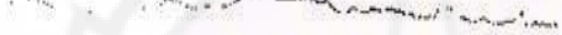
علم النبات

الوصفي والتشريحي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الزراعة



علم النبات

الوصفي والتشريحي

الدكتور
عبد العزيز الصباغ
أستاذ في كلية الزراعة

الدكتور
عماد القاضي
مدرس في كلية العلوم

جامعة دمشق

١٤٣٩ - ١٤٤٠هـ
٢٠١٧ - ٢٠١٨م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الباب الأول – علم الخلية

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

الريباسات ١٠٨
اصطناع البروتين ١١١
النسخ ١١١
الترجمة ١١٥
الهيكل السيتوبلاسمي (النبيبات الدقيقة، الخيوط الوسيطة، الخيوط الدقيقة) ١١٨
التنظيم المورثي ١٢٤
الفصل السابع مشتقات البروتوبلاست ١٣١
المواد الفيزيولوجية النشطة (الهرمونات النباتية، الفيتامينات، الصادات) ١٣٢
حاصلات الاستقلاب الخلوي (السكاكر، الليبيدات، البروتينات، القلويدات، الغليكوزيدات، المواد العفصية، الحموض العضوية وأملاحها) ١٣٣
الجدار الخلوي ١٤٢

الباب الثاني – علم النسج

الفصل الثامن النسج النباتية ١٥٣
التمايز الخلوي ١٥٣
النسج المولدة أو القسومة (القمية، الجانبية، البينية، ميرستيم الجروح) ١٥٧
النسج الواقية (البشرة، ملحقات البشرة، القشيرة) ١٦١
النسج القسوم الثانوي ١٦٨
النسج الأساسية (البخصورية، الادخارية، برنشيم الامتصاص، البرنشيم الهوائي) ١٧١
النسج الاستنادية (الكولانشيم، الاسكلرنشيم، الاسكلريدات) ١٧٥
النسج الناقلة (الخشب، اللحاء، الحزم الناقلة) ١٧٩

الباب الثالث -- علم الأعضاء النباتية

الفصل التاسع تعضي الجهاز الإعاشي في البذريات ٢١١
البادرة ٢٤١
الجذر (وظائف الجذر، تصنيف المجاميع الجذرية) ٢١٥
البنية المجهرية (البنية الابتدائية، البنية الثانوية) ٢٢١
تحورات الجذر ٢٣٣
الفصل العاشر الجملة الفارعية ٢٤١
السويقة ٢٤١
الساق ٢٤٢
البراعم ٢٤٥
النظم الورقي ٢٤٨
أنواع السوق وتحوراتها (اللحمية، الورقية، المشوكة، المحالق، الجذامير، الدرنات، البصلات، الكورمات) ٢٥٤
البنية المجهرية للساق ٢٦٤
البنية الابتدائية للساق ٢٦٦
البنية الثانوية للساق ٢٧٠
الورقة (أجزاؤها، التعدد الشكلي للورقة، الأوراق البسيطة، الأوراق المركبة) ٢٨٦
تضليع الأوراق ٢٩٩
البنية المجهرية للورقة ٣٠١
تحورات الورقة ٣٠٦

الأعضاء المتشابهة والمتجانسة ٣١٠
المراجع ٣١٢
فهرس المصطلحات العلمية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

يعد علم النبات الوصفي والتشريحي 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 المحيطات، ثم انتقلت بعدئذٍ إلى اليابسة. وقد عاش العالم النباتي خلال ذلك، منذ بدايته حتى عصرنا الحاضر، أربع مراحل تطورية هامة: ١- مرحلة النباتات المائية (الطحلبيات). ٢- مرحلة النباتات التريدية. ٣- مرحلة النباتات عريانة البذور. ٤- مرحلة النباتات مغلفة البذور.

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

لقد بدأ الإنسان منذ القدم، وفي أولى مراحل حياته، بالتعرف على النباتات الغذائية والطبية، وتمييزها عن السامة والضارة. فظهر 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 القدامى، منذ القرن السابع قبل الميلاد، استئناس وزراعة عدد من النباتات الاقتصادية، كالقمح والشعير، حيث لا تزال أصول هذه الأنواع البرية ممثلة في نبيتنا الحالي. وقد قام العرب منذ أكثر من ألفي سنة بترجمة مؤلفات الإغريق (ارسطاليس ٣٨٤-٣٢٢ ق.م)، والرومان (بليني ٢٣-٧٩ م) في علوم النباتات المختلفة. فكان للعرب فضل كبير في حفظ كثير من هذه المؤلفات المترجمة من الضياع. 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 (٧٠٠-٧٦٥ م) وابن سينا (٩٨٠-١٠٣٧م)، الذي ضمن

مؤلفاته الخواص الطبية لعدد كبير من النباتات. وقد تُرجمت هذه المؤلفات في القرن الثاني عشر إلى اللاتينية والعبرية، وفي القرن السادس عشر إلى لغات مختلفة، وطُبعت أكثر من عشرين مرة. ثم ظهرت بعد ذلك مؤلفات ابن البيطار (١١٩٧–١٢٤٨ م) في خواص الأشجار. وقد تُرجم مؤلفه عن الليمون (Lemons) إلى اللاتينية، ونشر في البندقية (عام ١٥٨٣ م) ثم في باريس (عام ١٦٠٢ م)، كما ترجمته اليونسكو مؤخراً إلى الإنكليزية. ويستخدم العطارون كتاب "التذكرة" لداود بن عمر الأنطاكي حتى يومنا الحاضر، في تركيب بعض الأدوية الطبية اعتباراً من النباتات العشبية.

وهكذا ترتبط حياة الإنسان بالنبات بصورة مباشرة. وبالمقابل، يكيف الناس الكائنات النباتية حسب حاجاتهم. فيؤدي الإنسان في عصرنا الراهن، دوراً كبيراً في تجديد الغطاء النباتي، وخاصة بعد استخدام الآلة والكيمياء في الزراعة على نطاق واسع. فيسعى علماء النبات حالياً، للاستفادة من الغطاء النباتي بشكل عام، واستنبات الأنواع المفيدة منه بشكل خاص، لتوفير متطلبات العالم الزراعية (غذائية، 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 الثلث الباقي 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 قفزة زراعية رائعة وشاملة، نتيجة التطور الكبير والتطبيق السليم لجميع العلوم الزراعية وتقاناتها الحديثة. كانت هذه القفزة وليدة تخطيط موجه لتلبية الاحتياجات المتزايدة للمواطنين من المواد الغذائية بسبب تزايد عدد سكان القطر من ناحية، ولرفع مستواهم المعاشي من ناحية ثانية.

يُمثل علم النبات "الوصفي والتشريحي" العصب الرئيس لدراسة معظم العلوم الزراعية.

فهو يقدم الأساس العلمي الضروري لدراسة مقررات الفاكهة والخضار والمحاصيل والنباتات الرعوية والعلفية والعطرية والطبية ونباتات الزينة والحراج وأمراض النبات وتغذية الكائنات النباتية ...الخ. كما يمدُّ الباحث الزراعي بمعلومات أساسية وهامة، يرتكز عليها عند قيامه ببحث علمي. ولا تقل بقية العلوم الأساسية، كعلم الحيوان والكيمياء والفيزياء والرياضيات أهمية عن علم النبات. فهي تغني الطالب والباحث الزراعي بمعلومات هامة، يستعين بها عند دراسته لمختلف علوم الزراعة أو عند التخصص بأحدها.

أعزاءنا الطلبة، نضع بين أيديكم اليوم هذا المؤلف الجديد، الذي يشمل معلومات مختصرة وواضحة في مجال علم الخلية، النسج النباتية وتعضي الجهاز الإعاشي في البذريات، بما يتفق مع الخطة الدرسية الجديدة في كليات الزراعة. وقد استعنا لتوضيح الفكرة برسوم وأشكال وصور متعددة من أمهات المراجع العلمية. كما توخينا 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 والمستخدمة في جامعات الوطن العربي، وهذا ما يجعل هذا الكتاب مرجعاً علمياً متطوراً للمكتبة العربية في حقل تخصصه.

وبعد، فإننا نأمل أن نكون قد وفقنا في إيصال 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 / ٢٠٠٤ م

المؤلفان

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الأول

علم الخلية

Cytology

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول
أهمية النبات في الطبيعة

تتمتع الطبيعة بأهمية كبيرة في حياة الإنسان، لاشتمالها كائنات نباتية متنوعة. تنتشر النباتات بصورة واسعة في جميع أرجاء الكرة الأرضية، وتلاحظ 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 آلافاً مؤلفة من الكائنات الدقيقة، كالبكتريا والفطور والفيروسات، حيث تنتشر مع تيار الهواء إلى مسافات شاسعة. تشكل دراسة بنية هذه الكائنات، ومعرفة نشاطها الحيوي وانتشارها، علماً خاصاً يدعى علم الأحياء الجوية.

يوجد عادة في متر مكعب واحد من الهواء الجوي، نحو عشرة آلاف إلى مئة ألف نموذج من البكتريا والفطور والفيروسات. وقد اتضح، عند ارتفاع تركيز الأحياء الدقيقة في الهواء، استنشاق الإنسان في كل مرة مع هواء الشهيق 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 تشكل التربة وزيادة خصوبتها. يشتمل ١غ من التربة حسب العالم E.Michostin ما يقارب مئة ألف وحتى ٨٠ مليوناً من هذه الكائنات. وليست الطحلبيات بأقل انتشاراً من الأحياء المجهرية السابقة إذ تشغل 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

تنتشر الأولى في جميع المناطق الكرة الأرضية، وتشغل مساحات واسعة.

تؤدي النباتات حسب العالم Timiriazev دوراً فضائياً هاماً. فيم ينحصر هذا الدور يا ترى؟ تملك معظم النباتات (باستثناء النباتات اللايخضورية، كالبكتريا والفطور وبعض أنواع مغلفات البذور الطفيلية) صبغاً أخضر، هو اليخضور Chlorophyll الذي يميز عادة، النباتات عن الحيوانات.

يوجد هذا الصبغ الأخضر في عضيات خلوية محددة، تسمى الصانعات الخضراء Chloroplasts. ترتبط باليخضور تغذية هوائية هامة، تترافق بتشكل مواد عضوية. يُطلق على هذه العملية، الاصطناع الضوئي Photosynthesis. يمكن توضيح شروط آلية الاصطناع الضوئي حسب العالم Gaston عام ١٩٦٧ بالمخطط التالي:

ضوء

$$CO_2+H_2O + \text{مواد معدنية} \xrightarrow{\text{نباتات خضراء}} \text{سكاكر } (CH_2O) + O_2$$

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 غنية بالطاقة. تعد الأشعة الشمسية ينبوع الطاقة الحقيقي في هذه العملية الحيوية، بالإضافة إلى أنها تؤدي دوراً هاماً في تنظيم عمليات تطور النبات.

تقوم النباتات المورقة باصطناع غذائها بدءاً من مصدرين متعاكسين. تتجه الأجزاء الخضراء منها نحو أشعة الشمس، وتتمتع بانجذاب ضوئي Phototropism موجب، وتتم فيها عملية الاصطناع الضوئي.

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

يشترك اليخضور 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. تشكل مجموعات المركبات العضوية الثلاث السابقة، غذاء الإنسان والحيوان الرئيسي.

وهكذا تتكون في الخلية النباتية اليخضورية، بدءاً من المواد اللاعضوية، مركبات عضوية مختلفة، تعد الغذاء الرئيسي لجميع سكان العالم. يحلم علماء القرن العشرين ومهندسوه بإجراء مثل هذه العملية الحيوية في شروط المختبر، ولكنهم لم يفلحوا بذلك حتى الآن. إذ تتميز الخلية النباتية ببنية مدهشة منسقة، لا تملكها أحدث آلة الكترونية معقدة. كما تستطيع الخلية أو العضوية النباتية بكاملها تجديد نفسها ذاتياً، أي تشكيل عضوية مشابهة لها تماماً، وهذا ما لا تستطيعه أية آلة من الآلات.

لقد أطلق تيميريازف Timiriazev على حاصلات الاصطناع الضوئي "معلبات الأشعة الشمسية". فخلال التاريخ الطويل للحياة النباتية على الأرض (مئات ملايين السنين)، استطاعت حاصلات الاصطناع الضوئي تشكيل احتياطي هائل من المواد الغذائية بالطاقة، كالكربون الحجري والكربون النباتي والنفط.

ينطلق غاز الأوكسجين خلال الاصطناع الضوئي، بصورة متوازية تماماً لعملية تشكل "معلبات 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 ٨-١٠ آلاف سنة. فقد وُجدت الكرمة مزروعة في مصر منذ ٤٧٠٠-٥٠٠٠ سنة، والقطن مزروعاً في الصين منذ ٤٠٠٠ سنة. وقد تمت الخطوات الأولى في زراعة المحاصيل الحقلية ونباتات الزينة 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 تنتمي إليها جميع النباتات، التي تستطيع بناء عضويتها وتكوينها بدءاً من مركبات لا

عضوية. إذ لا تشكل النباتات ذاتية التغذية مجموعة متجانسة واحدة، فيميزون فيها زمرتين رئيسيتين، حسب نمط تغذيتها الذاتية: نباتات ذاتية تغذية خضراء، ونباتات ذاتية تغذية عديمة اليخضور. تضم الزمرة الأولى النباتات الخضراء، التي تقوم بالاصطناع الضوئي. وتشمل الزمرة الثانية، عدداً قليلاً من الأنواع النباتية عديمة اليخضور. ولكنها مع ذلك، تستطيع صنع غذائها ذاتياً، إذ تستمد الطاقة اللازمة لهذه الغاية، بدءاً من تفاعلات أكسدة. تحرر هذه التفاعلات طاقة كيميائية، تقابل الطاقة الشمسية في النباتات الخضراء. ينتمي إلى هذه الزمر عدد من البكتريا: كبكتريا الآزت والبكتريا الكبريتية والحديدية.

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

٢- غير ذاتية التغذية **Heterotrophic plants**: تشمل هذه المجموعة كائنات نباتية عديمة اليخضور أيضاً. ولكنها تستطيع بناء عضويتها وتأمين غذائها 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 وخاصة طفيليات النباتات الزراعية والحيوانية وكذلك طفيليات الإنسان. وتعتبر غالباً نباتات مجهرية، فطرية أو بكتيرية. والبعض الآخر رمي Saprophytes يستمد غذاءه من بقايا الكائنات النباتية أو الحيوانات الميتة. فتقوم 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 تفكك بروتينات البقايا النباتية والحيوانية. كما تقوم في حالات أخرى بتحليل المواد العضوية، مشكلة حمض اللبن أو حمض الخل، أو الكحول الإيتيلي. واستناداً إلى ذلك، يمكن تعليل اصطناع اللبن الرائب والجبن، والزبدة والكبيس، والوقوف على آلية دباغة الجلود.

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

الرمية، التي تتألف بشكل رئيسي من الفطور والبكتريا، بأهمية حيوية كبيرة في دورة المواد في الطبيعة. فتقوم النباتات ذاتية التغذية باصطناع المواد العضوية، بينما تعمل النباتات غير ذاتية التغذية على تفكيك هذه المواد وتحليلها إلى عناصرها اللاعضوية. فبدون 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. فتتعايش بعض بكتريا التربة كـ Rhizobium leguminosarum مع النباتات البقلية، وتعمل على إغناء التربة والنبات بالوقت نفسه بالمركبات الآزوتية، وعلى وكس الآزوت الجوي. كما تملك معظم الفطريات أهمية كبيرة في ميادين صناعة الأغذية والمواد الطبية...وغيرها.

تعريف علم النبات وأقسامه

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

١: 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 مجزأ إلى أعضاء منفصلة. تتم دراسة تشكل الأعضاء النباتية وتطورها وفق طريقتين:

أ: تستند الطريقة الأولى إلى دراسة تطور الأفراد النباتية المنفصلة، بدءاً من إنتاش البذرة ونمو البادرة، وانتهاء بتشكل بذرة جديدة. يسمى هذا التطور بالفردي Ontogenesis.

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

بالسلالي Phylogenesis.

أدى تقدم علم الشكل وتطوره، واتساع الموضوعات التي يدرسها، إلى انفصاله لعلوم متعددة أكثر تخصصاً: كعلم الخلية Cytology، الذي يدرس بنية الوحدة الهيكلية الأساسية للعضوية النباتية، بما في ذلك العضيات الخلوية المختلفة. وعلم التشريح Anatomy وعلم النسج Histology، اللذان يهتمان بدراسة تشكل النسج المختلفة وبنيتها وآلية 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، ساقاً، ورقة، 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 بكونه يدرس البنية الداخلية للأعضاء النباتية. إلا أن مثل هذا التقسيم ليس طبيعياً، فالنسيج الواقي الأولي أي البشرة Epiderma يغطي السطح الخارجي لمختلف الأعضاء النباتية، في حين أن البيضونات Ovules توجد داخل جوف أو عدة أجواف، يشكل مجموعها المبيض (في مغلفات البذور). مع ذلك، تُعد البشرة نسيجاً من النسج الرئيسة التي يدرسها علم التشريح، بينما يدرس علم الشكل الخارجي البيضونات.

من الضروري تقسيم علم الشكل حالياً، إلى جزءين كبيرين، 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 النبيت Florography: أحد الأقسام الرئيسة لعلم النبات. يهدف هذا العلم إلى معرفة جميع الأنواع النباتية التي تعيش في العالم ووصفها، ثم تشخيصها بدقة وتوزيعها إلى زمر، 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 الراهنة والمتحجرة 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.

تجمع 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. سَنُدرّس هذا العلم بالتفصيل في الفصل الدراسي الثاني "التصنيف النباتي".

٤: الجغرافية النباتية Phytogeography: الفرع الكبير الرابع لعلم النبات. ويهتم بدراسة انتشار الكائنات النباتية ومجتمعاتها الطبيعية، على اليابسة وفي المياه. انفصلت عن الجغرافية النباتية عدة علوم، كالجغرافية التاريخية، التي تدرس النبات في الأحقاب الجيولوجية القديمة. وعلم المجتمعات النباتية Phytocoenology الذي يُعنى بدراسة المجتمعات النباتية Phytocoenosis من حيث بنيتها وتطورها وانتشارها واستخدامها وإمكان إعادة تشكيلها. يملك علم المجتمعات النباتية أهمية تطبيقية كبيرة، من اجل تحسين المراعي والمروج والغابات واستخدامها.

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

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

٧: علم الأحياء الدقيقة Microbiology: يهتم هذا العلم بدراسة الظواهر الحيوية عند الأحياء الدقيقة، كالبكتريا 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 علماء النبات والزراعة بموضوعات دراسية ومشتركة، وطرائق بحث عامة متماثلة، 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 المستحيل وضع فاصل عميق بين علمي النبات والزراعة. ولا غرابة في ذلك، إذ اشتق علم الزراعة من علم النبات، ويُعد 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. فعند

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

كما توجد بعض نقاط التماس والصلات المتداخلة ما بين طرائق البحث في كل من كيمياء الأراضي والهندسة الزراعية وعلم النبات. فمن الضروري قبل زراعة النبات، دراسة صفات التربة وتركيبها الفيزياكيميائي، ومياهها الجوفية وطرائق الري فيها. يدرس علماء النبات حالياً، ما يقارب ٥٠٠ ألف نوع نباتي، تنتشر على سطح اليابسة وفي مياه المحيطات والأنهار والبحيرات وفي الهواء الجوي. في حين لا يتجاوز نصيب علماء الزراعة من هذه النباتات ١٥٠٠ نوع فقط.

تعد المهمة الرئيسية لعلماء الزراعة وللمزارعين، العمل على جني 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 ولكل 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 تشكل الأعضاء وتطورها Organogenesis، ابتداء من إنتاش البذور وتطور الدرنات، وتشكل الأعضاء الإعاشية والتكاثرية، حتى ظهور الثمار 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 لتطور نباتات المزرعة. يمكن الافتراض مسبقاً، عندما تجري مراحل التطور بصورة بطيئة، مرور النبات بمرحلة الإزهار وتشكل الثمار والبذور. بينما تشير الحالات الأخرى، التي تتم فيها هذه المراحل بسرعة شديدة ، إلى تشكل الفوارع الجانبية. من الضروري في كل حالة تنظيم تدابير زراعية ملائمة والقيام بمراقبة إضافية.

تشكل الأراضي المزروعة حالياً ما يقارب ١٠٪ من سطح اليابسة. وتتباين هذه النسبة للأراضي المحروثة، 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 الاسكندينافية، وترتفع إلى ١٠٪ في الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا الاتحادية، وتصل إلى أكثر من ٣٠٪ في أوربا الغربية. وتبلغ مساحة الأراضي المزروعة في القطر العربي السوري نحو ٣٠٪ من المساحة العامة للقطر، وهي أعلى نسبة لمثل هذه الأراضي في الوطن العربي.

يمكن رفع نسبة الأراضي المزروعة لتصل إلى ١٦–١٧ ٪ من سطح اليابسة، بعد استصلاح البوادي الضخمة. 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 بينت التجارب العالمية إمكانية رفع إنتاج المجتمعات النباتية الطبيعية بدرجات كبيرة، عند تنظيم تدابير زراعية ملائمة. فيمكن الاستفادة منها حينئذ، كمراعٍ أو مروج أو غابات.

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

في كل عام، يكتشف علماء النبات أنواعاً جديدة، وفي كل عام يُدخل 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 العنصرية، تلك الجزيئات التي تشكل المواد غير الحية. تخضع هذه الجزيئات بعد نزعها من عضوية ما ودراستها منفصلة بعضها عن بعض لجميع القوانين الفيزيائية والكيميائية المحددة لسلوكية المواد غير الحية.

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

الصفات المميزة للمادة الحية:

يُعتقد أن أكثر الصفات أهمية وبروزاً للعضويات الحية هي:

أولاً- بنيتها المعقدة ونظامها المتناهي في الدقة: تعد العضويات الحية، على مختلف أشكالها التي تكاد لا تحصى، في بنيتها مدهشة عجيبة. فتملك بنية داخلية معقدة وتشتمل عدداً هائلاً من المركبات الكيميائية المختلفة. وعلى العكس، يعد الوسط المحيط بها (أي المواد غير الحية، كالتربة والماء والجبال الصخرية) مزيجاً غير متجانس وغير منتظم لمركبات كيميائية بسيطة نسبياً، ويتمتع بنظام بنيوي ضعيف جداً.

ثانياً- يتمتع كل جزء بنيوي في العضوية الحية بوظيفة خاصة واضحة : ينطبق هذا الكلام على التشكيلات البنيوية الداخلية للخلية الحية، كالنواة والغشاء السيتوبلاسمي. ويشمل في انطباقه أيضاً مركبات الخلية الكيميائية المنفصلة مثل الليبيدات والبروتينات والحموض

النووية. فدراسة 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 : تُعد من أهم الصفات التي تميز العضوية الحية معقدة التركيب، إذ تستخدم من أجل ذلك مواد أولية بسيطة. عدا ذلك تستطيع الكائنات الحية استخدام هذه الطاقة لتحقيق أشكال متعددة من الأعمال المفيدة، مثال ذلك قيامها بالعمل الآلي عند الحركة مستفيدة بالطبع من الطاقة التي اقتنصتها 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 أدهش صفة للعضويات الحية وأعجبها. فهي فعلاً جوهر تلك الحالة أو الوضعية التي تسمى الحياة وأساسها. وبالمقابل، عندما درست المواد غير الحية، لم يُكتشف لها القدرة على خلق ذاتها أو تجديد بناء عضويتها. فعلى امتداد قرون متعددة جداً، لم تستطع تركيب أشكال مماثلة ومطابقة لها تماماً في الكتلة والحجم والبنية الداخلية.

التركيب الكيميائي للخلية

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

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

يبيّن التحليل الكيميائي للمادة الحية أنها تتألف من اثنين وعشرين عنصراً كيميائياً

فقط، وذلك من أصل أكثر من مئة عنصر موجود في الطبيعة. تؤلف العناصر الأربعة: الكربون، والهيدروجين، والآزوت 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 العضيّات الخلوية بدون استثناء مركبات الكربون، بينما ينتشر هذا العنصر في الكرة الأرضية بشكل محدود. من المعتقد أن يكون سبب ذلك هو قدرة الكربون الكبيرة على تشكيل الهيكل البنيوي للجزيئات الحيوية، وذلك بفضل موهبة ذراته الرائعة في تكوين روابط مشتركة مستقرة مع ذرات الهيدروجين، الأوكسجين، الآزوت أو ذرات كربون أخرى. (إذن من السهل على ذرة الكربون تشكيل روابط مشتركة مستقرة بدءاً من الغلاف الإلكتروني الخارجي في كل منها).

وفيما يلي تصنيف الاثنين والعشرين عنصراً حسب نسبتها في المادة الحية.

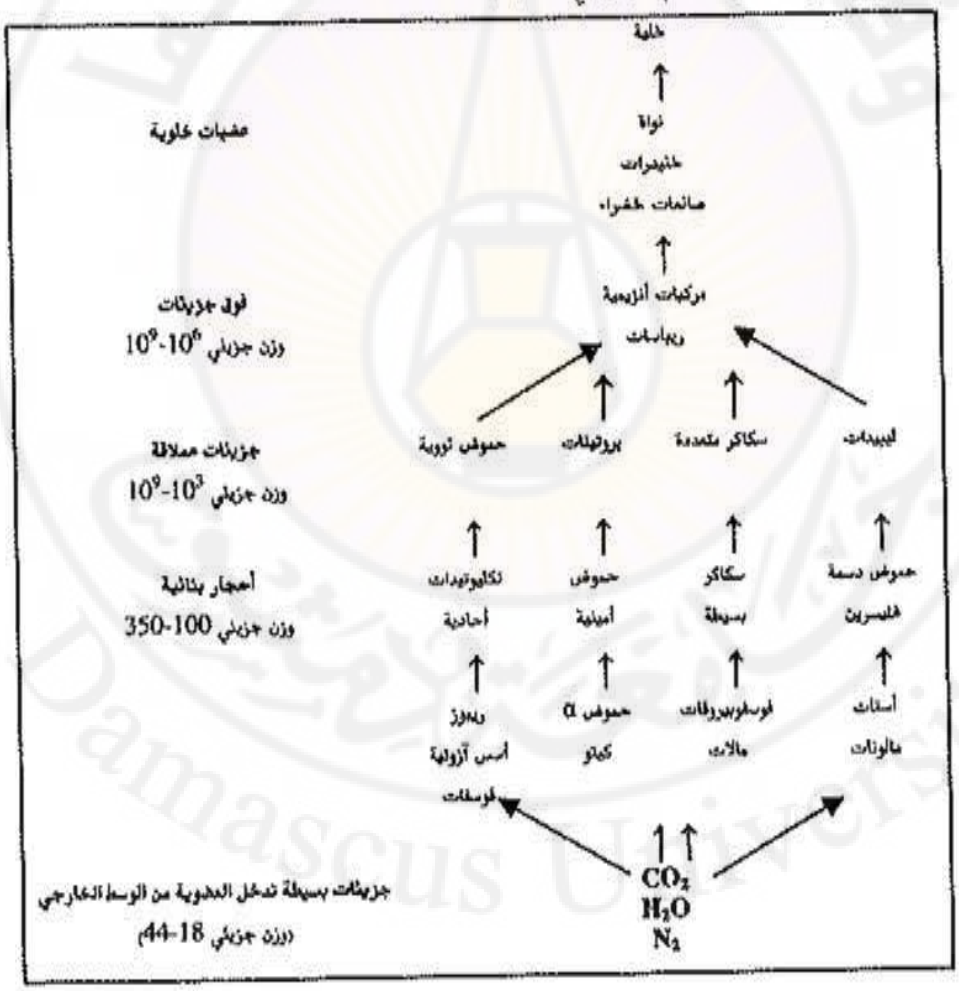
العناصر الصغرى Microelements نسبتها ٠,١٪		العناصر الكبرى Macroelements نسبتها ٩٩,٩٪	
Al	Mn	شوارد محدودة بنسبة ٠,٩٪	عناصر أساسية نسبتها نحو ٩٩٪
V	Fe	Na^+	O
Mo	Co	K^+	C
I	Cu	Mg^{++}	N
Si	Zn	Cu^{++}	H
	B	Cl^-	P
			S

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 أنزيمية إلى أحجار بنائية، حيث يتحد بعضها مع بعض بروابط مشتركة

مشكلة جزيئات ضخمة أو عملاقة Macromolecules هي بدورها يتحد بعضها مع بعض لتشكيل مركبات فوق جزيئية Nadmolecules حيث تكوّن في النهاية العضيات الخلوية.

تشكلت الخلايا الأولى بدءاً من ثلاثين جزيئاً حيوياً أولياً وهي عشرون حمضاً أمينياً وخمسة أسس آزوتية بيورينية وبيريميدينية، وسكرين خماسيين وحمض دسم واحد بالإضافة إلى الغليسرين والخلين. من هذه الجزيئات الحيوية الثلاثين تشتق مئات الجزيئات الأخرى التي تقوم بوظائف مختلفة على أعلى مستوى من التخصص. يوضح المخطط المرفق المراحل التدريجية في تشكيل النظام الجزيئي للخلية.



يفترض بأن المركبات العضوية البسيطة قد وجدت لأول مرة في مياه المحيطات القديمة وبتركيز 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، السكاكر، الحموض النووية وغيرها من المركبات العضوية الهامة، بالإضافة إلى الماء والأملاح.

تصنف هذه المركبات في ثلاث مجموعات رئيسية:

١: الماء: ويفصل من الأعضاء النباتية بعد تجفيفها الكامل بدرجة ١٠٣-١٠٧ 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 ترميد المادة النباتية الجافة، وتبلغ نسبتها نحو ١٠٪ من الوزن الجاف.

٣: المركبات العضوية: وتشكل معظم 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. تتباين 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 والأشواك.

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

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

١: الحالة الحرة: يُشكّل الماء الحر العصارة الخلوية في الفجوات، إذ تنحل فيه مواد عضوية وغير عضوية مختلفة، تعد من نواتج النشاط الخلوي. يتوسط الماء في حالته الحرة تفاعلات الاستقلاب المختلفة.

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

يملك الماء، بالمقارنة مع السوائل الأخرى، درجة تجمد وانصهار وغليان عالية ونموذجية. كما يتمتع بحرارة نوعية وحرارة تبخر مرتفعة، وتوتر سطحي كبير (يملك أكبر توتر سطحي بعد الزئبق). 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 كالميتانول، والإيتانول، والبروبانول، والأسيتون، والبنزول، والكلورفورم. وتحدد حرارة التبخر بكمية الطاقة اللازمة للتغلب على قوى التماسك بين جزيئات الماء المتجاورة، ونتيجة لذلك تنفصل هذه الجزيئات بعضها عن بعض وتنتقل إلى الحالة الغازية.

يُعد 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 لكثير من المركبات القطبية والمعتدلة.

٢- وسط هام تجري فيه جميع التفاعلات البيوكيميائية خلال عملية استقلاب المواد. وهكذا يُلاحظ تباطؤ التفاعلات الحيوية في البذور، بصورة موازية لفقدانها للماء.

٣- يتمتع بأعلى حرارة نوعية، وهو بفضل 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 تساعده في الحفاظ على الصفات الفيزياكيميائية للمادة الحية.

الأملاح في الخلية النباتية

تؤدي الأملاح دوراً هاماً في حياة الخلية النباتية. فالتغذية المعدنية للكائنات النباتية معروفة ومدروسة 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 بللورات متباينة الأشكال (إبرية، موشورية، عنقودية..) فتمتاز بذلك عن الخلية الحيوانية التي تكون فيها الأملاح بشكل منحل. من أهم هذه الأملاح، فوسفات البوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم، ونترات البوتاسيوم، الصوديوم. وكلور البوتاسيوم، الصوديوم. وسلفات الكالسيوم، اليود، البور. وتكون هذه الأملاح حرة منشردة، أو مرتبطة بمواد عضوية وخاصة مع البروتينات حيث تشكل الأنزيمات. فهي تقوم بالحفاظ على التوازن الشاردي أو تسهم في بناء المادة الحية نفسها.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

الخلية النباتية وطرائق دراستها

وظيفة علم الخلية

يهتم هذا العلم بدراسة البنية المجهرية والبنية الفائقة ومظاهر النشاط الحيوي للخلايا الحية كافة. ويقصد بالبنية الفائقة دراسة الخلايا الحية وعضياتها الدقيقة تحت المجهر الإلكتروني بتكبير عشرات آلاف المرات أو مئات آلاف المرات.

الطرائق الرئيسية في علم الخلية

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

- **الدراسة البصرية الضوئية:** وتهتم بدراسة البنية المجهرية لمقاطع شفافة أو طبقات رقيقة أو نسج بسيطة أو خلايا متفرقة وذلك بعد أن تجتازها الأشعة الضوئية وتكبيرها من ٥٦ 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. (١نانومتر nm = ٠,٠٠١ ميكرومتر (أو ميكرون) µm = ٠,٠٠١ مليمتر mm).

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

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

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

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

الخلية النباتية The Plant Cell

الخلية هي وحدة النشاط الحيوي الأصغر القادرة على إبراز خصائص الكائن الحي. تُركّب الخلية مكوناتها بالاعتماد على العناصر التي تحصل عليها من الوسط الخارجي، وتتضمن عدداً من العضيات، وتحاط بغشاء سيتوبلاسمي لدى الخلايا الحيوانية، يُدعّم بجدار خلوي عند الخلايا النباتية.

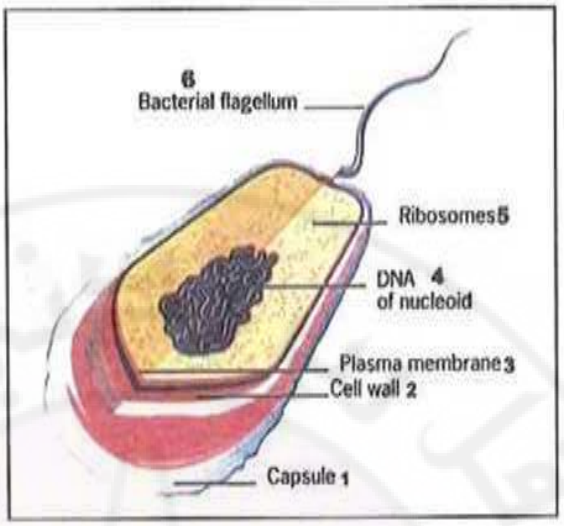
الخلايا حقيقة النوى وطلائعياتها:

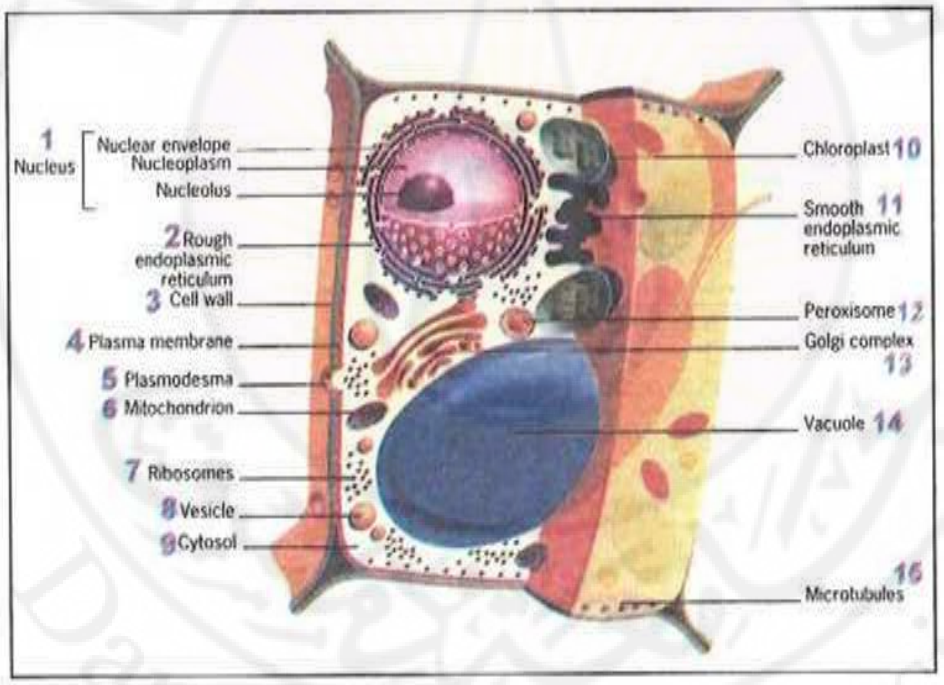
عندما أصبح المجهر الالكتروني أداة شائعة لدى علماء الحياة، واستُخدِم لفحص البنية الدقيقة لنماذج متنوعة من الخلايا، اتضح أن هناك نوعين أساسيين من الخلايا هما الخلايا طلائعية النوى prokaryotic cells والخلايا حقيقية النوى eukaryotic cells. وهما يختلفان عن بعضهما: بالحجم، والبنية الداخلية وبالعضيات (شكل ٣-١).

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 ٣-٢). 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 وحقيقياتها إلى أن المادة الوراثية عند طلائعيات النوى تتمثل بجزيء من الدنا DNA يأخذ شكلاً حلقياً، ولا يفصله أي غشاء عن المكتنفات السيتوبلاسمية الأخرى. على النقيض من ذلك فإن الدنا عند حقيقيات النوى يحاط ببنية معقدة ندعوها الغلاف النووي.

