتى ستة

أجزاء (شكل ٣٥-١٠) وهي :



- اللسينة Ligule: زائدة حرشفية صغيرة تتشكل في منطقة اتصال الغمد بقرص الورقة.
 - الحليمات Auricles: لواحق أو نتوءات ورقية عند قاعدة الورقة.
- غالباً ما تتألف الورقة من جزرين إلى ثلاثة أجزاء، ونادراً ما تتألف من القرص فقط فتسمى حينئذ الورقة الباطلة. تمثل الحالات الثلاث التالية، أكثر الأوراق انتشاراً في الطبيعة:
- ١: تتألف الورقة في الحالة الأولى من القرص والمعلاق، وقد تضاف إليها الأذنان أحياناً، كما في كثير من نباتات الفصيلة الفولية Fabaceae والوردية Rosaceae.
 - ٢: تتألف الورقة في الحالة الثانية من القرص والمعلاق والغمد، كما في الفصيلة الكرفسية Apiaceae.
 - ٣: وأخيراً، قد تتألف الورقة من القرص والغمد واللسينة، كما في النجيليات. وهكذا يمثل القرص والمعلاق الجزرين الرئيسيين في الورقة.
- تنتشر الأذنان غالباً، في النباتات الشجرية من مغلقات البذور، فتوجد في نحو ٤٠٪ من النباتات الشجرية وفي ٢٠٪ من النباتات العشبية ثنائية الفلقة، ومن الجدير بالذكر عدم تشكل الأذنان إطلاقاً في معظم الصليبيات.
- تصنف الأذنان عادةً، في مجموعتين أساسيتين:
- ١: مجموعة الأذنان العرة، كما في الكرمة الخيرية *Vitis vinifera* وفي الشجيري التسلين

الحياة. وهذا ما يكسب النبات منظراً فريداً من الجمال الطبيعي. ففي كل لحظة من حياة أي نبات، تشاهد أوراق غير متساوية. يغدو هذا التباين في شكل الأوراق أكثر وضوحاً، إذا تعد الأوراق من أكثر أجزاء النبات تغيراً، سواء في الشكل والحجم، أو في اللون ودة الحياة. وهذا ما يكسب النبات منظراً فريداً من الجمال الطبيعي. ففي كل لحظة من حياة أي نبات، تشاهد أوراق غير متساوية. يغدو هذا التباين في شكل الأوراق أكثر وضوحاً، إذا ما راقبنا النبات خلال حياته بكاملها.

يحمل النبات الواحد، في كثير من الأحيان ثلاثة أشكال مختلفة من الأوراق: سفلية ومتوسطة وعلوية.

١: **الأوراق السفلية:** أوراق غير متساوية في درجة تطورها وفي مستوى تحورها، بسبب وظائفها الفيزيولوجية الخاصة: كحماية الماء العصري من العوامل الخارجية، أو ادخال المواد الغذائية. وهي أقدم الأوراق في النبات، إذ أنها تمايزت منذ المراحل الأولى لتطوره. فتنتمي الأوراق القبلية، والحرشف البرعمية، وحرشف الجنذامير والقرواع الهوائية، إلى مجموعة الأوراق السفلية في النبات.

٢: **الأوراق المتوسطة:** هي الأوراق العادمة التي تميز نوعاً تباعياً عن نوع آخر، وهي التي تعنى بها عندما يجري الحديث عن أوراق نبات محدد بصورة عامة. وتشكل الكتلة الأساسية

وذلك لاختلاف عمرها أو لتأثير عوامل الوسط الخارجي عليها. فيلاحظ مثلاً في نبات اللبلاب *Hedera helix*، اختلاف كبير في بنية الأوراق الفتية والناضجة، أو في بنية أوراق القوارع الأفقية والعمودية. ويصبح هذا الاختلاف أكثر وضوحاً في النباتات المائية: كالحوذان المائي *Sagittaria* وـ *Limnophylla heterophylla* والـ *Ranunculus aquaticus* وسهمي الورق *sagittifolia* وفي جنس *Cabomba* وغيرها. فيلاحظ عادةً في النباتات السابقة، ثلاثة أشكال مختلفة من الأوراق المتوسطة: أوراق غاطسة في الماء، وأوراق طافية على سطح الماء، وأوراق هوائية (شكل ٣٦-١٠).



مشكلة تصنيفية حقيقة، إذ لا يوجد تصنيف واحد يحيط بجميع الأوراق المتباينة في الطبيعة، ولذلك فقد ظهرت عدة طرائق تصنيفية مختلفة، لكل منها أساسها الخاصة. تعد جميع التصنيفات السابقة اصطناعية، طالما لا تملك تصوراً عاماً واحداً لتطور بنية الورقة. من الجدير بالذكر، عدم وجود تصنيف تطوري (طبيعي) كامل للأوراق حتى الآن، بالرغم من إمكان تمييز مجموعتين كبيرتين منها، تتمتعان بقيمة تطورية نسبياً: تضم المجموعة الأولى، أوراقاً بدالية بسيطة البنية، كما في رتبة أرجل الثدي *Lycopodiales* والمخروطيات *Coniferae*، ذات الأصلاح البسيطة وتشمل المجموعة الثانية أوراقاً متنوعة مركبة، معقدة البنية. استناداً لما تقدم تصنف الأوراق في زمرةتين: بسيطة ومركبة.

الأوراق البسيطة Simple leaves

يتالف قرصها من قطعة واحدة، وتعد من الناحية التطورية، أكثر أشكال الأوراق بدائية. فالنباتات الأولى من عربانات البذور، كانت تحمل أزهاراً بدالية وأوراقاً بسيطة. لهذه القاعدة بعض الاستثناءات، إذ تتميز بعض الأنواع البدائية من الفصيلة البروتية *Proteaceae* المدارية، بأوراق مركبة.

يتجزأ قرص الورقة البسيطة في بعض الحالات، بصورة عميقـة، إنما دون الوصول إلى الضلع الرئيسي. تسمى الورقة حينئذ المفصصة *Lobed* كما في جنس الأرطماسيا *Artemisia*.

وبيضوي في الـ *Dorantia*، ومتناول في الزيتون *Olea* وريشي في الكالايپتوس *Eucalyptus* وشريطي في الذرة *Zea*، ورمحي في لسان الحمل *Plantago* وايري في الصنوبر *Pinus* (شكل ٣٧-١٠).



الشكل ٣٧-١٠. أهم أشكال الورقة البسيطة

٢: واستناداً إلى شكل قاعدة القرص: يميزون بين قاعدة قلبية في المشمش *Prunus*، مستديرة في الخبازى، وسهمية في جنس السلق والسمسمى *Sagittaria armeniaca*، ورمحية، وكلوية في البوهينية *Bauhinia variegata* (شكل ٣٨-١٠)



ستدة

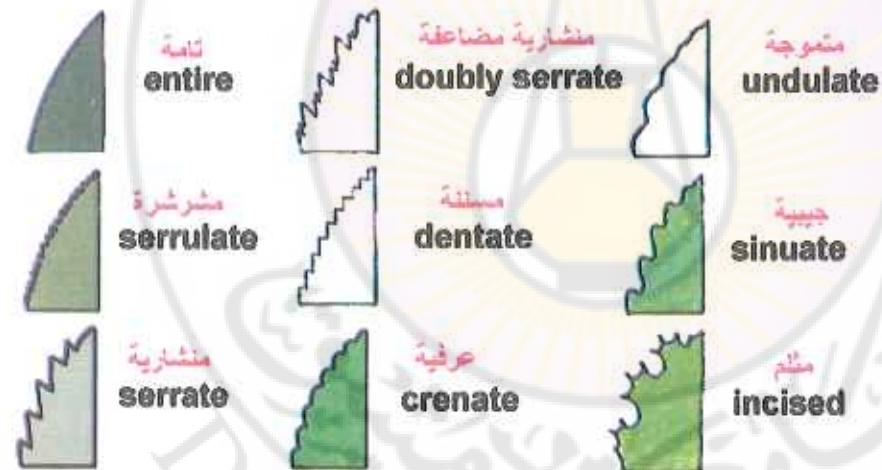
acuminate



ملطة

oblique

٣: ويميزون استناداً إلى حافة القرص: بين التامة في الزيتون والبصل، والمسننة في جنس القراض *Urtica*، والمنشارية في الورد *Rosa*، والمقروضة في التوت *Morus*، والمتوجة في السنديان *Quercus*، والشوكيّة في البربريس *Berberis* (شكل ٣٩-١٠).



الشكل ٣٩-١٠. أهم أشكال حافة الورقة

٤: وأخيراً تصنف الأوراق البسيطة حسب قمة قرصها إلى: كليلة أو مدببة في جنس الـ *Ficus*، ومستديرة في الدلبرجية *Dalbergia* ومستدقة مذنبة في نين المعابد *Dorantia*

- بـ- الأوراق مفصصة القرص: ويعيّزون فيها:
- ١: سطحية التفصص: وفيها لا يتجاوز عمق انقسام القرص ربع عرضه، كما في جنس السنديان والقطن *Gossypium*.
 - ٢: عميقـة التفصص: وفيها يكون الانقسام عميقاً، وقد يصل إلى ثلثي عرض القرص، كما في جنس الخشخاش *Papaver* (شكل ٤١-١٠).
 - ٣: مجرأة: ويصل الانقسام فيها إلى الشلح الرئيسي للورقة. وتعيّز عن الورقة المركبة بأن كل جزء من أجزائـها لا يشتمـل معلـقـاـ، كما في الحوذان القيقبـي *Ranunculus acer*. من المفيد الإشارة إلى أن الأوراق المفصصة السابقة قد تكون كفـية أو ريشـية التـضـليـعـ.



قاعدتها، بينما يندر أن تسقط الورنيقات بصورة منفصلة. تميز الأوراق المركبة بعض الفصائل النباتية، كالغولية مثلاً. وتنشر بصورة عامة، في الأشجار والجنبات وفي بعض الأنواع العشبية كما في جنس إكليل الملك *Melilotus* وجنس *القصصاء Medicago* وغيرها. وقد لوحظ في بعض النباتات العشبية أشكال انتقالية للورقة بين المركبة والبساطة. يرتبط تحول الورقة المركبة إلى ورقة بسيطة بضمور معاليق الورنيقات، واحتزازها. تفقد عملية تساقط الأوراق أهميتها الحيوية عند النباتات المشببة، بسبب موت الفارع بكامله دفعة واحدة تقريباً.

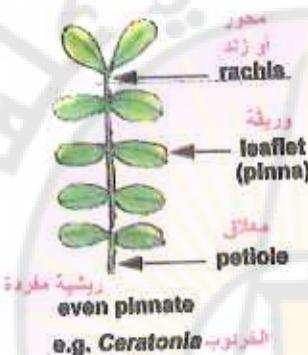
تقسام الأوراق المركبة، حسب طريقة توضع الورنيقات على المعلاق الورقي، إلى زمرةتين: مركبة ريشية ومركبة كافية أو راحية (شكل ٤٢-١٠).

آ- الأوراق المركبة الريشية: وفيها يحمل المعلاق الورقي *Rachis* الذي يمثل الضلع الرئيسي في الورقة البسيطة، الورنيقات على جانبيه، حيث تتنظم في أزواج متقابلة. تصنف هذه الأوراق في الفئات التالية:

- ١: أوراق مركبة ريشية مفردة: وفيها ينتهي المعلاق الورقي بورنيقة واحدة فقط، كما في جنس الورد *Rosa*.
- ٢: أوراق مركبة ريشية مزدوجة: وفيها ينتهي المعلاق الورقي بورقتين متقابلتين كما في جنس



ثلاثية الورقات



ريشية ملساء

even pinnate
e.g. *Ceratonia*

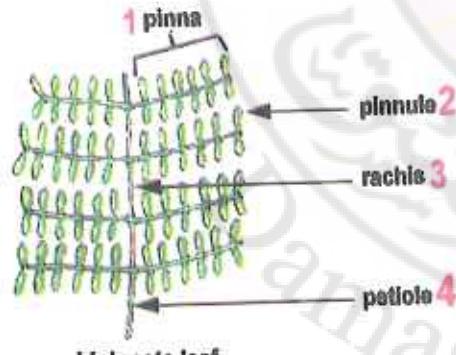
الثدييات



ريشية مترددة

الروبيات
e.g. *Robinia*

الشكل ٤٢-١: الورقة المركبة الريشية



bipinnate leaf

e.g. *Albizia*, *Acacia* & *Jacaranda*



تضليع الأوراق Venation

تنتشر في قرص الورقة صادمة، وبطائق مختلفة، جملة من الحزم الناقلة الوعائية اللاحائية، تعرف باسم الأضلاع. تحدد هذه الحزم مع مثيلتها في الساق والجذر، مشكلة جملة ناقلة متكاملة. تكسب الأضلاع قرص الورقة قوة ومتانة كبيرتين، وتحميها من التمزق بفعل الرياح والعواصف. من أكثر أشكال التضليع انتشاراً: البسيط، الثنائي Dichotomy الشبكي، القوسى المتوازي (شكل ٤٤-١٠).

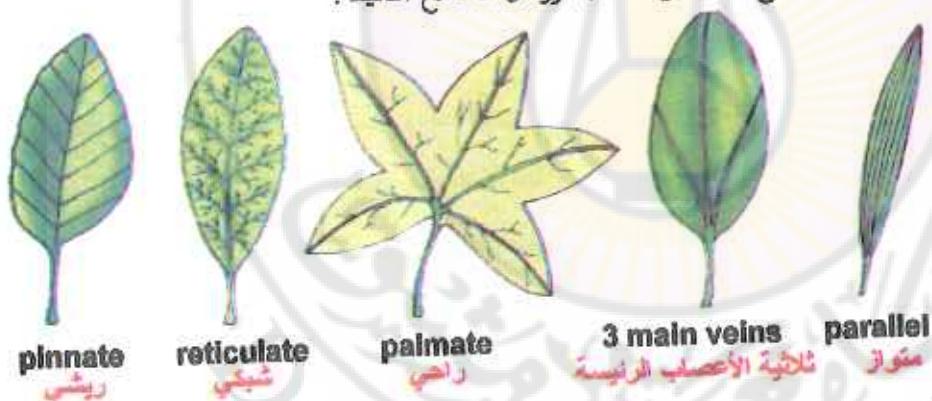
١: التضليع البسيط: يتميز بوجود صلع واحد فقط (أي حزمة ناقلة واحدة)، يخترق قرص الورقة من قاعدتها حتى قمتها. يصادف هذا النمط عند النباتات البوفية الرافية، كالطحالب وأرجل الذئب، وفي كثير من عريانات البذور، كالصنوبريات. ويلاحظ عند مخلفات البذور، كما في الإيلوديا الكندية *Elodea canadensis*.

٢: التضليع الثنائي: وفق هذا النمط من التضليع، يخترق قرص الورقة أضلاع متفرعة ثانية. يلاحظ هذا الشكل في بعض النباتات البذرية كما في الجنكو ثنائي اللص *Ginkgo biloba*.

٣: التضليع الشبكي: ينتشر هذا النموذج بصورة واسعة في النباتات ثنائية الفلقة، وله شكلان رئيسيان: ريشي وكافي.

قام الفيلسوف، Dr. الشكل، رئيس، في منتصف الورقة وعلى استقامة معلقاها.

٤: التضليل القوسي والمتوازي: ينتشران بصورة عامة، في النباتات وحيدة الفلقة. وفيها يجتاز قرص الورقة من القاعدة حتى القمة عدة أضلاع متشابهة وغير متفرعة. قد تكون أحياناً متوازية تماماً كما في النجيليات وجنس الكارك *Carex* وقد تكون في حالات أخرى مقوسة قليلاً أو كثيراً في منتصف الورقة، كما في جنس سوسن الوادي *Convallis*. ترتبط الأضلاع السابقة بعضها مع بعض بواسطة جسور من الأضلاع الدقيقة.



الشكل ٤-١٠. أشكال التضليل في الورقة

ينتشر مهنيات علم الشكل المقارن، حول دراسة بنية الأوراق المختلفة من جهة أولى، ودراسة تطور بنية الورقة الواحدة من جهة ثانية، أمكن الوصول إلى النتائج الهامة التالية:

المغلوية والوردية والخازية وغيرها).

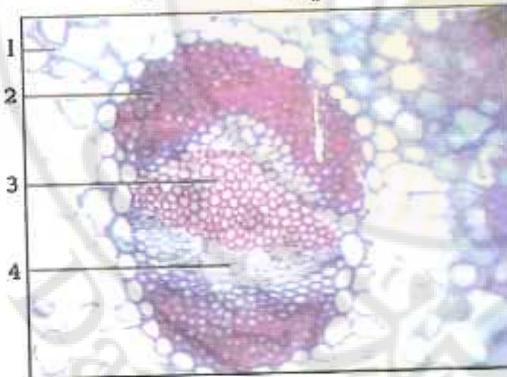
البنية المجهرية للورقة

تطابق البنية المجهرية للورقة الوظائف المختلفة التي تقوم بها بصورة تامة. تختلف وظيفة السطح السفلي لقرص الورقة عن سطحه العلوي. فبينما يقوم السطح السفلي للورقة بوظيفتي النتح والتنفس بصورة أساسية، يؤدي السطح العلوي وظيفة الاصطناع الضوئي بصورة رئيسية. ولهذا السبب تملك معظم الأوراق تناهراً جانبياً واضحأً بالعين المجردة. ويبعد هذا التناهار الجانبي أكثر وضوحاً، عند دراسة المقطع العرضي لقرص الورقة تحت المجهر. فيتألف قرص الورقة من البشرة العليا والسفلى، والتسييج المتوسط (البرنشيم الحباكي والفراغي) والحزام الناقلة الوعائية اللاحائية (شكل ٤٥-١٠).