١: الكبسولة
٢: الجدار الخلوي
٣: الغشاء البلازمي
٤: الدنا
٥: الريباسات
٦: السوط





شكل ٣-١: شكل تخطيطي لبنية الخلايا لدى طلائعيات النوى (a) وحقيقياتها (b).
(١) الدواة، (٢) الشبكة السيتوبلاسمية الباطلة، (٣) الجدار الخلوي، (٤) الغشاء البلازمي، (٥) الواصلات البلازمية، (٦) الخديرة، (٧) الريباسات، (٨) حويصلة، (٩) العصارة الخلوية، (١٠) صانعة خضراء، (١١) شبكة سيتوبلاسمية باطلة، (١٢) البيروكسيزومات، (١٣) جهاز غولجي، (١٤) فجوة، (١٥) النبيبات دقيقة



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

تلخص القائمة التالية أوجه الاختلاف بين طلائعيات النوى وحقيقياتها:

الصفة	طلائعيات النوى	حقيقيات النوى
حجم الخلية	بين ٠,٥ – ٥ ميكرون	يصل حتى ٤٠ ميكرون
الشكل	وحيدة الخلية	وحيدة الخلية، أو كثيرة الخلايا
المادة الوراثية (الدنا DNA)	دنا صغير الحجم، حلقي، يتوضع في السيتوبلاسم، لا توجد نواة حقيقية ولا صبغيات، ولا نوية.	دنا كبير الحجم، خطي، يشترك مع البروتينات في تكوين الصبغيات التي لها القدرة على التكثف بشكل كبير وتوجد ضمن النواة، كما توجد نوية.
	تتضمن نسخة واحدة من الدنا "صبغي مفرد"	تتضمن الخلايا الجسمية نسختين من كل صبغي.
الاصطناع البروتيني	ريباسات صغيرة من النموذج 70S، وتفاصيل التركيب مختلفة	ريباسات كبيرة من النموذج 80S، ترتبط مع الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة
العضيات الخلوية الغشائية	العضيات الخلوية قليلة العدد، ولا توجد عضيات محاطة بغشاء أو بغلاف (مثل النواة، الصانعات، الخنيدرات، الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة ..) يستثنى من ذلك المعقد الغشائي الذي يقوم بالتركيب الضوئي في البكتريا الزرقاء.	العضيات الخلوية متنوعة، كثير منها محاط بغشاء بسيط أو مضاعف، مما أدى إلى توزيع النشاط الخلوي على هذه العضيات وتخصص كل منها بوظيفة محددة.
الجدار الخلوي	يحتوي على عديدات السكاريد مع حموض أمينية، تعد مادة الميورين المركب الأساسي الذي يقوي الجدار	يحتوي عند النباتات الخضراء عديدات سكاريد (سيللوز). بينما يكون البكتين المركب الرئيس لدى الفطريات
التنفس	يتحقق بالميزوزومات (ذيات داخلية من	يتحقق داخل الخنيدرات من أجل التنفس

الصفة	طلائعيات النوى	حقيقيات النوى
	الغشاء الخلوي السطحي)	الهوائي.
الاصطناع الضوئي	لا توجد صانعات، يتم في حال وجوده فوق الأغشية التي لا تشكل أكواماً	يستحقق لدى النباتات داخل الصانعات الحاوية أغشية يتكدس بعضها فوق بعضها.
الانقسام الخلوي	انقسام مباشر	انقسام خيطي Mitosis يتضمن حلزنة الصبغيات المتضاعفة، تنفصل لاحقاً بوساطة نبيبات دقيقة تدعى خيوط المغزل. تنطلق كل خلية بنت كمية متساوية من الصبغيات.
التكاثر الجنسي	التكاثر الجنسي الحقيقي مفقود، تصادف الترانا يتم خلاله تبادل جزء من الدنا بين خليتين.	يوجد تكاثر جنسي حقيقي يتضمن حدوث انقسام منصف Meiosis وتشكل أعراس، وإلقاح حقيقي.
تثبيت الآزوت	بعضها يملك هذه الخاصة	لا يملك أي منها هذه الخاصة

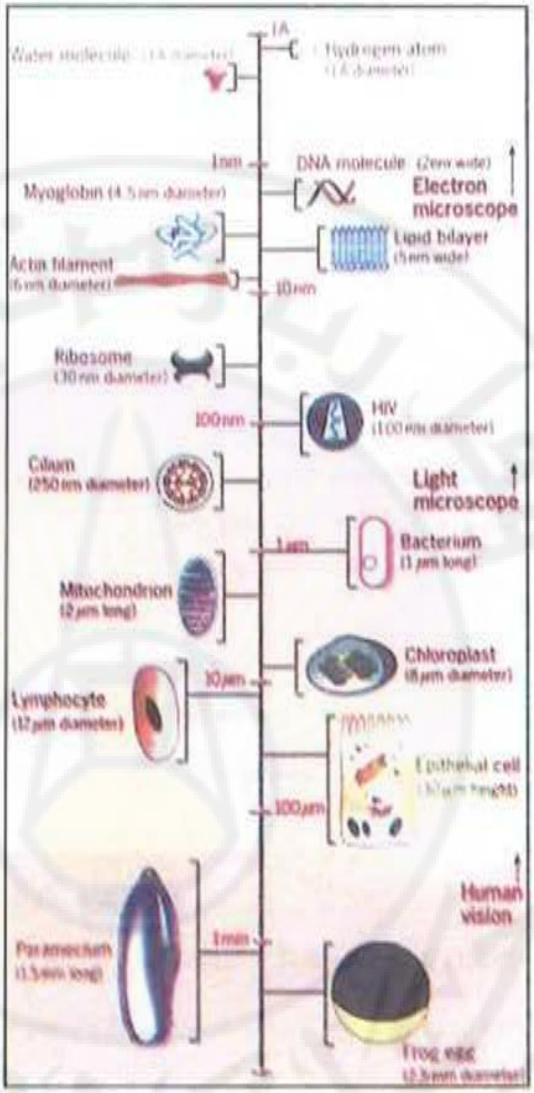
أما أهم الصفات المشتركة بين طلائعيات النوى وحقيقياتها فهي:

- للغشاء البلاسمي بنية متشابه يقوم بدور حاجز ذي نفاذية اصطفائية.
- المعلومات الوراثية المُشفَرة في الدنا DNA تعتمد الرمز الوراثي نفسه.
- نسخ وترجمة المعلومات الوراثية وفق آليات متشابهة.
- طرق استقلابية مشتركة مثل التحلل السكري، رغم حدوثها في أمكنة متباينة (في الغشاء البلاسمي للطلائعيات وفي غشاء الخنيدرات للحقيقيات).

حجوم الخلايا:

للخلية عادة أبعاد مجهرية ويوضح الشكل ٣ – ٣ أبعاد بعض الخلايا والعضيات 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 ٣-٣: الحجم النسبي للخلايا ومكوناتها



تتراوح أطوال الجراثيم من ١ إلى ٥ ميكرون (شكل ٣-٤). أما خلايا حقيقيات النوى فتتراوح بين ١٠ و ١٠٠ ميكرون. ويمكن في بعض الحالات أن يصل طول الخلايا البرنشيمية في مغلفات البذور إلى عدة ملليمترات كخلايا الثمار العصيرية والدرنات، كما في الليمون والبندورة والبطاطا، أما الخلايا البروزنشيمية Prosenchyma فهي أضخم من ذلك بكثير، إذ تصل أوبار القطن الخشن *Gossypium hirsutum* إلى ٦٥ مم. وفي هذه الحالات يبقى عرض

الخلية مجهرياً.

يمكن للمتعضيات 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 جميعاً تملك الجينوم Genome نفسه.

تتميز الخلية النباتية عن مثيلتها الحيوانية باحتوائها عدداً من العضيات التي تفتقدها 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 التنوع، بعض الخلايا تتضمن فجوة ضخمة واحدة تحتل الجزء الأكبر من الخلية. بينما نجد لدى خلايا أخرى فجوات صغيرة عديدة.
- الجدار الخلوي.



شكل ٣ - ٤: الجراثيم الزرقاء Cyanobacteria:
صورة بالمجهر الالكتروني تظهر الطيات الداخلية للأغشية السيتوبلاسمية التي يتم في مستواها عملية الاصطناع الضوئي. تشبه هذه الأغشية المتحدة المركز أغشية الصانعات الخضراء التي يتم فيها التركيب الضوئي. وهذا ما يدعم الافتراض الذي يقول بنشوء الصانعات الخضراء نتيجة تعايش خلية جراثيم زرقاء مع خلية من حقيقيات النوى.

مركبات الخلية النباتية:

يمكن تقسيم مركبات الخلية إلى مجموعتين أساسيتين:

آ: العضيات الخلوية الحية، التي يؤلف مجموعها البروتوبلاست Protoplast. يمكن توزيع البروتوبلاست بين زمرتين هامتين هما السيتوبلاسم والنواة.

ب: حاصلات النشاط الحيوي للبروتوبلاست، والتي تضم أيضاً الجدار الخلوي.

إن لمثل هذا التصنيف بعض المحاذير، فالفجوات في الخلايا الفتية تنتمي إلى العضيات الحية.

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

تصنف عضيات السيتوبلاسم وفق أكثر من معيار: فتقسم حسب حجمها إلى مجموعتين: بنيات مجهرية تلاحظ بالمجهر الضوئي، وبنيات فائقة الصغر Ultrastructure تلاحظ بالمجهر الالكتروني. ونميز استناداً إلى انعزالها عن العصارة الخلوية Cytosol (أو البلاسما الشفيفة) بنيات مضاعفة الغشاء البلاسمي، ووحيدته، أو عديمته.

يوضح المخطط العام التالي تصنيف مركبات الخلية النباتية:

		بنيات مجهرية	بنيات فائقة الصغر
البروتوبلاست	مركبات قنوية	الكروماتين فلوريات	الغلاف النووي
		البلاسما الفلورية	
	مركبات السيتوبلاسم	الخليريات الصانعات: - عديمة اللون - الخضراء - الملونة	الغشاء البلاسمي الشبكة البلاسمية الباطنة البلاسما الشفيفة الريبامات جهاز غولجي الجسيمات الدقيقة الجسيمات الفائقة الجسيمات الليزوكسومية الجسيمات الحالة الدبيبات الدقيقة
الفجوة			
	مشتقات البروتوبلاست	الجدار الهيكلي السيللوزي حاصلات الاستقلاب مركبات ادخارية: حبات نشوية قطرات لبيدية متضمنات بروتينية بلورات حماضات الكالسيوم	مواد نشطة فيزيولوجيا: - أنزيمات - فيتامينات - هرمونات نباتية

الرموز:
العضيات التي تحتها خط وبلون غامق هي بنيات مضاعفة الغشاء البلاسمي
العضيات التي تحتها خط هي بنيات وحيدة الغشاء
العضيات بدون أي خط هي بنيات عديمة الغشاء البلاسمي

الفصل الرابع

الغشاء البلاسمي Plasmic membrane

يحيط بالخلية غشاء يحمي محتوياتها ويسيطر على عبور المواد منها وإليها، إلا أن هذا الغشاء غاية في الرقة إذ تتراوح ثخانته من ٥ إلى ١٠ نانومتراً، ويتطلب ما يقارب ١٠٠٠٠ غشاء بلاسمي مكدسة بعضها فوق بعض لتبلغ ثخانتها ثخانة ورقة من هذا الكتاب.

بنية الغشاء البلاسمي:

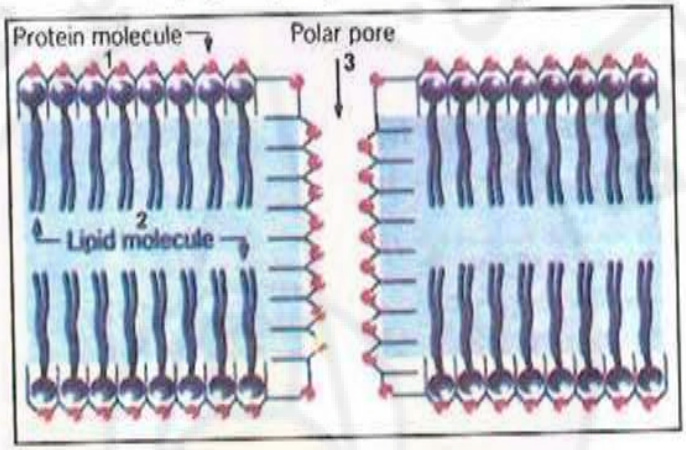
بسبب الرقة المتناهية للغشاء البلاسمي لم يتمكن العلماء من مشاهدته بالمجهر الضوئي، ولكنهم تمكنوا من استنتاج طبيعته الكيميائية الليبيدية منذ نهاية القرن التاسع عشر، وذلك من خلال تجارب حول سرعة نفاذ عدد كبير جداً من المواد المذابة من خلاله وطبيعتها.

اقترح دافسون ودانيلي Davson & Danielli في عام ١٩٣٥ بأن طبقة الليبيدات المؤلفة للغشاء البلاسمي تكون مكسوة على سطحيها الداخلي والخارجي بطبقة مستمرة من البروتينات الكروية. ثم عدلا نموذجهما واقترحا وجود ثقر تخترق الغشاء وتغلفها البروتينات الكروية عام ١٩٤٣ (شكل ٤ -١).

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

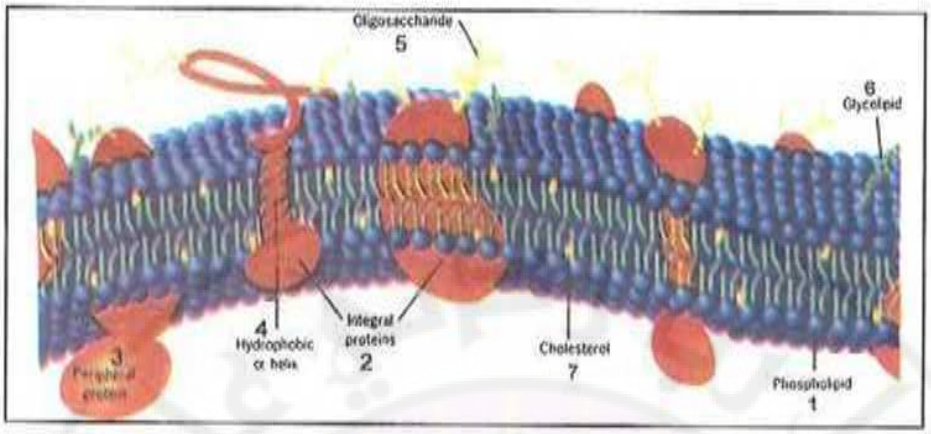
في النموذج الفسيفسائي السائل، الذي اقترح فيما بعد لتفسير بنية الأغشية، رُكز الانتباه على الحالة الفيزيائية لليبيدات التي اعتبرت، على عكس النماذج السابقة، في حالة

مائـة يمكـن فـيها للجزيـئات الليبـيدية المفـردة أن تـتحرك جانبياً ضمن مستوى الغشاء. كما تختلف بنية وترتيب البروتينات في النموذج الفسيفسائي السائل عن النماذج السابقة من حيث أنهـا لا تغطـي بشـكل تـام طبقة الليبيدات وإنما تتوزع بشكل غير مستمر (كفسيفساء) مخترقة طـبقة الليبيدات في نقاط محددة. الأكثر أهمية أن هذا النموذج يقدم الأغشية البلاسمية كبنيات ديناميكـية تـتحرك ضـمنها المركـبات المكونة لها، ويكون لها القدرة على الاقتراب بعضها من بعض لتشترك في تشكيل أنماط متنوعة مؤقتة أو شبه دائمة.



الشكل ٤ - ١ : بنية الغشاء البلاسمي كما اقترحها دافسون

يتألف الغشاء البلاسمي وفق المعطيات الحديثة (شكل ٤-٢) من ليبيدات تشكل العمود الفقـري البنـيوي للغشـاء، وبروتيـنات ذات وظـائف أكـثر تخصصاً، إضـافة إلى نسبة أقل من السـكاكر. تتـباين نسـبة كل من الليبيدات والبروتينات في الأغشية الخلوية حسب نمط الغشاء الـبلاسمي (غشـاء بلاسـمي خـارجي، غشـاء الشـبكة السـيتوبلاسمية الباطـنة، غشـاء جهـاز غولجـي..)، أو حسـب وظـيفة الخلـية أو نمـط الكائن الحي (طلائعيات النوى أم حقيقياتها، نـبات أم حـيوان). فتكون، على سبيل المثال، نسبة البروتينات عالية جداً في الغشاء الداخلي للخنـيدرات مقارنـة مـع أغشـية أخـرى لأنـه يتضـمن سـلاسـل نقل الإلكترونات ذات الطبيعة البروتينية.



شكل ٤ - ٢ : البنية الحالية المقترحة للغشاء البلاسمي:
١: الفوسفوليبيد، ٢: البروتينات التامة، ٣: البروتينات المحيطية، ٤: بروتين منطو على شكل حلزون الفا كاره للماء، ٥: سكاكر عديدة مرتبطة مع البروتينات، ٦: غليكوليبيد، ٧: كولسترول (في الخلايا الحيوانية فقط).

أولاً: الليبيدات الغشائية

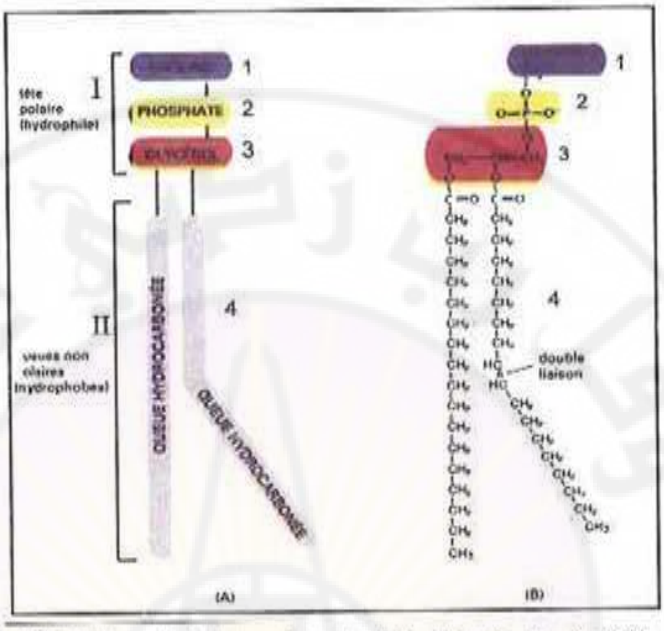
تتألف المادة الليبيدية للغشاء من عدة ملايين من الجزيئات الليبيدية التي تجمع بين خاصتين متباينتين تماماً، إذ تملك رأساً محباً للماء وذيلاً كارهاً له. تنتظم هذه الجزيئات في طبقتين تنطبق الواحدة على الأخرى بحيث تكون المجموعات المحبة للماء ملامسة السطح الخارجي، والمجموعات الكاره للماء موجهة نحو الداخل. وتعود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

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

١: الفوسفوليبيدات: يتألف جزيء الفوسفوليبيد من جزيء غليسرول مرتبط مع حمضين دسمين 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) كالكولين على سبيل المثال. وهكذا تشكل مجموعة الفوسفات والمجموعة المرتبطة معها رأساً محباً للماء يقابله طرف آخر مكون من سلسلتي الحموض 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).

I: رأس قطبي محب للماء يتألف من:
1: مجموعة قطبية تتمثل هنا بالكولين.
2: مجموعة فوسفات
3: غليسرول
II: ذيل لا قطبي كاره للماء.



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

٢: السفينغوليبيد : النموذج الثاني من جزيئات الليبيدات الغشائية أقل غزارة في الغشاء ويدعى سفينغوليبيد. ويتألف الجزيء من السفينغوزين Sphingosine (وهو كحول أميني يتضمن سلسلة طويلة من السكاكر) يرتبط مع حمض دسم عبر مجموعة الأمين وإلى مجموعات كيميائية أخرى، فإذا كانت هذه المجموعة سكراً يصبح الجزيء غليكوليبيد (ليبيدات سكرية). والسفينغوليبيدات تشبه الفوسفوليبيدات بكونها ثنائية القطبية.

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

٣: الكولسترول: تتضمن أغشية بعض خلايا حقيقيات النوى نموذجاً ثالثاً من الليبيدات هو الكولسترول، والذي يمكن أن تصل نسبته إلى نحو ٥٠٪ من ليبيدات الغشاء البلاسمي في

الخلايا الحيوانية. ويغيب من الأغشية البلاسمية لمعظم الخلايا النباتية والجرثومية. ورغم كون الكولسترول ثنائي القطبية أيضاً إلا أن هذه الخاصة 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 المشكلة للسلاسل الكارهة للماء)، ويمكن لبعض الأغشية أن تحتوي أكثر من مئة نوع مختلف من الفوسفوليبيدات. والليبيدات الغشائية أكثر من مجرد مركبات بنائية 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 الليبيدية المضاعفة تركيب غير متناظر، إذ يحصل توزع خاص لليبيدات بين الوريقة الخارجية والوريقة الداخلية. فالوريقة الخارجية تتضمن بخاصة غليكوليبيدات، والوريقة الداخلية غنية 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 سطحي الغشاء خصائص مختلفة. والجزيئات البروتينية الغشائية أقل من حيث العدد بكثير من الليبيدات (٥٠ ليبيداً مقابل كل جزيء بروتيني واحد)، إلا أنها تفوق في حجمها الجزيئات الليبيدية بنحو ٣٠ إلى ٥٠ مرة.

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

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

يبقى الغشاء البلاسمي محافظاً على نفاذيته الاصطفائية.

٢ : البروتينات السطحية Peripheral proteins: وهي تلك التي تتوضع بكاملها خارج الطبقة الليبيدية المضاعفة وذلك سواء على السطح الخارجي أو السطح الداخلي الملامس للسيتوبلاسم. 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: وتتوضع من جهة على أحد سطحي الطبقة الليبيدية المضاعفة وترتبط مع الجزيء الليبيدي الموجود في الطبقة المضاعفة.

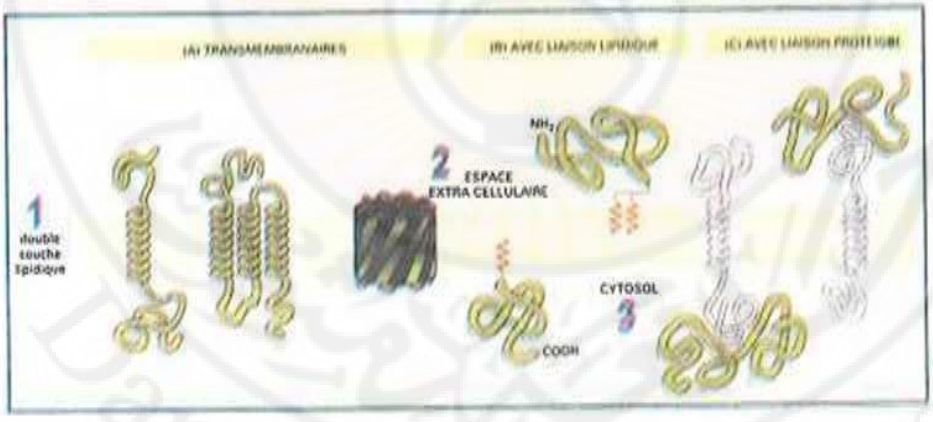
تؤدي البروتينات الغشائية العديد من الوظائف ومن أهمها (شكل ٤ – ٥):

١ : نقل المواد المغذية أو المواد الاستقلابية والشوارد.

٢ : استقبال الإشارات الكيميائية القادمة من الوسط ونقلها إلى داخل الخلية.

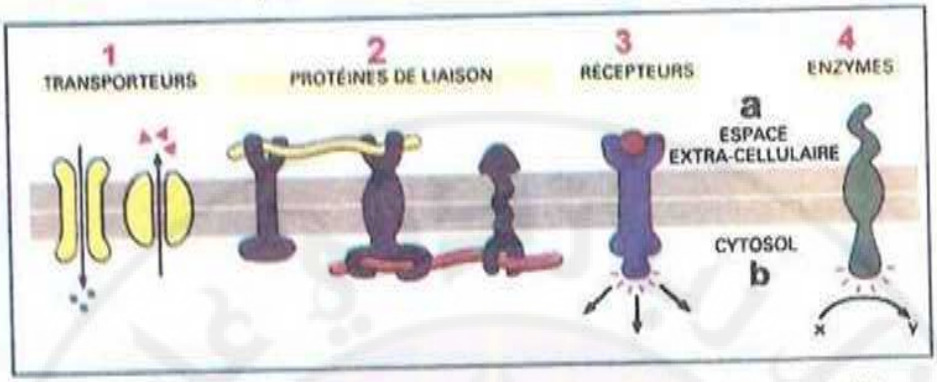
٣: مواقع ارتباط لجزيئات بنيوية أخرى.

٤ : أنزيمات تتوسط تفاعلات تخصصية.



شكل ٤-٤ : أنماط مختلفة لارتباط البروتينات الغشائية مع الطبقة الليبيدية المضاعفة:
(١) الطبقة الليبيدية المضاعفة، (٢) الوسط الخارجي، (٣) السيتوبلاسم
A- بروتينات تخترق الطبقة الليبيدية المضاعفة وتبرز على كلا سطحي الغشاء، B- بروتينات سطحية مرتبطة مع الطبقة الليبيدية C- بروتينات سطحية مرتبطة مع بروتينات غشائية أخرى.

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



شكل ٤ - ٥ : بعض وظائف البروتينات الغشائية:
١- النقل، ٢- بروتينات ارتباط، ٣- مستقبلات، ٤- انزيمات.
a: السطح الخارجي، b: السطح المواجه للسيتوبلاسم

سكاكر الغشاء :

يتضمن الغشاء البلاسمي في حقيقيات النوى سكاكر ترتبط مع كل من الليبيدات والبروتينات. وتتعلق كميتها بنوع الكائن الحي وبالنمط الخلوي، وهي تتراوح في الغشاء البلاسمي من ٢ إلى ١٠٪ من الوزن. ويرتبط القسم الأكبر منها (نحو ٩٠٪) مع البروتينات لتشكيل غليكوبروتينات، أما الباقي فيرتبط مع الليبيدات ليشكل غليكوليبيدات. 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 معطفاً خلوياً على السطح الخارجي للغشاء الخلوي.

وظائف الغشاء البلاسمي:

لا تقتصر وظيفة الغشاء البلاسمي على الإحاطة بالخلية وحماية مكتنفاتها، بل هناك وظائف عديدة ومهمة 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.

٢: موقع للنشاطات البيوكيميائية: فلا تقتصر وظيفته على الإحاطة بحجيرات فقط، بل يعد الغشاء بحد ذاته منصة واسعة تنتظم عليها بعض العناصر بترتيب خاص يؤدي لحدوث تفاعل محدد بدلاً من أن تترك فرصة حدوثه للتصادمات العشوائية.

٣: تأمين حاجز ذي نفاذية اصطفائية، بحيث تمنع الأغشية حدوث تبادلات غير مقيدة للجزيئات من طرف إلى آخر. يمكن مقارنة الغشاء البلاسمي الذي يحيط بالخلية بخندق مائي يحيط بقلعة، فكلاهما بمثابة حاجز عام، ولكليهما بوابات "ثغور" تسمح بعبور العناصر المرغوب بها من والى المكان الحي المطوق.

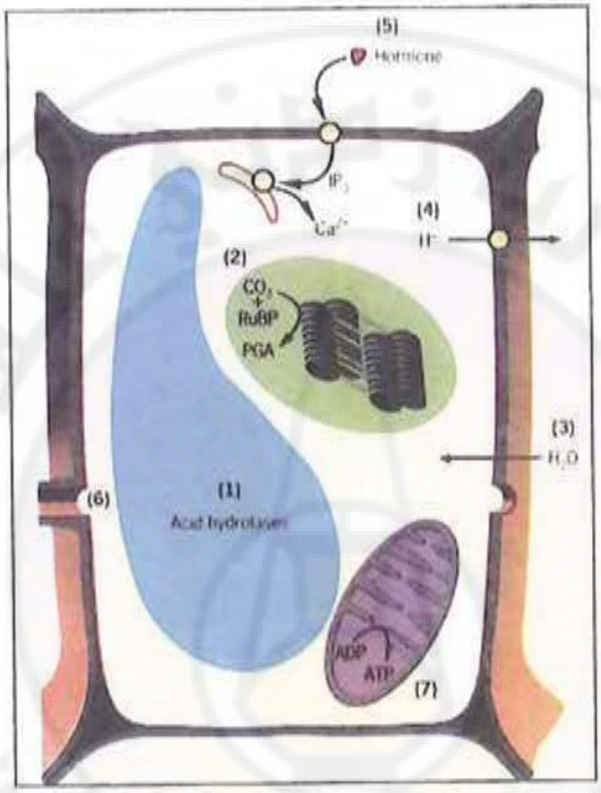
٤: نقل المواد المذابة عبر آليات نقل خاصة ومتعددة بحيث تسمح للخلية بتكديس بعض المواد مثل السكاكر والحموض الأمينية، التي تعد ضرورية كوقود للعمليات الاستقلابية ولبناء الجزيئات الضخمة، بتراكيز عالية. كما يتمتع الغشاء بقدرته على نقل شوارد خاصة، بحيث يصبح تركيزها داخل الخلية أعلى من تركيزها في الوسط الخارجي، وبهذا ينشئ عبره تدرج شاردي. وهذه المقدرة مهمة لبعض أنماط الخلايا.

٥: الاستجابة للمؤثرات الخارجية: يملك الغشاء البلاسمي على سطحه مستقبلات نوعية يمكنها أن ترتبط مع جزيئات مثيرة (هرمونات مثلاً ..) وذلك نتيجة لامتلاكها بنية فراغية متممة لهذه الجزيئات. يُوَلِّدُ التفاعل الحاصل بين الجزيء المثير والغشاء إشارة تؤدي بدورها إلى تحريض أو كبح فعاليات فيزيولوجية محددة، كأن تصنع الخلية مزيداً من السكاكر الادخارية أو التهيؤ للانقسام الخلوي أو تحرير عنصر أو مركب من المخزون الداخلي .. أو لتقوم الخلية بعملية الانتحار الذاتي.

٦: يتوسط الغشاء البلاسمي التفاعلات بين الخلية وتلك التي تجاورها وتتبادل فيما بينها المواد والمعلومات.

٧: تحويل الطاقة من نمط لآخر هو من صميم العمليات التي تقوم الأغشية البلاسمية بها. يحدث التحويل الأساسي للطاقة خلال عملية الاصطناع الضوئي التي يحدث فيها اقتناص الطاقة الموجودة في ضوء الشمس من قبل الأصبغة اليخضورية في أغشية الصانعات الخضراء

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



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

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

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 الدنا DNA الذي يحمل القسم الأكبر من المعلومات الوراثية الخلوية.

توجد النواة في جميع خلايا حقيقيات النوى وتشذ 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 نجد فيها خلايا عديدة النوى كما هو الحال لدى بعض الطحالب Algae والفطريات.

يعد 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 بمعزل عن موقع اصطناع البروتينات الذي يتم في السيتوبلاسم. واقتناص طاقة الضوء والاستفادة منها في عملية الاصطناع الضوئي يتم في الصانعات الخضراء ..الخ. هذا التقسيم إلى عضيات مختلفة: نواة، شبكة سيتوبلاسمية باطنة، صانعات، خنيدرات .. جعل خلايا حقيقيات النوى ذات تعقيد أكبر بكثير من الخلايا طلائعية النوى.

شكل النواة وحجمها:

يتباين 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 بقدر بـ ١٠ إلى ١٥ ميكروناً، أما حجمها فثابت ضمن النسيج الخلوي الواحد. تشكل النسبة بين حجم النواة وحجم البروتوبلاسم نسبة ثابتة، وترتبط هذه النسبة بحجم الجينوم genome من جهة أولى: ففي الخلايا ربامية الصيغة الصبغية تكون قيمة هذه النسبة مساوية لضعف قيمتها في الخلايا ثنائية الصيغة 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 بنيوية ووظيفية محددة خلال الطور البيني بغلاف نووي، تحمل مجموع المعلومات الوراثية على شكل دنا DNA. وتستطيع الحفاظ على هذه الذخيرة الوراثية رغم الانقسام الخلوي وذلك بفضل تضاعف الدنا. كما أنها مسؤولة عن تركيب الرنا الرسول mRNA ونقله إلى السيتوبلاسم، حيث يتم فك رموزه بوساطة الريباسات خلال عملية اصطناع البروتينات. وتقوم بتركيب الرنا الناقل tRNA الذي يحمل الحموض الأمينية خلال اصطناع البروتينات، وتركيب الرنا الريباسي rRNA الذي يدخل في تركيب الريباسات.

أظهر المجهر الالكتروني أن النواة ذات بنية معقدة وتتضمن في الطور البيني العناصر التالية (شكل ٥ - ١):

١: غشاء نووي مضاعف يحيط بمحتويات النواة، ويضم نقراً كثيرة ذات بنية معقدة من خلالها يتم التبادل النووي السيتوبلاسمي.

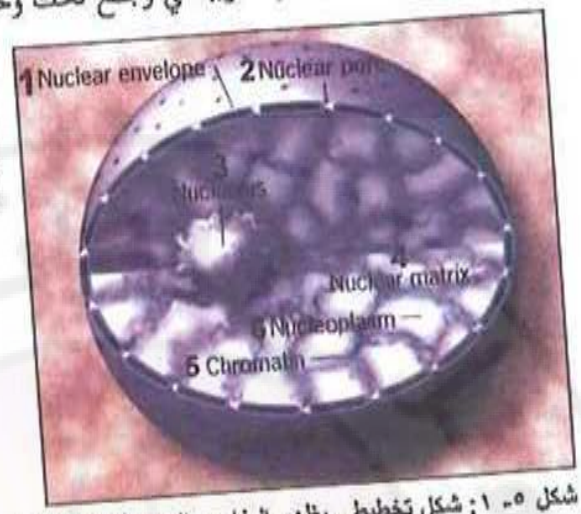
٢: شبكة من الخيوط الرفيعة شديدة الولوع بالملون، ندعوها الكروماتين ويؤلف مجموعها الصبغيات.

٣: البلاسما النووية nucleoplasm وهي المادة السائلة التي تنحل فيها المواد المذابة.

٤: القالب النووي nuclear matrix يتألف من شبكة من الليفات البروتينية.

٥: نويبة واحدة أو أكثر وتبدو كمنطقة من الكروماتين أشد كثافة ولكنها غير مفصولة بغشاء

خاص. وظيفتها تركيب الرنا الريباسي وجمع تحت وحدات الريباسات.



شكل ٥- ١: شكل تخطيطي يظهر العناصر الرئيسة المكونة للنواة

أولاً: الغلاف النووي The Nuclear Envelope:

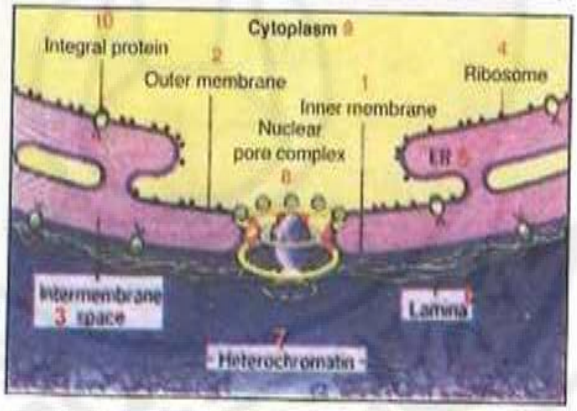
الغلاف النووي غشاء مضاعف، معقد البنية، يميز حقيقيات النوى، يفصل المادة الوراثية عن السيتوبلاسم خلال فترة الطور البيني، ويسيطر على التبادل بين النواة والسيتوبلاسم. يعد ظهور الغلاف النووي نقطة تحول مهمة في تاريخ التطور. إذ يعد فصل المادة الوراثية الخلوية عن السيتوبلاسم المحيطة بها الصفة الأهم التي تميز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

يتألف الغلاف النووي من غشاءين ينتظمان بشكل متواز، يفصلهما فراغ يتراوح ما بين ١٠ و ٥٠ نانومتراً (شكل ٥-٢). يتصل الغشاء الخارجي مع الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنة ويتداخل معها، ويُغطى مثلها بالريباسات. وهكذا تكون الفضوة التي تفصل الغشاءين على اتصال مع لمعة الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. تُبَطِّنُ شبكة كثيفة من الليفات البروتينية السطح الأنسي للغشاء الداخلي الملامس للبلاسما النووية، ندعو هذه الليفات لامينا lamina. تؤمن هذه الليفات 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 الليفات السيتوبلاسمية الوسيطة. وقد تمكنا لدى معظم الحيوانات والنباتات العليا من تمييز ثلاثة أشكال مختلفة من اللامين يرمز إليها بـ A، B، C. تتفكك هذه الشبكة من الخيوط مع بدء الانقسام النووي سواء كان الانقسام خيطياً أو منصفاً ومن ثم يعاد تجميعها في نهايته، باستثناء اللامين 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 الليبيدات 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 بمنزلة مستقبلات يرتبط معها بخاصة ألياف اللامينا.

١: الغشاء الداخلي
٢: الغشاء الخارجي
٣: الفضوة بين الغشاءين
٤: الريباسات
٥: الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة
٦: اللامينا
٧: الكروماتين المغاير
٨: نقرة نووية
٩: السيتوبلاسم
١٠: بروتينات تامة



الشكل ٥-٢: شكل تخطيطي للغلاف النووي

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

والمنظمة لنشاط الدنا. هذه النقر بنيات حركية غير ثابتة وغير دائمة، يمكن أن تختفي 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 ٥-٣ و شكل ٥-٤)، تُقدر كتلتها الجزيئية بنحو ١٢٥ مليون دالتون، وتضم نحو ١٠٠ نوع من الجزيئات البروتينية المختلفة، التي لا تزال بنية ووظيفة أكثرها مجهولاً. تنتظم الجزيئات البروتينية ضمن قناة النقرة على شكل حلقة مؤلفة من ٨ وحدات، يصدر عنها أشعة باتجاه المركز تتصل فيما بينها لتشكل حلقة ضمن لمعة النقرة تسمى حلقة اللمعة. تتصل هذه الوحدات المشكلة 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 يحلوها خيوط سيتوبلاسمية.

- الثانية حلقة نووية وتظهر من جهة فوهة النقرة الملامسة للبلاسما النووية. ترتبط الحلقة النووية مع جزيئات تأخذ شكلاً قراغياً يشبه شكل سلة، كما ترتبط مع ليفات اللامينا التي تكسو السطح الأنسي للغشاء الداخلي من الغلاف النووي (شكل ٥-٤).

يظهر تحت المجهر الالكتروني في مركز لمعة النقرة حبيبة مركزية تمثل المواد التي تكون في طريقها لعبور هذه النقر.

تسيطر هذه البنية المعقدة على حركة مرور الجزيئات بالاتجاهين. وبشكل عام فإن الشوارد والجزيئات الصغيرة التي لها كتلة أصغر من ٥٠٠٠ دالتون تعبر النقرة بسهولة كبيرة، إلا أن الأمر مختلف بالنسبة للجزيئات الأضخم مثل الوحدات المكونة للريباسات وأنزيمات البلمرة (البولميراز). لنأخذ على سبيل المثال البروتينات التي يتم تركيبها في السيتوبلاسم وتكون وجهتها النواة. تملك هذه البروتينات تتابعاً خاصاً مؤلفاً 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 مستقبلات موجودة على الحلقة الخارجية للنقرة، ومن ثم يتم الارتباط مع الجزيء البروتيني تمهيداً لنقله إلى داخل النواة عبر النقل الفعال.

وتبين أيضاً أن جزيئات الرنا التي تغادر النواة باتجاه السيتوبلاسم ترتبط بعد نسخها مع بروتينات خاصة تشكل قلنسوة في النهاية `5 من جزيء الرنا. وفي مستوى النقرة يتم التعرف على هذه القلنسوة، ثم تنقل عبر النقرة 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 الاصطفائي الذي تمارسه النقر النووية 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 مضرة إلى الصبغيات.

ثانياً: النوية Nucleolus:

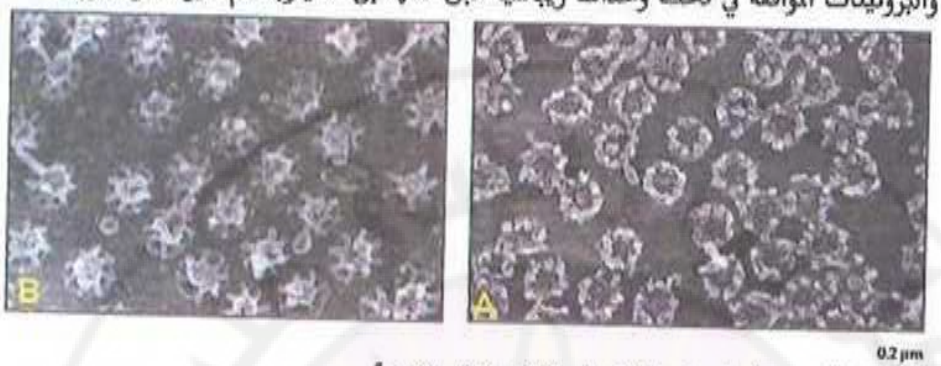
النوية منطقة كثيفة ضمن شبكة الكروماتين تتلون بشدة نظراً لمحتواها المرتفع من مادتي الدنا والرنا. تأخذ النوية شكلاً كروياً عادة ضمن النواة، وهي غير مفصولة عن البلاسما النووية بغشاء خاص بها. قد يوجد في النواة الواحدة نوية واحدة أو أكثر.

بنية النوية:

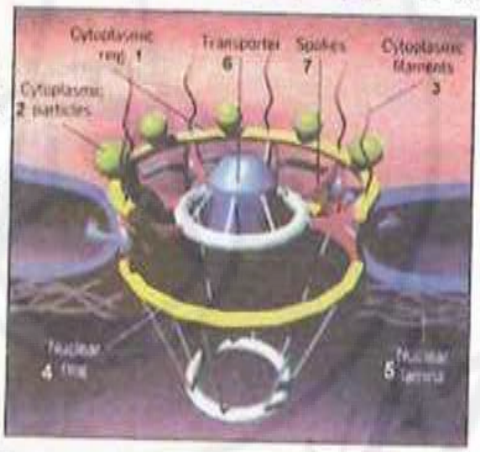
تبدو النوية من خلال المجهر الإلكتروني مؤلفة من ثلاث مناطق:

- مركز خيطي، تصادف في مستواه نسخ متعددة من المورثات التي تُشفر إلى الرنا الريباسي rRNA. تدعى هذه المنطقة المنظم النوبي. تعود هذه المورثات عادة إلى أكثر من صبغي واحد.
- يحيط به منطقة خيطية رخوة تتفق مع الرنا الريباسي المنسوخ الذي سيرتبط مع البروتينات أو طلائع وحدات الريباسات.

– وأخيراً نجد منطقة حبيبية قطر حبيباتها من ١٥–٢٠ نانومتراً. وفيها يتم تنظيم الرنا والبروتينات الموافقة في تحت وحدات ريباسية قبل نقلها إلى السيتوبلاسم عبر النقر النووية.



الشكل ٥-٣: صورة بالمجهر الالكتروني الكاسح للنقر النووية
A: الوجه السيتوبلاسمي للنقر، مظهراً الجزيئات السيتوبلاسمية للنقرة.
B: الوجه النووي للثغر يظهر الجزيئات التي تشبه السلة في بنيتها الفراغية.