المؤدية، ومن الأحياء الدقيقة المتطللة. تتعزز الوظيفة الدافعية للبشرة، بترسب طبقة من القشرين على سطح جدارها الخارجي. وقد يحمل السطح الخارجي للبشرة أحياناً طبقة كثيفة من الأوبار.

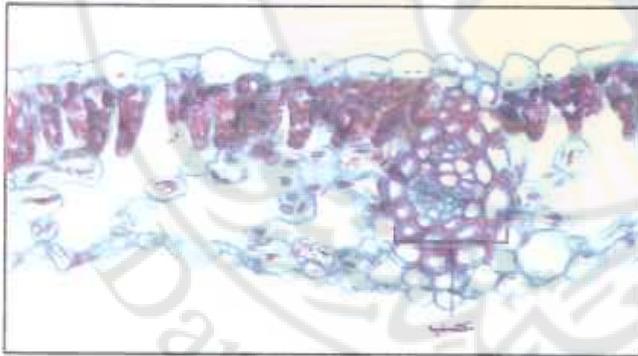
تنتشر الحزم الناقلة في النسيج المتوسط لقرص الورقة، على شكل شبكة كثيفة من الأضلاع. وهي حزم مغلقة متطابقة جانبياً، يتوجه الخشب فيها نحو السطح العلوي للورقة، بينما يتمايز اللحاء باتجاه سطحها السفلي (شكل ٤٦-١٠).



الشكل ٤٦-١٠. مقطع عرضي في ورقة البوغاء في منطقة النصب الرئيسي:
١: برنشيم، ٢: إسكليرتشيم يشكل خدماً حول الحزمة، ٣: خشب، ٤: لحاء

تنحصر وظيفة الأضلاع (الحزم الناقلة) في تموين خلايا الورقة بالماء والأملاح المنحلة

الخارجية بالإضافة، والتموين بالماء وغيرها. ويبعد هذا الاختلاف في البنية، وأيضاً أيضاً، ضمن إطار المجموعة النباتية الواحدة. فتتميز الأوراق في الميليوم المزهر *Milium effusum* من الفصيلة الكلئية Poaceae بقرص عريض، بينما تملك الأوراق التي تنمو في بيئة شديدة الإضاءة، كما في النيردي الأشعث *Nardus stricta* أو في جنس القدمي *Stipa* من الفصيلة الكلئية أيضاً، أقراصاً ورقية ضيقة وأنبوبية (إذ تلتقي على شكل الأنابيب). يملك الضوء إذن، أهمية كبيرة وخاصة في طريقة تمييز البنية المجهرية لقرص الورقة (شكل ٤٧-١٠).



بشرة خلية
نسيج حيادي يخضوري
نسيج مترسط قرطي
بشرة مقلورة

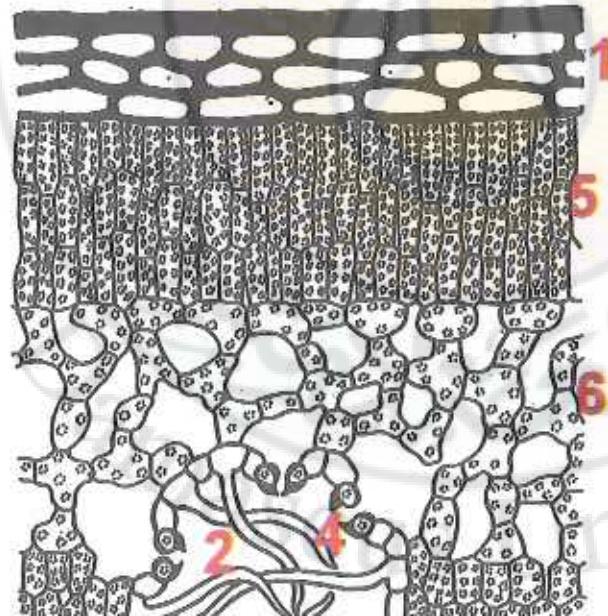


بشرة خلية

وآخر فراغي. أما في الإضاءة الشمسية المجانسة (في حالة تساوي الإضاءة على سطحي الورقة) كما في جنس الترمس *Narcissus* والموسن *Iris* والكالبيتوس *Bucalyptus*, أي عندما يكون قرص الورقة منتصباً أو متديلاً، فتملك الورقة، بنية متجانسة من الجانبيين. وهكذا يتضح، وجود بنية مجهرية عامة واحدة لجميع الأوراق، وتتألف من: البشرة العليا والسفلى والنسيج المتوسط، والحزم الناقلة. من الممكن أيضاً، ملاحظة بنيات منحرفة بشدة عن هذا المخطط العام، كما في أوراق جنس القدمي *Stipa* وأوراق بعض النجيليات (جنس الفستوكة *Festuca* وجنس شعير الكثبان *Elymus* وغيرها). يرتبط الانحراف في هذه الحالة، بتكييف الورقة مع تقليل عملية النتح في الأرضي الماحلة أو في السهول الجافة. فيلت قرص الورقة في جنس القدمي *Stipa* حول نفسه، ليأخذ شكل أنبوب مغلق، بغية تقليل عملية النتح إلى أقصى حد ممكن. يتوج السطح العلوي من الورقة بشدة، ويقع إلى الجهة الداخلية من الأنابيب. تتوزع السماء على هذا السطح وفي باطن الأحاديد التي تفصل الأعراف بعضها عن بعض. بينما يكون السطح السفلي (الخارجي) لهذه الورقة ألسَن ومحروماً من السماء. كما تتصف خلايا البشرة السفلية بسماكه جدرانها، وتتلمع بتغليظ ملحوظ (شكل ٤٨-١٠).



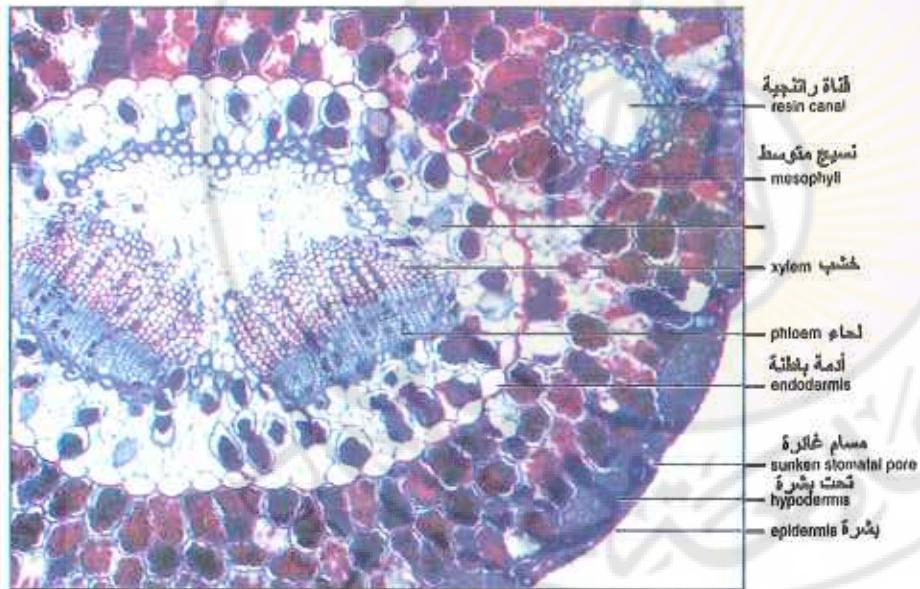
أما ورقة الدفلة *Nerium oleander*، فيتضمن سطحها السفلي تجاويف خاصة تدعى Crypts، تقع المسام في باطنها. تشكل خلايا الطبقة الوحيدة للبشرة والمبطنة لهذه التجاويف، أوباراً طويلة، تعمل على إغلاق فتحة التجاويف لتقليل عملية النتح. وبالمقابل، تكون البشرة في مناطق الأعراف، التي تفصل التجاويف السابقة بعضها عن بعض، من عدة طبقات خلوية، تترسب على سطحها الخارجي طبقة سميكة من القشرين (شكل ٤٩-٥٠).



آ: وجود طبقة من الخلايا تحت البشرة Hypoderma تقوم بوظيفة ادخار الماء.

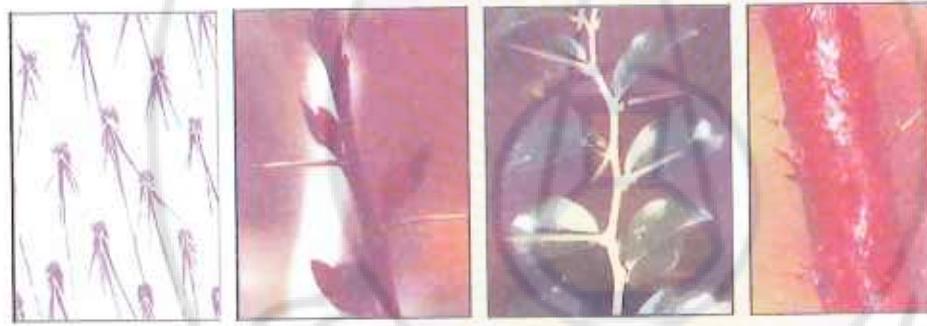
ب: وجود البرنشيم اليخضوري، المؤلف من خلايا مفصصة.

ج: وجود طبقة الأدمة الباطنية.



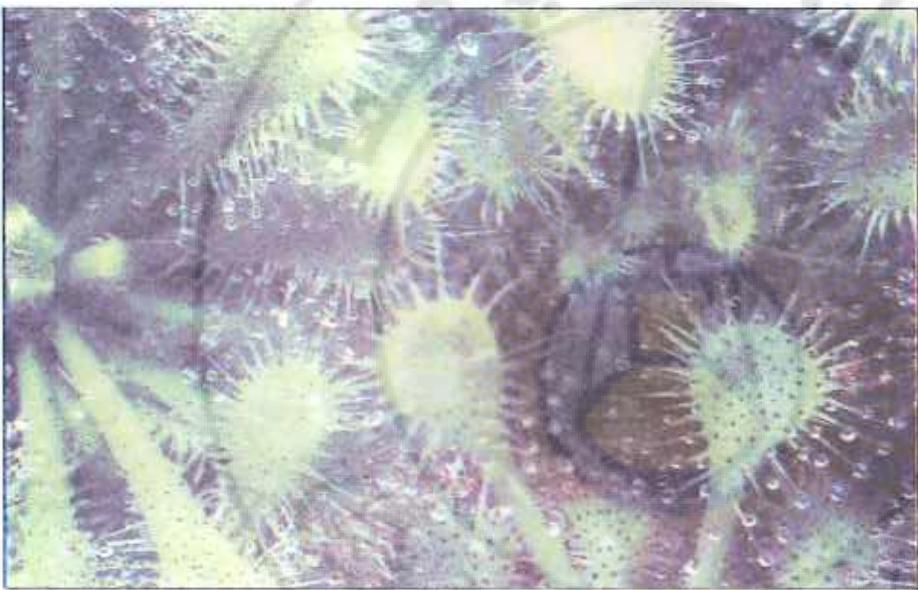
الشكل ١٠-٥. مقطع عرضي لورقة السنوبر الحرجي

. وقد تشقق أيضاً من بعض أجزاء قرص الورقة، كما في جنس الشوك *pseudoacacia* وغيرها من نباتات الفصيلة المركبة *Compositae*. وفي هذه الحالة تتحول نهاية الأضلاع في قرص الورقة إلى أشواك.



الشكل ١-١٠. أمثلة عن الأعضاء المتشابهة – أشواك متباينة الأصل
a: أشواك على ساق توت السياج أصلها خلايا البشرة.
b: أشواك على الساق أصلها فارع
c و d: أشواك أصلها أوراق متوردة (في البربريس c، والصبار d).

٢: الأجهزة القاتمة: تعد من أشكال الأوراق المتحورة، وتتميز النباتات آكلة الحشرات كما في جنس الندية *Drosera* وجنس السلوي *Nepenthes* وخناق الذباب *Dionaea muscipula* وغيرها. تأخذ الأوراق في كل من جنسي الندية *Drosera* والسلوي *Nepenthes* أشكالاً مختلفة تفيد في صيد الحشرات فإذا ما دققت، حيث، مفيدة في طبخ هذه الأجهزة ترقى إلى



A



Pisum sativum. وقد تتحول الأذنات إلى محالق كما في جنس السميلاك *Smilax*. وأخيراً، قد يتتحول معلاق الورقة إلى معلاق كما في جنس الكبوبسين *Tropaeolum*.



الشكل ١٠-٥٣. الأوراق اللحمية لدى جنس الصبر *Aloe ferox*

الأعضاء المشابهة والمتجلسة

تنتشر التحورات أو التغيرات الشكلية بصورة واسعة، سواء في عالم النبات أو الحيوان، والتحور ظاهرة مميزة للعادة الحية في جميع مستويات تطورها، تصبب الأعضاء الإعashية أو التكاثرية على السواء. تتميز التحورات عن الانحراف العرضي، بأنها تراكيب خاصة غير قابلة للعكس. تلاحظ أكثر أشكال التحور تطوراً وانتشاراً في النباتات مقلقة البذور، بسبب الاختلاف الشديد في العوامل المناخية وفي شروط الوسط الأخرى. استناداً إلى ما تقدم، يمكن النظر إلى التحورات، كتعبير حقيقي عن مرحلة العضويات، خلال عملية تكيفها مع شروط الوسط والتغيير باستقرار.

تصنف التحورات عادةً، في أربع مجموعات: تحورات الجذر والسان والورقة والقانع، ولكن من الضروري الإشارة إلى عدم وجود حدود فاصلة قوية بين تحورات الأعضاء المعاينة. ولهذا السبب، يمكن تصنيف جميع الأعضاء المتحورة في زمرةتين مختلفتين من حيث المبدأ: الأعضاء المشابهة والأعضاء المتجلسة. تتميز الأعضاء المتحورة المشابهة (شكل ١٠-١٥) ببنية مشابهة مورفولوجياً ووظائف متماثلة فيزيولوجياً، إلا أنها لا تملك أصلًا واحدًا، إذ ليس بينها قرابة محددة. الأمثلة على الأعضاء المشابهة متعددة، منها: أشواك البرسيس - ورقية الأصل، وأشواك جنس الزعرور *Crataegus* - قارعية الأصل، وأشواك روبينيا الأكاسيا

فتلاً لكل من شوكه البربريس وشوكة الصبار، الأصل المشترك نفسه (الورقة). كما تملك شوكة جنس الورد *Rosa* وشوكة العليق *Rubus* أصلاً واحداً (البشرة). وكذلك، يتمتع الجدر اللحمي لكل من الشمندر العادي *Beta vulgaris* والجزر البري *Daucus carota* بالأصل نفسه، إذ تنمو، بصورة أساسية، بدءاً من المحور تحت الفلقي، ومن الفارع التصimir (الرأس) ومن الجذر نفسه.

ولكن أحياناً، لا تتمتع الأعضاء التجانسة ببنية متشابهة مورفولوجياً. فالفرق كبير بين بصلة البصل *Allium cepa* ودرنة البطاطا *Solanum tuberosum* اللتين لهما الأصل نفسه - الفارع. أضف إلى ما تقدم، قيام هذين العضوين المتحورين بوظائف متماثلة تنحصر في قدرتها على النكاثر الإاعاشي وإدخار المواد الغذائية. تعد جميع الأعضاء التالية: الجذمور في جنس الـ *Agropyron* والشوكة في نبات البونسير ثلاثي الورق *Polygonum trifoliatum* ، وال محلق في جنس الفريز *Fragaria*، والدرنة في البطاطا، من الأعضاء، المتحورة التجانسة، إذ تملك جميعاً أصلاً عاماً واحداً - الفارع.