١. الحلقة السيتوبلاسمية
٢. الجزيئات السيتوبلاسمية
٣. الخيوط السيتوبلاسمية
٤. الحلقة النووية
٥. اللامينا
٦. المادة المنقولة
٧. أشعة حلقة اللمعة

الشكل ٥-٤: نموذج تخطيطي ثلاثي الأبعاد لمعقد النقرة النووية

وظيفة النوية:

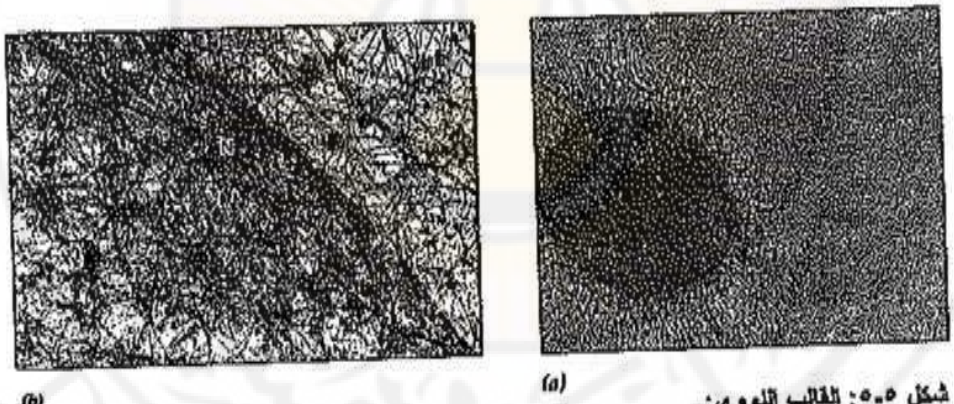
النوية جهاز إنتاج الريباسات، فهي مسؤولة عن اصطناع الرنا الريباسي rRNA (الرنا المشارك في تركيب الريباسات)، وضمنها يتحد الرنا الريباسي المنسوخ بعد خضوعه لعدة تغيرات "نضج" مع البروتينات السيتوبلاسمية الأصل، ليتشكل لدينا تحت وحدتين سوف تشكلان الريباسة. تخرج تحت الوحدات من النواة عبر النقر النووية، حيث تتحد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

السيتوبلاسم لتشكل رياسة وظيفية.

ثالثاً: القالب النووي

تؤدي معالجة النواة بمادة منظفة detergent وملح عالي التركيز إلى إزالة الليبيدات وكامل البروتينات الهستونية وغير الهستونية المرافقة للكروماتين تقريباً. ونحصل على الدنا وقد بدا على شكل هالة تحيط بما تبقى من مركز النواة (شكل ٥-٥). إذا ما قمنا لاحقاً بهضم خيوط الدنا بوساطة أنزيمات DNase فسيكون للبنية المتبقية ذات الشكل الذي كانت النواة تمتلكه قبل هذه المعالجة، ولكنه يتألف من كتلة من الخيوط المتشابكة التي تحتل مساحة النواة (شكل ٥-٥ b). تُدعى هذه الشبكة من الخيوط غير المنحلة القالب النووي.

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



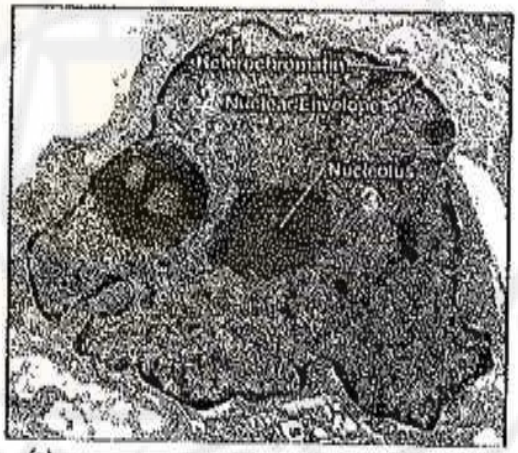
شكل ٥-٥: القالب النووي:
a: صورة بالمجهر الالكتروني لنواة معزولة معالجة بمادة منظفة وملح عالي التركيز. يبدو الكروماتين كهالة.
b: جزء من القالب النووي N والذي يمكن حتى حدود الغلاف النووي، و C قالب السيتوبلاسم.

رابعاً: الكروماتين Chromatin:

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

المرتبط مع بروتينات قاعدية الخواص تدعى هستونات. ويتم انتظام الهستونات والدنا في بنى شبيهة بالعقد أو السبحة تدعوها بالجسيمات الصبغية nucleosomes .

تتلون المادة الصبغية أثناء الانقسام النووي الخيطي بشدة أكبر وتصبح بذلك أشد وضوحاً لأنها تتكاثف بشكل خيوط شديدة الالتفاف تدعى الصبغيات chromosomes. وتصبح أكثر تبعثراً أثناء الطور البيني الذي يفصل بين انقسامين متتاليين، لكن بعضها يبقى ملتفاً بإحكام ومتلولباً ويتلون بشدة ويدعى المادة الصبغية المغايرة heterochromatin وتُرى على شكل بقع عاتمة مميزة قرب غلاف النواة (شكل ٥-٦). توجد المادة الصبغية المتبقية على شكل ألياف منفردة فضفاضة بالقرب من مركز النواة وتدعى المادة الصبغية الحقيقية euchromatin . وتكون هذه الألياف المفردة مبعثرة كثيراً بحيث لا يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي العادي وهي تحتوي الدنا الذي يكون فعالاً بصورة عامة أثناء الطور البيني.



(a)

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

بنية الدنا DNA:

يتألف جزيء الدنا من سلسلتين ملتفتين حلزونياً ومتكاملتين وبقطبية متعاكسة (شكل ٥-٧). كل سلسلة من الدنا عبارة عن بوليمير من النكليوتيدات. يتألف النكليوتيد من سكر خماسي هو الريبوز منقوص الأكسجين، يرتبط مع أساس آزوتي ذي نواة حلقية ومع جزيء من حمض الفوسفور. وترتبط السلسلتان الواحدة مع الأخرى عبر روابط هيدروجينية تجمع بين

الأسس الآزوتية المتقابلة، بحيث يحصل تزاوج بين الغوانين والسيتوزين (عبر ثلاث روابط) وبين الادنين والتيامين (عبر رابطتين). إن ميزة تكامل الأسس بين السلسلتين تسمح لنا معرفة تتالي الأسس في إحدى السلسلتين لدى معرفتنا بالتتالي الموجود في السلسلة الأخرى.

يمكن فصل السلسلتين بعضهما عن بعض برفع درجة الحرارة إلى حد معين مما يسبب انقطاع روابط الهيدروجين التي تربط بين الأسس. وهذه عملية عكوسة، 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 متعضية إلى أخرى، كما لا يوجد ارتباط بين عدد الصبغيات في متعضية ما ومدى تطورها. توجد الصبغيات في نوى الخلايا الجسمية بهيئة أشفاع متماثلة، بينما تكون جميع الصبغيات مختلفة في نوى الخلايا الجنسية. تظهر القائمة التالية الكمية التقريبية للدنا في بعض المتعضيات وعدد صبغياتها:

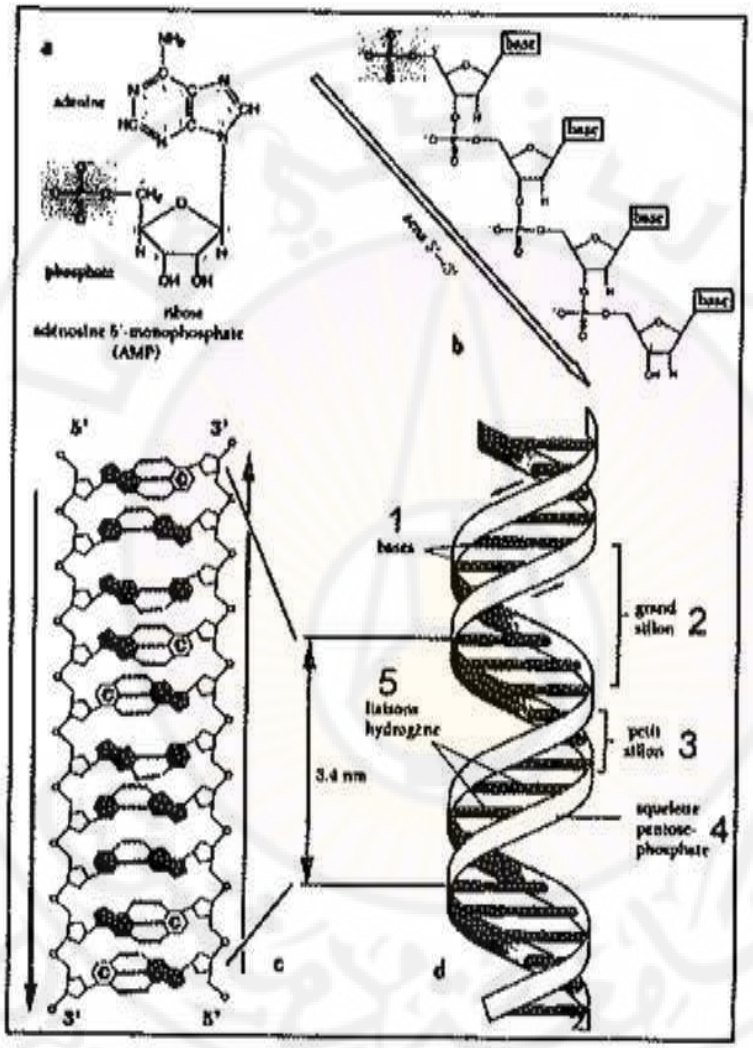
المتعضية	كمية الدنا (شفع نكليوتيدي في الجينوم (أحادي الصيغة الصبغية)	عدد الصبغيات في الخلايا 1n
خميرة	10^7 X 1.8	16
ذبابة الخل	10^8 X 1.4	4
نبات Arabodopsis	10^6 X 1	5
الفأر	10^9 X 3	20
للغول	10^{10} X 1.3	7
الإنسان	10^9 X 3.3	23

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

المستويات المختلفة لتراص الكروماتين:

يبلغ طول الدنا بشكل وسطي نحو متر واحد في الخلية الجنسية (وحيدة الصيغة الصبغية)، أي نحو مترين في كل نواة جسمية. فكيف يتكثف هذا الدنا لكي يصبح متضمناً في

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



شكل ٥-٧: بنية الدنا

a. العناصر المكونة لنكليوتيد الأدينوزين
b. سلسلة مفردة من الدنا في طور النمو (لاحظ أن اتجاه بناء السلسلة يكون بالاتجاه من '5 إلى '3
c. ارتباط سلسلتي الدنا بعضهما ببعض، لاحظ تكامل الأسس، والاستقطاب المعاكس للسلسلتين
d. الشكل الفراغي الثلاثي لجزيء الدنا (١: الأسس، ٢: الأخدود الكبير، ٣: الأخدود الصغير، هيكل السلسلة المؤلف من تتالي السكر مع الفوسفات، ٥: الروابط الهيدروجينية)

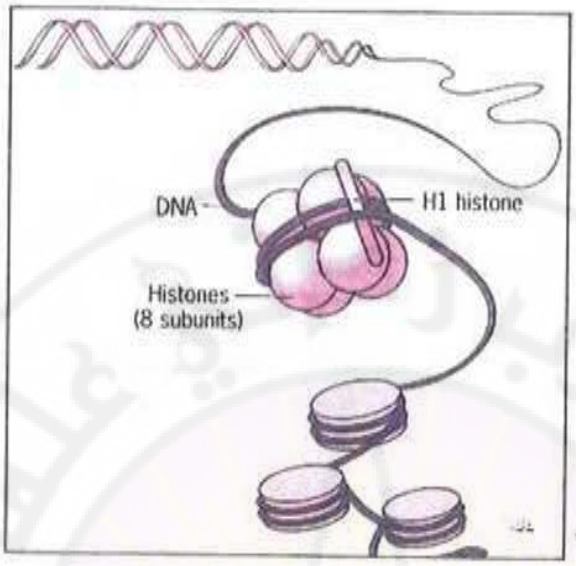
البروتينات المرتبطة مع الدنا:

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

تتوضع الهستونات على شكل كريات كروية قطرها ١١ نانومتراً، وتتألف كل كرية من اجتماع ثمان لحت وحدات (٤ أشفاع) تعود إلى أكثر من نمط من الهستونات (H2A, H2B, H3, H4). وقد أظهرت الدراسات الحديثة وجود بروتينات لا هستونية أيضاً في بيئة هذه الجسيمات. يلتف جزيء الدنا (مضاعف السلسلة) حول هذه الكرية بمقدار لفتين، ويبلغ طول خيط الدنا الملتف حول هذه الكرية البروتينية ١٤٠ شفعاً من الأسس. تشكل هذه البنية ما ندعوه الجسيم النووي nucleosome، وتمثل المستوى الأول من تكثف الدنا (شكل ٥-٨). 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 بسيط لها لكي تسمح لأنزيمات النسخ والتضاعف من الولوج إلى سلسلة الدنا بسهولة وتنجز عملها. تتكثف الجسيمات النووية عبر تنضدها بعضها فوق بعض لتؤلف خيطاً كروماتينياً جديداً يبلغ قطره ٣٠ نانومتر، وهذا هو المستوى الثاني من تكثف الدنا (شكل ٥-٩).

مع بداية الانقسام الخلوي ينثني الخيط السابق انثناءات عديدة ويرتبط في مناطق خاصة منه مع ألياف بروتينية غير هستونية، تأخذ شكل دعامة، وبشكل عُقَداً عديدة حولها. تضم كل عقدة عشرات الألوف من النكليوتيدات. ويبلغ قطر الخيط الناتج عن هذا التكثف ٣٠٠ نانومتر. وهذا هو المستوى الثالث من تكثف الدنا.

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

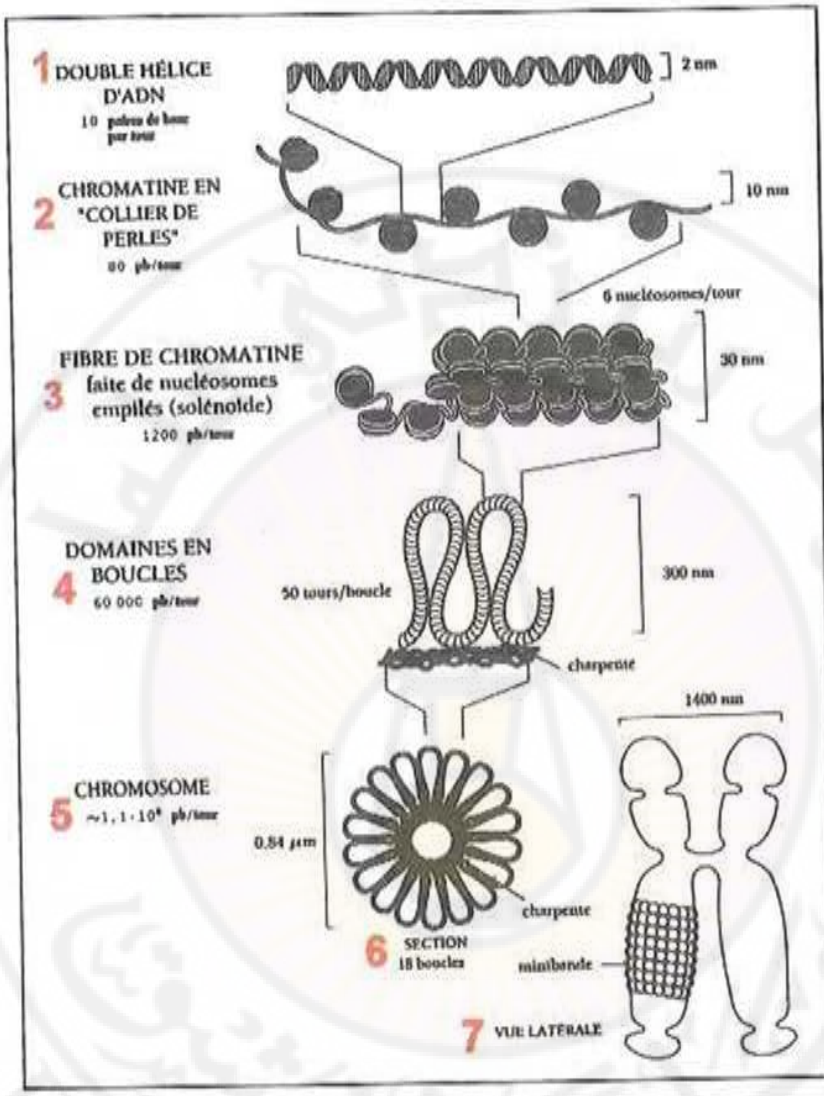


الشكل ٥-٨: التفاف جزيء الدنا حول الهستونات (بنية عقد اللؤلؤ)

يبدو الصبغي في الطور الاستوائي (شكل ٥-١٠) مؤلفاً من صُبيغيين chromatids مرتبطين بالجزيء المركزي، الذي يتغير موضعه من صبغي لآخر. ويحدد الجزيء المركزي ذراعين تكونان غالباً غير متساويتين في الطول. ويمكن في بعض الحالات، لدى بعض الصبغيات، ملاحظة تخصرات ثانوية تحدد توابع satellites في نهاية إحدى ذراعي الصبغي.

من الممكن أن نوقف الانقسام في الطور الاستوائي باستخدام الكولشيسين، الذي يمنع خيوط المغزل من التجمع، ونرى الصبغيات بوضوح تحت المجهر بعد تلوينها، نسمي اللوحة الناتجة عن ذلك الكاريوتيب Karyotype (شكل ٥-١١)، 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 تتغير خلال الحلقة الانقسامية. ويبلغ الصبغي أقصى درجات حلزنته في الطور الثاني (الاستوائي) من الانقسام الخيطي. إن كل ١ ميكرون من دنا الصبغي الخيطي يعادل نحو ١ سم، وهذا ما يمثل نسبة حلزنة تصل إلى ١ : ١٠٠٠٠ .



الشكل ٥-٩: المستويات المختلفة لتراص جزيء الدنا:

١: جزيء دنا مؤلف من سلسلتين ملتفان بعضهما على بعض على شكل حازون (١٠ أشفاع من الأسس في كل لفة). قطره ٢ نانومتر

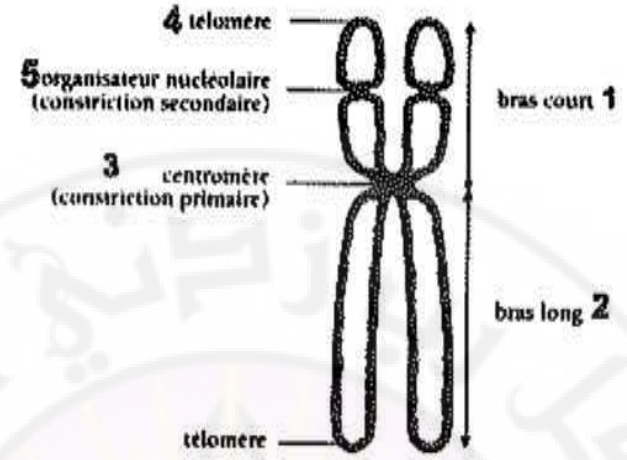
٢: كروماتين على شكل عقد اللؤلؤ (٨٠ شفع في اللفة) . قطره ١٠ نانومتر

٣: خيط كروماتيني مؤلف من تنضد وتكاثف الجسيمات السبعية (١٢٠٠ شفع/اللفة) قطره ٣٠ نانومتر

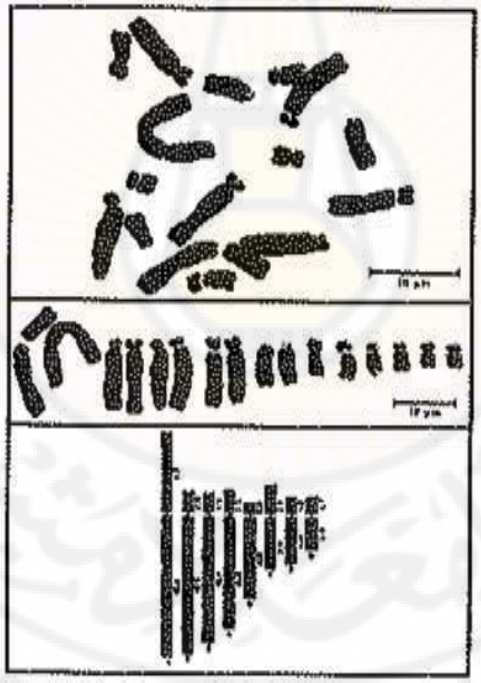
٤: تكاثف الخيط الكروماتيني بشكل عقد حول دعامة من خيوط بروتينية (٦٠٠٠٠ شفع/اللفة). قطره ٣٠٠ نانومتر.

٥: الصبغي في أقصى درجات تكثفه (قطره ٠,٨٤ ميكرون) كما يبدو في مقطع عرضي (٦) وفي منظر جانبي (٧)

١: الذراع القصير
٢: الذراع الطويل
٣: الجزيء المركزي
٤: الجزء الطرفي
٥: تضيق ثانوي (تابع)



الشكل ٥-١٠: تمثيل تخطيطي لبنية الصبغي



الشكل ٥-١١: الصبغيات في الطور الثاني من الانقسام الخيطي:
a) النمط النوعي "الكاريوتيب"
b) الكاريوغرام (ترتيب الصبغيات في الشفاع بعد تصويرها)
c) الايديوغرام (حساب نسبة أطوال ذراعي الصبغي)

تتابعات الدنا :

يصنف الدنا المؤلف للجينوم في ثلاث زمر:

١ : تتابعات تُشفَر (تترجم) إلى بروتينات.

٢ : تتابعات لا تشفر إلى بروتينات وتتكرر كثيراً في الدنا.

٣ : تتابعات فاصلة.

التتابعات المُشفرة للبروتينات:

تعرف التتابعات التي تشفر 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 الصيغة 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 تشفر إلى البروتينات المكونة للهيكل السيتوبلاسمي. وهناك في الجينوم أيضاً تتابعات تتكرر كثيراً وتتوضع بشكل ترادفي (يتلو بعضها بعضاً وفي الاتجاه ذاته)، وتشفر سواء إلى بروتينات، وخاصة الهستونات، أو إلى رنا ريباسي rRNA. هذا التضاعف لعدد من المورثات أمر هام للخلية لكي تؤمن أداء وظيفياً عادياً.

التتابعات غير المشفرة:

تتألف التتابعات غير المشفرة من دنا تكراري، تتباين نسبته بشكل ملحوظ من متعضية لأخرى. فالخميرة تملك قليلاً منه (٢٠٪ في المتوسط). بعض هذه التتابعات له وظيفة محددة:

فالدنا الذي يشكل نهايات الصبغيات ويعرف باسم الجزء الطرفي أو الانتهائي telomere، هو تتابعات لعدد محدد من النكليوتيدات. وهو يؤدي دوراً مهماً في المحافظة على حجم ثابت للصبغي عند التضاعف لتحقيق الانقسام الخيطي. ونقصان هذه التتابعات عن حد معين يسبب اضطرابات وظيفية تقود إلى هرم الخلية وموتها. ولهذه الأجزاء الانتهائية دور مهم آخر هو منع اتحاد الصبغيات بعضها ببعض، وفقدانها 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 المترادف 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 نكليوتيد، ولا نعرف بعد وظيفتها. يتباين درجة تكرار هذه التتابعات من فرد لآخر، وتستخدم كصفة مميزة للفرد. يُعرف الكشف عن هذه التتابعات عبر تقانات الوراثة الجزيئية بالبصمة الوراثية.

من الأنماط التكرارية الترادفية الأخرى نجد تتابعات لها طول أصغر مما سبق، إذ تتألف غالباً من نكليوتيدين، وهي أيضاً مبعثرة في الجينوم. وتتباين درجة تكرارها أيضاً من فرد لآخر. تسمى هذه التتابعات الصغيرة بالتوابع الدقيقة "الميكروساتليت" microsatellites وتستخدم كمؤشر في رسم خريطة الجينوم.

تُعدُّ العناصر المتنقلة في الجينوم التي تدعى أيضاً المورثات القافزة طائفة خاصة من الدنا التكراري تتميز بإمكانية تنقلها في الجينوم. توجد هذه المقاطع لدى الحيوانات والنباتات والجراثيم والفيروسات، وقد اكتشفت لأول مرة في نبات الذرة.

الدنا الفاصل (المباعد):

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

تضاعف الدنا Replication of DNA :

يتم انتقال المعلومات الوراثية من جيل لآخر عبر عملية تضاعف الصبغيات. تشمل عملية التضاعف نسخ الدنا وارتباطه مع الهستونات، وكلا العمليتين متزامنتان، ولكن من الأفضل عرضهما بشكل مستقل.

آلية التضاعف:

من المؤكد حالياً أن تضاعف الدنا يتم حسب النموذج نصف المحافظ. ووفقه فإن السلسلتين المؤلفتين لجزيء الدنا والمتتامتين تنفصل الواحدة عن الأخرى، وتستخدم كل سلسلة أبوية كقالب ينسخ عنها سلسلة جديدة يكون تتالي الأسس فيها متمماً للسلسلة القالب. وهكذا فإن كلاً من جزيئا الدنا المتشكلين مؤلف من سلسلة أبوية وسلسلة تم تركيبها حديثاً.

يبدأ تضاعف الدنا لدى حقيقيات النوى من عدة نقاط من الصبغي، ويتوسط عملية نسخ سلسلة الدنا أنزيمات تدعوها أنزيمات بلمرة الدنا أو الدنا بوليميراز DNA polymerases وهي أنزيمات تتوسط بتشكيل رابطة بين الطرف 5'- فوسفات من النكليوتيد الأول مع النهاية 3' للسكر منقوص الأكسجين من النكليوتيد 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 تثبت بروتين خاص إلى جزيء الدنا في مستوى نقطة المنطلق وذلك بوجود الـ ATP. يحرض هذا البروتين الانفصال الموضعي لسلسلتي الدنا. ثم يرتبط إلى السلسلتين المنفصلتين موضعياً مجموعة جزيئات بروتينية من أهمها أنزيمات الحلزنة "الهيليكاز" helicases وظيفتها متابعة فصم الروابط الهيدروجينية في كلا الاتجاهين. ثم تُغطى السلسلتان المنفصلتان بجزيئات بروتينية خاصة تمنع عودة تشكل 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 ٥-١٢). 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 المنسوخة تبدأ بتتابع قصير من الرنا، ثم يتابع الدنا بوليميراز عملية النسخ ولكنه يضع في هذه المرة نكليوتيدات

الدنا. يتم في مرحلة لاحقة حلمهة نكليوتيدات الرنا واستبدالها بنكليوتيدات الدنا وذلك بوساطة أنزيم آخر من الدنا بوليميراز.

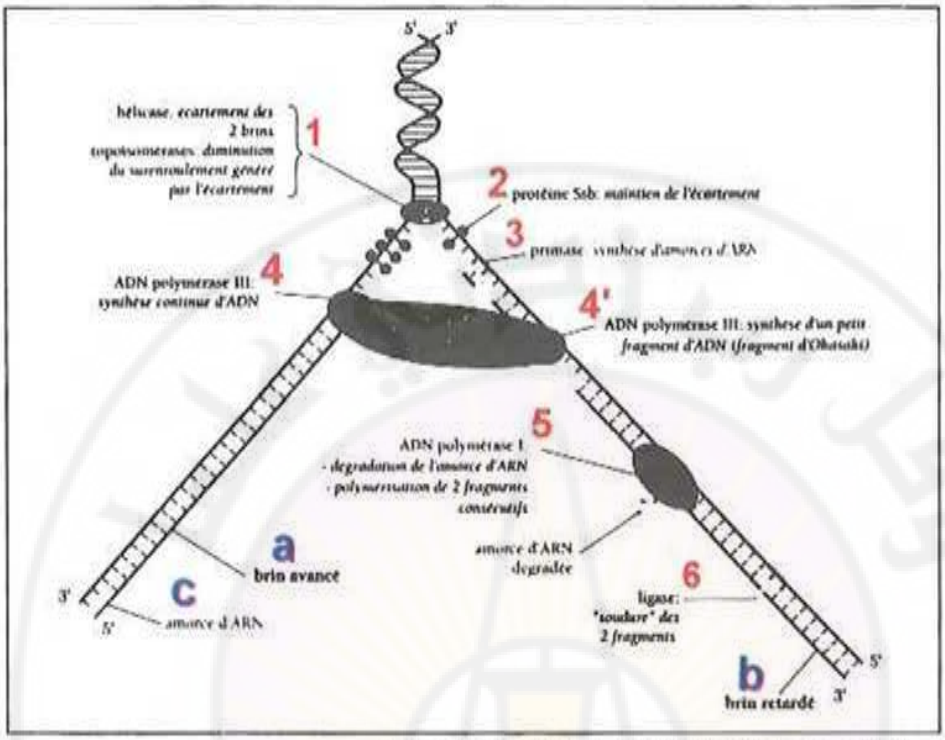
وقد لوحظ أن نسخ السلسلتين يتم بشكل مختلف. فالدنا بوليميراز لا يستطيع أن ينجز تضاعف سلسلة الدنا إلا بقراءتها بالاتجاه 5 إلى 3 ، وبالتالي فإن السلسلة التي يكون توجهها 3 إلى 5 هي التي ستنسخ أولاً وبشكل مستمر، وفي هذه الحالة يلزم بادئ واحد من الرنا. نسمي هذه السلسلة "السلسلة المتقدمة". أما السلسلة الأخرى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

نشير إلى أن كل صبغي يمتلك في نهاياته قطعاً طرفية 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 إنهاء تركيب السلسلة.

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

للدنا القدرة على إصلاح ذاته:

يمكن أن يدرج خلال عملية التضاعف نكليوتيد في غير مكانه الصحيح (غير متمم 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 وسائط لتصحيح هذه الأخطاء إن كانت قابلة للتصحيح، أو للتخلص من هذه الخلايا إن كان الأمر غير ذلك.



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

١: يقوم أنزيم الهيليكاز بمساعدة سلسلتي الدنا بعد فصم الروابط الهيدروجينية وتسهم أنزيمات التوبوايزومير از بذلك.

٢: تثبت بروتينات نوعية على سلسلتي الدنا لمنع إعادة التحام السلسلتين ولحمايتهما.

٣: يقوم أنزيم البريماز بالبدء بالنسخ.

٤: يتابع أنزيم الدنا بوليمير از III نسخ الدنا .

٥: يقوم أنزيم دنا بوليمير از I بتفكيك تتابع الرنا الذي بدأ النسخ به، واستبدالها بنكليوتيدات الدنا المناسبة

٦: بالنسبة للسلسلة المتأخرة التي تنسخ بشكل غير مستمر بعمل أنزيم الليغاز على وصل قطعها بعضها ببعض و التي تعرف باسم قطع اوكازاكي.

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 الخيطي Mitosis و الانقسام المنصف Meiosis. والنمط الأول هو الأكثر بساطة ويؤدي إلى ظهور خلايا بنات مماثلة تماماً للخلية الأم التي نشأت عنها.

الانقسام الخلوي والدارة الخلوية:

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

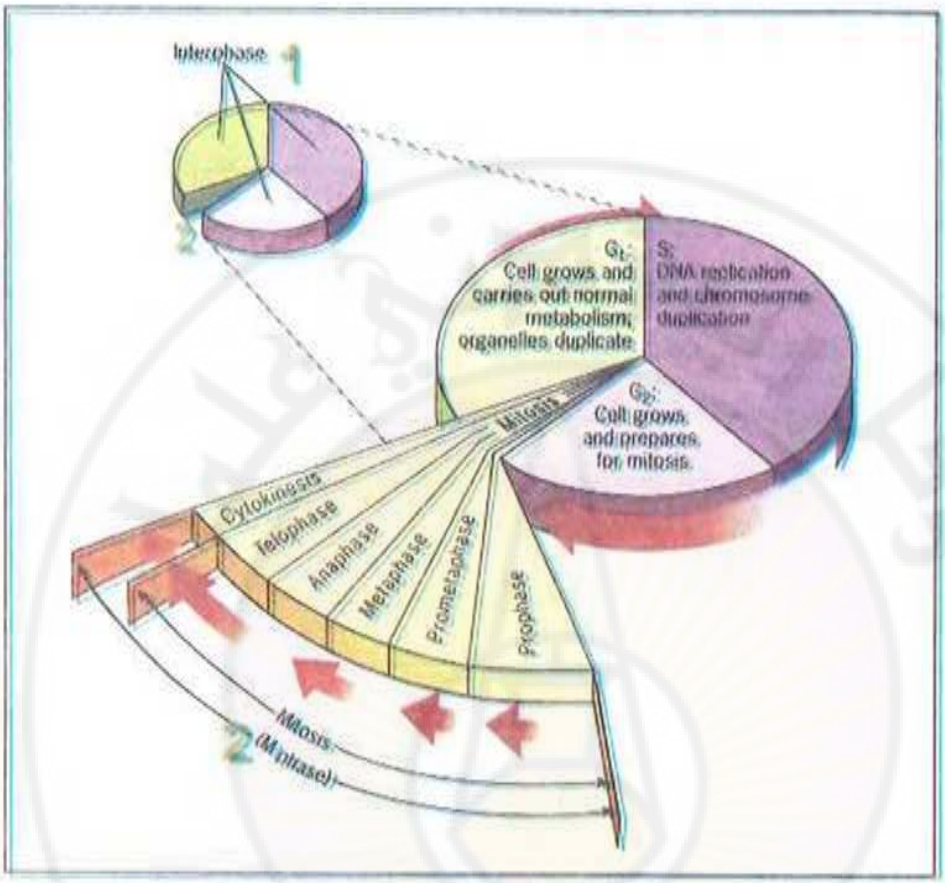
سمح التحليل التدريجي للحوادث الخلوية بتحديد عدة مراحل (أو أطوار) تمر بها الخلية. يمكن تمييز طورين أساسيين هما الطور البيني والانقسام الخيطي (شكل ٥-١٣).

تمضي الخلية معظم وقتها في الطور البيني Interphase وهو الفترة التي تفصل ما بين انقسامين متتاليين. ويتم في هذا الطور تضاعف الدنا قبل أن تدخل الخلية في مرحلة الانقسام. ويفصل طور تضاعف الدنا عن طور الانقسام فترتان: الأولى G1 (G = gap) تمتد من نهاية الانقسام الخيطي إلى بداية طور التضاعف S. الثانية G2 وتمتد من نهاية طور التضاعف S إلى بداية الانقسام. تقوم الخلية خلال هاتين الفترتين بمجمل عمليات التركيب اللازمة لولادة كينونة جديدة من بروتينات (بنيوية ووظيفية) وحموض نووية ..الخ.

الانقسام الخيطي Mitosis:

يتم انقسام الخلية وفق مرحلتين متعاقبتين غير متساويتين، يحدث في الأولى منهما انقسام النواة، وفي الثانية انقسام السيتوبلاسم. يتطلب حدوث هذا الانقسام تشكل المغزل الخيطي، الذي ينتظم حول المركز المنظم للنبيبات الدقيقة microtubules . ورغم أن الانقسام الخيطي عملية حركية ومستمرة فإنه من الدارج حالياً تقسيمه إلى خمس مراحل: الطور الأول Prophase، طليعة الطور الاستوائي Prometaphase، الطور الاستوائي Metaphase، طور الصعود Anaphase، الطور الرابع Telophase.

يتميز الطور الأول بالتكثف التدريجي الكروماتين الذي سبق أن تضاعف خلال الطور S لتظهر في نهاية الطور بنية الصبغيات بشكل واضح. يبدو كل صبغي مؤلفاً من صبيغيين مرتبطين بالجزيء المركزي. تتفكك النوية تدريجياً لتختفي كلية في نهاية الطور الأول (شكل ٥-١٤).



الشكل ٥-١٣: أطوار الدارة الخلوية:
١: الطور البيني (ويتألف من ٣ أطوار فرعية هي G1 و S و G2
٢: طور الانقسام ويضم أيضا عدة أطوار

مع دخول الخلية في طليعة الطور الاستوائي يتفكك الغلاف النووي ويتبعثر في السيتوبلاسم على شكل حويصلات. وتبدأ النبيبات الدقيقة بتشكيل خيوط المغزل.

تتوضع الصبغيات في الطور الاستوائي في منتصف الخلية في مستوى اللوحة الاستوائية، حيث يصبح كل صبغي على مسافة متساوية من قطبي الخلية. يبدأ طور الهجرة بانفصال الصبغي إلى صبيغيين (كروماتيدين) يهاجر كل منهما 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، وتختفي خيوط المغزل، ويتشكل غلاف نووي من جديد حول كل مجموعة من الصبغيات وذلك انطلاقاً من الحويصلات الموجودة سابقاً، وتبدأ الصبغيات بفقد تكثفها وحلزنتها تدريجياً وتبنى النويات من جديد.

الانقسام السيتوبلاسمي Cytokinesis:

يتضمن الانقسام الخلوي أيضاً، إضافة إلى نقل الصبغيات، نقل مجموع العضيات السيتوبلاسمية وذلك قبل أن يتم الفصل الكامل بين الخليتين. تنقسم الصانعات والخنيدرات عادة في الطور البيني بعد تضاعف الدنا، وتتوزع بشكل متساو تقريباً في كل السيتوبلاسم. أما الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة وجهاز غولجي فتتجزءان إلى حويصلات، تساهم النبيبات الدقيقة في توزعها النهائي.

يتم شطر الخلية النباتية الأم إلى خليتين بنتين بآلية مختلفة تماماً عما يلاحظ لدى الخلية الحيوانية (شكل ٥-١٥)، إذ بالإضافة إلى الغشاء البلاسمي ينبغي أن تشكل الخلية النباتية جداراً خلوياً أيضاً لكل من الخليتين البنتين. ويتم الإعداد لذلك منذ الطور الأول للانقسام. فقد لوحظ أن النبيبات الدقيقة المحيطية التوضع تنتظم خلال الطور الأول للانقسام في بنية حلقية تقع تحت الغشاء البلاسمي. ثم لا تلبث هذه الحلقة أن تختفي مع بدء تشكل خيوط المغزل الانقسامي، ويحدد مكان تشكلها الصفيحة الاستوائية. بعد انتهاء الطور الرابع، يتجمع في المستوى ذاته كثير من حويصلات جهاز غولجي الصغيرة المرتبطة مع النبيبات الدقيقة والمتضمنة طلائع مكونات الجدار. وبتوجيه من النبيبات الدقيقة القطبية والتي تشكل الفراغموبلاست تتحد الحويصلات بعضها مع بعض مؤدية إلى تشكل غشاءين بلاسميين بينهما الجدار. وتبقى مناطق اتصال دقيقة بين الخليتين هي الواصلات البلاسمية plasmodesmes.

١: نوية.

٢: الغلاف النووي.

٣: الصبغيات.

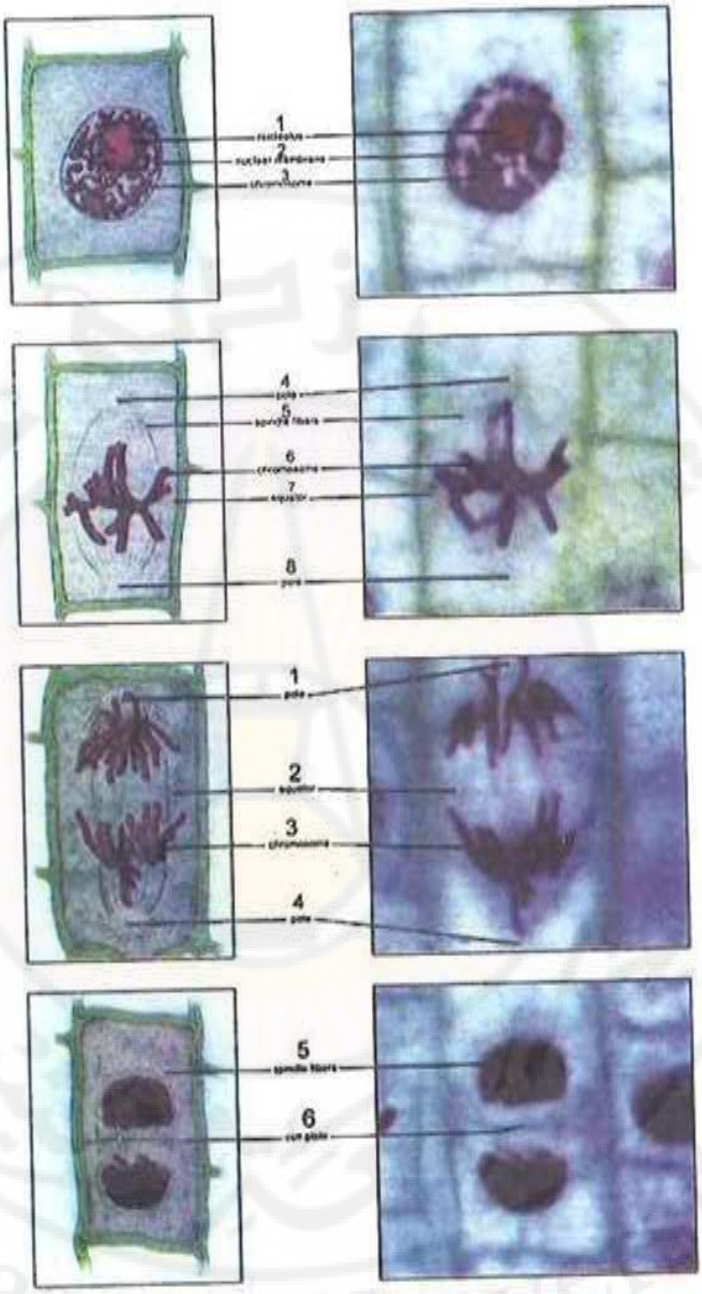
٤: القطب.

٥: خيوط المغزل.

٦: صبغي.

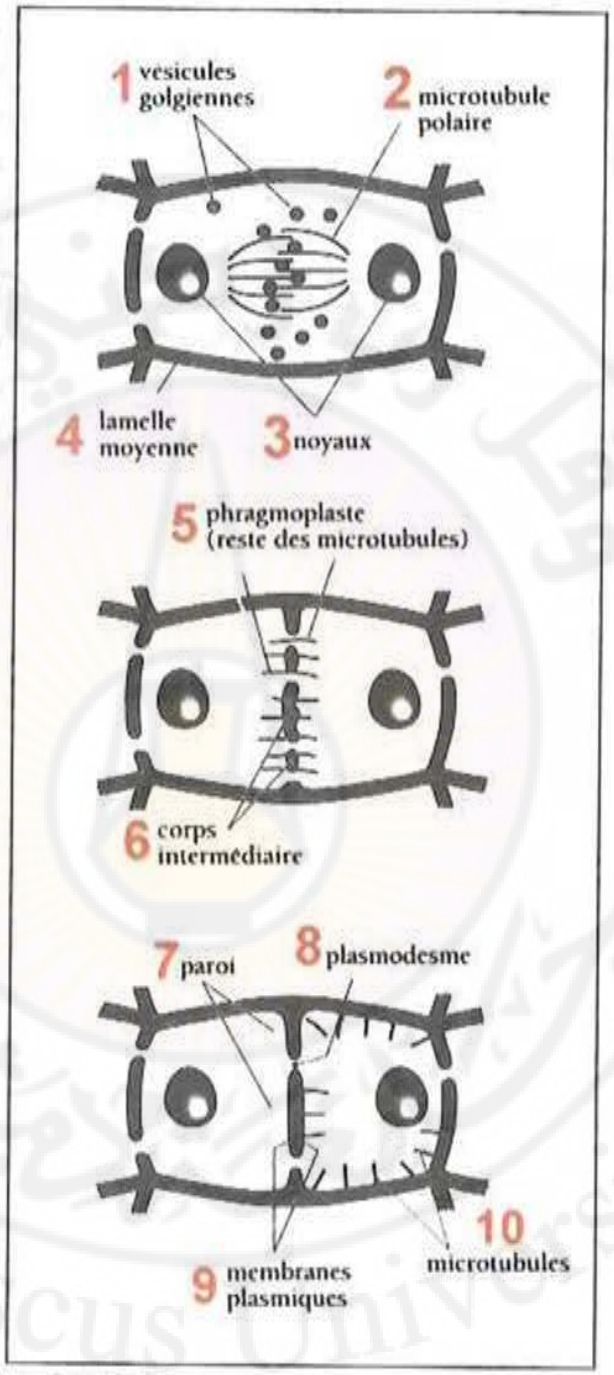
٧: اللوحة الاستوائية.

٨: القطب.



الشكل ٥-١٤: أطوار الانقسام الخيطي في الخلية النباتية:
A: الطور الأول و B الطور الثاني:C : طور الصعود
D: الطور الرابع

١: حويصلات غولجي
٢: النيبيبات الدقيقة القطبية
٣: النواتان
٤: الصفيحة المتوسطة للخلية الأم
٥: الفراغموبلاست (بقايا النيبيبات الدقيقة)
٦: الجسيمات الوسيطة
٧: الجدار الخلوي في طور التشكل
٨: الوصلات البلاسمية
٩: الغشاءان البلاسميان
١٠: النيبيبات الدقيقة



الشكل ٥-١٥: الانقسام السيتوبلاسمي لدى الخلية النباتية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

النظام البنيوي 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 التتالي في الفقرات التالية.

الحالة الفيزيائية للسيتوبلاسم:

السيتوبلاسم معقد ليبونوكليو بروتيني نوعي. وتتمتع استناداً إلى النظرية الفيزيائية الكلاسيكية بصفات غروية. تتألف الجملة الغروية عادة 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 حلالة Sol أو هلامة Gel. تنتمي السيتوبلاسم إلى الحلالات المائية Hydrosols، إذ أن المذيب هو الماء. وهي تستطيع الانتقال من حالة الحلالة 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 بغشاء، والمنتشرة خلال سيتوبلاسم خلايا حقيقيات النوى، يغطيها في بعض المناطق "حبيبات" تبين فيما بعد أنها الريباسات. تتصل الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة مع الغلاف النووي، وتقسم إلى شبكة سيتوبلاسمية خشنة وهي تلك الأجزاء من الشبكة التي تحمل ريباسات، وشبكة سيتوبلاسمية ملساء خالية من الريباسات. 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، وكمية 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 السمية.

وظيفة الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة

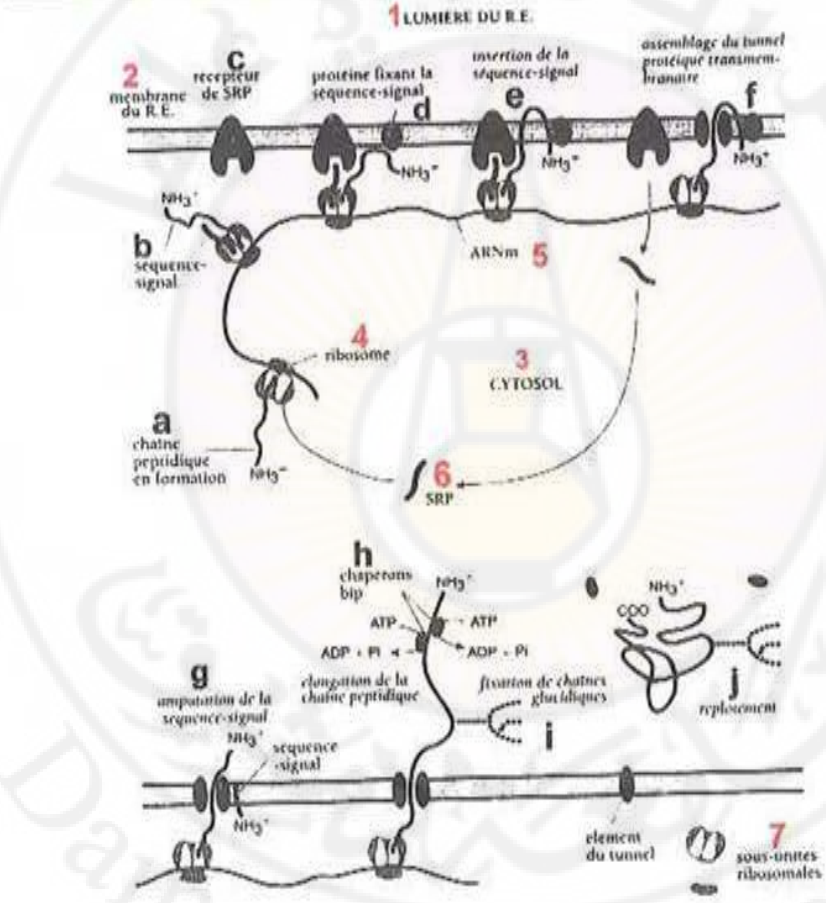
تعد الشبكة مركزاً خلوياً يتم فيه تركيب البروتينات والليبيدات أو تخزينها. ويمكن تلخيص أهم وظائفها بما يلي:

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

- تبدأ ترجمة هذه البروتينات في السيتوبلاسم (شكل ٦-١:a)، وتشكل الحموض الأمينية الأولى (٣-١٣ حمضاً) من السلسلة الببتيدية المتنامية والموجودة في النهاية N من السلسلة الببتيدية، "تتابعاً إشاراتياً أو تتابعاً مميزاً" Signal sequence.
- عندما يبلغ طول سلسلة متعدد الببتيد نحو ٧٠ حمضاً أمينياً يتم التعرف عليها من قبل جزيء بروتيني ريبونووي ribonucleoprotein (بروتينات + حموض ريبية نووية)، وهو جزيء يُرَكَّبُ في النواة ويخزن في السيتوبلاسم[1]، ويعرف باسم جزيء التعرف على الإشارة

[1] يضم ٦ جزيئات بروتينية مختلفة و رنا طوله نحو ٣٠٠ نكليوتيد siRNA

Signal Recognition Particle ويرمز له اختصاراً SRP ويرتبط مع التتابع الإشاراتي (شكل ٦-١: b). لا يلبث جزيء التعرف أن يتثبت على مستقبل receptor نوعي يوجد على الطرف المواجه للسيتوبلاسم من غشاء الشبكة (شكل ٦-١: c)، بينما ترتبط سلسلة متعدد الببتيد مع بروتين ارتباط خاص موجود في غشاء الشبكة (شكل ٦-١: d). فتُربط بذلك الريباسة بالشبكة السيتوبلاسمية الباطنة.



الشكل ٦-١: تركيب ونقل البروتينات المعدة للإفراز عبر الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:
١: لمعة الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة، (٢) غشاء الشبكة السيتوبلاسمية، (٣) السيتوبلاسم، (٤) ريباسة، (٥) رنا رسول، (٦) جزيء التعرف على الإشارة، (٧) تفكك الريباسة إلى تحت وحدتين.

- تبدأ سلسلة متعدد الببتيد بالانغراس في غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنة (شكل ٦-١ :e)، ثم تشكل مجموعة البروتينات التي تدخل في تركيب جزيء الارتباط قناة تسلكها سلسلة متعدد الببتيد لكي تعبر إلى لمعة الشبكة (شكل ٦-١ :f). وفي هذه الأثناء ينفصل جزيء التعرف SRP عن مستقبله، ليعاد استخدامه من جديد.

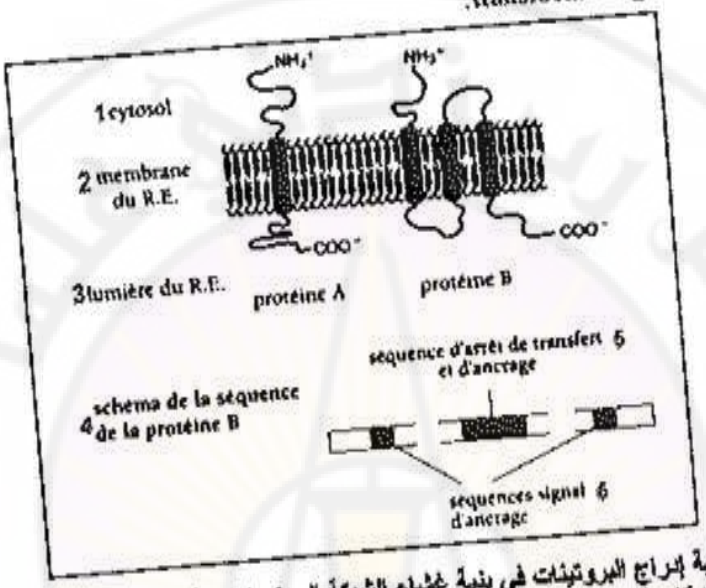
- تبلغ سلسلة متعدد الببتيد وهي ما زالت في طور التشكل لمعة الشبكة (شكل ٦-١ :g)، حيث تخضع إلى تغيرات تلي عملية ترجمتها قبل أن تنقل باتجاه العضية الهدف. أهم هذه التغيرات التي يخضع لها البروتين داخل لمعة الشبكة ما يلي:

- آ: قص التتابع الإشاراتي بوساطة أنزيم ببتيداز ومن ثم حلمهته في الحال.
- ب: ارتباط بروتين خاص يسمى Bip protein مع السلسلة المتنامية (شكل ٦-١ :h). يتم الارتباط مع تتابع من الحموض الأمينية الكارهة للماء الموجودة في بداية السلسلة. وتدعى هذه البروتينات "البروتينات المرافقة". ثم ينفصل البروتين بعد ذلك عبر حلمهة جزيء ATP. تعد هذه الظاهرة ضرورية ليأخذ البروتين شكله الفراغي النهائي. فهي تمنع الانطواء غير الطبيعي للبروتين وهو في طور البناء أثناء وجوده في لمعة القناة، وتساعد في حدوث انطواء طبيعي.
- ج: يتم إضافة سكاكر متعددة للسلسلة المتنامية (شكل ٦-١ :i).

ثم ينطوي البروتين ويتخذ بنيته الرباعية الوظيفية (شكل ٦-١ :j). وبعد أن ينتهي تركيب البروتين تنفصل تحت الوحدتين المشكلتين للريباسة في السيتوبلاسم حيث يمكن إعادة استعمالهما في بناء بروتين جديد.

يعتمد 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 لمتعدد الببتيد هو تتابع إشاراتي تحمله السلسلة. فسلسلة متعدد الببتيد التي تكون وجهتها المساهمة في بناء الغشاء البلاسمي تتضمن بنيتها مجالات (قطع) من الحموض الأمينية 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، تثبت البروتين ضمن الغشاء في مستوى مجاله الكاره للماء (شكل ٦-٢). في حال تضمن البروتين أكثر من مجال كاره للماء، فهو يعبر الغشاء أكثر من مرة. ويوجد في مثل هذه الحالة عدة تتابعات لبدء ونهاية النقل translocation.



الشكل ٦-٢: آلية إدراج البروتينات في بنية غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:
A: ذو مجال واحد كاره للماء.
B: عدة مجالات كارهة الماء.
(١) السيتوبلاسم، (٢) غشاء الشبكة، (٣) لمعة الشبكة، (٤) شكل تخطيطي للتتابعات البروتين B، (٥) تتابع إيقاف النقل، (٦) تتابعا إشارة للانغراس.

أما البروتينات المعدة للإفراز فتفتقد 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 حصراً في الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. وتعد مهمة في إعطاء البروتين الشكل الفراغي 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 حصراً أو جزئياً ضمن الشبكة ويمكن أن تنهى في جهاز غولجي. تغير السكريات المضافة إلى البروتينات الخواص الفيزيائية لهذه البروتينات (انحلالها، ثباتها، شحنتها ..). كما تفيد كإشارات تعرف، فتسهم 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 تفرز إلى خارج الخلية، أو تمرر إلى عضيات خلوية أخرى داخل الخلية كالأجسام 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 البروتين غير سليم فإنه لا يغادر صهاريج الشبكة. وقد أظهرت التجارب أن البروتين Bip الذي يساعد في الانطواء السليم للبروتين يبقى مرتبطاً إلى سلسلة متعدد الببتيد في حال الانطواء غير الطبيعي وتحتجز سلسلة متعدد الببتيد في الشبكة أو تحلمه.

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

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

نشوء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:

تتمتع الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة بالقدرة على التجدد الذاتي وتركيب أغشية جديدة. يتم تركيب البروتينات والفوسفوليبيدات اللازمة لذلك على سطح الوريقة المواجهة للسيتوبلاسم من غشاء الشبكة الملساء، ثم يتم إدراجها في الوريقة الداخلية من غشاء الشبكة بمساعدة بروتينات مصاحبة.

كما تسهم الشبكة في تكون أغشية العضيات الأخرى، ويتم ذلك بوساطة حويصلات تتبرعم 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 بنيته الدقيقة بالمجهر الالكتروني في الخلايا النباتية، حيث بدا مؤلفاً من كومات منفصلة من الأكياس الغشائية تدعى الجسيمات الشبكية أو "ديكتيوزومات" Dictyosomes محاطة بحويصلات محيطية. يتباين حجم جهاز غولجي من نسيج خلوي لآخر، وهو كبير الحجم في الخلايا ذات النشاط الإفرازي. كما يتغير حجمه في الخلية ذاتها وفق نشاطها الإفرازي.

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

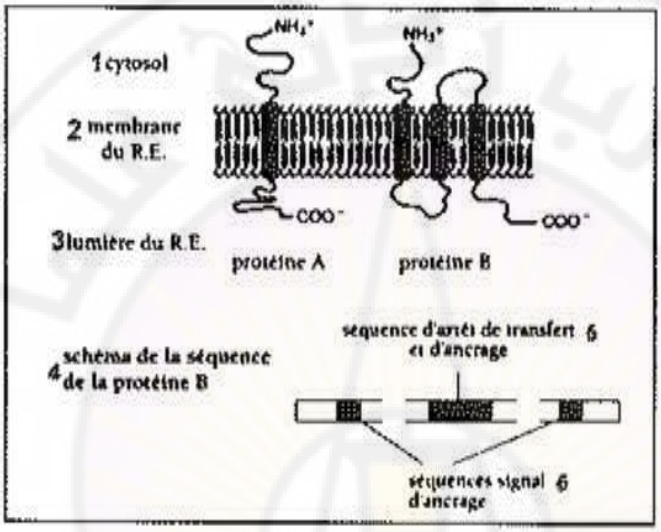
يعد كل صهريج وحدة بنيوية ووظيفية ذات بنية مسطحة، دائرية قطرها يتراوح من ٠,٥ إلى ١ ميكرومتراً. يفصل بين الصهاريج فراغ خال من الريباسات يبلغ نحو ١٠-١٥ نانومتر.

وظائف جهاز غولجي:

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


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

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



الشكل ٦-٢: آلية إدراج البروتينات في بنية غشاء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:
A: ذو مجال واحد كاره للماء.
B: عدة مجالات كارهة للماء.
(١) السيتوبلاسم، (٢) غشاء الشبكة، (٣) لمعة الشبكة، (٤) شكل تخطيطي للتتابعات البروتين B، (٥) تتابع إيقاف النقل، (٦) تتابعا إشارة للانغراس.

أما البروتينات المعدة للإفراز فتفتقد 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 حصراً في الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة. وتعد مهمة في إعطاء البروتين الشكل الفراغي 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 حصراً أو جزئياً ضمن الشبكة ويمكن أن تنهى في جهاز غولجي. تغير السكريات المضافة إلى البروتينات الخواص الفيزيائية لهذه البروتينات (انحلالها، ثباتها، شحنتها ..). كما تفيد كإشارات تعرف، فتسهم 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 تفرز إلى خارج الخلية، أو تمرر إلى عضيات خلوية أخرى داخل الخلية كالأجسام 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 البروتين غير سليم فإنه لا يغادر صهاريج الشبكة. وقد أظهرت التجارب أن البروتين Bip الذي يساعد في الانطواء السليم للبروتين يبقى مرتبطاً إلى سلسلة متعدد الببتيد في حال الانطواء غير الطبيعي وتحتجز سلسلة متعدد الببتيد في الشبكة أو تحلمه.

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

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

نشوء الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة:

تتمتع الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة بالقدرة على التجدد الذاتي وتركيب أغشية جديدة. يتم تركيب البروتينات والفوسفوليبيدات اللازمة لذلك على سطح الوريقة المواجهة للسيتوبلاسم من غشاء الشبكة الملساء، ثم يتم إدراجها في الوريقة الداخلية من غشاء الشبكة بمساعدة بروتينات مصاحبة.

كما تسهم الشبكة في تكون أغشية العضيات الأخرى، ويتم ذلك بوساطة حويصلات تتبرعم 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 بنيته الدقيقة بالمجهر الالكتروني في الخلايا النباتية، حيث بدا مؤلفاً من كومات منفصلة من الأكياس الغشائية تدعى الجسيمات الشبكية أو "ديكتيوزومات" Dictyosomes محاطة بحويصلات محيطية. يتباين حجم جهاز غولجي من نسيج خلوي لآخر، وهو كبير الحجم في الخلايا ذات النشاط الإفرازي. كما يتغير حجمه في الخلية ذاتها وفق نشاطها الإفرازي.

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

يعد كل صهريج وحدة بنيوية ووظيفية ذات بنية مسطحة، دائرية قطرها يتراوح من ٠,٥ إلى ١ ميكرومتراً. يفصل بين الصهاريج فراغ خال من الريباسات يبلغ نحو ١٠-١٥ نانومتر.

وظائف جهاز غولجي:

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

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

تخضع سلاسل السكريات لجزيئات الغليكوبروتينات ضمن صهاريج جهاز غولجي إلى تغيرات عديدة تتضمن نزع بعض السكاكر 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 التوجه الصحيح لهذه الحويصلات إما باتجاه الغشاء البلاسمي أو الجسيمات الحالة أو تشكيل حويصلات إفراز (شكل ٦-٤).



الشكل ٦-٣: جهاز غولجي في إحدى خلايا الطحالب

٢: إفراز السكريات: يسهم جهاز غولجي في إفراز السكريات أيضاً، مثال ذلك اصطناع جدران خلوية جديدة في النباتات. حيث تتوجه حويصلات غولجي إلى منتصف الخلية في

مكان الصفيحة المتوسطة، بتوجيه النبيبات الدقيقة، وتندمج بعضها مع بعض وتصبح أغشيتها الأغشية الخلوية السطحية للخلايا البنات المتشكلة، في حين تسهم محتوياتها في تشكل الصفيحة المتوسطة والجدران الخلوية الجديدة.

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

الجسيمات الحالة Lysosomes

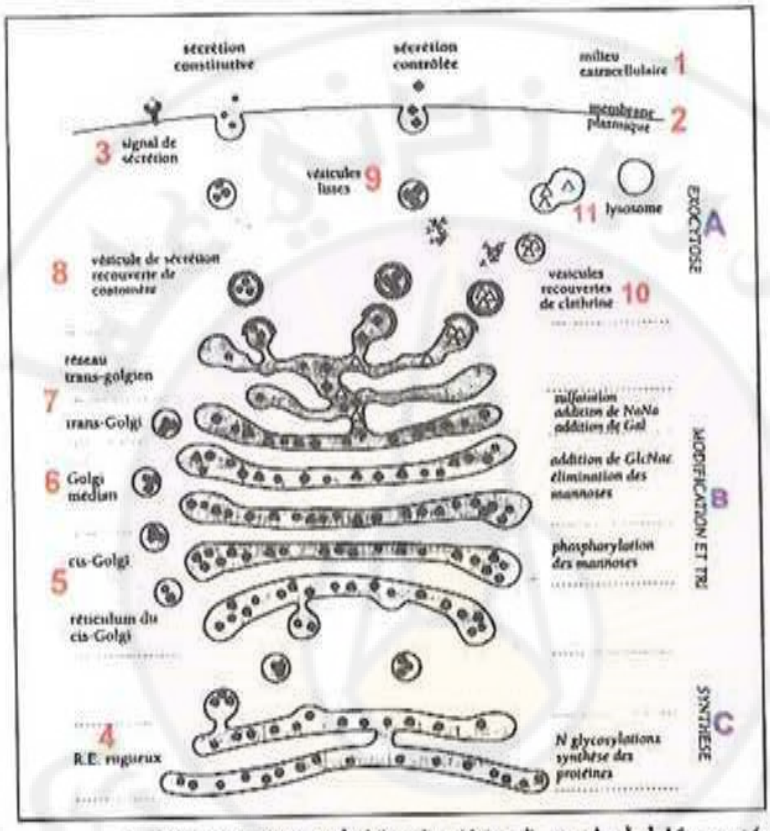
توجد الجسيمات الحالة في معظم الخلايا حقيقة النوى، وخاصة في الخلايا الحيوانية التي تبدي فعالية بلعمية. وهي العضية الخلوية الوحيدة التي كشف وجودها بوساطة الطرائق البيوكيميائية وذلك منذ عام ١٩٤٩. وقد اعتبرت عضية حويصلية تتضمن أنزيمات محللمة. ولم تلاحظ بالمجهر الالكتروني إلا بعد نحو عشر سنوات، حيث ظهرت كحويصلات محاطة بغشاء مفرد، وبحجم شديد التباين لأن قطرها يتراوح ما بين ٠,١٥ و ١,٥ ميكرون.

وظيفة الجسيمات الحالة هي تفكيك مجموع الجزيئات الكبيرة التي تنتج عن الاستقلاب الخلوي كالليبيدات، البروتينات، الحموض النووية أو السكريات المتعددة، وذلك بفضل احتوائها أنزيمات محللمة مثل البروتياز والنكلياز والليباز والفوسفاتاز الحامضية. ناتج عملية الحللمة من حموض دسمة، وحموض أمينية، ونكليوتيدات وسكاكر بسيطة تنقل إلى السيتوبلاسم بتدخل أنزيمات بيرمياز permeases خاصة حيث يعاد استعمالها في عمليات الاستقلاب الخلوية. إن محتويات الجسيمات الحالة حامضية (pH=5) وذلك بفضل وجود مضخة ATPase في غشاء الحويصلة تحافظ على مستوى عال من البروتونات في لمعة الحويصلة. ويجب أن تبقى الأنزيمات معزولة عن باقي الخلية وإلا فإنها تدمرها.

يمكن تلخيص وظائف الجسيمات الحالة بما يلي (شكل ٦-٥):

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

حويصل. تندمج الجسيمات الحالة الأولية بهذه الحويصلات أو الفجوات لتشكل جسيمات حالة ثانوية تهضم المواد الملتقطة بوساطة الالتقام الخلوي.



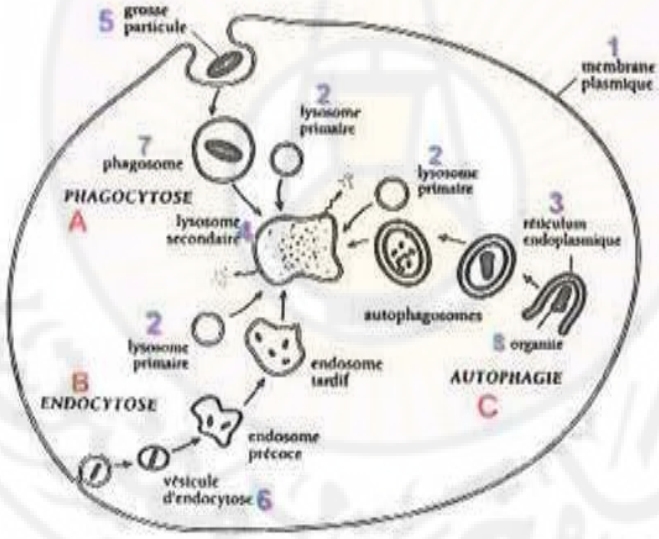
الشكل ٦-٤: رسم تخطيطي لمسير البروتينات المعدة للإفراز خلال جهاز غولجي:
(١) الوسط الخارجي، (٢) الغشاء البلاسمي، (٣) بروتين إشارة، (٤) الشبكة السيتوبلاسمية الخشنة، (٥) شبكة صهاريج غولجي المؤلفة للقطب المولد (cis)، (٦) الحويصلات الوسيطة، (٧) حويصلات الشبكة ترانس (القطب المفرز)، (٨) و (٩) و (١٠) حويصلات مفرزة مغلفة بمعطف بروتيني مختلفة الوجهة، (١١) الجسيمات الحالة.

٢: البلعمة الذاتية Autophagy : وهي عملية تزال بوساطتها البنى غير المرغوبة في الخلية. تُحاط البنى غير المرغوبة أولاً بغشاء مفرد يشتق عادة من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الملساء، ثم تندمج هذه البنية بالجسيم 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: الالتفاظ **Exocytosis** (تحرر الأنزيمات خارج الخلية): وفيها يتم تحرر الأنزيمات المتضمنة في الجسيمات الحالة خارج الخلية.



الشكل ٦-٥: طرائق التحلل في الجسيمات الحالة:
A: البلعمة، B: الالتقام الخلوي، C. البلعمة الذاتية
(١) الغشاء البلاسمي، (٢) جسيم حال أولي، (٣) شبكة بلاسمية باطنة، (٤) جسيم حال 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 السيتوبلاسم في بعض الأحيان وخاصة في الخلايا الآخذة بالموت.

تُصنع الأنزيمات الموجودة ضمن الجسيمات الحالة كما سبق وأشرنا في الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة الخشنة وتنقل بوساطة جهاز غولجي. تتبرعم بعد ذلك حويصلات غولجي الحاوية الأنزيمات المُعالجة وتدعى الجسيمات الحالة الأولية.

البيروكسيزومات Peroxisomes:

عضيات خلوية صغيرة حويصلية شائعة في حقيقيات النوى، كروية الشكل لا يتجاوز قطرها 0.25 ميكرون، تحاط بغشاء مفرد. محتوياتها حبيبية دقيقة ذات لب بلوري مميز في بعض الأحيان وهو بروتين مبلور (أنزيم) وتشتق من الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة التي تبقى غالباً مترافقة معها ترافقاً وثيقاً.

تتميز البيروكسيزومات باحتوائها أنزيمات البيروكسيداز (اسمه الشائع هو الكتلاز catalase) الذي يُحفز تفكك بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء وأكسجين (لذلك سميت بيروكسيزومات). وبيروكسيد الهيدروجين ناتج جانبي لبعض تفاعلات الأكسدة الخلوية وهو سام جداً للخلية أيضاً وتجب إزالته فوراً. والكتلاز أكثر الأنزيمات المعروفة بسمة عملها التحفيزي.

جميع الأنزيمات المتضمنة في البيروكسيزومات تركب على الريباسات الحرة الموجودة في السيتوبلاسم، ثم يتم التقاطها من قبل العضيات التي سوف تحتويها. وهذه العضيات تملك في أغشيتها مستقبلات قادرة على التعرف على تتابع عنونة خاص لتلك البروتينات.

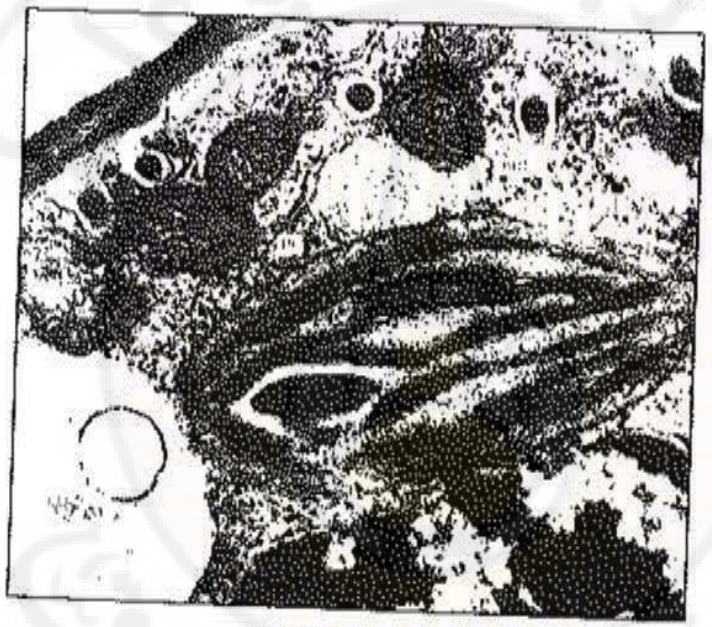
البيروكسيزومات النباتية يُعرف عنها تفاصيل أكبر من تلك الموجودة في الخلايا الحيوانية. يمكن تقسيم البيروكسيزومات النباتية إلى ثلاثة أنماط هي:

١: الغليكوكسيزومات Glyoxysomes وسميت كذلك لأنها معنية باستقلاب مركب يدعى غليكوكسيلات وهو يرتبط بعملية تحويل المواد الدسمة إلى سكروز في البذور الزيتية مثل سويداء

بذور نبات الخروع.

٢: بيروكسيزومات الأوراق وهي مهمة في عملية التنفس الضوئي حيث تكون مترافقة ترافقاً وثيقاً مع الصانعات اليخضورية والخنيدرات. وتلاحظ هذه العضيات الثلاث غالباً متقاربة جداً ومتجاورة. ينتج بيروكسيد الهيدروجين أثناء مسار التنفس الضوئي photorespiration (شكل ٦-٦).

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



الشكل ٦-٦: صورة بالمجهر الالكتروني لجزء من خلية نباتية:
الصانعة الخضراء chl، الخنيدرات mit، والبيروكسيزومات pc موجودة قريباً بعضها من بعض في الخلية النباتية

الجسيمات الكروية Spherosomes

الجسيمات الكروية عضيات كروية صغيرة، قطرها من ٠,٥ إلى ١ ميكرون، ذات طبيعة ليبوبروتينية. تتشكل اعتباراً من الانتفاخات النهائية لأنابيب الشبكة البلاسمية الباطنة الغنية بالأنزيمات الضرورية في عملية اصطناع الليبيدات. يترافق تطور الجسيمات الكروية في الخلية

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

الخنيدرات Mitochondria

اكتشفت الخنيدرات منذ نهاية القرن التاسع عشر، فأبعادها تسمح برؤيتها بالمجهر الضوئي. وهي توجد في خلايا حقيقيات النوى بأعداد كبيرة، وتحتل مساحة مهمة من حجمها. تبدي هذه العضيات تعدداً شكلياً، وتأخذ غالباً شكلاً اسطوانياً متطاولاً (خيطياً). تتراوح أبعادها من ١ إلى ١٠ ميكرونات طولاً ومن ٠,٥ إلى ١ ميكرون عرضاً. يمكن لبنيتها أن تتغير سواء من حيث الشكل أو الحجم أو بنية وعدد الأعراف، أو طبيعة وتركيب القالب. كما يمكن للخنيدرات أن تجتمع في أشكال متفرعة، أو تلتحم في جسيم خنيدري واحد ثم تتجزأ إلى عضيات عديدة.

تتوضع الخنيدرات في الخلية في مناطق عالية التطلب من الطاقة، ويقود حركتها النبيبات الدقيقة. ونظراً لامتلاك الخلية النباتية صانعات خضراء، فإن عدد الخنيدرات فيها أقل مما هو موجود لدى الخلايا الحيوانية، كذلك تكون أعرافها أقل تطوراً. تنشط الخنيدرات في أنسجة الاصطناع الضوئي في الخلية النباتية في فترات الظلام. وهي العضية الوحيدة المنتجة للطاقة في الأنسجة اللايخضورية.

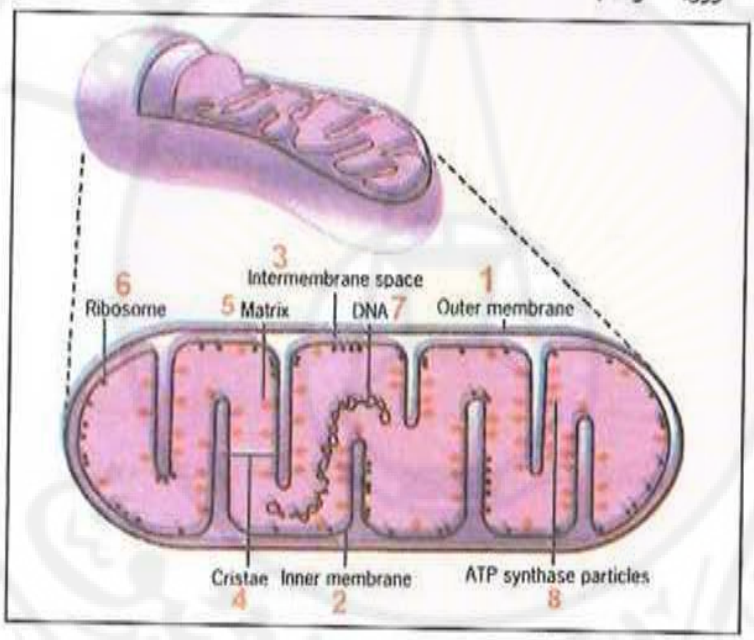
بنية الخنيدرات:

يمكن دراسة البنية الدقيقة للخنيدرة من خلال المجهر الالكتروني، حيث تبدو محاطة بغشاءين (غلاف) يحجزان بينهما فراغاً عرضه من ٦ إلى ١٠ نانومترات. ويحيطان بمادة ندعوها القالب (شكل ٦–٧).

يتألف الغشاء الخارجي كيميائياً من ٦٠٪ بروتينات و ٤٠٪ (أو حتى ٥٠٪) ليبيدات. ويفصل محتويات الخنيدرة عن العصارة الخلوية Cytosol. تشكل بعض البروتينات (التي

تدعوها بورينات porins) قنوات مائية، لا اصطفائية. تخترق الطبقة الليبيدية المضاعفة للغشاء الخارجي وتجعله نفوذاً لكل جزيء أصغر من ٥٠٠٠ دالتون. يتضمن الغشاء الخارجي مستقبلات وبروتينات خاصة تسمح بالتعرف وباستيراد البروتينات الميتوكوندرية التي يرمز لها الجينوم النووي ويتم تركيبها في السيتوبلاسم. كما نجد في الغشاء الخارجي أنزيمات متنوعة.

يختلف تركيب الغشاء الداخلي تماماً عن الغشاء الخارجي، ويُميز بشكل خاص الخنيدرة (٨٠٪ بروتينات و٢٠٪ ليبيدات). وهو مركز نقل الالكترونات وضخ البروتونات والماكينة الضرورية لتركيب الـ ATP.



الشكل ٦-٧: شكل تخطيطي لبنية الخنيدرات:
(١) الغشاء الخارجي، (٢) الغشاء الداخلي، (٣) الفراغ بين الغشاءين، (٤) الأعراف، (٥) القالب، (٦) ريباسة، (٧) دنا، (٨) جزيئات تركيب الـ ATP .

الليبيدات المشاركة في تركيبه تشبه من حيث طبيعتها تلك المصادفة لدى البكتريا (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 البيرمياز التي تنقل الايونات، والـ ATP وجزيئات استقلابية أخرى ناتجة في العصارة الخلوية. هذه الأنزيمات ضرورية لنفوذ هذه المواد لأن الغشاء الداخلي غير نفوذ للإيونات والجزئيات الأخرى.
- الأنزيم ATP synthase (ATPase) المنغرس في الغشاء الداخلي عبر سويقة. وهو معقد بروتيني يشارك في تكوينه العديد من الجزيئات البروتينية، وظيفته تركيب الـ ATP في القالب.
- السيتوكروم P450 الذي يسهم في نقل الالكترونات أثناء أكسدة المواد المغذية.
- من البروتينات المهمة في الغشاء الداخلي أنزيمات تسهم في تكديس وتحرير (إطلاق) شوارد الكالسيوم، التي تؤدي دوراً مهماً في قدح (إثارة) النشاطات الخلوية. وقد أظهرت الدراسات الحديثة دوراً مهماً في تنظيم شوارد الكالسيوم في العصارة الخلوية.

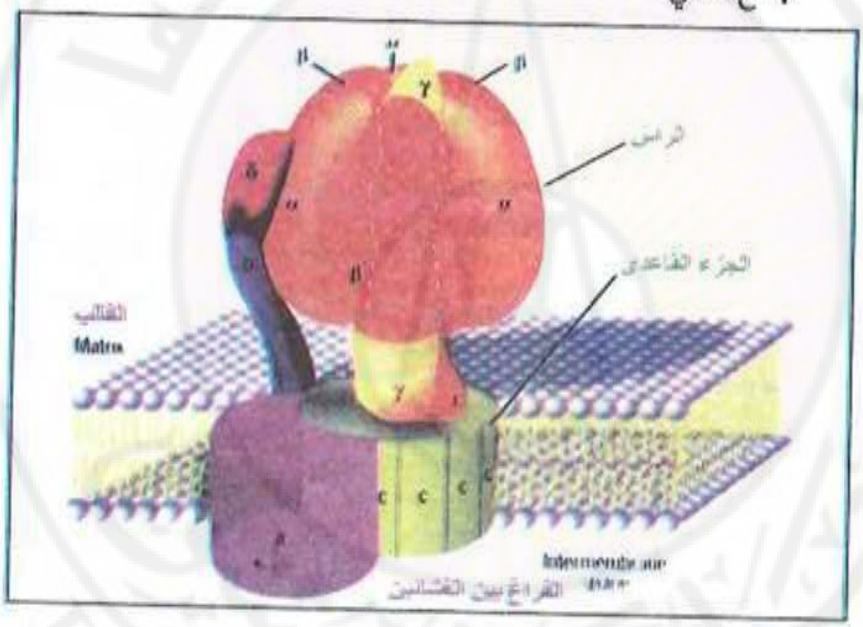
يزداد سطح الغشاء سعة بشكل كبير بفضل انطواءات عديدة نحو الداخل تشكل أعراقاً، يتباين حجمها وعددها من نسيج خلوي لآخر، وحسب الحاجة للطاقة.