المراجع الأجنبية

1. Abderrazak M.: Dictionnaire de Botanique. Masson, Paris. 2000.
2. Curtis H. & Sue Barnes N. : Invitation to Biology 3th ed. Worth Publishers, INC. 1981
3. Danolova M.: Atlas of Plant Tissue Ultrastructure "Karelia" Petrozavodsk, 1980.
4. Essau K. Anatomy of Seed Plants Vol. 1 & 2. Edition New York "Santa Barbara" 1977.
5. Frank G.M.: Molecules and Cells. 1, 2, 3, 4, 5 "Mir" Moscow 1970.
6. Gorenflo, R: Biologie Végétale "Plantes Supérieures" Tome 1 & 2. Masson, 1985.
7. Judd W., Campbell C., Kellogg E. and Stevens P.: Plant Systematics "A Phylogenetic approach" Sinauer Associates, Inc. Publishers U.S.A 1999.
8. Kent M.: A Photography Atlas for the Botany Laboratory. Third Edition. Morton. 1998.
9. Karp, G.: Cell and Molecular Biology "Concepts and experiments" 3ed. Wiley 2002.
10. Kingsley R. Stern & Shelley J.: Introductory Plant Biology. Mc Graw Hill. 2003.
11. Roland, J. C.: Atlas de Biologie Cellulaire, Masson, Paris. 1974
12. Swanson C., Webster P.: The Cell, 4th ed. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
13. Tourte M.: Biologie Cellulaire. 2 ed. Dunod Paris 2003.
14. Vacielev A. E. : The Ultrastructure of Plant Cells. Academy of Sciences, Karelian Branch Forest Research Institute. 1972

المراجع الروسية

19. Варыкина Р.П. и др. Практикум по анатомии растений. Москва, "Высшая школа", 1979.
20. Елукет Н., Соколова Н., Косякина Т. Практикум по ботанике. Москва, "Колос", 1980.
21. Боген Г. Современная биология. Москва, "Мир", 1970.
22. Васильев А., Воронин Н. Ботаника, анатомия и морфология растений. Москва, "Просвещение", 1978.
23. Вехов В., Дотова Л., Филин В. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. Москва, изд-во МГУ, 1980.
24. Генкель П.А. Физиология растений. Москва, "Просвещение", 1970.
25. Генкель П.А. Физиология растений. Москва, "Просвещение", 1975.
26. Елисеев В.Г. и другие. Атлас микроскопического

30. Комарницкий Н., Кудряшов Л. Ботаника "Систематика растений". "Просвещение", Москва, 1975.
31. Кудряшов Л., Родионова Г. Ботаника с основами экологии. "Просвещение", Москва, 1979.
32. Лебедев С. Физиология растений. "Колос", Москва, 1982.
33. Либберт Э. Физиология растений. Перевод с немецкого языка. "Мир", Москва, 1976.
34. Момот Т. С. Дифференциация растений сосны пищундской *Pinus pinhyus* stev. в культуре. "Цитология и генетика", т. 15, № 6, Киев, 1981.
35. Паламарчук И., Веселова Т. Изучение растительной клетки. "Просвещение", Москва, 1969.
36. Паушева З. Практикум по цитологии растений. "Колос", Москва, 1974.
37. Паушева З. Практикум по цитологии растений. "Колос", Москва, 1980.
38. Подвалкова И. А. Лекции по биохимии.

41. Саббах А.А. Влияние различных катионов на рост отрезков колеоптилей кукурузы, индуцированный метиловым эфиром ИУК. В сборнике "Получение и применение регуляторов роста. Вып. I, стр. 40-46, 1980.
42. Саббах А.А. Изучение влияния марганца и никелилуксусной кислоты на рост и дыхание отрезков колеоптилей кукурузы. Вестник Ленинградского университета №9, стр. 110-112, 1980.
43. Сергеева П.В. Биологические мембрани. "Медicina", 1973.
44. Тахтаджян А.А. и др. Жизнь растений. т. I, 2, 3, 4, 5, "Просвещение", Москва, 1981.
45. Тутаев В.Х. Анатомия и морфология растений. "Высшая школа", Москва, 1972.
46. Хржановский В.Г. Курс общей ботаники. ч. I, 2,

50. Хржановский В.Г., Пономаренко С. Ботаника.
"Колос", Москва, 1982.
51. Цупак В., Синякова Л., Степанова Т.Практикум
по основам агрономии с ботаникой. "Колос",
Ленинград, 1973.
52. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений.
"Наука", Ленинград, 1974.
53. Якушкина Н.И. Физиология растений."Просвеще-
ние", Москва, 1980.

المراجع العربية

- ٤٤- أبو خرمة دياب: *الفيزيولوجيا النباتية*. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨١.
- ٤٥- أبو خرمة دياب ورفاقه: *علم البيولوجيا*. الجزء الأول والثاني. المركز العربي للترجمة والتلخيص والتتأليف والنشر ١٩٩٧.
- ٤٦- الشهابي مصطفى: *معجم الشهابي في مصطلحات العلوم الزراعية*. إعداد أحمد شفيق الخطيب، مكتبة لبنان ١٩٧٨.
- ٤٧- يركودة يوسف، عمودات محمد: *نباتات سورية "البيئة والفطاء النباتي والأنواع الشائعة"*. مجلة علوم الحياة، مطبعة المدينة ١٩٧٩.
- ٤٨- بقدادي وفاء: *تصنيف الفطريات*. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨٢.
- ٤٩- بدر جابر، صلوح آدم: *علم الوراثة*. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة ١٩٩٢.
- ٥٠- حداد مصطفى: *المورفولوجيا النباتية*. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨٢.
- ٥١- خطيب محمد أنور: *الفصائل النباتية*. منشورات جامعة دمشق ١٩٨٧.
- ٥٢- شرابي نجم الدين، هايل منير: *الأحياء الدقيقة*. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة ١٩٨٠.
- ٥٣- الصباغ عبد العزيز: *موسوعة النباتات العام*. الديوان الوطني للمطبوعات الجزائرية

فهرس المصطلحات العلمية

Index

الكتابي	فرنسي	عربى ورقم الصفحة
A		
Absorbing parenchyma	Parenchyme absorbeur	برنشيم امتصاص ١٧٤ ، ١٥٧
Adventitious buds	Bourgeons adventives	براعم عارضة ٢٤٥
Adventitious root	Racines adventives	جذور عارضة ٢١٢ ، ٢١٧ ، ٢١٨ ، ٣٠٧ ، ٣٥٩ ، ٣٥٥ ، ٣٣٩ ، ٣٢٠
Aerenchyma	Parenchyme aéritière	برنشيم هوالي ١٧٥ ، ١٥٧
Agronomy	Agronomic	علم الزراعة ٢٠
Alkaloids	Alcaloïdes	القلويادات ١٣٩
Amiloplasts	Amiloplasts	صانعات النشاء ١٠٨
Amylose	Amylose	أميلاز ١٣٥
Analogous organs	Organes Analogues	أعضاء متشابهة ٣١٠ ، ٣٠٧
Anaphase	Anaphase	الطور الأول ٧١
Anatomy	Anatomic	علم التشريح ١٨
Antibiotics	Antibiotiques	صلوات ١٣٢
Anticlinal	Anticlinial	شعاعي ١٦٨
Apical meristem	Méristème apical	نسيج قسم قمي ١٥٨

الكلوزي	فرنسي	عربي رقم الصفحة
Botany	Botanique	علم النبات ٢٠
Buds	Bourgeons	براعم ٢٤٥
Bulbs	Bulbes	bulbul ٢٦١
Bundle	Faisceau	حزمة ١٩٣
C		
Callose	Callase	سكر الكلوز ١٩٠
Callus	Cal	أسطوانة سكرية ١٩١
Calyptrogen	Calyptrogène	مولد القلسوسة ٢٢١
Calyptrodermatogen	Calyptrodermatogène	مولد القنسوة والبشرة ٢٢١
Cambium	Cambium	كليبيوم (الثاب) ١٥٩
Cap	Coiffe	قلنسوة ٢٢١
Cell Wall	Paroi de la cellule	جدار الخلية ١٤٢
Chlorenchyma	Chlorenchyme	برنتسيم يخضوري ١٥٧، ١٧٢
Chlorophyll	Chlorophyle	يغضوري ١٤
Chloroplasts	Chloroplastes	صلعات خضراء ١٤، ٩٨، ١٠، ٩٨، ١٤
		١٠٨
Chromatid	Chromatide	صليفي (كروماتيد) ١٢
Chromatin	Chromatine	الクロマチン (المادة الصبغية) ٥٨
Chromatophore	Chromatophore	نَوْقِنَةٌ ١٤٦

إنكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Cork	Liège	ثلليل ١٥٧، ١٦٢، ١٦٨
Cork cambium	Cambium liège	كامبیوم ثلیلی ١٥٩
Corm	Corme	كورمة ٢٢٠، ٢٢١
Cortex	Cortex (Ecorce)	قشرة ٢٢٥، ٢٧٤
Cutin	Cutine	قطيرین ١٤٩، ١٦٧، ١٦٣
Cuticle	Cuticule	قطیرة ١٥٠، ١٦٣، ١٦٧، ١٩١
Cutinization	Cutinisation	تقشّر ١٤٩
Cytokinesis	Cytokinese	القسام السيتو بلاسمی ٧٣
Cytology	Cytologie	علم الخلية ٢٤
Cytoskeleton	Cytosquelette	الهيكل السيتو بلاسمی ١١٨
Cytosol	Cytosol	المصار، الخلوية ٤١، ٩١، ١٢٣

D

Dedifferentiation	Dédifférentiation	تملوز رجعي ١٥٦
Denaturation	Dénaturation	تشوه ١٩٠
Dermatogen	Dermatogène	مولود للبشرة ١٥٧، ١٦٢، ١٦٦
Detoxification	Détoxification	نزع السمية ٨٢
Differentiation	Différentiation	تملوز ٨٧، ١٥٣
Dictyosomes	Dictyosomes	ديكتيوزومات ٨٣
Diploid	Diploïde	

الكلامي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Epiblema	endoplasmique	أندمة ٢٢١، ١٦٢، ١٥٧
Epidermis	Epiblème	بشرة ١٦٢، ١٥٧
Epiphyte	Epiderme	نبات فوقى ١٦١
Euchromatin	Euchromatin	كروماتين حقيقي ٥٩
Eukaryotic	Eucaryotique	ملايات النوى ٢٤
Exocytosis	Exocytosis	الانفاظ ٨٧
Exoderma	Exoderme	أندمة خارجية ٢٢٧
Exons	Exons	اكزونات ١١٤
Exogenous	Exogène	خارجي المنشأ ٢٤٧، ٢٢٥
F		
Family	Famille	فصيلة ١٩
Fascicular cambium	Cambium fasciculaire	كامبیوم حزمی ١٥٩
Fibrous root system	System racine fibreuse	مجموع جذريليبي ٢٢٠
Florography	Florographie	نقطيط النبات ١٩
Fragmoplast	Fragmoplast	فراغمoplast ٧٣، ٧٥، ١١٩
G		
Gel	Gel	هلامنة ٧٧
Gene	Gene	مورثة ١٢٤

الكلبزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Grana	Granule	حببات ١٠١
Ground meristem	Méristème de base	نسوج قبور لمباشي ١٥٩
Guttation	Guttation	ليماع ٢٠٧، ١٥٧
H		
Haploid	Haploïde	وحيد الصبغة الصبغية
Haustoria	Surçoirs	مصاصات ٢٢٦، ٢١٩
Heterochromatin	Hétérochromatine	كروماتين متغير ٥٩
Heterophyllly	Hétérophylle	تعدد الشكل للورقى ٢٩٠
Heterotrophic plants	Plantes hétérotrophe	نباتات غير ذاتية التغذية ١٦
Histology	Histologie	علم النسج ١٥٨، ١٨
Histones	Histones	هستونات ٦٢
Hilum	Hile	سرة ١٣٥
Homologous organs	Organes homologues	أعضاء متجلسة ٣١٠
Hydrathodes	Hydrathodes	مسلم مائية ٢٠٦، ١٥٧
Hypocotyl	Hypocotyl	محور تحت ظافي (سموقة) ٢٤١
Hypoderma	Hypoderme	تحت بشرة ٣٠١، ١٦٢
I		
Idioblasts	Idioblastes	خلايا مفرزة متخصصة ٢٠١
Idiogram	Idiogramme	إيديوغرام ٦٥

الإنجليزي	الفرنسي	عربي ورقم الصفحة
Lateral meristem	Méristème latérale	نسج قسم جانبي ١٥٩
Laticiferous vessels	Vaisseaux lacticifères	لين ثباتي ١٩٦
Leaf gaps	Vide entre feuilles	ثغرات ورقية ٢٢٩
Leaf	Feuilles	ورقة ٢٨٦
Leaflets	Folioles	وريفات ٢٨٦
Lenticels	Lenticelles	عدسات ١٦٩
Leucoplasts	Leucoplastes	صائمات عديمة اللون ١٠٨، ١٠٩
Lignification	Lignification	تحطيم ١٤٧
Lignin	Lignine	خشب ١٤٧
Ligule	Ligule	لمسية ٢٨٩
Lysigenous	Lysigène	الخلاجي المنشا ٢٠٧
Lysosomes	Lysosomes	الجيوبات الحالة ٨٥
M		
Matrix	Matrice	قالب ١٣٨، ٩٢
Meats	méat	لحم ١٦٥
Mechanical tissues	Tissus mécaniques	نسج مستقلية ١٧٥، ١٥٧
Meiosis	Méiose	القسام منصف ٧١
Meristematic tissues	Tissus méristémiques	نسج قسمة ١٥٨، ١٥٧
Meristematic Zone	Zone méristémique	نواة ٢٢٢، ٢٢٣

الكليري	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Microtubules	Microtubules	النيبات الدقيقة ١١٨
Mineralization	Mineralisation	تمعدن ١٤٩
Mitochondria	Mitochondrie	خنزيرية ٩٠
Mitosis	Mitose	القسام خيطي ٧١
Monopodial	Monopode	وحيد المحور (أفرع) ٢٥١
Morphology	Morphologie	علم الشكل ١٧
Mucilages	Mucilages	عصان (إذا، مخاط ليهاني) ١٥٦
Mycorrhiza	Mycorrhizes	فطور جذرية ١٧٤، ٢٢٤، ٢٣٤
N		
Nectaries	Glands nectaires	غدد رحيقية ٢٠٥
Node	Noeud	عقدة ٢٤٥
Nuclear envelope	enveloppe nucléaire	علك نبوي ٥٣
Nucleolus	Nucléole	نوية ٥٦
Nucleus	Noyau	دوار ٥١
nucleoplasm	nucleoplasm	بلاسما نوريّة ٥٢
nucleosome	nucleosome	جيسيمات صبغية ٦٢
O		
Ocrea	Ocréa	أكراء ٢٨٦

الكليري	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Perforation	Perforation	ثقب ١٨١
Periblema	Péribлема	مولد القشرة ٢٦٦
Periclinal	Périclinal	عصامي ١٦٨
Pericycle	Péricycle	محاط دائري ٢٢٩
Periderma	Péridermе	نسيج ولaci ظلوي ١٦٨
Peroxisomes	Peroxisomes	جسيمات فلقة AA
Petiole	Pétiole	معلق (اقرحة) ٢٨٨
Phellem (phellen)	Phellème	فللن ١٧٠، ١٦٨
Phellogen	Phellogène	برنشيم ظلوي ١٦٨
Phloem	Phloëmem, Liber	كامبیوم ظلوي ١٦٨ لحاء ١٥٦، ١٨٨
photorespiration	photorespiration	تنفس ضوئي ٨٩
Photosynthesis	Photosynthèse	اصطلاح ضوئي ١٤
Phototropism	Phototropisme	انجداب ضوئي ٢١٢، ١٤
Phyllotaxis	Phyllotaxie	نظم ورقي ٢٤٨
Phylogenesis	Phylogenesis	تطور سلالي ١٨
Phytogeography	Phytogeographie	الجغرافيا للنباتية ١٨
Pit	Favole	نقرة ١٨٣

الكلزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Prokaryote	procaryote	طلائعيات النوى ٩٥ ، ٣٤
Prophase	Prophase	طور طلائي (أول) ٧١
Prosenchyma	Prosenchyme	بروزنشيم (خلالياً لولية) ٢٨
Protoplasts	Protéoplastes	صلعات بروتوبلاستية ١٠٧
Protoderm	Protoderme	جلبعة البشرة ١٥٩
Protophloem	Protophloème	لحاء أول ٢٢٠ ، ١٨٨
Protoplasm	Protoplaste	بروتوبلاست ٣٩
Protoxylem	Protoxylème	خشب أول ٢٢٠
R		
Rachis	Rachis	معلق الورقة المركبة ٢٩٦
Radial bundles	Faisseaux radiaux	حزم شعاعية ١٩٥
Radicle	Radicule	جذير ٢١٦
Rhizoids	Rhizoides	جذرية ١٧٤
Rhizomes	Rhizomes	جذامير ٢٥٨
Rhytidome	Rhytidome	القف ١٦٢ ، ١٧٠ ، ٢٧٣
Ribosomes	Ribosomes	ريلوباسات ١٠٨
Root	racine	الجذر ٢١٥
Runner stems	Tiges	صوqi زاحفة ٢٥٦

الكلمة	المعنى	صفحة
Sheath	Gaine	٢٨٩ غمد (الورقة)
Shoot system	Groupe de pousses	٢٤١ الجملة النافعية
Sieve tube	Tube criblé	١٨٨ أنبوب غربالي
Sol	Solution colloïdale	٧٧ حلبة
Spherosomes	Spherosomes	٨٩ الجسيمات الكروية
Stele	Stèle	٢٢٩، ٢٢٥ الأسطوانة المركزية
Stem	Tige	٢٤٢ الساق
Stipules	Stipules	٢٨٩، ٢٨٦ أذنات
Stomata	Stomates	١٦٢ مسام
Stolon	Stolon	٢٦١ رند
Storage parenchyma	Parenchyme de réserve	١٧٤ برنشيم احتياطي
Stroma	Stroma	١٠٠ المادة
Suberification	Suberification	١٤٨ تقلن
Succulent stem	Tige succulente	٢٥٦ ساق لحوية
Sympodial	Sympodique	٢٥١ مدهم المحاور (ترع)
Systematic	Systematique	١٩ علم التصنيف
T		
Tannins	Tannins	١٤١ عنص

الكلزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Traduction	Traduction	ترجمة ١١٥
Transcription	Transcription	النسخ ١١١
Traumatic meristem	Meristem traumatique	ميرستيم الاصابات ١٦١، ١٥٧
Trichomes	Trichomes	ملحقات البشرة ١٤٩، ١٦٣، ١٦٦، ١٦٦
		٢٠٤
Tubers	Tubercles	درنات ٢٥٩
Tunica	Tunique	قبيص ٢٦٦
Ultrastructure	Ultrastructure	بنية ملائمة ٤٠
Vacuoles	Vacuoles	فجولات ١٣٨
Vascular cambium	Cambium vasculaire	كامبیوم وعاليٌ ٢٣١، ١٥٩
Vascular tissues	Tissus vasculaires	نسج نليلة ١٧٩
Venation	Venation	تضطییع الورقة ٢٩٩
Vessel	Vaisseau	وعاء ١٨٢
Xylem	Xylème	خشب ١٧٩، ١٥٦
Xylem fiber	Fiber de bois	الياف الخشب ١٧٩، ١٧٧



جدول المسميات اللاتينية وما يقابلها بالعربية

اللاتيني	عربي
<i>Abies</i>	جنس التوب
<i>Acacia</i>	جنس الأكاسيا
<i>A. alba</i>	اكاسيا بيضاء
<i>Acer</i>	جنس القيقب
<i>A. negundo</i>	قيقب نوكوندي
<i>A. tataricum</i>	قيقب تترى
<i>Aesculus hippocastanum</i>	كستاء الحصان
<i>Agave</i>	جسن الباهر - أغاف
<i>Agropyron</i>	جسن حب البر
<i>A. repens</i>	حب البر الزاحف (عصا الراعي)
<i>Ailanthus altissima</i>	ابلاطس ألتيسينا
<i>Alhagi</i>	جنس العاقول
<i>Allium</i>	جنس البصل
<i>A. cepa</i>	بصل

اللاتيني	عربي
<i>Aristolochia sipho</i>	زروالد سحاري
<i>Artemisia</i>	جنس الأرطاماسيا
<i>Asarum europaeum</i>	سارون أوربي
<i>Asparagus</i>	جنس الهليون
<i>Asteraceae</i>	الفصيلة النجمية
<i>Astragalus</i>	جنس الاستراغال
<i>Atropa belladonna</i>	طيف السيدة الجميلة
<i>Austrobaileya</i>	استروباليسي ملطخ
 	B
<i>Bauhinia variegata</i>	بوهيني فاريجاتا
<i>Begonia</i>	جنس البيغونيا
<i>Behmeria nivea</i>	بهمربي ثلجي
<i>Berberis</i>	جنس البربريس
<i>B. vulgaris</i>	بربريس عادي
<i>Beta vulgaris</i>	شندور عادي
<i>Betula</i>	جنس القصباتي
<i>B. pubescens</i>	قصباتي رطب

العربي	اللاتيني
أذريون	<i>Caltha palustris</i>
جنس كاميلية	<i>Camellia</i>
الكتا	<i>Canna</i>
كتا هندية	<i>C. indica</i>
قلب مزروع	<i>Cannabis sativa</i>
جنس القبار	<i>Capparis</i>
جنس الشوك	<i>Carduus</i>
شوك عربي	<i>C. arabicus</i>
جنس الكارك	<i>Carex</i>
كارك بيلوزي	<i>C. pilosa</i>
كارك ريباري	<i>C. riparia</i>
كستناء زراعية	<i>Castanea sativa</i>
جنس الكتالية (من البعلوبنية)	<i>Catalpa</i>
كرز عادي	<i>Cerasus vulgaris</i>
جنس الخرنوب	<i>Ceratonia</i>
فصيلة الأشنيات الكاردية	<i>Characeae</i>
الكليلدونيوم الأكبر	<i>Chelidonium majus</i>

العربي	اللاتيني
جنس الكلانوفورا	<i>Cladophora</i>
جنس الكلوستريوم	<i>Closterium</i>
جنس المكوليشيك (اللحلاج)	<i>Colchicum</i>
جنس القلقامن	<i>Colocasia</i>
الفصيلة المركبة	<i>Compositae</i>
شعبة المخروطيات	<i>Coniferac</i>
جنس زندق الوادي	<i>Convallaria</i>
زندق الوادي الكبير	<i>C. majalis</i>
جنس سوسن الوادي	<i>Convallis</i>
جنس اللاف (القديل)	<i>Convolvulus</i>
لاف حلبي	<i>C. arvensis</i>
جنس الزعور	<i>Crataegus</i>
زعور شرقي	<i>Crataegus orientalis</i>
جنس الزعفران	<i>Crocus</i>
الصلباني	<i>Crucianella chlorostachys</i>
الفصيلة الصليبية	<i>Cruciferae</i>
خيار مزروع	<i>Cucumis sativus</i>

اللاتيني	عربي	الفصيلة المسدبة
Cyperaceae		d
Dahlia	جنس الأصاليا	
<i>D. variabilis</i>	أصاليا متغيرة	
Dalbergia	جنس دلبرجية (من البقلية)	
Daucus	جنس الجزر	
<i>D. carota</i>	جزر بري	
Dentaria	جنس الدانتاريا	
Dianthus	جنس القرنفل	
Dionaea	جنس الديونية	
<i>D. muscipula</i>	خناق النبيب	
Dioscorea batatas	بطاطا صينية	
Dischidia	جنس الديشيديا	
<i>D. rafflesiana</i>	ديشيديا رافليزيانا	
Diospyros kaki	ديوسقيروس كالى	
<i>D. lotus</i>	ديوسقيروس شائع	
Dorantia	جنس الدورانتيا	

اللاتيني	العربي
<i>Elodea</i>	جنس اليلوديا
<i>Elodea canadensis</i>	يلوديا كندية
<i>Elymus</i>	جنس شعير الكثبان
<i>E. giganteus</i>	شعير الكثبان
<i>Ephedra</i>	جنم الأقدرا
<i>Epiphyta</i>	نباتات فوفية
<i>Equisetopsida</i>	صف أذيلات الخول
<i>Escherichia coli</i>	عصبية كولونية
<i>Eucalyptus</i>	جنس الكلينا
<i>E. amygdalina</i>	كلينا لوزية
<i>Euphorbia</i>	جنيم الإيفورب (الخطلاب)
<i>E. splendens</i>	إيفورب أسلبلندي
<i>Euphorbiaceae</i>	الفصيلة الإيفوربية
F	
<i>Fabaceae</i>	الفصيلة الفولية
<i>Fagopyrum sagittatum</i>	الحنطة السوداء السيمية
<i>Fagus</i>	جنس المازان

اللاتيني	عربي
<i>Fragaria</i>	جنس الفريز
<i>F. vesca</i>	فريز حراجي
<i>Fraxinus</i>	جنس الدردار
G	
<i>Galium</i>	جنس اللبني
<i>G. verum</i>	لبني حقيقي
<i>Geum rivale</i>	غوم نهري
<i>Gibberella</i>	جنس الجيربلا
<i>Ginkgo biloba</i>	جنكرو شنلي الفص
<i>Gladiolus</i>	جنس الغلadiول (الغلابيل)
<i>Gleditschia</i>	جنس الغليدتشيا
<i>G. triacanthos</i>	غليدتشيا ثلاثي الأشواك
<i>Glycine</i>	جنس الغليسين
<i>G. hispida</i>	فول الصويا
<i>Gossypium</i>	جنس القطن
<i>G. hirsutum</i>	قطن خشن
<i>Graminales</i>	رتبة النجيليات

العربي	الفصيلة العقبية	اللاتيني
جنس العقدى	Polygonaceae	Polygonum
بونصير ثلاثي الورق		<i>Poncirus trifoliata</i>
حور كندي		<i>Populus canadensis</i>
حور أمريكي		<i>P. deltoides</i>
جنس القادر		<i>Potentilla</i>
بريمولا صينية		<i>Primula sinensis</i>
الفصيلة البروتية		Proteaceae
جنس الخوخ		<i>Prunus</i>
مشمش		<i>P. armeniaca</i>
خوخ طبيري		<i>P. avium</i>
خوخ داجن		<i>P. domestica</i>
خوخ شانك		<i>P. spinosa</i>
جنس الاجاص		<i>Pynus</i>
اجاص شائع		<i>P. communis</i>
جنف للسنديان		Ostrya