يتألف أنزيم ATP synthase من جزءين ممَيَّزين (شكل ٦-٨): الجزء الأول F_1 يشكل الرأس ويبرز في القالب ويتضمن المركز الوساطي للأنزيم، وجزء قاعدي F_0 منغرس ضمن الطبقة الليبيدية المضاعفة للغشاء الداخلي ويتضمن قناة من خلالها يتم مرور البروتونات من الفراغ بين الغشاءين إلى القالب.

يحيط الغشاء الداخلي بقالب matrix له قوام شبيه بالهلام، ويعود ذلك لتضمنه تراكيز عالية من البروتينات المنحلة في الماء. يتضمن القالب:

- عدداً كبيراً من الأنزيمات المسؤولة عن أكسدة الحموض الدسمة، ونزع Co2 من حمض البيروفيك وأنزيمات حلقة كريبس.
- عدداً من جزيئات الدنا الحلقية mtDNA، التي لا يمكن إظهارها بالمجهر الالكتروني إلا باستعمال تقانات تلوين خاصة.

- جزيئات من الرنا (الناقل والرسول والريبوزومي).
- ريباسات خاصة أصغر حجماً من تلك الموجودة في السيتوبلاسم، قريبة في بيتها من ريباسات بدائيات النوى.
- كما يلاحظ أيضاً حبيبات ولوعة بالاوسميوم تتضمن كاتيونات cations.
- لدى بعض النباتات مثل الذرة أو زهر الشمس الحولي أمكن الكشف عن بلاسميدين خيطيين S1 و S2 ضمن الخنيدرة، وجودها مرتبط مع حصول عقم ذاتي، إذ يكون حب الطلع غير وظيفي. تهم هذه الميزة كثيراً مربي النباتات، لأنها تمنع حصول الإلقاح الذاتي.



الشكل ٦-٨: شكل تخطيطي لأنزيم ATP synthase في البكتريا: يتألف الأنزيم من جزءين أساسيين:

رأس F1 يتألف من ٨ تحت وحدات تعود لخمس جزيئات مختلفة: 3α, 3β, 1δ, 1ε.
قاعدة F0 تتألف من ٣ تحت وحدات مختلفة: 1a, 2b, 12c

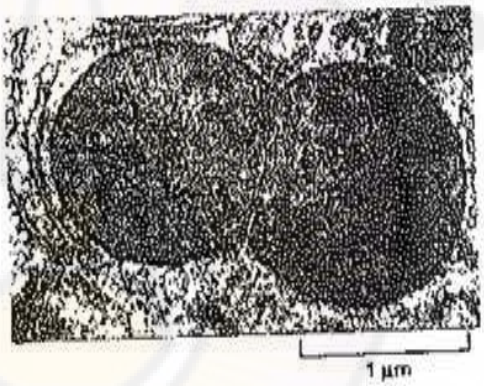
الوظيفة الأساسية للخنيدرة هي تزويد الخلية بالطاقة اللازمة لأداء وظائفها، وذلك لأنها المقر للمراحل الانتهائية للأكسدة التي يتم فيها تحرير الطاقة القسم الأكبر من الطاقة

المختزنة في الغذاء واختزانها على في جزيئات ATP تستعمل من قبل الخلية لاحقاً. يتم في الخنيدرات تركيب بعض البروتينات. وبعض الليبيدات التي تشارك في تركيب الغشاء الداخلي للخنيدرة. كما يتم في الخنيدرات تخزين بعض المواد (بروتينات، ليبيدات، معادن: (Ag, Fe, Cu)).

تطور الخنيدرات:

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

الشكل ٦-٩: خنيدرة في طور الانقسام



يبلغ طول الجينوم الخنيدري لدى النباتات العليا من ١٥٠٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠٠٠ شفع نكليوتيدي (٧٨٠٠٠ شفع نكليوتيدي لدى الخميرة وببلغ نحو ١٦٥٠٠ زوج نكليوتيدي لدى الفقاريات فقط)، وهو يتضمن نسبة كبيرة من التتابعات غير المشفرة. ويوجد من ٥ إلى ٥٠ نسخة من هذا الجينوم في كل عضية خنيدرية. ويرتبط دنا الخنيدرة إلى بروتينات في بنية تشبه بنية عقد اللؤلؤ.

يتضمن دنا الخنيدرة مورثات: rRNA و tRNA وتتابعات تشفر إلى ما يلي:

- تحت وحدتين من المعقد الأنزيمي ATPase.
- السيتوكروم C

- أوكسيداز والسيتوكروم b
- تحت الوحدات التي تشكل NADH ديهيدروجيناز.

وجميعها تشكل جزءاً من السلسلة التنفسية أو ATPase وتنتمي إلى الغشاء الداخلي. أما ما تبقى من الأنزيمات أو البروتينات الموجودة في الخنيدرة فيشفر له الجينوم النووي. وبعض مورثات الخنيدرة لدى الخميرة أو النباتات العليا تتضمن انترونات، وبالتالي فإن الرنا الرسول المنسوخ عن هذه المورثات يجب أن يخضع لعملية نضج قبل ترجمته.

إن ما يقارب من ٥ إلى ١٠٪ من البروتينات المتضمنة في الخنيدرة تركب في قالب الخنيدرة ويرمز لها جينوم الخنيدرة، والنسبة العظمى منها تستورد عبر غلاف الخنيدرة ولكنها تكون بشكل غير منطو، ويعود ذلك إلى وجود بروتينات مرافقة ترتبط إلى الجزيء البروتيني خلال نقله. تحمل هذه الجزيئات البروتينية تتابع عنونة يتعرف عليه مستقبل بروتيني موجود على الغشاء الخارجي للخنيدرة ويثبتها (شكل ٦-١٠). ثم ينقل الجزيء البروتيني عبر قناة تخترق غشائي الخنيدرة تتشكل وقتياً عند ارتباط الجزيء بمستقبله. التتابع الإشاراتي يتم قصه واستبعاده ومن ثم يتم انطواء البروتين بمساعدة بروتينات مرافقة موجودة في قالب الخنيدرة.

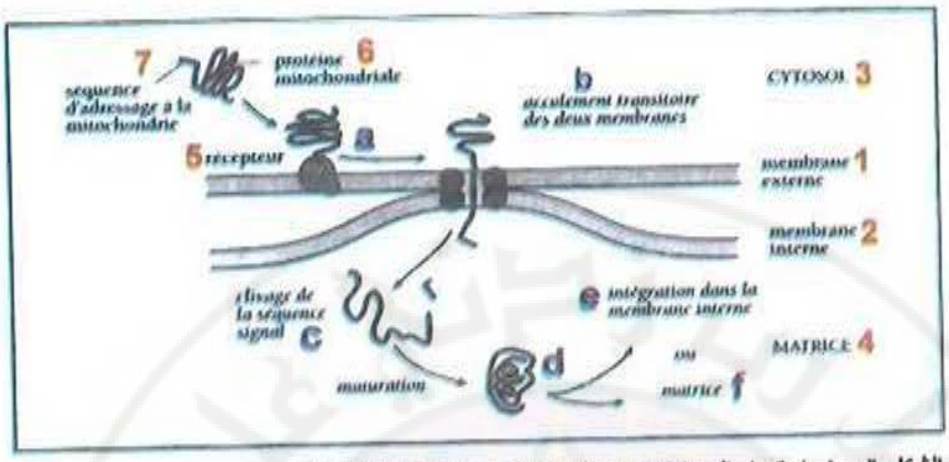
يعتقد البعض أن الخنيدرات هي متعضيات مستقلة من بدائيات النوى prokaryota استطاعت أن تصل إلى خلية تستضيفها وتعايشت معها في علاقة متبادلة فقدمت لها إمكانية تصنيع الـ ATP. هناك العديد من المشاهدات التي تؤيد هذه النظرية:

١: امتلاك الخنيدرات دنا دائرياً، يشبه ذلك الموجود لدى الجراثيم الموجودة حالياً.

٢: ريباسات الخنيدرات تساوي في حجمها ريباسات الجراثيم.

٣: آليات اصطناع البروتينات في الخنيدرات والجراثيم متشابهة من حيث حساسيتها لمضادات حيوية معينة لا تؤثر بالشكل ذاته في تركيب البروتين الحاصل في السيتوبلاسم.

المخطط التالي (شكل ٦-١١) يصور الخطوات المحتملة لتطور خلايا حقيقيات النوى ابتداء من خلايا بدائيات النوى عبر التعايش الداخلي الذي حصل بينهم.



الشكل ٦-١٠: استيراد البروتينات من السيتوبلاسم إلى داخل الخنيدرة:
(١) الغشاء الخارجي للخنيدرة، (٢) الغشاء الداخلي، (٣) السيتوبلاسم، (٤) قالب الخنيدرة، (٥) مستقبل، (٦) بروتين خنيدري، (٧) تتابع عاونة للبروتين يدل على أنه موجه للخنيدرة.
a: ارتباط البروتين مع المستقبل، b: التحام مؤقت لغشائي الخنيدرة، يسمح بولوج البروتين إلى داخل الخنيدرة، c: قطع تتابع الإشارة، d: نضج البروتين (يأخذ شكله الفراغي النهائي)، e: دمجه ضمن الغشاء الداخلي، أو f: بقاؤه في القالب.

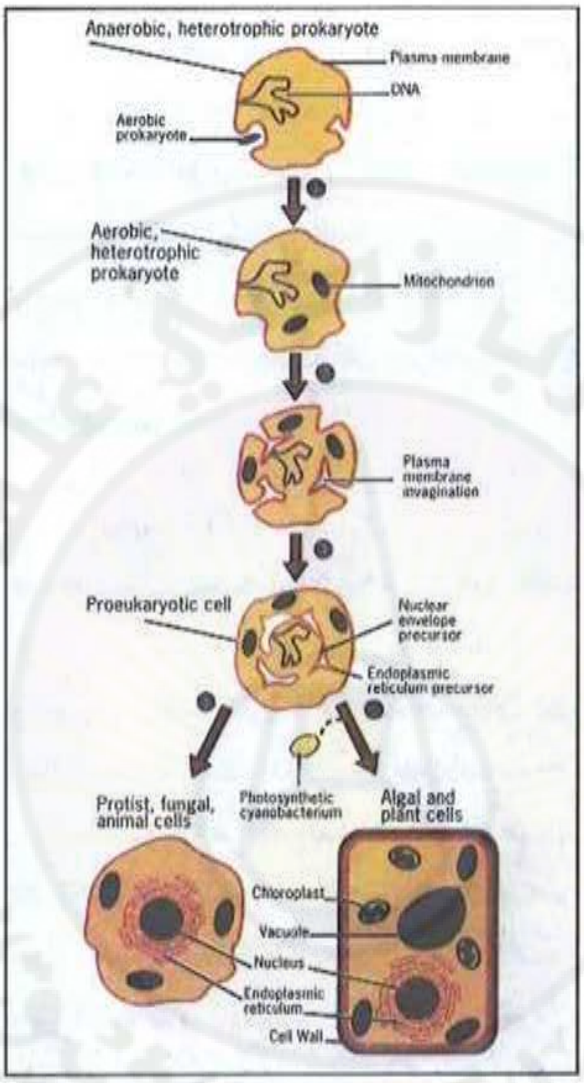
الصانعات Plastids

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

١- الصانعات الخضراء: الأصبغة الأساسية فيها هي اليخضور.

٢- الصانعات الملونة: تسيطر فيها الأصبغة شبه الكاروتينية، حتى أنه يمكن أن لا تتضمن يخضوراً على الإطلاق.

٣- الصانعات عديمة اللون: وهي عديمة الأصبغة.



الشكل ٦-١١. تطور الحَيَوَانات:

(١): في المرحلة الأولى ابتلعت (أخذت) خلية لا هوائية وغيرية التغذية من طلائعيات النوى، خلية صغيرة من طلائعيات النوى أيضا ولكنها تعيش حياة هوائية، ونتج عن هذا التعايش خلية جديدة في صفاتها. هناك أدلة قوية حاليا تشير إلى أن الخلية البدائية المبتلعة كانت سلفا لمجموعة من الجراثيم التي تعيش حاليا وتعرف باسم الريكتسيا (والتي تسبب التيفوس وأمراضا أخرى للإنسان)

(٢): في المرحلة الثانية تطورت الخلية المبتلعة لتصبح خنيدرة.

(٣): في المرحلة الثالثة حدثت انغماسات عدة في الغشاء البلازمي، التفت هذه الانغماسات والتحمت لتشكل الغلاف النووي والشبكة السيتوبلازمية الداخلية المرتبطة معها.

الخلية الناتجة هي خلية بدائية التركيب من حقيقيات النوى. وقد سلكت هذه الخلية اتجاهين مختلفين:

(٤) في الاتجاه الأول تطورت هذه الخلية إلى خلايا حقيقيات النوى غيرية التغذية مثل الفطريات والخلايا الحيوانية.

(٥) في الاتجاه الآخر، تم ابتلاع خلية من بدائيات النوى قادرة على التركيب الضوئي إليها، وأصبحت هذه الخلية المبتلعة عبر التعايش الداخلي صانعة خضراء. وأصلت النباتات الخضراء.

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

يمكن للتركيب الكيميائي لصبغ الصانعات أن يتغير بتبدل عوامل الوسط (كالضوء والظلمة)، أو باختلاف مرحلة تطور النبات (خلايا هرمة أو فتية) وأخيراً وفق منحى التفاعلات الاستقلابية الجارية في الخلية.

الصانعات الخضراء Chloroplasts

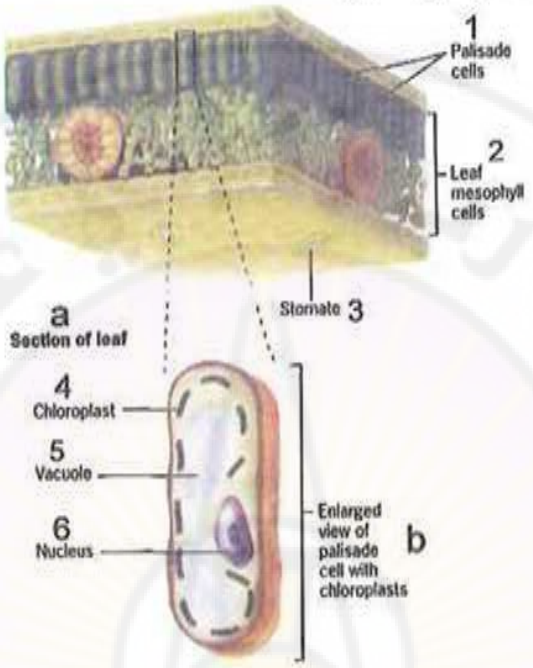
الصانعة الخضراء عضية متخصصة لها القدرة على امتصاص الطاقة الضوئية وتخزينها على شكل طاقة كيميائية في جزيئات الـ ATP التي تعد الحامل الأساسي للطاقة الضرورية لعمليات الاصطناع الحيوي في الخلية. وأول وأهم هذه العمليات، التي تتم في الصانعات الخضراء حصراً، إنتاج مركبات عضوية انطلاقاً من Co_2 الجوي والماء وذلك بفضل عملية الاصطناع الضوئي، ويتحرر نتيجة ذلك الأكسجين. وهذا ما جعل من النباتات كائنات ذاتية التغذية autotrophes وأكسبها 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 ٦-١٢) التي تضم وسطياً من ٣٠ إلى ٤٠ صانعة، ولكننا نعرف بعض الاستثناءات (لوحظت في بذور الصنوبر على سبيل المثال). وتكون قليلة العدد وضخمة في النباتات الدنيا كالطحالب مثلاً.

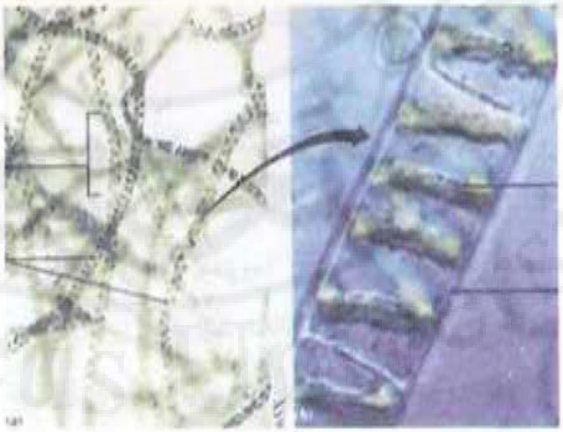
الشكل:

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

أو نجمية أو حلقية .. وتمتلك كل خلية صانعة واحدة أو صانعتين، وندعوها حاملة الصبغة chromatophore (شكل ٦-١٣).



الشكل ٦-١٢: التعضي الوظيفي للورقة:
a: مقطع عرضي في ورقة: (١) نسيج حبابي، (٢) نسيج متوسط فراغي، (٣) ثغر.
b: خلية من النسيج الحبابي: (٤) صانعة خضراء، (٥) فجوة، (٦) نواة.



شكل ٦-١٣: حاملات الصبغة في الطحالب

البنية الدقيقة Infrastructure :

يحيط بالصانعة غشاء مضاعف، ثخانته من ٦ إلى ٨ نانومتر، يفصلهما فراغ يقدر بنحو ١٠ نانومتر (الشكل ٦-١٤). الغشاء الخارجي نفوذ للجزيئات الصغيرة التي لها وزن جزيئي قريب من ١٠٠٠٠ دالتون، وذلك بفضل ثقر تشكلها بروتينات الغشاء ندعوها البورينات porines. أما الغشاء الداخلي فهو نسبياً غير نفوذ، والمواد تعبره بفضل أنزيمات متخصصة، تسيطر على التبادل مع السيتوبلاسم هي أنزيمات البيرميز. وكلا الغشاءين غني بالليبيدات السكرية galactolipides.

يحيط الغشاء الداخلي بمادة أساسية ندعوها بالسردة stroma وقد اكتشفت بنيتها التفصيلية بوساطة المجهر الإلكتروني ونجد فيها:

- جزيئات من الدنا حلقية الشكل، يبلغ محيطها نحو ٥٠ ميكروناً، وعددها نحو عشرين جزيئاً في كل صانعة. يمثل هذا الدنا الجينوم الخاص بالصانعات ويسمى بـ "دنا الصانعات الخضراء ويرمز له بـ ctDNA. 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 تثبيت Co2، غير أن معظم بروتينات الصانعات الخضراء يرمز لها من قبل دنا النواة وتركب في السيتوبلاسم، ومن ثم تنقل 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 الريبلوز ١،٥ ثنائي الفوسفات كاربوكسيلاز، الذي يمثل نحو نصف بروتينات الستروما.

- كما يحدد الغشاء الداخلي أيضاً نظاماً غشائياً ثالثاً هو التيلاكوئيدات thylakoide، وهي عبارة عن كيسات مجوفة، يكون توجهها موازياً للمحور الكبير للصانعة، تتنضد بعضها فوق بعض على فترات لتشكل أكواماً تدعى "حبحبات" أو غرانا grana ويصل الحبحبات فيما بينها بنى غشائية مسطحة (كيسات) تدعوها الصفيحات lamellae أو تيلاكوئيدات السدى (شكل ٦-١٥). تعد في الصانعة ما بين ٤٠ إلى ٦٠ حبحبة.

وأغشية التيلاكوئيدات مستقلة عن الغشاء الداخلي، ولكنها تنشأ منه عبر التبرعم. وهي تتضمن:

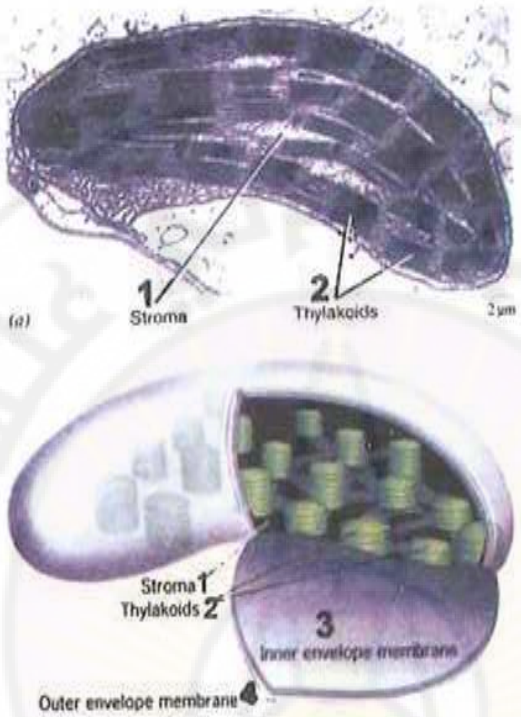
- أصبغة الاصطناع الضوئي المرتبطة مع البروتينات التي لها القدرة على اقتناص الطاقة الضوئية بأطوال محددة، وأكثر هذه الأصبغة أهمية اليخضور chlorophylls وأشباه الكاروتين carotenoids. تمتص هذه الأصبغة الضوء بأطوال موجات مختلفة، موسعة بذلك طيف الضوء الممتص والطاقة المنتجة عبر اقتناص كمية أكبر من الفوتونات.
- بروتينات كثيرة تساهم في نقل الإلكترونات وتركيب الـ ATP .

تضم أغشية التيلاكوئيدات بشكل غير مألوف كمية قليلة نسبياً من الفوسفوليبيدات، ونسبة عالية من الغالاكتوليبيدات التي تساهم في زيادة سيولتها (مرونتها) وتسهل انتقال معقدات البروتين من خلال الغشاء أثناء الاصطناع الضوئي.

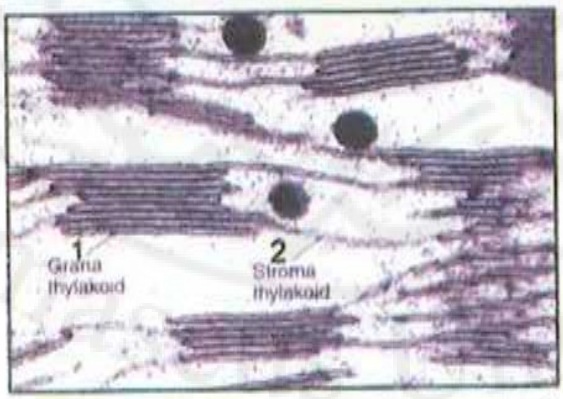
اليخضور:

يمتص اليخضور بشكل أساسي الضوء الأحمر والأزرق، ويعكس الضوء الأخضر مكسباً بذلك الأوراق لونها الأخضر، مما لم تحجبه أصبغة أخرى. نميز ٤ أنواع من اليخضور يرمز إليها بالأحرف الأبجدية a، b، c، d. يمثل اليخضور a صباغ الاصطناع الضوئي الأكثر مصادفة، وهو الوحيد الموجود 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 فيوجد لدى الطحالب البنية وبعض الطحالب وحيدة الخلية بما في ذلك المشطورات. ويميز اليخضور d بعض الطحالب الحمراء. ويوجد لدى الجراثيم

المركبة ضوئياً بخضور جرثومي.



الشكل ٦-١٤: البنية الداخلية للصانعات الخضراء:
a: صورة بالمجهر الالكتروني لصانعة خضراء.
b: شكل تخطيطي للصانعة يظهر مختلف مكوناتها (لا يلاحظ في هذا الشكل الدنا والريباسات)
(١) السردة أو الستروما، (٢) الثيلاكونيدات، (٣) الغشاء الداخلي، (٤) الغشاء الخارجي



الشكل ٦-١٥: أغشية الثيلاكونيدات كما تبدو بالمجهر الالكتروني في جزء من صانعة خضراء في السبانخ ويظهر فيها أغشية أو ثيلاكونيدات الحبحبات (١) الصفيحات (ثيلاكونيدات السردة) (٢).

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

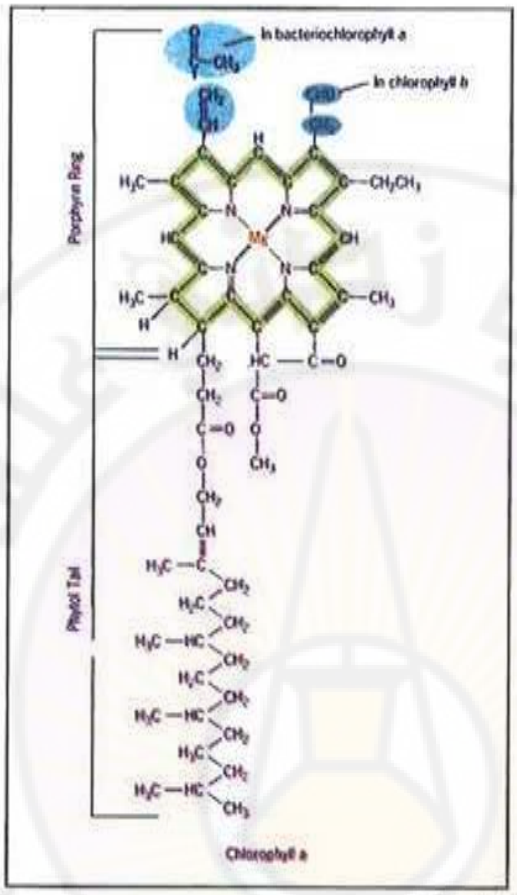
- رأس محب للماء مؤلف من حلقة بورفيرين porphyrine. توجد هذه البنية في العديد من المركبات المهمة بيولوجياً كخضاب الهيموغلوبين والميوغلوبين والسيتوكرومات. يحتل مركز هذه الحلقة ذرة معدنية هي المغنزيوم في اليخضور والحديد في الخضاب. تتوضع حلقة البورفيرين على سطح الغشاء التيلاكوئيدي مجاورة للمحلول المائي الموجود في السردة. ووظيفتها اقتناص الضوء.
- ذيل هيدروكربوني طويل كاره للماء، ذواب في الدسم هو الفيتول phytol ينغمس في الغشاء التيلاكوئيدي ويثبت جزيء اليخضور.

تختلف أنواع اليخضور بعضها عن بعض بالسلاسل الجانبية التي يمكن أن ترتبط مع الرأس، الأمر الذي يؤدي إلى تعديل طيوف امتصاصها (شكل ٦-١٧).

أشباه الكاروتينات

تحتوي النباتات أيضاً أصبغة مساعدة وهي أصبغة صفراء أو برتقالية أو حمراء أو بنية، تمتص بقوة في المجال أزرق والأخضر من الطيف، وهي تحجب عادة باليخضور، ولكن يمكن رؤيتها في الأوراق قبيل سقوطها نتيجة لتحطم اليخضور أولاً. وتوجد في الصانعات اليخضورية لبعض الأزهار والثمار، حيث تكون مسؤولة عن إكساب هذه الأعضاء ألواناً زاهية.

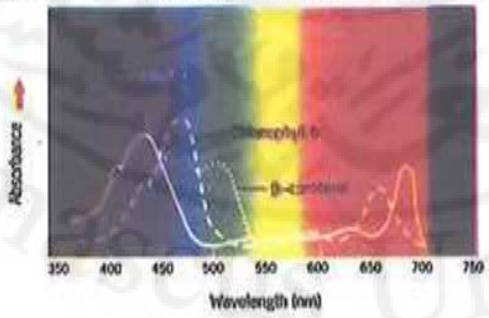
يوجد نمطان من أشباه الكاروتينات هما: الكاروتينات carotenes والبصفورات xanthophylls. والكاروتينات هي سكريات تتألف في الغالب من مركبات C_{40} . يعد الكاروتين β أهمها وأوسعها انتشاراً وهو يُكوِّن الصباغ البرتقالي في الجزر. تستطيع الفقاريات أن تحطم هذا الجزيء إلى جزأين أثناء الهضم مشكلة جزيئين من الفيتامين A. أما البصفورات فهي تشبه الكاروتينات من الناحية الكيميائية لكنها تحتوي الأكسجين.



الشكل ٦-١٦: بنية اليخضور a :

يتألف من حلقة من البورفيرين، في وسطها يوجد ذرة مغنزيوم، وذيل هيدروكربوني طويل. الظل الأخضر على حافة الحلقة يشير إلى انتشار الالكترونات على شكل غيمة.

في الكلوروفيل b واليخضور الجرثومي a تستبدل مجموعة CH_3 في الحلقة الثانية بمجموعة CHO



الشكل ٦-١٧: طيف امتصاص أصبغة الاصطناع الضوئي

لأشباه الكاروتينات عدة وظائف: فهي تعمل على كأصبغة مساعدة في اقتناص الضوء خلال الاصطناع الضوئي، كما أنها تسحب الطاقة الزائدة بعيداً عن جزيئات اليخضور المُحَرّضة وتبددها على شكل حرارة. وإذا لم يتم امتصاص هذه الطاقة الزائدة من قبل أشباه الكاروتينات فإنها يمكن أن تنقل إلى الأكسجين منتجة شكلاً من ذرات الأكسجين المفردة (O) ذات نشاط تفاعلي قوي يمكنها أن تحطم الجزئيات البيولوجية وتسبب موت الخلية. وقد لوحظ أن الخلايا الطحلبية الطافرة التي فقدت أصبغة أشباه الكاروتينات لا يمكن أن تبقى على قيد الحياة في وسط هوائي بسبب تخريب الأكسجين لآليات الاصطناع الضوئي لديها.

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

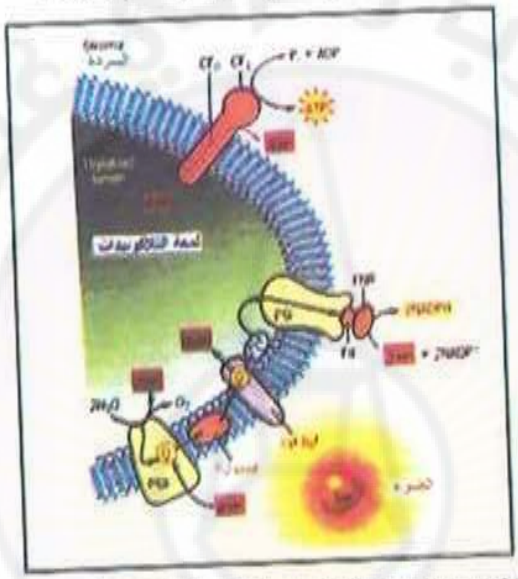
تتوضع جزيئات الأصبغة المرتبطة مع البروتينات في أغشية التيلاكوئيدات حيث تشكل هوائياً جامعاً تمتص الضوء المرئي، تحرض الفوتونات التي يمتصها الصباغ بث إلكترون منه، حيث يغادر مداره نتيجة لاكتسابه طاقة أكبر، وينتقل عندئذ جزيء الصباغ من الحالة الأساسية إلى حالة تهيج. لا تكون الحالة المثارة عادة ثابتة وسرعان ما يعود الجزيء إلى الحالة الأولية منخفضة الطاقة وينتقل الإلكترون سريعاً إلى متلق أولي. يشكل الهوائي الجامع والمركز التفاعلي والمتلقي الأولي نظاماً ضوئياً. نميز ضمن أغشية التيلاكوئيدات في الصانعة الخضراء نظامين ضوئيين. النظام الضوئي الأول Ps1 وهو يتوضع بشكل خاص في المناطق بين الغرانا، والنظام الضوئي II أو Ps2 ويتوضع ضمن الغرانا. ولكل من هاتين المنظومتين مجموعتها الخاصة من جزئيات اليخضور ويتميز كل منهما بطول الموجة التي يعمل من خلالها (Ps1 عند موجة طولها ٧٠٠ نانومتر و Ps2 عند موجة طولها ٦٨٠ نانومتر) (شكل ٦-١٨).

الصانعات الملونة Chloroplasts

تشتمل هذه الصانعات على أصبغة شبه كاروتينية، فتأخذ تبعاً لذلك ألواناً متباينة من

الأصفر إلى البرتقالي فالأحمر. وهي لا تقوم بعملية الاصطناع الضوئي. وتصادف في الثمار الناضجة بصورة خاصة (كالبندورة والفليفلة الحمراء والبرتقال) وفي تويجات بعض الأزهار (كالورد الأصفر والتوليب)، وفي الجذور اللحمية للشمندر والجزر.

لا يختلف شكل الصانعات الملونة وأبعادها كثيراً عن مثيلتها الخضراء، ولكنها تتصف ببنية غشائية داخلية ضعيفة التمايز، وبالتالي تتجزأ وتنقسم بسرعة.



الشكل ٦-١٨: انتقال الالكترونات بين النظامين PSI و PSII . تدفق زوج من الالكترونات يشار إليه بالسهم.

الصانعات عديمة اللون Leucoplasts :

تفتقر الصانعات عديمة اللون للأصبغة، وتبدي تحورات لادخار الغذاء. تصادف هذه الصانعات في جميع الأعضاء النباتية وتكثر بخاصة في الأعضاء الادخارية مثل الجذور والبذور والأوراق الفتية، وتصنف تبعاً لنوع الغذاء المدخر إلى:

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

elaioplasts) أو على شكل زيوت (صانعات زيتية oleoplasts) كما هو الحال في الجوز والبندق وبذور زهر الشمس الحولي.

- الصانعات البروتينية proteoplasts وتدخر البروتينات كما هو الحال في بعض البذور النباتية.

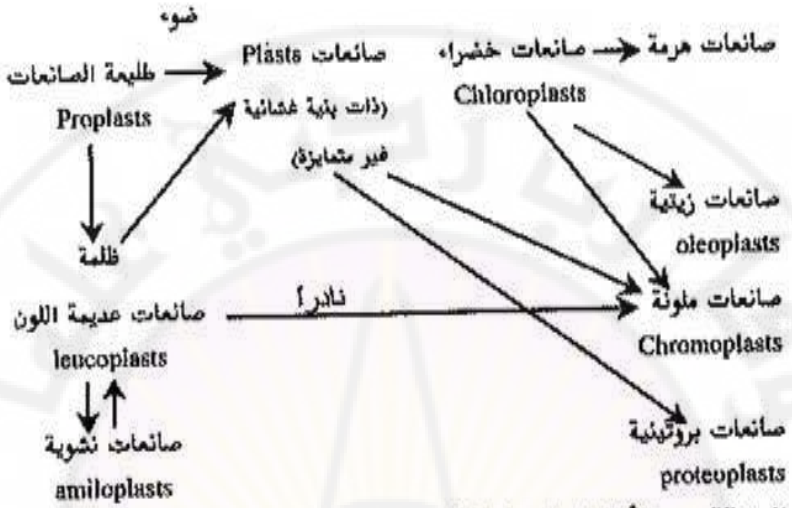
أصل الصانعات:

تنشأ 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 المركبة ضوئياً والمنتجة للأكسجين (يفترض أنه من البكتريا الزرقاء Cyanobacterium) التي تعايشت داخلياً مع خلية غير مركبة ضوئياً من حقيقيات النوى. وبالنتيجة فإن الصانعات الخضراء والبكتريا الزرقاء تشترك في مجموعة من الخصائص الأساسية، تضمنها بورينات porins، دنا حلقي، النمط ذاته من الريباسات وتتشابهان في آلية الاصطناع الضوئي.

العلاقة بين الأشكال المختلفة للصانعات:

تتمايز طليعة الصانعات إلى صانعات عديمة اللون في الظلمة. تتصف هذه الأخيرة بكبر حجمها مقارنة بطليعة الصانعات، ولكن البنية الغشائية lamella فيها تبقى ضعيفة. بينما تتحول في الضوء إلى صانعات خضراء ذات بنية غشائية داخلية كثيفة تمتلئ بالأصبغة اليخضورية 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 العضية الأخيرة في تطور الصانعات. ويمكن للصانعات الملونة أحياناً التمايز بدءاً من صانعات عديمة اللون مباشرة، كما في الجذور اللحمية للجزر. يوضح المخطط التالي العلاقة بين الأشكال المختلفة للصانعات.



العلاقة بين الأشكال المختلفة للصانعات

الريباسات Ribosomes :

عضيات صغيرة جداً، تتكون من كميات متساوية تقريباً من الرنا الريباسي rRNA والبروتينات (وبذلك فهي دقائق بروتينية ريبية نووية)، وهي موقع اصطناع البروتينات، حيث يتم على سطحها تجميع الحموض الأمينية لبروتين ما وفق ترتيب محدد. توجد الريباسات بأعداد كبيرة جداً خلال السيتوبلاسم في الخلايا الحية في كل من بدائيات النوى وحقيقياتها، فتحتوي الخلية الجرثومية النموذجية على نحو ١٠٠٠٠ ريباسة، في حين تحتوي خلية حقيقيات النوى أضعاف ذلك. غير أن ريباسات بدائيات النوى أصغر حجماً (70S) من ريباسات حقيقيات النوى (80S). يبلغ طول الريباسة في الطلائعيات نحو ٢٩ نانومتراً وعرضها ٢١ نانومتراً. أما لدى الحقيقيات فأبعادها: ٣٢ على ٢٢ نانومتراً.

تتكون الريباسة من وحدتين كبيرة وصغيرة، ويشار إلى حجم كل منهما بمعامل

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

التركيب الكيميائي للريباسة:

يشارك ٣ قطع مختلفة الحجم من الرنا في تركيب الريباسة، إضافة إلى مجموعة من البروتينات المختلفة مصدرها السيتوبلاسم. تتألف الوحدة الصغيرة (40S) من الرنا 18S إضافة إلى نحو ٣٠ جزيئة بروتينية. أما الوحدة الكبيرة (60S) فتتألف من الرنا الريباسي 5S، 5.8S ، 28S مع نحو ٥٠ بروتيناً آخر. يتم تركيب الوحدتين في النوية، ثم تغادران النواة إلى السيتوبلاسم حيث تتحدان مع بعضهما ليشكلا ريباسة وظيفية لحظة البدء بتركيب البروتين.

نضج الرنا الريباسي:

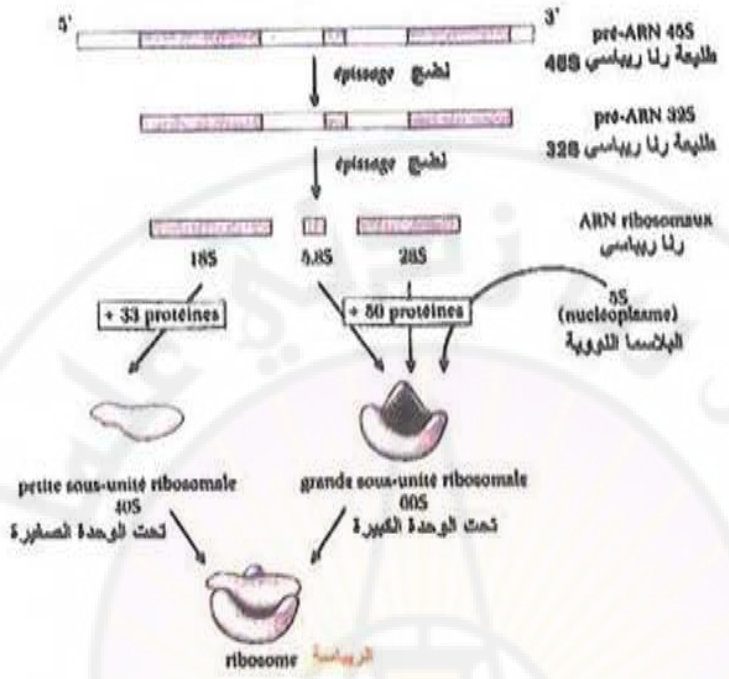
يمثل الرنا الريباسي القسم الأعظم من أنواع الرنا الموجودة في الخلية، إذ تبلغ نسبته نحو ٨٠٪، بينما لا تزيد نسبة الرنا الرسول عن ٢٪ عادة من مجمل الرنا.