الإنجليزية	العربية
<i>R. aquatilis</i>	حوذان مائي
<i>Raphanus</i>	جنس الفجل
<i>Raphia vinifera</i>	رافية الخمر (من النخلية)
<i>R. taedigera</i>	رافية الخيطان
<i>Rhamnus catharticus</i>	نوق معهل
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	ريزوبيوم البكتيريات
<i>Rhizophora conjugata</i>	عرقي مدعم
<i>Ribes</i>	جنس الريبيس
<i>R. nigrum</i>	ريبيس أسود
<i>R. rubrum</i>	ريبيس أحمر
<i>Ricinus communis</i>	خروع شائع
<i>Robinia</i>	جنس الروبينيا
<i>R. pseudoacacia</i>	روبينيا الأكاسيا الزرقاء
<i>Rosa</i>	جنس الورد
<i>R. beggeriana</i>	ورد بييجيري
<i>R. canina</i>	ورد كلبي
<i>Rosaceae</i>	الفصيلة الوردية

العربي	اللاتيني
صفدر هيركانس	<i>R. hyrcanus</i>
S	
سكر مخزني (أصبغ السكر)	<i>Saccharum officinarum</i>
جمن السهمي	<i>Sagittaria</i>
سهمي الورق	<i>S. sagittifolia</i>
شنان أوربي (من السرقة)	<i>Salicornia europaea</i>
جنس الصفصاف	<i>Salix</i>
جنس البريلسان	<i>Sambucus</i>
بريلسان أحمر	<i>S. racemosa</i>
صابونية مخزنية	<i>Saponaria officinalis</i>
جنس البوقي	<i>Sarracenia</i>
صخرى متقابل الورق	<i>Saxifraga oppositifolia</i>
فلفل تربتني	<i>Schinus terebinthifolius</i>
جنس الجودار	<i>Secale</i>
جودار حبوبى	<i>S. cereale</i>
زهرة الشيخ (من المركبة)	<i>Senecio friesiorum</i>
شجرة الميسكر (الماموت)	<i>Sequoia jadendron</i>

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصباغ

د. غسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعربي

الإنجليزي
Zea
Z. mays

العربي
جنس الذرة
ذرة مائية (صفراء)

العربي	اللاتيني
جلس الألم	<i>Ulmus</i>
الم حلقي	<i>U. campestris</i>
الم خفيف	<i>U. laevis</i>
الفصيلة الخيمية	<i>Umbelliferae</i>
جلس القرلاص	<i>Urtica</i>
قرacsن ثانوي المسكن	<i>U. dioica</i>
القربي العادي	<i>Urticularia vulgaris</i>
عنبي كرمي	<i>Vaccinium vitis-idea</i>
جنس الكلوي	<i>Vallisneria</i>
ورونيكا كامبلي	<i>Veronica campylodpa</i>
ورونيكا طولية الورق	<i>V. longifolia</i>
فول	<i>Vicia faba</i>
فيكتوريا ملكية	<i>Victoria regia</i>
بنفسج عطري	<i>Viola odorata</i>
بنفسج ميرabilis	<i>V. mirabilis</i>
ديق أبيض	<i>Viscum album</i>

اللاتيني	عربي	الاسم
<i>Stipa</i>	جنس القدمي	جنس القدمي
<i>Syringe</i>	جنس الليلك	جنس الليلك
<i>S. vulgaris</i>	ليلك عادي	ليلك عادي
<i>Taeniophyllum zolingeri</i>	شريطي الورق	شريطي الورق
<i>Taraxacum officinalis</i>	طرخشقون مخزني	طرخشقون مخزني
<i>Taxus</i>	جلس الطفوس	جلس الطفوس
<i>T. baccata</i>	طفوس شائع	طفوس شائع
<i>Thymus</i>	جنس الزعتر	جنس الزعتر
<i>T. caucasicum</i>	زعتر قوقازي	زعتر قوقازي
<i>Tilia</i>	جنس التيلور	جنس التيلور
<i>T. cordata</i>	تيلو قلبية	تيلو قلبية
<i>Tracheophyta</i>	نباتات وعائية	نباتات وعائية
<i>Tradescantia</i>	جنس المكحلة	جنس المكحلة
<i>T. virginica</i>	مكحلاة فيرجينية	مكحلاة فيرجينية
<i>Trapa natans</i>	كماء للماء	كماء للماء
<i>Trifolium</i>	جمن النفل	جمن النفل

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصياغ

د. فسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعربي

لاتيني
Arabian

Zea
Z. mays

عربي
Scientific name
جنس الذرة
ذرة ماليسية (صفراء)

اللاتيني	عربي
<i>Ulmus</i>	جنس الelm
<i>U. campestris</i>	elm حظي
<i>U. laevis</i>	elm خفيف
<i>Umbelliferae</i>	الفصيلة الخيمية
<i>Urtica</i>	جنس القراءن
<i>U. dioica</i>	قراءن ثاني المسكن
<i>Urticularia vulgaris</i>	القربي العادي
<i>Vaccinium vitis-idea</i>	ضئي كرسي
<i>Vallisneria</i>	جنس الكلوي
<i>Veronica campoleopda</i>	ورونيكا كامبلي
<i>V. longifolia</i>	ورونيكا طويلة الورق
<i>Vicia faba</i>	فول
<i>Victoria regia</i>	فيكتوريا ملكية
<i>Viola odorata</i>	بنفسج عطري
<i>V. mirabilis</i>	بنفسج ميرابيلي
<i>Viscum album</i>	ديق أبيض

اللاتيني	عربي	عربي
<i>Stipa</i>	جنس الستيبا	جنس الستيبا
<i>Syringe</i>	جنس اللبلب	جنس اللبلب
<i>S. vulgaris</i>	لبلب عادي	لبلب عادي
<i>Taeniophyllum zolingeri</i>	شريطي الورق	شريطي الورق
<i>Taraxacum officinalis</i>	طرخشقون مخزني	طرخشقون مخزني
<i>Taxus</i>	جنس الطقسوس	جنس الطقسوس
<i>T. baccata</i>	طقسوس شائع	طقسوس شائع
<i>Thymus</i>	جنس الزعتر	جنس الزعتر
<i>T. caucasicum</i>	زعتر قوقازي	زعتر قوقازي
<i>Tilia</i>	جنس التيلو	جنس التيلو
<i>T. cordata</i>	تيلو قلبي	تيلو قلبي
<i>Tracheophyta</i>	نباتات وعائية	نباتات وعائية
<i>Tradescantia</i>	جنس المكحطة	جنس المكحطة
<i>T. virginica</i>	مكحطة فيرجينية	مكحطة فيرجينية
<i>Trapa natans</i>	كماء الماء	كماء الماء
<i>Trifolium</i>	جنس النفل	جنس النفل

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصباغ

د. فسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعربي

Zea

Z. mays

لاتيني

عربي

جنس النزرة

ذرة مليسية (صفراء)

اللاتيني	عربي
<i>Ulmus</i>	جنس الألمن
<i>U. campestris</i>	ألم حقلي
<i>U. laevis</i>	ألم خفيف
Umbelliferae	الفصيلة الخيمية
Urtica	جنس القراضن
<i>U. dioica</i>	قراضن ثاني المسكن
Urticularia vulgaris	القربى العلدي
Vaccinium vitis-idea	عنبي كرمي
Vallisneria	جنس للاكلوي
Veronica campylodpa	ورونيكا كامبيليا
<i>V. longifolia</i>	ورونيكا طولية الورق
Vicia faba	لبلول
Victoria regia	فيكتوريا ملكية
Viola odorata	بنفسج عطري
<i>V. mirabilis</i>	بنفسج ميرابيلي
Viscum album	دبق لمبرض

	اللاتيني	عربي
<i>Stipa</i>		جنس الستيبا
<i>Syringe</i>		جنس السيرينج
<i>S. vulgaris</i>		لبك عادي
<i>Taeniophyllum zolingeri</i>		شريطي الورق
<i>Taraxacum officinalis</i>		طرخشقون مخزلي
<i>Taxus</i>		جنس الطقسوس
<i>T. baccata</i>		طفسومن شائع
<i>Thymus</i>		جنس الزعتر
<i>T. caucasicum</i>		زعتر قوقازي
<i>Tilia</i>		جنس التيلو
<i>T. cordata</i>		تيلو قلبي
<i>Tracheophyta</i>		نباتات وعالية
<i>Tradescantia</i>		جنس المكحلة
<i>T. virginica</i>		مكحولة فيرجينية
<i>Trapa natans</i>		كماء الماء
<i>Trifolium</i>		حنك النزا