أمكن تمييز ٤ أنماط من الرنا الريباسي يشار إليها بـ 28S، 18S، 5.8S، 5S وهي تنسخ اعتباراً من مورثات تتوضع بشكل مترادف. يتوسط عملية النسخ أنزيمان مختلفان هما:

– البوليميراز I وينسخ الأنماط الثلاثة الأولى، التي تنسخ بداية معاً على شكل طليعة رنا ريباسي ذو حجم كبير 45S، ثم يقتطع ليعطي الأنماط الثلاثة (شكل ٦–١٩). يتضمن الجهنوم النووي عشرات النسخ من هذه المورثات التي تتجمع في مستوى النوية (أو النويات) عندما تكون الخلية في الطور البيني.

– البوليميراز III وهو ينسخ مورثات الرنا الريباسي 5S التي تتوضع عادة في مناطق أخرى من الصبغيات، وتنسخ في البلاسما النووية وتوجد بنسخ أكبر من مورثات الأنماط السابقة، يمكن أن تبلغ عدة مئات إلى عدة آلاف.

يعد وجود مورثات الرنا الريباسي بهذه الأعداد الكبيرة تكيفاً ضرورياً من الخلية لكي تؤمن استمرارية عمليات تركيب البروتينات اللازمة لبقائها.

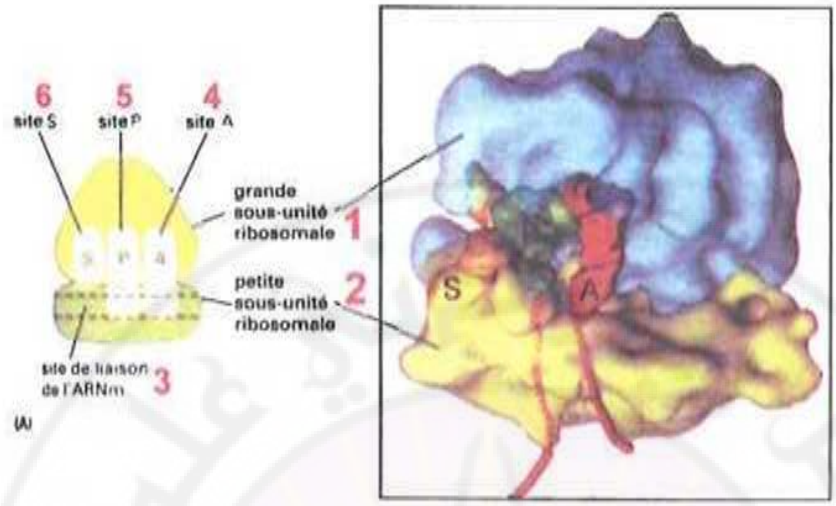


الشكل ٦-١٩: نضج طليعة الرنا الريباسي في النوية، واندماجها مع جزيئات بروتينية لتشكيل تحت الوحدات التي ستشكل الريباسة.

شكل الريباسة:

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

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



الشكل ٦-٢٠: بنية الريباسة:
(١) تحت الوحدة الكبيرة، (٢) تحت الوحدة الصغيرة، (٣) موقع ارتباط الرنا الرسول، (٤) موقع ارتباط الحمض الأميني، (٥) موقع السلسلة الببتيدية، (٦) موقع الخروج.

اصطناع البروتينات

تتضمن عملية اصطناع البروتينات مرحلتين أساسيتين هما: النسخ والترجمة.

النسخ The Transcription :

لا تعتمد الخلية على المعلومات الوراثية المتضمنة في النواة بشكل مباشر لإنجاز عملية اصطناع البروتينات، بل تنقل هذه المعلومات إلى السيتوبلاسم على شكل جزيئات متخصصة هي جزيئات الرنا الرسول mRNA، التي يكون تتابع النكليوتيدات فيها متمماً للسلسلة الرامزة من الدنا. وهكذا يحدد تتالي النكليوتيدات في الرنا الرسول تتالي الحموض الأمينية التي ستؤلف البروتين. تنسخ جزيئات الرنا عن الدنا النووي تبعاً لحاجة الخلية وذلك بوساطة أنزيمات بلمرة خاصة ضمن النواة هي أنزيمات الرنا بوليميراز . تخضع جزيئات الرنا المنسوخة قبل أن تغادر النواة باتجاه السيتوبلاسم إلى بعض التغيرات. كما ترتبط مع بروتينات خاصة لتتمكن من عبور الثقر النووية كما سبق أن أشرنا إليه. تشبه نكليوتيدات الرنا نكليوتيدات الدنا، غير أن السكر الخماسي في الرنا هو سكر الريبوز وليس الريبوز منقوص

الأكسجين، كما يستبدل أساس التيامين بأساس آخر هو اليوراسيل.

تقسم جزيئات الرنا التي يتم نسخها عن الدنا النووي إلى عدة مجموعات رئيسية هي:

– الرنا الرسول mRNA الذي تتم ترجمته إلى بروتين.

– الرنا الريباسي rRNA الذي، كما يدل اسمه، مكون رئيس من مكونات الريباسات.

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

تحوي الخلية أنماطاً أخرى أقل عدداً من الرنا، مثل الرنا الصغير RNA7s "أو الريبوزيم" الذي له قدرة على التوسط لإتمام بعض العمليات الحيوية.

آلية نسخ الدنا إلى رنا:

تُنسخ جزيئات الرنا بوساطة أنزيمات الرنا بوليميراز. وهي جزيئات ضخمة تتألف من اجتماع عدة وحدات، وتُركّب الرنا انطلاقاً 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 بوليميراز يرمز لها بـ I، II، III. لكل من هذه الأنزيمات مهمة خاصة:

– الرنا بوليميراز I ينسخ الرنا الريباسي (8S, 18S, 28S).

– الرنا بوليميراز II ينسخ المورثات التي تشفر إلى بروتينات خلوية (أي الرنا الرسول) والرنا الصغير 7S الذي يشارك، مع مكونات أخرى، في التوسط في عملية نضج الرنا الرسول والرنا الريباسي.

– الرنا بوليميراز III ينسخ الرنا الناقل والرنا الريباسي ذا الحجم 5S.

ورغم 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 اصطفائية، 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 يسبقها تتابع من النكليوتيدات (يضم نحو ٤٠ شفعاً نكليوتيدياً لدى طلائعيات النوى) ويعرف باسم المثير. يتعرف أنزيم الرنا بوليميراز على المثير ويتثبت عليه بمساعدة عامل بدء خاص. ينبسط حلزون الدنا على مسافة قصيرة، متيحاً المجال لأنزيم الرنا بوليميراز ببدء النسخ اعتباراً من أول نكليوتيد يؤلف المورثة.

٢: الاستطالة: تنمو السلسلة الجديدة بالاتجاه 5 إلى 3 والنكليوتيدات المضافة تكون متكاملة مع نكليوتيدات سلسلة القالب.

٣: ينتهي النسخ عندما يلاقي أنزيم الرنا بوليميراز تتال خاص يكون غنياً بالتيامين، 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 تذكر، 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:

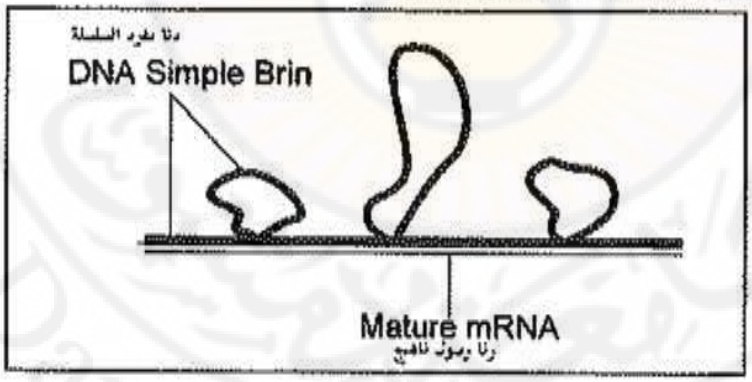
١: في مرحلة مبكرة من النسخ، يتم إضافة غوانين مميتل "مضافاً إليه الميتيل" إلى النهاية 5 من الجزيء. لهذه القبعة أكثر من دور: فهي تحمي الجزيء أثناء تركيبه من تأثيرات أنزيمات النكلياز Nucleases (التي تحلمه النكليوتيدات)، كما تفيد في توجيه جزيء الرنا الرسول في السيتوبلاسم وفي بدء عملية التركيب البروتيني.

٢: مباشرة إثر انتهاء نسخ جزيء الرنا، يُضاف إلى سلسلة الرنا، بوساطة أنزيم خاص، تتابعاً مؤلفاً من ١٠٠-٢٠٠ من الادنيل. يوجد هذا الذيل من متعدد +A لدى معظم الرنا الرسول المنسوخ، وهذا يسمح بفصل الرنا الرسول عن باقي أنماط الرنا الخلوية وتنقيته. يفيد هذا الذيل في تسهيل مغادرة الجزيء للنواة باتجاه السيتوبلاسم، وفي بدء تركيب البروتين.

ثم يُغلّف الرنا الرسول بجزيئات بروتينية لتشكل معقداً ريبونكليو بروتيني.

٣: أظهرت تجارب التهجين بين الرنا الرسول الموجود في السيتوبلاسم لمورثة ما وتتابع النكليوتيدات لدنا الصبغي المؤلف لهذه المورثة الذي نسخ عنه هذا الرنا، ومراقبة ذلك عبر المجهر الإلكتروني بأن هناك تتابعات من دنا الصبغي قد تهجنت مع الرنا، وهناك تتابعات أخرى لا يوجد مستمم لها في جزيء الرنا، ولذلك تشكل عقداً (أنشوطة) بين التتابعات الأولى (شكل ٦-٢١). مما يشير إلى أن هذه التتابعات قد تم استبعادها من الرنا النهائي بعد نسخها.

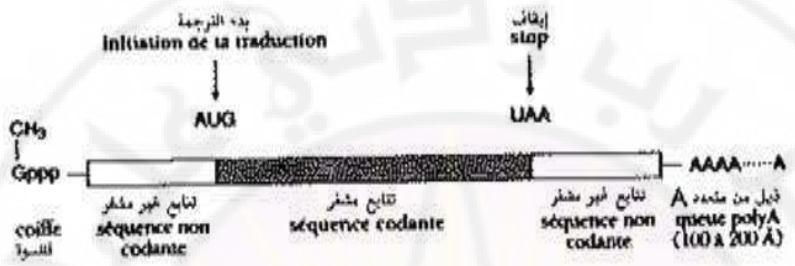
نسمي التتابعات الذي يتم استبعادها من طليعة الرنا الرسول بالانترونات أو القطع الوسطية "Introns" والتتابعات التي تشفر فعلياً لبروتينات، والتي تهجنت مع الدنا الذي نسخت منه، بالاكزونات Exons (من الكلمة Exit "يخرج") لأنها تغادر النواة إلى السيتوبلاسم، بينما تستبعد القطع الوسطية في النواة قبل خروج الرنا الرسول النهائي منها، ومن ثم توصل قطع الاكزونات بعضها ببعض. نسمي هذه العملية التي تتم في النواة نضج الرنا الرسول Processing of Messenger RNA.



الشكل ٦-٢١: إظهار وجود الانترونات في بنية المورثة لدى حقيقيات النوى من خلال التهجين بين الرنا الناضج مع تتابعات الدنا للمورثة التي نسخ عنها هذا الرنا.

وهكذا توصف المورثة لدى حقيقيات النوى بأنها ذات بنية متقطعة "أو غير مستمرة". تميز هذه البنية للمورثات غالبية مورثات حقيقيات النوى. إن عدد القطع الوسطية في المورثة

وحجمها مقارنة مع قطع الاكزونات 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 Traduction

الترجمة هي الآلية التي سيتم بوساطتها فك رموز الرنا الرسول لأجل وضع الحموض الأمينية التي ستؤلف سلسلة متعدد الببتيد بترتيب محدد. تتم هذه العملية في السيتوبلاسم. هذه العبارات "نسخ" و "ترجمة" ملائمة بشكل جيد لوصف ما يحصل. فنحن نقول "نسخ" لأننا ننسخ الدنا إلى الرنا الرسول دون تغيير في اللغة المستخدمة، لأن "الأحرف" المكونة لكل من الدنا والرنا هي النكليوتيدات. ونقول "ترجمة" لأننا نبدل في هذه المرة اللغة، فبدلاً من اللغة النكليوتيدية المستخدمة في الرنا الرسول، ستصبح اللغة هنا هي الحموض الأمينية. كيف سيتم تحويل تتالي النكليوتيدات إلى تتال للحموض الأمينية؟

الشفرة الوراثية The genetic code :

يتألف الرنا الرسول من تتال أربعة نكليوتيدات مختلفة، ولدينا ٢٠ حمضاً أمينياً مختلفاً، فكيف تستطيع إذاً ٤ نكليوتيدات أن تُرمِّز لعشرين حمضاً أمينياً؟ هناك ٣ احتمالات يمكن توقعها:

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

للحمض الثاني ..الخ. إن نظاماً كهذا لا يمكن أن يرمز أكثر من ٤ حموض أمينية.

- الاحتمال الثاني: رمز بحرفين $4^2 = ١٦$ حيث UU ترمز إلى الحمض الأميني الأول، UC ترمز إلى الحمض الثاني ..الخ. وهذا النظام لا يكفي إلا للرمز إلى ١٦ حمضاً

- الاحتمال الثالث: رمز بثلاثة أحرف $4^3 = ٦٤$ أي UUU ترمز للحمض الأميني الأول، UUC ترمز للحمض الثاني ..الخ. يمكن لهذا النظام أن يرمز إلى ٦٤ حمضاً أمينياً. وهذا يكفي بل يزيد. ولقد تم إثبات هذا الاحتمال، وبُرهن على أن كل ثلاثة نكليوتيدات (والتي تؤلف كودوناً واحداً) محمولة على الرنا الرسول ستترجم لتشع حمضاً أمينياً واحداً. مثال ذلك فإن الكودون AUG يرمز للحمض الأميني الميثيونين. يوضح الشكل ٦-٢٣ مختلف الحموض الأمينية التي ترمز لها هذه الكودونات. حيث نجد أن هناك حموضاً 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 يُلاحظ في الجدول بأن هناك ٣ كودونات لا تترجم إلى حموض أمينية، بل هي في واقع الأمر إشارات لنهاية "القراءة" وندعوها كودونات الإيقاف".

خصائص الرمز الوراثي:

آ: عالمي: لقد ساد الاعتقاد أن الرمز الوراثي هو ذاته لدى كل الكائنات الحية، ولكن منذ عام ١٩٨٠ أوضح سنجر Sanger (الحائز جائزة نوبل مرتين في عامي ١٩٥٨ و ١٩٨٠) أن الرمز الوراثي يختلف قليلاً في الخنيدرات لدى الإنسان. لقد وجد أن الكودون UGA لا يرمز للإيقاف بل للتربتوفان، و AGA يرمز للإيقاف بدلاً من الارجنين ..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 يُقرأ بأكثر من أسلوب وذلك بعد أن يحدث انزياح بنكليوتيد واحد. على سبيل المثال التتابع التالي يمكن أن يترجم وفق نطاق أول من القراءة إلى الحموض الأمينية التالية:

UUU ACG AUG UA
Phe. Thr Met. .

ويمكننا بعد إزاحة نطاق القراءة بنكليوتيد واحد أن يُقرأ :

UUA CGA UGU A
Leu. Arg. Cys. .

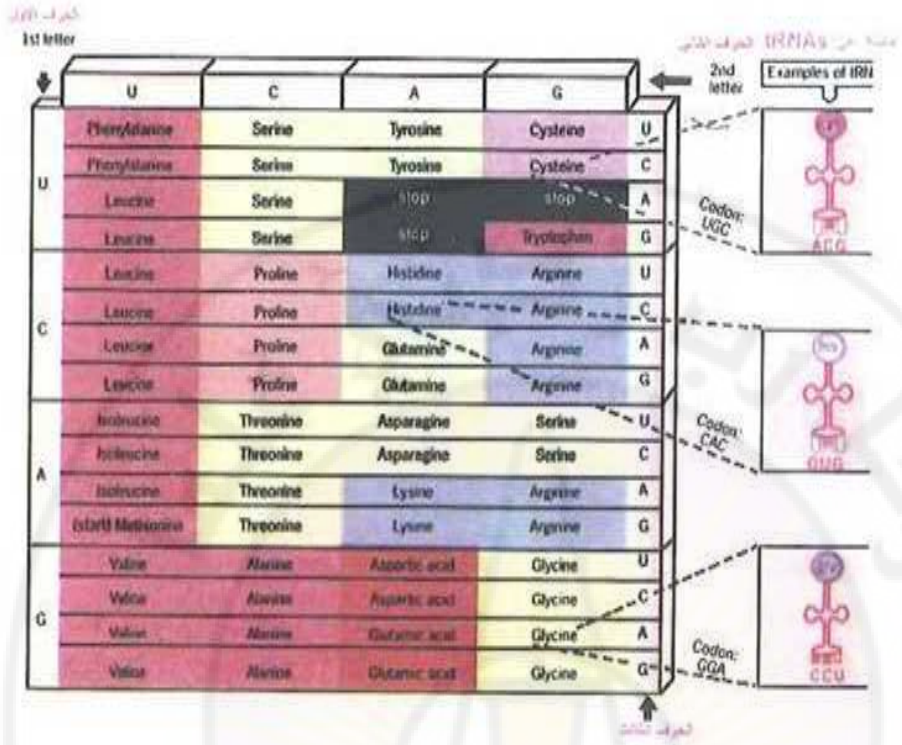
وبعد إزاحة جديدة يمكننا أن يُقرأ بأسلوب ثالث.

وصفت الحالة الأولى عن تداخل المورثات لدى الفيروس ΦX174 . فنفس التتابع من الدنا يمكن أن يحمل المعلومات الضرورية لتركيب جزيئين بروتينيين لهما تتابع حموض أمينية مختلفة تماماً. إنه مثال رائع على الاقتصاد المورثي.

مكان الترجمة:

تتم ترجمة البروتينات في السيتوبلاسم، وبالتحديد على الريباسات التي تتلقى العناصر الأساسية لتركيب البروتين وهي: الرنا الناقل tRNA الذي سيحمل إلى مستوى الريباسات الحموض الأمينية. والرنا الرسول mRNA الذي سيحدد تتالي هذه الحموض.

إضافة لذلك تتضمن الريباسات، وبالتحديد تحت الوحدة الكبرى، "الأداة-الأنزيم" التي ستشبك بالتتالي حمضاً أمينياً تلو الآخر إلى سلسلة متعدد الببتيد التي ستتكون. نسمي هذا النشاط الأنزيمي ببتيديل ترانسفيراز Peptidyl Transferase . وستدرس الآلية الجزيئية لذلك في مقررات لاحقة.



الشكل ٦-٢٣: الرمز الوراثي

الهيكل السيتوبلاسمي The Cytoskeleton :

تملك 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 السيتوبلاسمي آلية الحركة مثل نقل العضيات من مكان لآخر، وانفصال الصبغيات وهجرتها إلى الخليتين البنتين أثناء الانقسام.

يتألف الهيكل السيتوبلاسمي من ثلاثة أنماط من الخيوط البروتينية. وكل نمط من الخيوط يتألف من اجتماع وحدات بروتينية مختلفة:

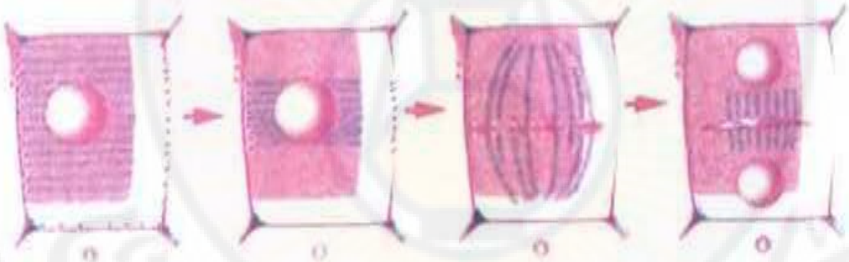
- النبيبات الدقيقة Microtubules وهي أكثرها ثخناً وصلابة. يبلغ قطرها نحو ٢٥

نانومتراً. وهي بوليمير لجزيء التوبيولين tubuline .

- الخيوط الوسيطة Intermediate Filaments تركيبها متباين من نسيج خلوي لآخر، وقطرها نحو ١٠ نانومتراً.
- الخيوط الدقيقة Microfilaments وهي أكثرها ليونة، قطرها من ٥ – ٨ نانومتر، وهي بوليمير لجزيء الأكتين.

النبيبات الدقيقة:

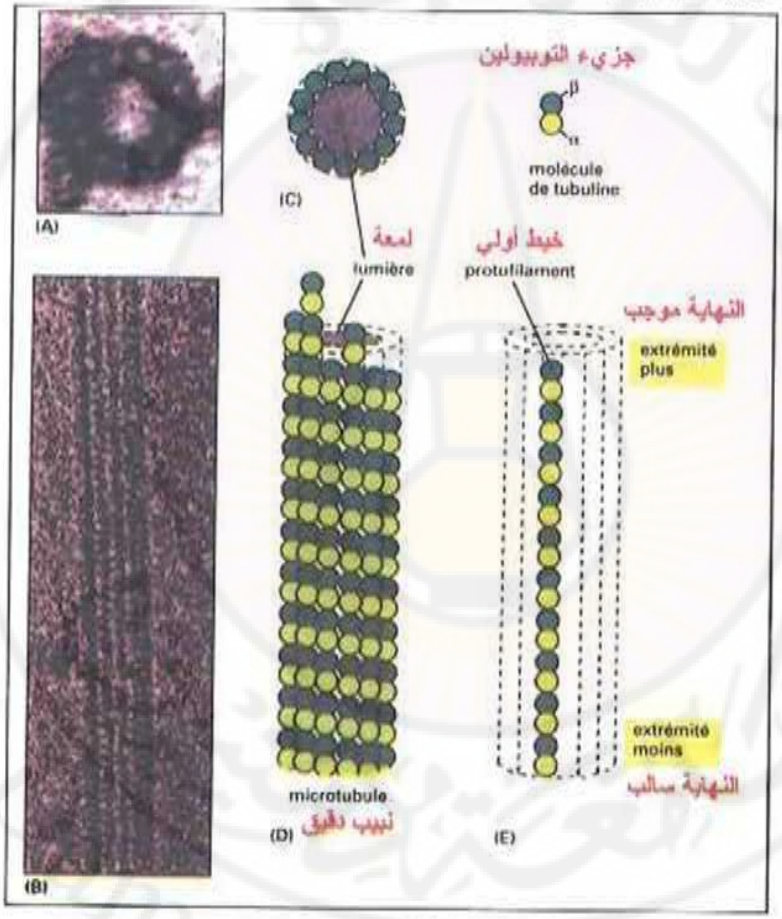
أنابيب صلبة تشكل شبكة من الطرق تمتد داخل الخلية. تتحرك على طولها الحويصلات والعضيات الخلوية أن. فهي الجزء من الهيكل السيتوبلاسمي المسؤول بشكل أساسي عن تحديد وضع العضيات داخل الخلية. يمكن للنبيبات الدقيقة أن تتفكك سريعاً في مكان ما لتتشكل في مكان آخر. فعندما تدخل الخلية مرحلة الانقسام الخيطي فإن النبيبات الدقيقة تتفكك وتجتمع من جديد لتشكل بنية معقدة ندعوها المغزل الخيطي (شكل ٦–٢٤).



الشكل ٦-٢٤: أربع تراكيب للنبيبات الدقيقة خلال الدارة الخلوية للخلية النباتية:
١: خلال الطور البيني تتوزع النبيبات في كافة أرجاء الخلية.
٢: عند اقترب الانقسام الخيطي (ملازمة الطور الأول) تجتمع النبيبات على شكل حزام في وسط الخلية.
٣: مع بدء الانقسام تختفي الحلقة السابقة، وبعاد تنظيم النبيبات لتشكل خيوط المغزل.
٤: بعد انفصال الصبيغيات وهجرتها، تختفي خيوط المغزل وتشكل النبيبات الدقيقة حزمة في وسط الخلية تدعى الفراغموبلاست، التي تؤدي دوراً مهماً في تشكيل الجدار الخلوي الذي سيفصل الخليتين البنتين اللتين ستتشكلان.

تتألف النبيبات الدقيقة من اجتماع وحدات أولية هي بروتين التوبيولين tubuline. يتألف جزيء التوبيولين من اجتماع تحت وحدتين متشابهتين كرويتي الشكل، هما ألفا وبيتا توبيولين. يشكل اجتماع وحدات التوبيولين بشكل خطي خيطاً أولياً protofilament قطره

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



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

تتضمن الخلية خليطاً من النبيبات الدقيقة ووحدات التوبيولين التي تتكون منها تلك الخيوط، وهناك توازن دائم ما بين تركيب وتفكيك النبيبات الدقيقة في الخلية. ويستدل على ذلك من خلال بعض العقاقير التي تمنع بلمرة التوبيولين مثل قلويد الكولشيسين. فعندما تُعرض الخلية المنقسمة إلى هذه المادة فإنها ترتبط بقوة مع جزيئات التوبيولين الحرة وتمنع بلمرته ليشكل النبيبات الدقيقة. وبالتالي تختفي خيوط المغزل الانقسامية سريعاً، وتبقى الخلية غير قادرة على توزيع صبغياتها إلى قطبي الخلية.

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

الخيوط الوسيطة Intermediate filaments:

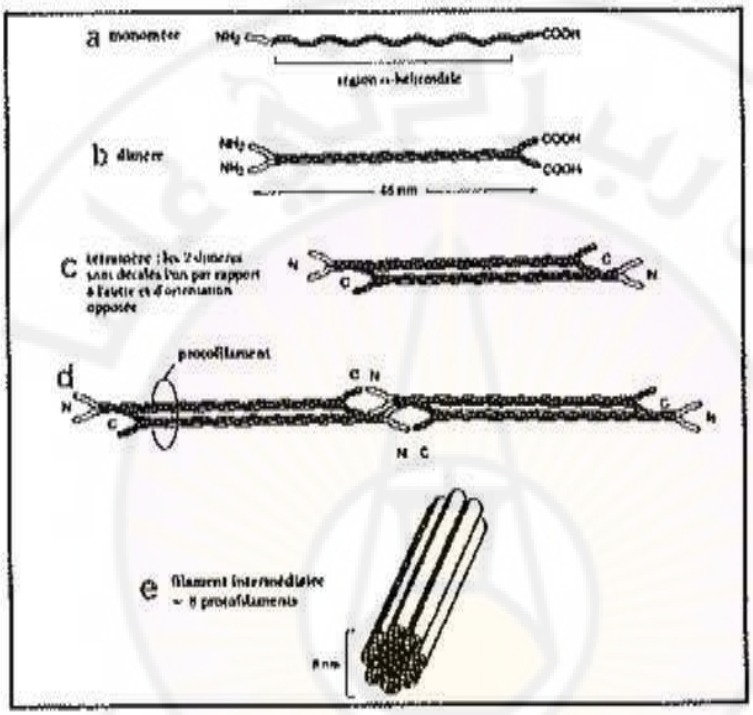
اكتشفت الخيوط الوسيطة منذ السبعينيات من القرن العشرين، وقد سميت كذلك لأنها قطرها (١٠ نانومتر) متوسط بين النبيبات الدقيقة (٢٥ نانومتر) وبين الخيوط الدقيقة (٥–٨ نانومتر). توجد الخيوط الوسيطة لدى كثير من المتعضيات، وتغيب لدى الفطريات وحقيقيات النوى الدنيا. وهي أكثر ثباتاً من النبيبات الدقيقة.

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

الخيوط الدقيقة Microfilaments :

نميز 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

١ 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 حمضاً أمينياً. ويشفر له مورثة توجد بنسخ متعددة غالباً.



الشكل ٦-٢٦: نموذج يوضح طريقة تجميع الخيوط الوسيطة:

a: سلسلة مفردة

b: سلسلة مزدوجة تتألف من اجتماع سلسلتين مفردتين لهما نفس الاتجاه

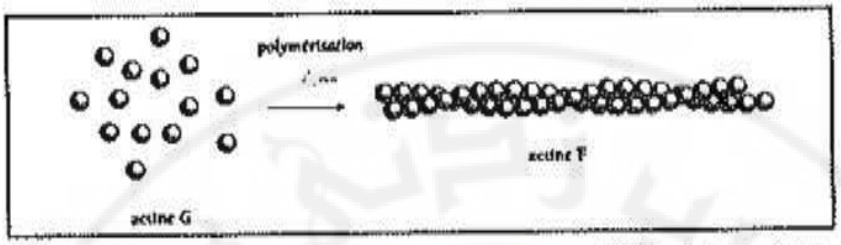
c: سلسلة رباعية ناتجة عن اتحاد سلسلتين مزدوجتين لهما توجه متعاكس

d: خيط أولي مؤلف من ارتباط عدد من السلاسل الرباعية

e: خيط وسيط مؤلف من اجتماع ٨ خيوط أولية.

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

قطبية بنيوية فهي وبشكل مشابه للنبيبات الدقيقة لها نهاية موجبة وأخرى سالبة. ولكنها أكثر مرونة وقصراً من النبيبات الدقيقة وتفوقها عدداً.



الشكل ٦-٢٧: بنمرة خيوط الأكتين:
الوحدات الأولية actine G تجتمع لتشكل خيط الأكتين actine 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. تشوش بعض السموم الفطرية وظائف الخيوط الدقيقة وذلك سواء بمنع بلمرتها أو بمنع تفككها. تعد خيوط الأكتين أساسية للخلية في كثير من تحركاتها، فعلى سبيل المثال لا تستطيع الخلية الإحاطة بجزيء كبير عبر البلعمة أو أن تنقسم إلى خليتين 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 (٧٠ إلى ٩٠٪) وبأملاح معدنية مختلفة، إضافة إلى جزيئات صغيرة تشكل محاليل حقيقية كالأملاح والسكاكر والحموض الأمينية والحموض الدسمة والنكليوتيدات والفيتامينات وغازات مذابة. وجزيئات كبيرة تشكل 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 والنكليوتيدات 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 الكميات التي يحتاج إليها من الأنزيمات والجزيئات الحيوية الأخرى تبعاً لحاجاته. ندعو عملية ضبط تركيب البروتينات في الخلية بالتنظيم المورثي.

يمر 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 بتماس 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 الدنيا الأساسية إلى وسط آخر يتضمن اللاكتوز مثلاً؟

عند زراعة العصيات الجرثومية E. coli على وسط يحتوي 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 الغالاكتون). ولكن بعد فترة من الزمن يلاحظ عودة البكتريا للنمو. لقد أصبحت هذه العصيات قادرة على الاستفادة من اللاكتوز بحلمهته والحصول على الغلوكوز. تعود عدم قدرة الجرثومة على الاستفادة من اللاكتوز في البداية إلى عدم توفر الأنزيم الضروري لحلمهة هذا السكر المركب.

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

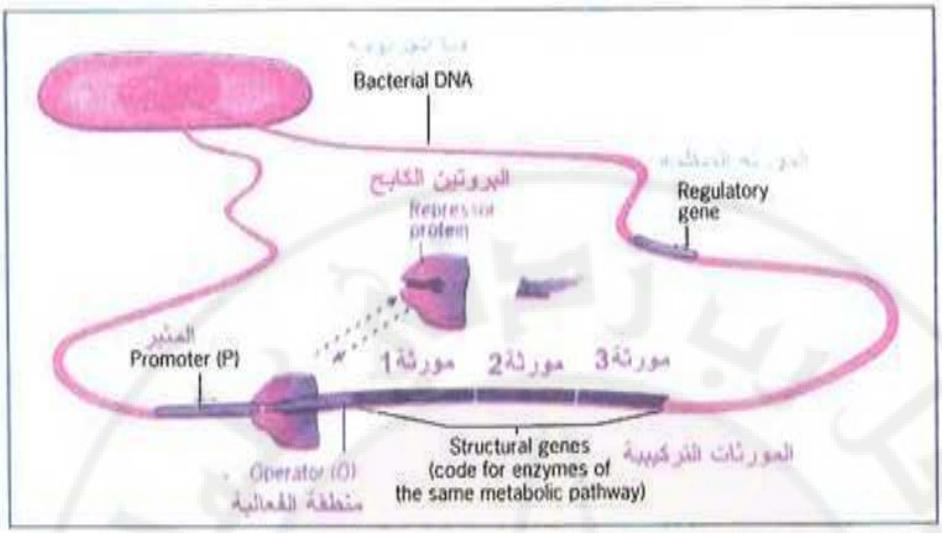
أوبيرون Operon اللاكتوز:

يغلب لدى الجراثيم أن تتجمع المورثات التي تشفر إلى عدة أنزيمات تتوسط في المسار

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

- المورثات التركيبية structural genes: وهي المورثات التي تشفر للأنزيمات 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 الموافق.
- 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 تتداخل 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.

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



الشكل ٦-٢٨: بنية الأوبيرون لدى الجراثيم

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

آلية عمل أوبيرون اللاكتوز:

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

١: بوجود الغلوكوز: بما أن الغلوكوز متوفر 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 ألفت 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 وغياب اللاكتوز (حيث لا حاجة للعضوية إليه) يتثبت البروتين الكابح على منطقة الفعالية (الاوبيراتير) ويمنع أنزيم 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.

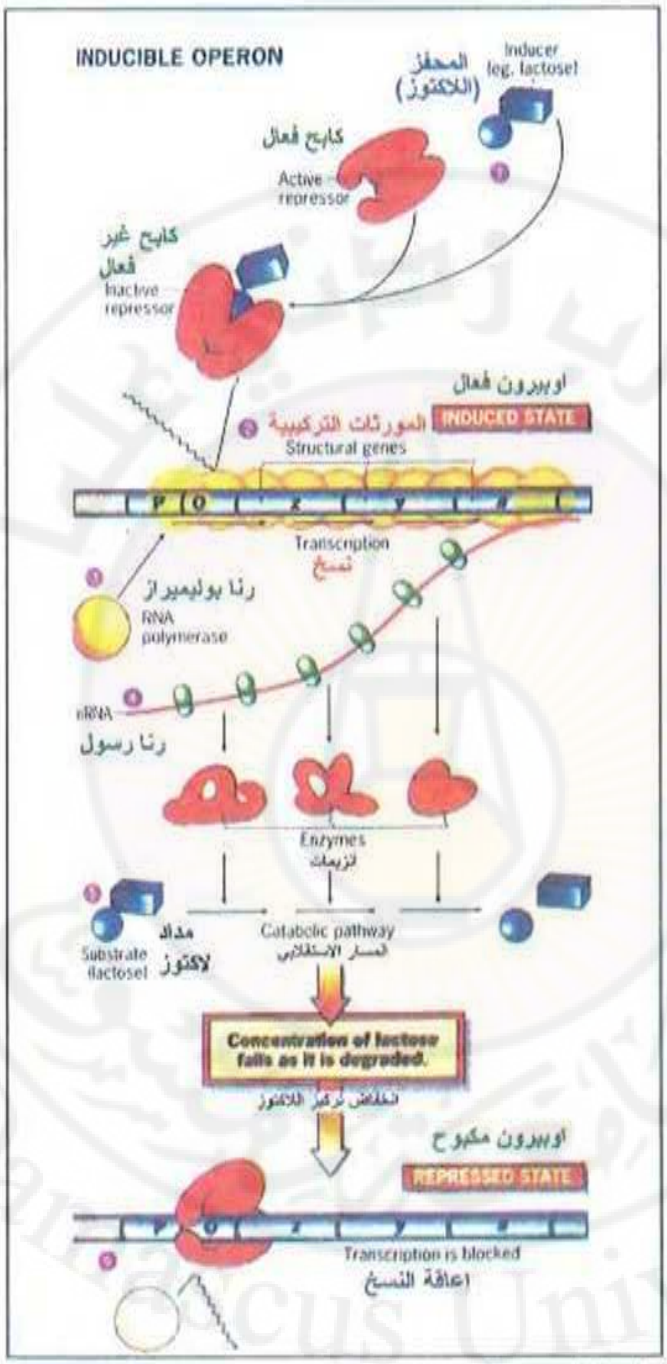
ويتم ذلك عبر ارتباط اللاكتوز مع البروتين الكابح مما يؤدي إلى تغيير في الشكل الفراغي للبروتين الكابح ويصبح غير قادر على الارتباط مع الدنا في منطقة الفعالية. في هذه الحالة يصبح الطريق سالكاً أمام الرنا بوليميراز ليتثبت على منطقة المثبر ويقوم بنسخ المورثات الثلاثة. وعندما يقل تركيز اللاكتوز في الوسط، ينفصل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

يمكن تلخيص آلية عمل أوبيرون اللاكتوز بما يلي: يتم تركيب عدد قليل جداً من جزيئات أنزيم بيتا غالاكتوسيداز (أقل من ١٠) في خلية جرثومة العصية المعوية عند توفر الغلوكوز. ولكن يركب عدة ألوف من جزيئات هذا الأنزيم في حالة غياب الغلوكوز ووجود اللاكتوز. يتم التحفيز في هذه الحالة عن طريق إزالة الكبح. ينظر إلى هذا النموذج في التنظيم على أنه تنظيم سلبي فالكابح يمنع نسخ الرنا الرسول، والمحفز يلغي تأثير الكابح. نصادف هذا النمط السلبي من التنظيم كثيراً في حياتنا: فصنابير المياه أو الغاز أو الكهرباء تكون مغلقة، وتفتح فقط عند الحاجة إليها.

٢- التنظيم على مستوى الترجمة

المثال الأكثر دراسة في هذا المجال هو تركيب البروتينات الريباسية لدى E. coli . نذكر بأن الريباسة تتألف من اتحاد عشرات الجزيئات البروتينية المختلفة مع ٣ أنواع من الرنا الريباسي 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 لنرى كيف يتم الكبح على هذا المستوى.

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



الشكل ٦-٢٩: 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 تفكك كافة mRNA الموجود في السيتوبلاسم.

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

١-١: تغيرات كيميائية بسيطة (إضافة زمرة الميتيل Methylation):

لدى فحص الدنا لعدد كبير من المتعضيات تبين أن هناك نسبة لا بأس بها من أزواج النكليوتيدات قد أضيف إليها زمرة ميتيل. تتم إضافة زمرة الميتيل دائماً في الموقع ٥ لأساس السيتوزين الذي ينتمي إلى الثنائية CG. وتبين أن إضافة الميتيل للمورثات يترافق مع انخفاض كبير في نسخ هذه المورثات.

هذه الآلية في التنظيم غير منتشرة لدى كل المتعضيات 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 متيلة الدنا (تقليل نسبة هذه العملية بنحو ٧٠٪) لدى نبات *Arabidopsis thaliana*. فشاهدنا نمو الجهاز الإعاشي والتكاثري لدى النباتات المعالجة بشكل أفضل بكثير من النباتات الشاهدة والتي كانت نسبة متيلة الدنا فيها عالية (الشكل ٦-٣٠).

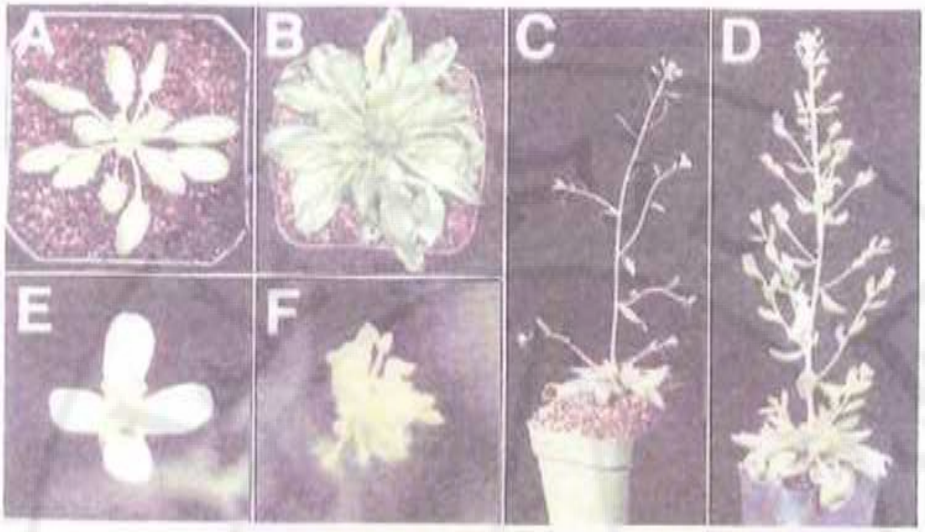
١-٢: تغييرات في تتابعات الدنا:

لاحظ العلماء أن هناك بعض المورثات التي تبقى مكبوحة ولا تعبر عن نفسها إلا بعد حدوث إعادة ترتيب في التتابعات التي تتألف منها. كما هو الحال في مورثات المناعة.

٢: تنظيم التعبير المورثي عبر الهرمونات

بشكل مشابه لتأثير 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 متيلة الدنا على نمو النبات
a و c و e نباتات شاهدة
b و d و f نباتات معالجة (نسبة المتيلة أقل بنحو ٧٠% من الشاهد).
لاحظ زيادة النمو لدى النباتات المعالجة

Damascus University

الفصل السابع

مشتقات البروتوبلاست

تُعد مشتقات البروتوبلاست الحاصلات الأساسية لنشاط العضيات الخلوية المختلفة. وتضم عدداً كبيراً من المواد التي تنحصر في السيتوبلاسم، وعدداً أقل يترسب خارج حدودها لتشكيل الجدار الخلوي. تصنف هذه المركبات في ثلاث زمر رئيسية:

١- المواد الفيزيولوجية النشطة كالبروتينات والأنزيمات والهرمونات النباتية والفيتامينات وغيرها.

٢- حاصلات الإستقلاب الخلوي وهي مركبات متنوعة، قد تأخذ أشكالاً محددة (كحبات النشاء أو البللورات وغيرها)، وقد تكون منحلة في العصارة الخلوية.

٣- الجدار الخلوي.

تنبغي الإشارة إلى صعوبة إيجاد تصنيف واحد يشمل جميع مشتقات البروتوبلاست، وما التصنيف السابق إلا أكثرها شيوعاً وشمولاً وأهمية.

المواد الفيزيولوجية النشطة

ستُدرَسُ 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 ومتنوع من البروتينات. يشكل بعض هذه البروتينات الجزء الأساسي من العضيات السيتوبلاسمية وهي البروتينات البنائية. وبعضها الآخر، يوجه ويحدد سجرى كافة التفاعلات البيوكيميائية "الأنزيمات". كما تؤلف البروتينات الادخارية زمرة ثالثة. يُعرف حالياً في الطبيعة نحو ١٥٠ حمضاً أمينياً، يدخل منها في تركيب البروتينات ٢٢ حمضاً فقط.

الهرمونات النباتية Phytohormones

تتمتع هذه المركبات بنشاط فيزيولوجي كبير. دُرس بعضها بشكل جيد، ويدعى بهرمونات النمو، كالأوكسينات Auxins والجيبرلينات Gibberellins، ينشط الأوكسين خلايا النسج المسومة ويسرع نموها (من انقسام وتطاول) وتمايزها إلى نسج وأعضاء.

يستخدم الجيبرلين، المستخرج من فطور جنس الـ *Gibberella*، على نطاق واسع في الأبحاث التجريبية، بهدف رفع مردود المحاصيل الزراعية. فهو يسرع نمو المجموع الجذري لعدد كبير من النباتات، كالتبغ والقنب والخضراوات.

الفيتامينات Vitamins

اكتشفت عام ١٨٨٠، وقد أخذت تسميتها الراهنة "فيتامينات" بعد ذلك. تنتمي إلى هذه المركبات مواد عضوية ذات تركيب كيميائي متنوع، وتقوم في النبات، كالأنزيمات بدور المنشطات. تمّ حالياً الحصول على بعض الفيتامينات بصورة نقية، وقد جرى تركيبها صناعياً. يرمز، للسهولة، لمختلف الفيتامينات بأحرف الأبجدية اللاتينية. تتصف 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 السيتوبلاسم.

لا تتساوى جميع النباتات بمحتواها بالفيتامينات، كما أنها تتراكم في أعضاء نباتية محددة. وهكذا تتركز فيتامينات المجموعة (B_3, B_1 وغيرها) في الجنين، وفي غلاف البذرة أو في البادرات الفتية، كبادرات القمح والذرة. بينما يغزر الفيتامين C بصورة خاصة في ثمار توت العليق والليمون وغيرها. ويغزر الفيتامين B في الحمضيات والبندورة، ويتواجد الفيتامين K بكمية كبيرة في أوراق القراص وفي الجذور اللحمية للجزر. يعرف حالياً نحو ٤٠ فيتامينا فقط.

المضادات Antibiotics والمبيدات النباتية Phytoncids

تضم هذه الزمرة عدداً كبيراً من المواد التي تُصطنع في خلايا النباتات الدنيا (المضادات) أو في النباتات الراقية (المبيدات النباتية)، وتستخدم جميعها في حماية النبات أو الدفاع عنه.

تحمي الصادات البادرات وتساعدها على النمو والتطور. وتقاوم المبيدات النباتية البكتريا الضارة بالمزروعات وتقضي عليها.

توجد هذه المركبات بالحالات الثلاث: الغازية والسائلة والصلبة. 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 الـ Penicillium باهتمام كبير. وقد أعلن عن اكتشاف البنسلين عام ١٩٢٩ من قبل العالم الإنكليزي 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 والتتراسيكلين وغيرها. يشجع تطور صناعة الصادات على استخدامها لحماية النباتات من الأمراض والأضرار المختلفة.

تتصف المبديات النباتية والصادات بتأثير نوعي، فهي مبيدة لبعض العشويات وأقل أو أكثر ضرراً لبعض الكائنات الأخرى. يشتمل البصل والبطم على نسبة عالية من المبيدات النباتية، التي تستخدم في القضاء على فطر البياض الزغبي *Phytophtora infestans*. كما تستطيع المبيدات النباتية في الليمون *Citrus limon* أن تقضي على عصيات الزحار.

حاصلات الاستقلاب الخلوي

تتراكم في الخلايا النباتية خلال نشاطها كمية كبيرة من المواد المختلفة المغذية وغير المغذية. تستهلك المواد المغذية في بناء العضوية والحصول على الطاقة. أما المواد غير المغذية 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، وحينئذٍ ينظر إليها كفضلات.

تنتمي المواد الادخارية المغذية، من حيث طبيعتها الكيميائية، إلى ثلاث زمر رئيسية:

السكاكر، والليبيدات والبروتينات.

السكاكر (مالبات الفحم):

يعد النشاء والغليكوجين والإنولين من أهم المركبات السكرية الادخارية.

النشاء

يتجمع النشاء في الخلايا النباتية، بكميات كبيرة، على شكل حبيبات صغيرة، مختلفة الأشكال. يشكل النشاء المادة الادخارية الرئيسة في النبات، ويقابله الغليكوجين في الحيوان. يصادف النشاء في النبات بأشكال ثلاثة: أولي وانتقالي Transit وثانوي.

يتركب النشاء الأولي في الصانعات الخضراء نتيجة الاصطناع الضوئي. بعدئذٍ، وبتأثير بعض الأنزيمات (اميلاز، مالتاز) يتحول هذا النشاء إلى سكاكر بسيطة، فيستطيع حينئذٍ الانتقال من خلية إلى أخرى. تتعرض السكاكر البسيطة الناتجة عن إماهة النشاء الأولي، لتفاعلات أنزيمية معاكسة، فيتشكل "مؤقتاً" نشاء جديداً يسمى النشاء الانتقالي. يتفكك النشاء الانتقالي ثانيةً إلى سكاكر بسيطة بتأثير الأنزيمات السابقة. وهكذا تبقى السكاكر البسيطة على هذه الشاكلة، حتى تصل إلى تلك الخلية أو النسيج، حيث يتم اصطناع النشاء الثانوي وادخاره فيها. يصطنع النشاء الثانوي أو الادخاري، غالباً في الصانعات النشوية.

يؤخذ عادةً، نبات البطاطا، كمثال على تطور النشاء وتحوله كما مر سابقاً. فيجري تشكل النشاء الأولي في الضوء، بنتيجة الاصطناع الضوئي، في الأجزاء الهوائية من النبات. ينتقل النشاء بعدئذٍ عبر الساق (النشاء الانتقالي)، إلى الدرنات ليتراكم ويدخر فيها (النشاء الثانوي).

تختلف أشكال حبات النشاء وأبعادها حسب الأنواع النباتية. فهي بحدود في البطاطا ٧٠–١٠٠ ميكروناً، و في القمح ٣٠–٤٠ ميكروناً، و في 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 ٧–١). ويمكن عدُّ بنية حبات النشاء وشكلها

من الصفات التصنيفية الهامة.

يتركب النشاء من اتحاد نحو ألفي جزيء من الغليكوز لتشكيل مركبين مختلفين: الأميلوز Amylose ويتميز ببنية جزيئية ذات سلسلة خطية، وبانحلاله في الماء الساخن وتلونه بالأزرق بصبغة اليود اليودي، والأميلوبكتين Amylopectin، ويتصف، على العكس، ببنية جزيئية متفرعة، وبعدم انحلاله في الماء، وتلونه بالبنفسجي بالصبغة السابقة.

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

يتراكم النشاء الادخاري في مختلف أعضاء النبات وبخاصة في البذور والدرنات والبصلات والجذور اللحمية وفي أغصان الأشجار.

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

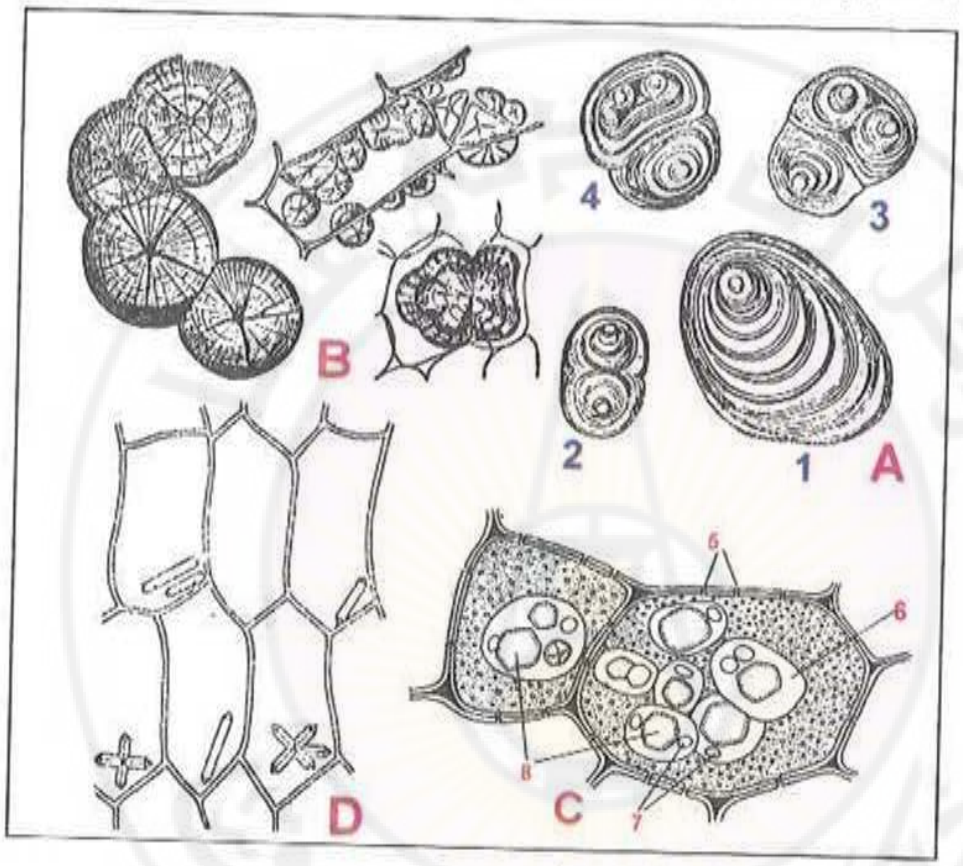
الغليكوجين

يتراكم كمادة ادخارية في النباتات اللايخضورية غالباً (الفطور، البكتريا). يعد الغليكوجين، من الناحية الفيزيائية، من الغرويات المحبة للماء. ينتشر الغليكوجين بصورة واسعة في الحيوانات كمادة ادخارية.

الإنولين

يُميِّز الإنولين معظم أنواع الفصيلة النجمية Asteraceae (المركبة Compositae) كالأضاليا المتغيرة *Dahlia variabilis* وزهر الشمس الدرني *Helianthus tuberosus* وغيرها. يتراكم الإنولين في العصارة الخلوية بالحالة الغروية. وقد تصل كميته في درنات الأضاليا إلى

١٢٪ يترسب الإنولين بتأثير الكحول على شكل بللورات كروية أو مروحية، (شكل ٧-١). يتفكك الإنولين عند حلمهته إلى سكر الفركتوز.



شكل ٧-١: مركبات ادخارية في الخلية النباتية
A حبات نشاء في درنات البطاطا، B: بللورات سكر الالوين في درنات الاضاليا، C: حبات الأورون في خلايا سويداء بذرة الخروع، D: بللورات موشورية بسيطة من حماضات الكالسيوم في خلايا حراشف البصل اليابسة.
١: حبة نشاء بسيطة، ٢: حبة نشاء مضاعفة، ٣ و ٤: حبات نشاء مركبة

الليبيدات

تتراكم المواد الليبيدية الادخارية في سيتوبلاسم جميع الخلايا النباتية على شكل قطيرات سائلة. وتكون بكمية كبيرة في بذور زهر الشمس الحولي، القطن، القنب، الكتان ...الخ، وفي بعض الثمار كالزيتون. تتذبذب كمية المواد الدسمة كثيراً حسب النوع النباتي. فتبلغ نسبتها

في شجرة التونغ (تنبت في الصين واليابان وذات زيوت ثمينة) ٧٥٪، وفي الذرة والشوفان ٤٦٪ وفي القمح ٢٪ وتكون على شكل قطيرات زيتية سائلة.

تعد الليبيدات الادخارية الشكل الأكثر اقتصاداً للخلية من سائر المواد المغذية الأخرى. فهي غنية جداً بالطاقة إذ يتألف ٩٠٪ من وزنها من عنصري الهيدروجين والكربون و١٠٪ فقط من الأوكسجين. فعند أكسدة الشحوم، تتحرر كمية كبيرة من الطاقة تفوق مثيلتها كثيراً في حالة السكاكر والبروتينات. وهكذا يتحرر عند احتراق "١" غ من الدسم ٩,٣ حرة، حيث تقابل فقط ٤,٢ حرة عند احتراق "١" غ من السكاكر. تنحل المواد الدسمة في الاثيرات والكلوروفورم والبنزين والتولوين والكسيلول ...الخ، وتنحل بصعوبة في الكحول، وعديمة الانحلال في الماء.

ترتبط الليبيدات بالسيتوبلاسم بصورة ضعيفة جداً. وتستخدم هذه المركبات في مجالات صناعية مختلفة، كتحضير الدهانات وزيوتها ومعاجينها، وفي صناعة الأغذية وغير ذلك.

البروتينات

تنبغي الإشارة إلى ضرورة التفريق بين البروتينات الادخارية والبروتينات البنائية في جميع الخلايا النباتية. يتم اصطناع البروتينات الادخارية في السيتوبلاسم على شكل حبات بروتينية عديمة الشكل، أو على هيئة أجسام شبه بللورية. غالباً ما تدخر هذه البروتينات على شكل حبات تسمى حبات الألورون. تتمايز وتترسب هذه الحبات، كما يفترض، نتيجة فقدان الماء من "المحلول" البروتيني الفجوي. فيتبلور جزء من المواد البروتينية لتشكيل ما يسمى الجسم شبه البللوري Crystalloid، حيث تحيط به مادة بروتينية غير متبلورة. يترسب أيضاً ضمن حبة الألورون، خلال فقدان الفجوة البروتينية للماء، ملح الكالسيوم والمغنزيوم 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

Matrix تدعى حبات الألورون هذه، الحبات المعقدة، تمييزاً لها عن حبات أخرى بسيطة، توجد في بذور الحمص والبازلاء والفول من الفصيلة الفولية. تكون حبات الألورون البسيطة متجانسة البنية ويصعب تمييز الأجزاء السابقة التي تشاهد في بذور الخروع. وعلى هذا يمكن تصنيف حبات الألورون في ثلاثة أشكال مختلفة:

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

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

٣- حبات الألورون المشتملة على حماضات الكالسيوم، كما في بذور القنب.

تتميز الأجسام شبه البللورية في حبات الألورون، عن البللورات الحقيقية لأملاح الحموض المختلفة، بكونها تتألف من بروتينات تتشرب الماء وتنتفخ. فهي مثلاً، تتشرب الماء عند إنتاش البذور متحولة إلى فجوات من جديد. تنحل البروتينات الادخارية في الحموض والقلويات في الماء الساخن.

العصارة الخلوية والفجوات

تُعد العصارة الخلوية محصولاً من حاصلات نشاط البروتوبلاست دائمة الوجود. فيمكن بسهولة، الكشف عن قطيرات العصارة الخلوية في الخلايا الفتية، حيث تزداد كميتها بشكل ملحوظ مع نمو هذه الخلايا وتطورها. تتراكم العصارة الخلوية في قنيوات الشبكة البلاسمية الباطنة. تتجمع هذه العصارة بعدئذ في فقاعات حويصلية الشكل، تعرف باسم الفجوات Vacuoles. يمكن النظر إلى العصارة الخلوية كمحلول ضعيف التركيز لعدد كبير من المواد العضوية واللاعضوية، ذات التركيب الكيميائي المتباين.

المواد العضوية

تتراكم في العصارة الخلوية مواد ادخارية آزوتية كالبروتينات والقلويدات، وغير آزوتية كالسكاكر والغليكوزيدات والحموض العضوية وأملاحها والمواد العفصية.

القلويدات Alkaloids

مركبات آزوتية معقدة، منحلة، لأملاح الحموض العضوية، تمثل تفاعلاً قلوياً، وهذا ما يسمح بتحضير أملاح عبر معالجتها بحمض. وتملك تنوعاً كبيراً في تركيبها. تعتبر القلويدات، كما يعتقد، المركبات النهائية في عملية استقلاب المواد. ولكنها تتمتع بأهمية حيوية كبيرة. إذ تُعد معظم القلويدات مواد سامة ولا تُقدم علفاً للحيوانات العشبية. ولهذا السبب، لا تنمو الأحياء الدقيقة، كالفطور والبكتريا، في الخلايا النباتية، التي تشتمل على القلويدات. وهي لذلك، تؤدي دور الصادات في الكائنات النباتية.

تملك معظم القلويدات استخدامات طبية هامة. فيستعمل قلويد الكينين، المستخرج من قشور شجرة الكينا، كدواء نوعي ضد مرض الملاريا. كما تشتمل جذور نبات طيف السيدة الجميلة *Atropa belladona* وأوراقه على قلويد الأتروبين. ويلاحظ في بذور نبات الخشخاش وعصارته عدة قلويدات هامة مثل الباباڤيرين والمورفين والكودئين. وتشتمل أوراق التبغ على النيكوتين الذي يستخدم في الزراعة لمكافحة الآفات النباتية. تستخدم بعض النباتات المشتملة على القلويدات في صناعة المشروبات منعشة، مثل أوراق الشاي وثمار القهوة والكاكاو.

الغليكوزيدات Glucosides

مركبات سكرية الدهيدية أو فينولية أو غولية. وتتميز بأنها مركبات عضوية غير آزوتية. تتجمع الغليكوزيدات في العصارة الخلوية كمواد ادخارية أو كمركبات سمية. تنتشر من هذه المركبات، عند أكسدتها، روائح عطرة ومنعشة، تذكرنا برائحة الشاي أو القهوة عند غليها.

يعد الأسيغدالين من الغليكوزيدات السامة، وينتشر في بذور اللوز المر والدراق والبذور المرة للمشمش وغيرها. وتوجد مجموعة من الغليكوزيدات تدعى بالقلبية، نظراً لفائدتها في معالجة الأوعية القلبية.

الأصبغة الأنتوسيانية

توجد في العصارة الخلوية أصبغة متنوعة، تميز النوع النباتي، ومن أكثرها انتشاراً،

الأصبغة الأنتوسيانية. تعد الأصبغة الأنتوسيانية مركبات عضوية غير آزوتية، قريبة جداً بتركيبها الكيميائي من الفليكوزيدات. يدخل في تركيبها الفليكوز بالإضافة إلى مركبات أنتوسيانيدية مختلفة. من أهم مركباتها الأنتوسيان، الذي ينتشر بصورة واسعة، سواء في النبات أو في الحيوان.

تتشكل 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، برونزية، حمراء، أو أرجوانية في أوراق البطاطا والملفوف والقطن، والتفاح والحمضيات. ويؤدي نقصان عنصر المغنزيوم أيضاً إلى ظهور ألوان حمراء أرجوانية، ما بين أضلاع أوراق نبات القطن.

وبصورة عامة، تكسب الأصبغة الأنتوسيانية 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. تستخدم كمواد دباغية قابضة. فتستعمل في الطب، وفي الصباغة ودباغة الجلود وغيرها. تنحصر عملية دباغة الجلود، 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 وأملاحها

تُعد العصارة الخلوية غنية جداً بالحموض العضوية المختلفة، كحمض التفاح والليمون والحماض والعنب وغيرها. يوجد حمض الحماض بكمية كبيرة في جنس الحماض Oxalis

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

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

البللورات

توجد أملاح بعض الحموض العضوية السابقة في العصارة الخلوية على شكل بللورات. تملك هذه البللورات بنية وشكلاً مميزين للنوع النباتي. يلاحظ في الخلايا النباتية عادة، بللورات أملاح حمض الحماض وأهمها حماضات الكالسيوم، التي تأخذ ثلاثة أشكال مختلفة:

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

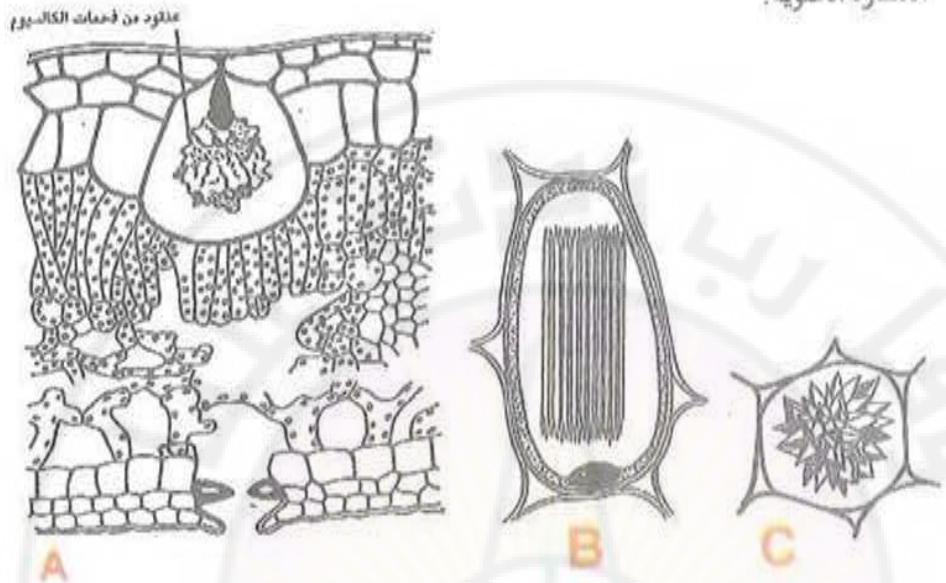
٢: بللورات إبرية: توجد في خلايا أوراق جنس المكحلة *Tradescantia* وغيره.

٣: بللورات معقدة: وتأخذ أشكالاً مختلفة، فمنها النجمية أو المسننة أو القنفذية كما في جنس البيغونيا *Begonia* والتين.

تُصادف البللورات، بصورة واسعة، في الخلايا المفرزة في النباتات العشبية أو الشجرية. وتكون بكمية كبيرة في النباتات اللحمية والعصيرية. ففي بعض هذه النباتات، تشتمل خلايا البشرة على كتلة من البللورات تسمى العنقود. تعد البللورات العنقودية من مشتقات الجدار الخلوي، إذ تكون مشبعة بفحمات الكالسيوم، (شكل ٧-٢).

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

تؤدي هذه البللورات (أملاح مختلفة) دوراً هاماً في حفظ الضغط الحلولي ودرجة pH العصارة الخلوية.



الشكل ٧-٢. بللورات مختلفة في العصارة الخلوية:
A: عنقود في إحدى خلايا ورقة التين الشائع Ficus carica
B: حزم من البللورات الإبرية في خلايا المكحلة الفرجينية Tradescantia verginica
C: بللورات منفذبة وبسيطة في خلايا معلاق ورقة البيغونيا Begonia

المواد اللاعضوية

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

الجدار الخلوي Cell Wall

تحاط جميع الخلايا النباتية بجدار قاس نسبياً تفرزه البروتوبلاست ذي تركيب

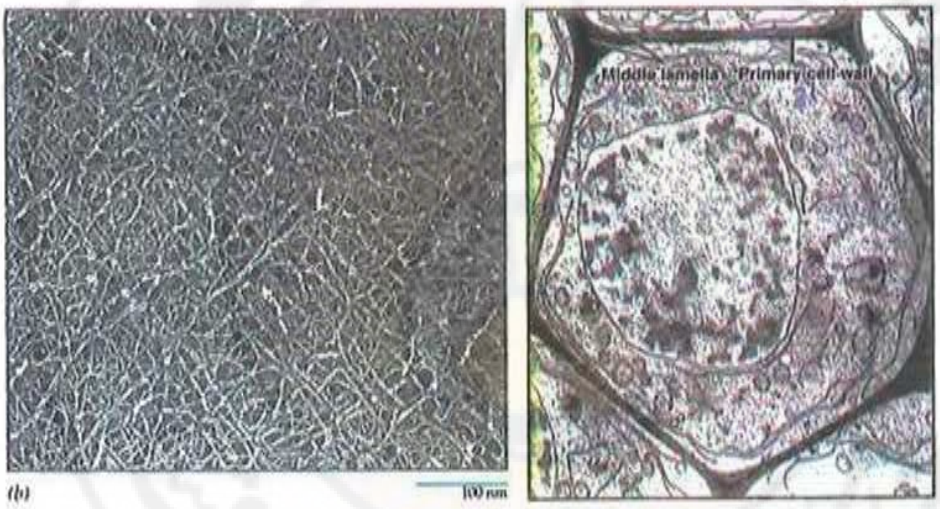
كيميائي معقد. ويختلف تركيبه في النباتات عن تركيبه لدى الفطور والبكتريا، فهو مؤلف من السيللوز لدى النباتات، بينما يكون ذا طبيعة كيتينية في البكتريا والفطور. يؤمن الجدار الخلوي وظائف متعددة ومهمة كالحماية والدعم ويعطي للخلايا النباتية شكلاً محدداً.

بنية الجدار الخلوي:

يبدأ تشكل الجدار الخلوي في المراحل النهائية لانقسام الخلية، وهو يظهر بادئ الأمر كصحيفة خلوية رقيقة في وسط الخلية المنقسمة تتشكل بين الغشاءين البلاسميين للخليتين البنتين اللتين هما في طور التشكل. تعرف هذه الصحيفة بالصحيفة المتوسطة وهي تتألف من مواد بكتينية. ثم يتوضع على طرفي الصفيحة المتوسطة طبقة من ليفيفات مجهرية من ألياف السيللوز، يضاف إليها قالب مكون من عدة أنماط من الجزيئات أهمها الهيميسللوز والبكتينات. ترتبط جزيئات الهيميسللوز مع ليفيفات السيللوز بشكل متعامد (شكل ٧-٣)، بينما تشكل المواد البكتينية الهلامية ملاطاً يملأ الفراغات بين ألياف الجدار الخلوي. تشكل هذه البنية الأولية للجدار الخلوي الجدار الابتدائي. مع استمرار تمايز الخلية وبلوغها حجمها الأقصى يترسب على السطح الداخلي للجدار الخلوي الابتدائي طبقات إضافية من السيللوز (ثلاث طبقات عادة) تؤدي إلى بناء جدار خلوي ثانوي. ويكون توجه ألياف السيللوز في الطبقة الواحدة متوازياً، ولكنها تكون متعامدة في الطبقات المتتالية وتشكل بذلك بنية مجدولة عرضياً تمنح الجدار قوة كبيرة. يتصف الجدار الابتدائي بالمرونة الشديدة والرقة النسبية وهو يسمح بتكاثر الخلية، أما الجدار الثانوي فهو أكثر صلابة ويسمح بتطاول الخلية. وعندما تنهي الخلية تمايزها وتأخذ شكلها النهائي يصبح الجدار غير قابل للتغيير. ولهذا لا يلاحظ تشكل الجدار الثانوي في الخلايا ذات الفعالية الحيوية النشطة كالخلايا الماصة أو الخلايا الغشية القسومة، ويقتصر بناء الجدار الخلوي لديها على الجدار الابتدائي. في العديد من الحالات يتم ضم بوليمير آخر للجدار الخلوي يحتوي الفينول يدعى اللغنين lignin وهو يؤمن دعماً أكبر للجدار (يشكل اللغنين المكون الأساسي للخشب). وتكون ترسبات اللغنين كبيرة في الجدر الخلوية للخلايا الناقلة للماء في النسيج الخشبي، وهذا يكسبها دعماً كبيراً تحتاج إليه

لنقل الماء في النبات.

السيللوز من متعددات السكاريد polysaccharides ،وهو بوليمير للغلوكوز يتألف من ارتباط آلاف الوحدات بعضها ببعض لتشكل سلاسل مستقيمة تماماً. ترتبط السلاسل المتجاورة بعضها مع بعض جانبياً عبر روابط هيدروجينية ويتشكل فيما بينها تشابكات متينة لتؤلف ليفيات دقيقة microfibrils قطرها من ٥ – ١٠ نانومتر وطولها عدة ميكرونات. تنتظم الليفيات الدقيقة في حزم أكبر قطرها نحو ٥٠ نانومتر وطولها عدة ميكرونات لتشكل ألياف السيللوز macrofibrils . يعطي هذا التنظيم لألياف السيللوز خصائصه الميكانيكية ويمنحه قوة شد كبيرة.



شكل ٧-٣: الجدار الخلوي

a: صورة بالمجهر الالكتروني لخلية نباتية محاطة بجدارها تظهر الصفيحة المتوسطة (١) والجدار الابتدائي (٢).

b: صورة بالمجهر الالكتروني لخلية البصل بعد استخلاص البكتينات. تظهر ليفيات السيللوز والهيميسيللوز. ترتبط ألياف الهيميسيللوز بشكل متعامد مع ليفيات السيللوز.

يتم تشكل (بلمرة) جزيئات السيللوز على سطح الخلية. إذ تضاف وحدات الغلوكوز تدريجياً إلى نهاية الجزئيات الآخذة بالتشكل وذلك بوساطة أنزيم يدعو سيللوز سينتاز Cellulose synthase. يتألف هذا الأنزيم من اجتماع ٦ تحت وحدات على شكل حلقة أو وريدة تنغمس ضمن الغشاء البلاسمي (شكل ٧-٤). بينما يتم تركيب المواد التي تشارك في

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

يعد السيللوز 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 السيللوز لامتلاكها أنزيم السيللولاز. ورغم قوة ومتانة الطبقات السيللوزية فإنها نفوذة كلياً للماء والمواد المذابة.

أما القالب في الجدار الخلوي فهو مؤلف من ثلاثة أنماط من الجزئيات الضخمة:

١: الهيميسللوز hemicellulosen: وهي عبارة عن مزيج من السكاكر المتعددة المتفرعة، يتألف هيكل السلسلة للجزيء (العمود الفقري) من سكر، مثل الغلوكوز، وسلاسل جانبية لسكر آخر مثل الكزيلوز. ترتبط جزيئات الهيميسللوز إلى سطح ألياف السيللوز، وباتجاه متعامد معها مشكلة بنية شبكية معقدة.

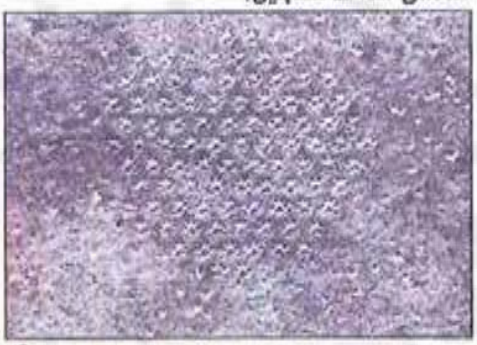
٢: البكتينات pectin: مجموعة متباينة مشحونة سلبياً، تتألف من سكاكر متعددة تضم حمض الغالاكتورونيك galacturonic acid ، وهي ملوعة (تحتبس) بالماء وتشكل بذلك هلاماً يملأ الفراغات بين عناصر الألياف. وعندما يهاجم الخلية عامل ممرض، فإن أجزاء من البكتينات تحرر من الجدار وتقدح رداً دفاعياً من قبل الخلية. البكتينات المستخلصة النقية تستعمل تجارياً للحصول على مواد هلامية القوام. والمواد البكتينية المكونة للصفيحة المتوسطة هي بكتات الكالسيوم المغنزيوم.

٣: البروتينات: ولا تزال وظائفها غير معروفة جيداً.

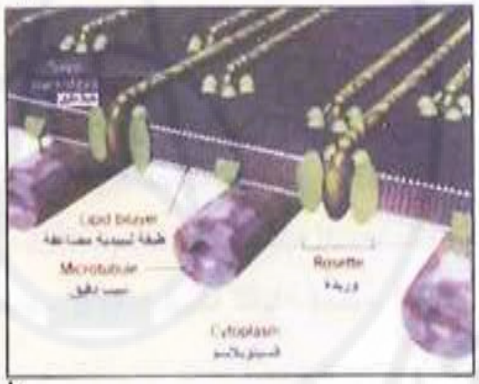
تختلف النسبة المئوية لهذه المواد في جدر الخلايا النباتية، وذلك حسب نوع النبات، أو نمط الخلية، أو المرحلة التي بلغها الجدار في تمايزه. ويتمتع الجدار الخلوي ببنية ديناميكية يمكن أن تتغير استجابة لتغيرات تحصل في الوسط المحيط.

تذوب الصفيحة المتوسطة في زوايا الخلايا، تاركة مكانها فجوات صغيرة ثلاثية أو رباعية الأضلاع، تمتلئ بالهواء وتدعى بالأصمخة meats أو الفراغات بين الخلوية. يمكن لهذه الشقوق أن تتسع طولياً وتفصل الوجهين الخلويين المتلاصقين، وهذا ما يؤدي إلى تكوين فراغ

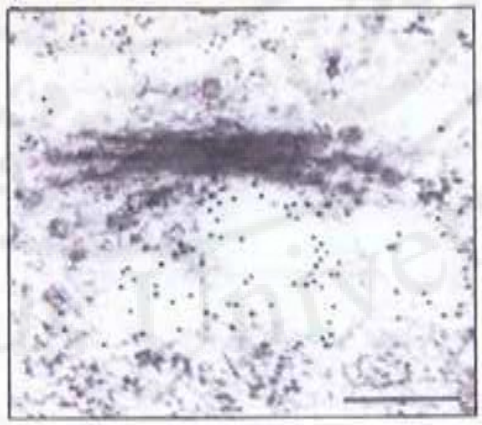
هوائي بين خلوي يخترق كل أعضاء النبات، ويحرض التبادل الغازي بين الأنسجة والجو المحيط. يختلف التركيب الداخلي للهواء الموجود داخل هذه التجاويف فهو يغتني بالأكسجين عندما يكون الاصطناع الضوئي كثيفاً، ويغتني بثاني أكسيد الكربون عندما يستهلك التنفس هذا الأكسجين.



a



b



شكل ٧-٤: تركيب الجدار الخلوي السيللوزي:
a: الغشاء البلاسمي لخلية طحلب: يظهر ضمن الغشاء البلاسمي وريدات تمثل الأنزيم المسؤول عن تركيب السيللوز.
b: نموذج يوضح كيفية توضع ليفيات السيللوز. تشكل كل وريدة وحدة أنزيمية مكونة من ٦ تحت وحدات (اللون الأخضر الفاتح) وتكون مسؤولة عن وضع ليف سيللوزي واحد (اللون الأخضر الغامق) يمكن أن يرتبط جانبياً مع ليفيات سيللوزية أخرى لتشكيل ليف سيللوزي أكبر. ويعتقد أن اتجاه حركة الوريدات (الأنزيمات) موجهة من قبل النبيبات الدقيقة الموجودة في السيتوبلاسم المحيطية.
c: صورة بالمجهر الالكتروني لحويصلات غولجي المعتلئة بالبكتينات والتي تساهم في تكوين الصفيحة المتوسطة.

يبدي الجدار الخلوي انقطاعات أو ثغوراً هي الواصلات السيتوبلاسمية (البلاسمودسم) وهي بنى تميز النباتات. يحدث في مستواها اتصال بين سيتوبلاسم الخلايا المتجاورة، وتسمح للجزئيات بالانتقال من خلية لأخرى بسهولة أكبر مما يحدث عند الخلايا الحيوانية. تتصل في مستوى الواصلات البلاسمية سيتوبلاسم الخلايا المجاورة عبر قناة بلاسمية دقيقة قطرها من ٢٠ إلى ٤٠ نانومتراً.

الواصلات السيتوبلاسمية plasmodesmata

هي اتصالات حية تمر بين الخلايا النباتية المتجاورة خلال ثقوب دقيقة جداً في الجدران الخلوية المتجاورة. وهي عبارة عن قنوات سيتوبلاسمية يبطنها الغشاء البلاسمي وتتضمن في المركز بنية ندعوها الأنبوبة الواصلة desmotubule وتشتق هذه البنية من الشبكة البلاسمية الملساء لكلا الخليتين. تستخدم الواصلات السيتوبلاسمية كمركز للاتصالات بين الخلوية، وتسمح لخلايا النسيج النباتي بأن يعمل كوحدة استقلابية (شكل ٧-٥).

حتى وقت قريب كان يعتقد بأن الواصلات السيتوبلاسمية غير نفوذة للجزئيات التي يفوق وزنها 1kDa. ، ولكن الدراسات الحديثة أظهرت أن بعض الواصلات السيتوبلاسمية تسمح بمرور جزيئات أضخم من ذلك ويمكن أن تبلغ 50kDa. . ويبدو أن النسج الفتية تتضمن واصلات بسيطة قطرها واسع، ومع نضج النسيج تصبح الواصلات السيتوبلاسمية متفرعة وتضيق أقنيتها. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن للواصلات القدرة على التمدد والاتساع وذلك تحت تأثير بروتينات خاصة.

التبدلات النوعية في مواد الجدار الخلوي:

قد تحدث تغيرات ثانوية في التركيب الكيميائي أو في الخواص الفيزياكيميائية للجدر الخلوية وخاصة عندما تكتسب الخلايا وظيفة فيزيولوجية محددة. من أهم هذه التغيرات نذكر:

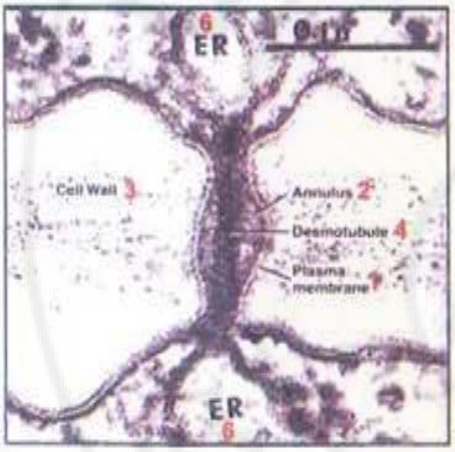
التخشب Lignification:

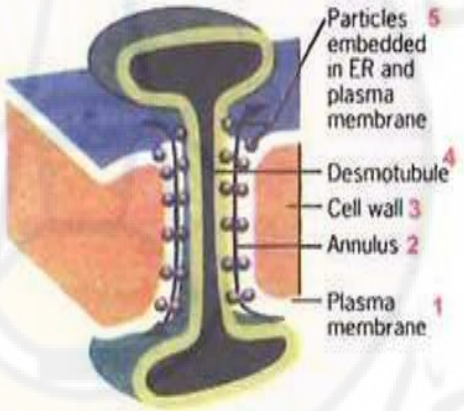
هو تشرب الجدار الخلوي لمادة الخشبين Lignin فترتفع بذلك قساوته وكثافته، وتنخفض مرونته وقدرته على النمو. يترسب الخشبين في الفراغ ما بين الليفات السيللوزية

الدقيقة في الجدار الأولي والثانوي. من الطريف الإشارة إلى إمكانية إصابة مختلف الأعضاء والنسج النباتية، وحتى تويجات الأزهار بالتخشب. ولكن يستمر انتقال الماء والهواء حينئذ إلى النسج النباتية وتبقى هذه الأعضاء حية.

يتوضع الخشبين في بعض الخلايا، مثل الأوعية الخشبية، وفق أنماط حلقية أو لولبية أو شبكية ...، ويكون التوضع على كامل الجدر في بعض الخلايا الأخرى ما عدا الحقول الهالية.

يزول تخشب الجدار الخلوي أحياناً عندما ينحل ويتلاشى الخشبين. مثل هذه الظاهرة معروفة جيداً عند نضج ثمار الأجاص الشائع *Pyrus communis* والسفرجل *Cydonia oblonga* وغيرها.





الشكل ٧-٥: الواصلات السيتوبلاسمية:
(١) الغشاء البلاسمي، (٢) حلقات، (٣) جدار الخلية، (٤) أنبوبة واصلة، (٥) جزيئات منطمرة بين الشبكة الباطنة والغشاء البلاسمي، (٦) الشبكة السيتوبلاسمية الباطنة

التفلن Suberification:

يبدأ الجدار الخلوي بالتفلن، بتغطية سطحه بطبقة كثيفة من مادة كيميائية خاملة هي الفلين Suberin. الطبيعة الكيميائية للفلين قريبة جداً من الشحوم، وهو مركب لا بللوري كاره للماء. ويتألف من سلاسل ضخمة من الحموض الدسمة المشبعة مع حموض هيدروكسيلية معقدة. 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 تفلن الجدار الخلوي كاملاً، تموت بروتوبلاست الخلية سريعاً، نظراً لإعاقة الفلين تسرب الماء والهواء إلى الخلية. أما عندما يكون التفلن جزئياً فإن البروتوبلاست تحافظ على حيويتها لفترة طويلة.

التقشرن Cutinization :

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

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

التمعدن Mineralization :

تتشرب الجدر الخلوية في بعض الأعضاء النباتية بمواد معدنية متباينة، وخاصة أكاسيد السيليسيوم وفحمات الكالسيوم. يلاحظ أحياناً تشرب خلايا البشرة بالأملاح المعدنية في بعض أنواع النجيليات وأذناب الخيل وغيرها. قد لا يقتصر هذا التطعيم بالأملاح على الجدار الخلوي وإنما يمتد إلى ملحقات البشرة كالأوبار Trichomes. تكون الأعضاء النباتية المتشربة بالأملاح المعدنية أقل عرضة لالتهام الحيوانات العاشبة أو الطفيليات، وخاصة إذا كانت تملك أغصاناً أو أوراقاً ذات رؤوس حادة.

التهلم :

تتهلم أحياناً مركبات الدار الخلوي كالمواد البكتينية والسيللوزية وغيرها، مشكلة موادً معقدة، كالعصائد أو المخاط النباتي Mucilage والصموغ Gommes .

وظائف الجدار الخلوي:

تلخص الوظائف الرئيسية للجدران الخلوية النباتية فيما يلي:

١ : تعطي للخلايا شكلها الهيكلي متعدد الأضلاع، وتؤمن لها وللنبات بكامله دعماً ميكانيكياً. يزيد اللخشّب الشديد قوة بعض الجدران الخلوية.

٢ : تؤمن الجدر الخلوية انتصاب النبات إذ بفضل قساوتها ومقاومتها للتمدد فإن الخلايا النباتية تنتج عندما يدخل الماء إليها عبر التناضح osmosis. ويعد ذلك المصدر الرئيسي للدعم والانتصاب في النباتات العشبية والأعضاء التي لا يحدث فيها نمو ثانوي مثل الأوراق.

٣ : يحمي الخلايا من التأثيرات الميكانيكية والعوامل المرضة التي من الممكن أن تسبب لها الأذى.

٤ : تتوسط في التفاعلات بين الخلايا عبر الواصلات السيتوبلاسمية.

٥ : تشكل حاجزاً أولياً يمنع مرور عدد كبير من المواد، بينما يسمح بالمرور السريع للايونات 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 تخفض فقدان الماء وخطر العدوى.

٨ : تسهل نقل المواد المختلفة عبر فراغات الجدر الخلوية التي تدعى الفراغ الحر Apoplast.

الباب الثاني

علم النسج

Histology

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثامن

النسـيج النباتيـة

١- مفهوم التمايز الخلوي:

قطعت الكائنات النباتية الراهنة، بأعدادها الضخمة المتنوعة، والمنتشرة في جميع أرجاء الكرة الأرضية، طريقاً طويلاً خلال تطورها التاريخي. وقد تمّ هذا التطور بدءاً من وحيدات الخلايا الدنيا، طلائعية أو حقيقة النوى، حتى العضويات المعقدة شديدة التمايز. ولكن لم يتقدم هذا التطور دوماً باتجاه استبدال بالنباتات الدنيا بسيطة البنية، نباتات راقية ذات بنية معقدة متمايزة. 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 شبه المتماثلة في الوسط المائي، إلى سطح اليابسة، بعملية تمايز Differentiation نشطة للأعضاء النباتية المختلفة.

ففي النباتات وحيدة الخلية، تقوم هذه الخلية الوحيدة، التي تُؤلف العضوية بكاملها، بجميع الوظائف الحيوية بما في ذلك وظيفة التكاثر. أما في كثيرات الخلايا الدنيا، التي تتألف عضويتها من طبقة واحدة من الخلايا (كما هو الحال في معظم الطحالب الخيطية والقطور الدنيا)، فتقوم جميع خلايا العضوية بوظائف حيوية متشابهة من تغذية 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 عما ذكر آنفاً. إذ تقوم الخلايا المشكلة

للسطح الخارجي للعضوية بوظائف امتصاص المواد الغذائية من الوسط، بينما تجري في خلايا الطبقات الداخلية تفاعلات كيميائية حيوية هامة، وتدخر 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 الارتقاء إلى أعلى درجات سلم التطور والتمايز. فتتمتع ببنية مورفولوجية معقدة، ونشاط فيزيولوجي متعدد الجوانب، وعلى سبيل المثال، يُلاحظ في النباتات البذرية الراقية، بالإضافة إلى تمايز عضويتها إلى الأعضاء الأساسية (كالجذر والساق والأوراق) وأعضاء متحورة (كالأزهار والدرنات والبصلات) تغيرات كبيرة في بنيتها التشريحية الداخلية. فتظهر في جسم النبات وبطرائق مختلفة، مجموعات خلوية تقوم بوظائف متنوعة، تتمتع هذه المجموعات الخلوية ببنية مورفولوجية واضحة تماماً، ومطابقة للنشاط الفيزيولوجي لكل منها، التي سوف تشكل (حسب العالم Gry, ١٦٧١) النسج النباتية المختلفة Plant tissues .

تتصف الخلايا المشكلة لأي نسيج نباتي بالميزات التالية:

١- تملك بنية مورفولوجية متشابهة.

٢- تقوم بوظائف فيزيولوجية واحدة.

٣- تتمتع بأصل عام واحد. علاوة على ذلك، فإن لمكان تشكل النسيج النباتي أهمية كبيرة في تحديد صفاته.

وهكذا يتألف جنين بذرة القمح كما هو معروف، من جذير وبريعم وسويقة (بالإضافة إلى الفلقة). إن خلايا الأعضاء الجنينية السابقة، التي تسمى الخلايا القسومة تتصف بما يلي:

١- ذات بنية مورفولوجية متشابهة، تتجلى بضخامة نواتها ورقة جدارها السيللوزي، وفجواتها الجنينية الصغيرة.

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

٣- تتمتع بأصل واحد، إذ تطورت كلها بدءاً من خلية واحدة، هي البيضة الملقحة أو الزيغوت Zygote. بعدئذٍ، يتمايز بعض خلايا الجنين لتشكيل الجذر الرئيس وبعضها الآخر لتشكيل السويقة. 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 النسيج 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 النسيج النباتي. يمكن إيجاز مراحل التمايز، بالنقاط الأساسية التالية:

١. توقف الانقسام الخيطي، أو الأصح امتداد الطور البيني لفترة طويلة.

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

٣. تضخم حجم الخلية ونقصان العلاقة النووية البلاسمية تدريجياً.

٤. تمايز الصانعات إلى أشكالها المختلفة.

٥. تشكل الفراغات بين الخلايا Intercellular spaces .

٦. تبدلات كيميائية تطرأ على الجدار الهيكلي السيللوزي.

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

١- ازدياد العلاقة البلاسمية النووية 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 الخنيدرات.

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

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

٢- تصنيف النسج النباتية Classification of Tissues

وضع العالم الفيزيولوجي ساكس Sacks عام ١٨٦٨ أول تصنيف طبيعي ومفصل للنسج النباتية ما يزال حتى العصر الحاضر محافظاً على أهميته وحيويته. فقد قسم ساكس النسج النباتية إلى ثلاث مجموعات: الواقية والناقلة والأساسية.

تقوم النسج الواقية بالدفاع عن جميع أعضاء النبات، سواءً في النباتات الحولية أو المعمرة. وقد ميّز في مجموعة النسج الناقلة بين الخشب Xylem الذي يقوم بنقل النسغ الخام، المُمتص بواسطة الجذور من التربة، إلى الأوراق الخضراء ماراً بالساق، واللحاء Phloem ويقوم بنقل المواد العضوية المركبة في الأوراق بنتيجة الاصطناع الضوئي إلى جميع أعضاء النبات (النسغ التام). تكون النسج الناقلة عادةً، مُحاطة بنسيج استنادي هو الإسكلرنشيم. تسمى المجموعة الثالثة، النسج الأساسية أو الصانعة، وتشكل الكتلة الأساسية للعضويات النباتية.

يستند تصنيف ساكس السابق إلى الصفات الفيزيولوجية والبنية المورفولوجية للنسج المختلفة. من الجدير بالذكر، استناد معظم التصانيف الحديثة للنسج النباتية إلى الصفتين السابقتين أيضاً، بالإضافة إلى أصل النسيج وتطوره، ثم مكان تشكله وتوضعه.

يُلاحظ عادةً، عند دراسة البنية المجهرية للأعضاء ست مجموعات نسيجية رئيسية هي: القسومة، الواقية، الأساسية، الدعامية، الناقلة والمفرزة. في حدود هذه المجموعات

البت من النسج، يمكن وضع اللوحة التفصيلية التالية:

Meristematic tissues	**I: مجموعة النسج المولدة أو القسومة**
Apical meristem	١: الميرستيم القمي
Lateral meristem	٢: الميرستيم الجانبي
Intercalary meristem	٣: الميرستيم البيني
Traumatic meristem	٤: ميرستيم الإصابات
Intergumentary tissues	**II- مجموعة النسج الواقية**
Dermatogen or Protoderma	٥: طليعة البشرة
Epiblema	٦: الأدمة
Epiderma	٧: البشرة
Spermoderma	٨: بشرة البذرة
Periderma or Cork	٩: النسيج الواقي الفليني
Rhytidome	١٠: القلف
Parenchyma tissues	**III- مجموعة النسج الأساسية أو البرنشيمية**
Chlorenchyma	١١: البرنشيم الخضوري
Storage parenchyma and Water storage parenchyma	١٢: البرنشيم الادخاري والبرنشيم المدخر للماء
Absorbing parenchyma	١٣: برنشيم الامتصاص
Aerenchyma	١٤: البرنشيم الهوائي
Mechanical Tissues	**IV- مجموعة النسج الاستنادية**
Collenchyma	١٥: النسيج المتصمغ أو الكولانشيم
Sclerenchyma	١٦: النسيج المتخشب أو الاسكلرنشيم
Sclereids	١٧: الاسكلريدات
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، تتحد الوظيفتان السابقتان في حالة الإدماع Guttation. وهي إفراز الأوراق لقطيرات من محلول معدني وعضوي، عن طريق الفوهات السمية المائية Hydrathodes.

٢-١ مجموعة النسج المولدة أو القسومة Meristematic Tissues

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

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

تشكل مجموعة النسج الأولية المتمايزة عن الميرستيم الأولي ما يُعرف بالبنية الأولية أو الابتدائية في النبات. أما النسج القسومة الثانوية، فتتمايز كقاعدة عامة، بعد النسج القسومة الأولية وتؤدي خاصة، إلى نمو الأعضاء النباتية عرضاً – النمو الثانوي Secondary growth .

لقد أصبح هذا المبدأ في تصنيف النسج القسومة في الوقت الحاضر، أقل انتشاراً واستخداماً، إذ من الصعب، حتى من المستحيل أحياناً تحديد لحظة بدء نشاط أي نسيج قسوم. ولذلك يبقى التصنيف الأكثر انتشاراً للنسج القسومة، هو التصنيف الآخر، الذي يعتمد مكان ظهورها وتشكلها، أساساً لتمييزها بعضها عن بعض. واستناداً إلى ذلك نميز:

أ- النسيج القسوم القمي Apical meristem

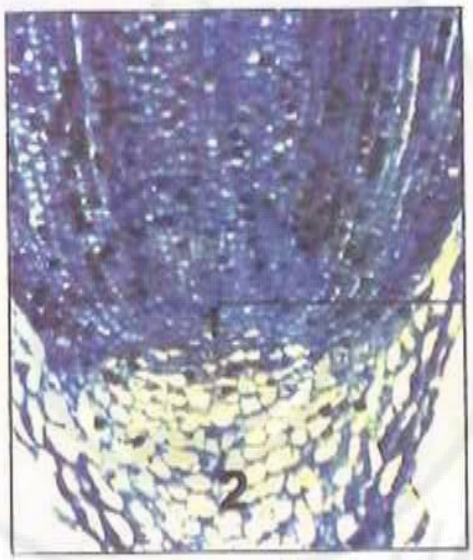
يوجد في قطبي النبات، أي في نهاية المحاور الرئيسية والجانبية للساق والجذر.

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

١: طليعة البشرة Protoderma: نسيج قسوم أولي، يُمد أصل النسيج الواقي الأولي.

٢: طليعة الكامبيوم Procambium: نسيج قسوم أولي، يُمد أصل النسج الناقلة الأولية (يؤدي إلى نمو الأعضاء المحورية عرضاً).

٣: النسيج القسوم الأساسي Ground meristem: وهو أصل النسج الأساسية (البرنشيمية) في النبات.

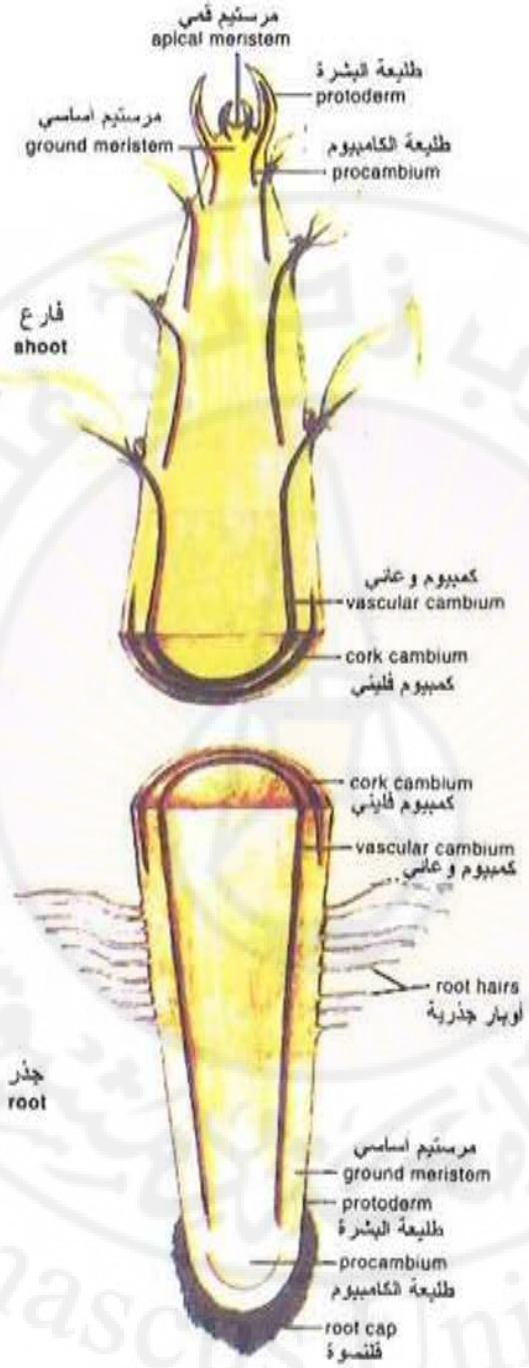


١: خلايا النسيج القسوم.
٢: خلايا القلنسوة

شكل ٨-١: مخروط النمو في الجذر

ب- النسيج القسوم الجانبي Lateral meristem

وهو، بصورة أساسية، نسيج قسوم ثانوي، ينتشر عادةً في الأعضاء النباتية المحورية المعمرة لعريانات البذور وثنائيات الفلقة، ويتوضع بصورة موازية لسطحها المحيطي. تؤدي النسج القسومة الجانبية إلى نمو الأعضاء النباتية عرضاً وتعرف باسم الكامبيوم Cambium، وله شكلان: الكامبيوم الوعائي Vascular cambium والكامبيوم الفليني Cork cambium.



شكل ٨-٢: توضع النسج المسومة القمية في النبات

ج- النسيج القسوم البيني Intercalary meristem

ينتشر هذا النسيج، بصورة عامة، في الجزء السفلي لسلاميات الفوارع والأوراق. وغالباً ما ينشط لفترة قصيرة فقط كما في حالة تطور البراعم. وأحياناً يستمر في نشاطه، كما في قاعدة سلاميات ساق أذناب الخيل Equisetopsida والنجيليات Graminales وغيرها من وحيدات الفلقة، وبعض ثنائيات الفلقة، كما في الفصيلة الكرفسية Apiaceae (الخيمية Umbelliferae). وفي الحقيقة فإن جميع الفوارع الإعاشية لمختلف النباتات تتصف بنمو بيني في قاعدة سلامياتها، إلا أن مدة هذا النمو ونشاطه يختلفان حسب الأنواع النباتية.

د- 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 برنشيمية متراصة، تنقسم بنشاط كبير. تشتمل هذه الخلايا نواة ضخمة، وفجوات صغيرة جداً وكمية كبيرة من السيتوبلاسم وجدار بكتوسيللوزي رقيق جداً.

تتمتع الخلايا القسومة، بشكل عام، بالصفتين الأساسيتين التاليتين:

١: الانقسام النشط.

٢: التمايز، أي قدرتها على التحول إلى عناصر نسيجية متخصصة في مختلف النسج.

وهكذا يُلاحظ في النسيج القسوم النشط، وخاصة في الميرستيم القمي:

آ) سلسلة من الخلايا، تكون في حالة انقسام دائم، وتدعى بالخلايا الأصلية أو البدائية Initials cells .

ب) نواتج الخلايا الأصلية، وهي خلايا في طريقها إلى التمايز. إذ يتغير شكلها وتتبدل الطبيعة الكيميائية لجدرها وتنتقل إلى عناصر متخصصة في المجموعات النسيجية الأخرى.

٢-٢ 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.

استنادا إلى زمن تشكل النسج الواقية ومكانها، يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات أساسية: البشرة Epiderma، والفلين Cork، والقلف Rhytidom. بالإضافة إلى الأدمة Epiblema، التي تغطي سطح الجذور الفتية، التي يمكن عدها، بالنظر لوظيفتها، نسيجاً ماصاً نموذجياً.

البشرة Epiderma

تختلف وظيفة البشرة حسب العضو النباتي. فتقوم في الورقة مثلاً، بتنظيم عملية النتح والتبادل الغازي، بالإضافة إلى الوظائف السابقة آنفة الذكر. تشتق البشرة اعتباراً من الطبقة السطحية للنسيج القسوم القمي في الساق (طليعة البشرة أو مولد البشرة Dermatogen). تحيط البشرة بالأعضاء النباتية الخضراء كالأوراق والأغصان الفتية، كما تغطي أعضاء النبات الطفيلية عديمة الخضور. وغالباً ما تتألف من طبقة خلوية متراصة واحدة، إلا أنها أحياناً تكون مدعومة بطبقة ثانية تحتها Hypoderma، ذات دور حيوي متنوع. فقد تقوم بادخار الماء، وأحياناً تؤدي دور نسيج استنادي أو تساعد البشرة على تنظيم عملية النتح. وتتميز خلايا البشرة بعدم تجانس جدرها الخلوية، فيكون جدارها الذي يجاور الوسط الخارجي أكثر سماكة من بقية جدرها، بالإضافة إلى ارتصافها الوثيق بعضها إلى جانب بعض. في حين تتحد مع الخلايا البرنشيمية التي تقع تحتها بشكل ضعيف، ولهذا السبب يسهل نزعها بعملية "السلخ". وتتألف البشرة من خلايا حية، تشتمل فجوة كبيرة، ولا تحوي بصورة عامة صانعات خضراء، إلا في حالات نادرة كما في السراخس وفي عدد قليل من مغلفات 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 يُكسب البشرة بريقاً ولمعاناً خاصين. فيوفر لها ذلك، القدرة على عكس بعض الأشعة الضوئية، والمحافظة على الورقة أو الغصن الفتي من تجاوز حدود التسخين وبالتالي

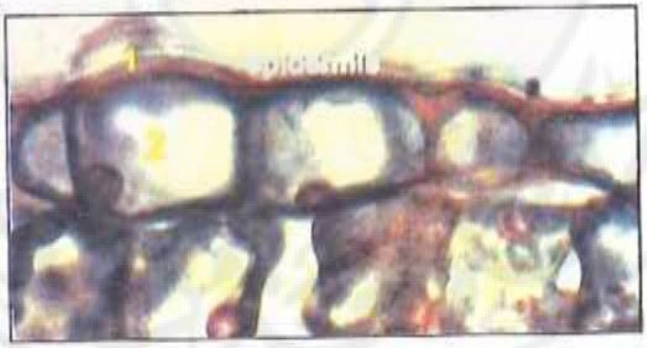
الاحتراق. ولهذا السبب ينخفض مستوى النتح في العضو النباتي وخاصة في نباتات المناطق الصحراوية أو الجبلية. تمتلئ الفجوات في خلايا البشرة، عادةً، بعصارة عديمة اللون، وقد تكون أحياناً ذات ألوان مختلفة، بفضل الأصبغة الأنتوسيانية (البتلات).

يختلف شكل خلايا البشرة حسب العضو النباتي المدروس، فهي مسطحة، دائرية أو أميبية في بشرة أوراق ثنائيات الفلقة. ومتطاولة مضلعة في أوراق وساق النباتات وحيدة الفلقة.

من الضروري الإشارة أخيراً إلى احتفاظ خلايا البشرة بقدرتها على الانقسام لمدة طويلة. وبفضل ذلك، لا تعيق البشرة نمو العضو النباتي عرضاً. وفي المقابل، تتمزق البشرة عندما لا توازي انقسامات خلاياها نمو العضو النباتي وتطوره.

تكون الخلايا البشرة عادةً مغطاة بطبقة مستمرة من مادة القشيرين Cutin وأحياناً بطبقة شمعية رقيقة (شكل ٨-٣). تتعزز الوظائف الدفاعية للبشرة عندما تحمل بعض الزوائد مثل الأوبار، الحراشف 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 القشيرين؟ يتحقق ذلك بفضل المسام.

١: طبقات القشيرة
٢: خلايا البشرة

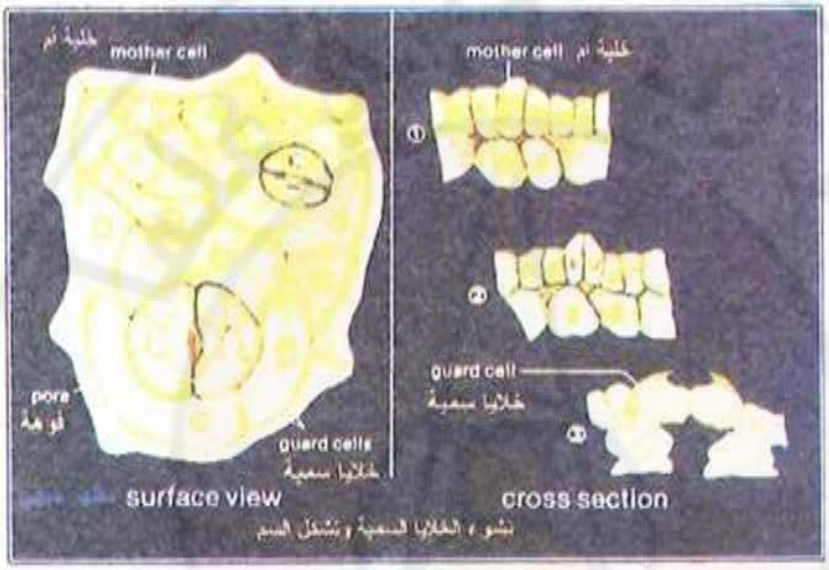


شكل ٨-٣: مقطع عرضي في بشرة الدبق الأبيض Viscum album

المسام Stomata

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

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

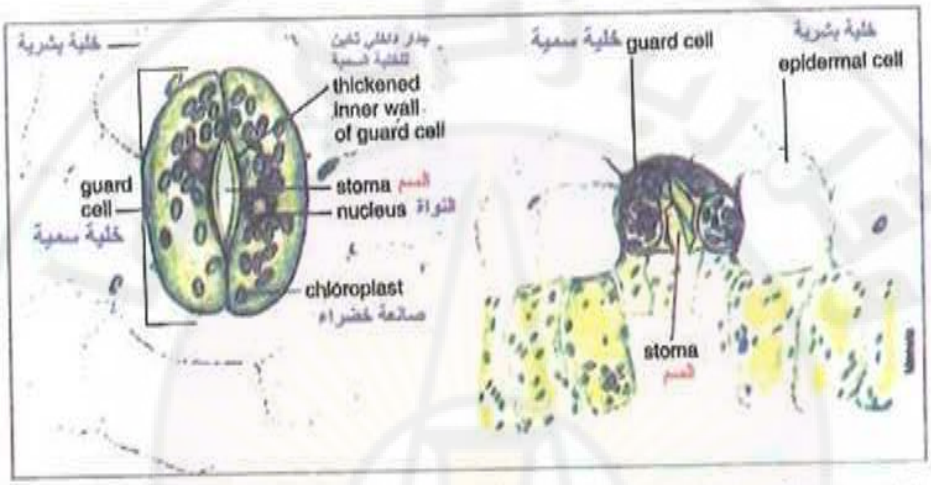


شكل ٨-٤ نشوء الخلايا السمية وتشكل المسام في مظهر جبهي ومقطع طولي

تشرف الخلايا السمية على عملية غلق الفوهة السمية وفتحها، وأحياناً تسهم 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 انفتاح الفوهة السمية وانغلاقها؟ حسب نظرية العالم Moll عام ١٨٥٦ يترافق انفتاح الفوهة السمية وخروج بخار الماء عبرها بانتباج الخلايا السمية وتوترها. وبالمقابل، يرتبط انغلاق الفوهة السمية بانكماش الخلايا السمية وارتخاء جدرها الخلوية والتصاقها بعضها ببعض. لوجود الصانعات الخضراء في الخلايا السمية وغيابها من خلايا البشرة المجاورة، أهمية كبيرة في عملية انتباج الخلايا السمية. فعندما يتفكك نشاء الصانعات

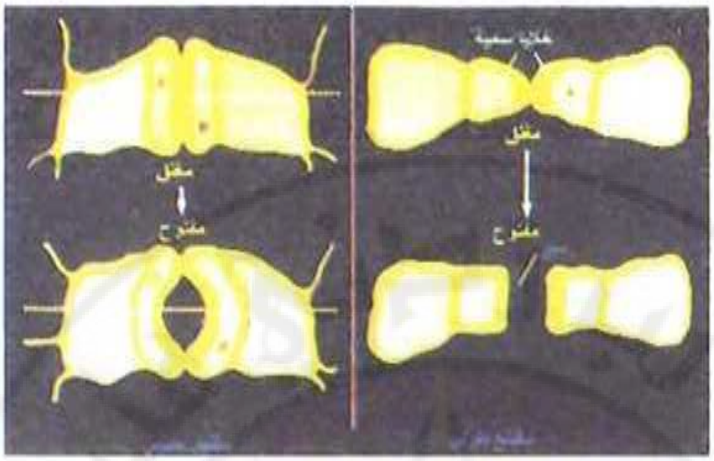
الخضراء إلى سكاكر بسيطة منحلة، يزداد تركيز العصارة الخلوية، وبالتالي يرتفع الضغط الحلولي لهذه الخلايا. تقوم الخلايا السمية حينئذٍ بامتصاص الماء من الخلايا المجاورة، وتنتقل إلى حالة الانتباج والتوتر. وبالمقابل، عندما تتحول السكاكر البسيطة إلى نشاء، تنتقل الخلايا السمية إلى حالة الانكماش وتنغلق الفوهة السمية (شكل ٨-٦).



شكل ٨-٥: بنية سم نموذجي لدى ثنائيات الفلقة

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

يجري تشكل السم بصورة موازية لعملية تطور الورقة أو الفارع الفتي. فخلال الانقسامات الخيطية لخلايا طليعة البشرة، تظهر بينها خلية (أو خلايا) أصلية initial. تنقسم الخلية الأصلية انقساماً خيطياً، لتعطي خليتين بنتين متساويتين. ثم يتفكك ويتلاشى الحاجز المتوسط بينهما وتتشكل الفوهة السمية. يُلاحظ أحياناً استمرار الانقسامات الخيطية على الخلية الأصلية المولِّدة للخلايا السمية إلى أن يتم تشكل الفوهة السمية. يتألف السم حينئذٍ من خليتين سميتين مع خليتين مرافقتين أو أكثر.



شكل ٨-٦ آلية فتح وغلق السم

الزوائد- ملحقات البشرة Trichomes

هي أوبار، أشعار، استطالات، حراشف أو حليمات تنمو على السطح العلوي للبشرة، وتقوم بوظيفة حيوية متنوعة في معظم الحالات. فتقوم طبقة الأوبار الكثيفة التي تغشي 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 ٨-٧). غالباً ما يموت المحتوى الحي لهذه الأوبار. تأخذ خلايا الأوبار الممتلئة بالهواء شكلاً براقاً ولامعاً، فتعكس أشعة الشمس وتحمي الأوراق والفوارع الفتية من تجاوز حدود التسخين ومن زيادة النتح. تؤدي مثل هذا الدور الأوبار المظلية في ورقة الزيتون. وتكون الأعضاء النباتية المغطاة بأوبار قاسية (عكوب الجبل) في منأى عن الحيوانات العشبية وغيرها من الحيوانات ملتهمة 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 (بسيطة أو مركبة)، حيث تتراكم فيها المفرزات. تصادف الأوبار المفرزة البسيطة على بشرة أوراق وساق عدد كبير من النباتات. بينما تُلاحظ المركبة على أوراق نبات النعناع. تتنوع بينة الأوبار العادية أو المفرزة

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



a



b

شكل ٨-٧: بعض نماذج الأوبار لدى النباتات:

a- أوبار غدية

b- أوبار لا غدية بسيطة (١) وعديدة الخلايا (٢-٥)

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 تتخللها مادة السيللوز، وتعلوها طبقة أخرى من القشيرين النقي. تتميز القشيرة التي تعلو سطح كل خلية بشرية عن تلك التي تغطي خلايا البشرة بكاملها، بانعزالها وعدم ارتباطها بقشيرة الخلايا المجاورة، (شكل ٨-٣). تتشرب القشيرة في كثير من النباتات مادة الشمع، وفي بعض الأحيان تتغطى بطبقة شمعية رقيقة (كما في ثمار الكرز والخوخ، وفي أوراق الملفوف والقمح والشوفان وغيرها). ينتمي الشمع والقشيرين إلى المواد الشبيهة بالدسم، وتنحصر أهميتها في حفظ النبات من زيادة النتح ومن تسلل العضويات الدقيقة إلى داخله. كما تحميه من الأمطار الغزيرة وتمنع تسربها إلى نسج النبات الداخلية. استنادا إلى سبق، تتمتع القشيرة والطبقة الرقيقة الشمعية بأهمية بالغة، بالنسبة للثمار الغضة النامية في المناطق الجافة، كما في النخيل.

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

النسيج الواقي الثانوي Periderma

يقوم كالبشرة، بحماية النسج النباتية، ويحيط عادةً، بالأعضاء المحورية – الساق والجذور. كما يتميز عن البشرة، بأنه نسيج واقٍ ثانوي، يحل محل البشرة بعد موتها وانسلاخها. تتشكل البيريدرم، بصورة موازية لزيادة قطر الجذر أو الساق في النباتات عريانة البذور وثنائية الفلقة. تتمايز البيريدرم وتتطور بدءاً من ميرستيم ثانوي هو الفللوجين Phellogen. ويتمايز الفللوجين بدءاً من البشرة نفسها وأحياناً من طبقات برنشيمية متراصة، تقع تحت البشرة مباشرة أو من خلايا البشرة نفسها وأحياناً من طبقات برنشيمية أكثر عمقاً، أو من خلايا المحيط الدائر. تبدأ خلايا الفللوجين بالانقسام مماسياً Periclinal، أي بصورة موازية لمحور العضو النباتي. فتنفصل عنه خلايا جديدة باتجاه المحيط أولاً (أي ذات تمايز جايذ)، سوف تتمايز إلى الفلين Phellem. كما تنفصل عنه بعد ذلك، وباتجاه المركز، من ثلاث طبقات إلى أربع طبقات خلوية (ذات تمايز نابذ) سوف تشكل نسيجاً برنشيمياً ثانوياً هو الـ Phelloderm. وعلى هذا الأساس يعد البيريدرم نسيجاً معقداً يتألف من ثلاثة نسج مختلفة هي: الفلين والفللوجين والفللودرم (البرنشيم الفليني) (شكل ٨–٨). يتألف الفلين من صفوف خلوية منتظمة شماعياً ومتراصة جداً، ذات جدر خلوية متفلنة ومحتوى 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 النتح ومن التأثيرات الخارجية المؤذية. لا تقوم خلايا الفللودرم بوظيفة دفاعية، وإنما هي خلايا بخضورية حية. تعيق زيادة رطوبة

التربة عملية تشكل الفلين، إذ لوحظت هذه الظاهرة في تجربة على درنات البطاطا.

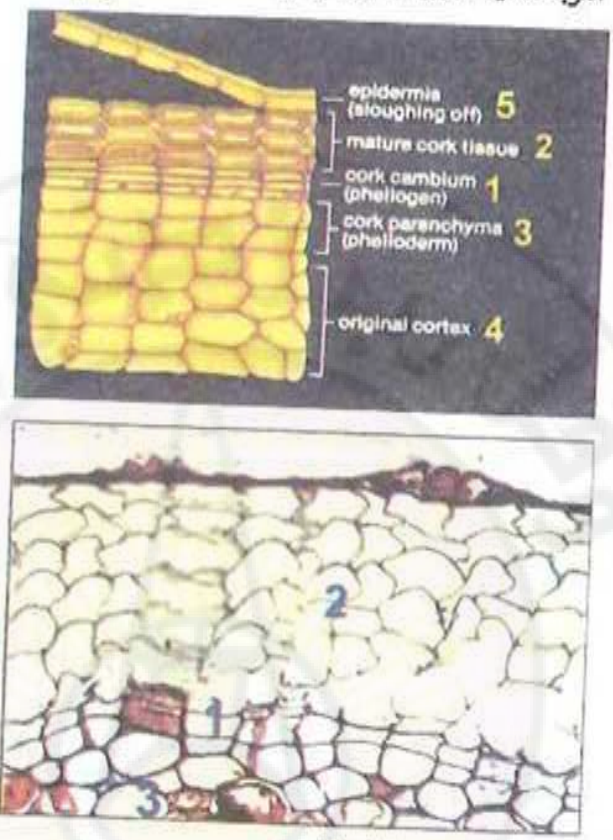
١: الكامبيوم الفلني،

٢: الفلين،

٣: البرنشيم الفليني (الفيلوديرم)،

٤: القشرة،

٥: بشرة منسلخة.

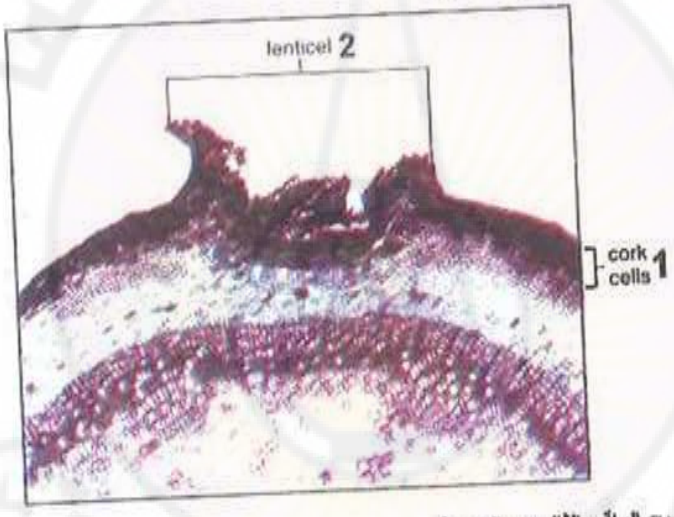


شكل ٨-٨: النسيج الواقي الثانوي:
a: شكل تخطيطي، b: مقطع عرضي

العديسات Lenticels

تشكيلات خاصة في النسيج الفليني، تساعد على تحقيق عملية النتح وتبادل الغازات. تأخذ من الأعلى شكل درنات صغيرة مع شق في الوسط. تتراوح أبعاد العديسة من مليمتر واحد وحتى السنتمتر، ويزداد حجمها مع نمو النبات (شكل ٨-٩). والعديسات بنيات معزولة في البيريدرم، تتصف بارتباط رخو نسبياً، وذات خلايا برنشيمية كبيرة مستديرة أو بيضوية. يساعد شكلها على تمايز 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 الفللوجين في عدد كبير من النباتات (كما في جنس الريباس *Ribes* والبربريس *Berberis*) وبالتالي البيريدرم، في الطبقات العميقة من القشرة. ففي هذه الحالة تتمايز العديسات مباشرةً ضمن طبقة الفللوجين. من السهولة تمييز العديسات ودراستها على أغصان البيلسان الأحمر *Sambucus racemosa* والخوخ الطيري *Prunus avium*. ينشط الكامبيوم الفلييني في بعض الأنواع الشجرية، كما في السنديان الفليني *Quercus suber* لعدة سنوات متتالية بدون توقف. ونتيجة لذلك تتكدس طبقة سميكة من الفلين، تبلغ سماكتها أحياناً نحو ٢٥ سم، ولذلك يستفاد منها صناعياً.

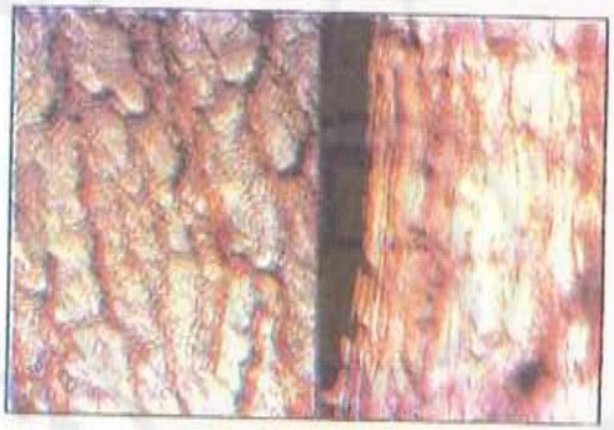


الشكل ٨-٩: النسيج الواقي الثانوي والعديسة
مقطع عرضي في ساق فتي في جنس البيلسان Sambucus (١) خلايا الفلين، (٢) العديسة

القلف Rhytidome

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

القشرة، بما فيها الفللوجين القديم والفللودرم التي تقع إلى المحيط من النسيج الفليني الحديث. تتكاثف طبقة النسج الميتة والمعزولة عن مركز العضو النباتي وبتغير شكلها وتسمى حينئذٍ القلف Rhytidome. وهكذا يتألف القلف من مجموعة متكاملة من النسج الميتة المتنوعة (شكل ٨-١٠). تعد الخاصة الدفاعية للقلف أكثر فائدة ونفعاً من الفلين. فعلى قلف الأشجار، تستوطن أنواع عديدة من الفطور والطحالب والبريويات. وتعيش على قلف أشجار الغابات الاستوائية الرطبة بعض النباتات الفوقية Epiphyte، كأنواع 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 ٨-١٠: القلف طبقات متتالية من طبقات الفلين 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 وتملأ الفراغ بين النسج الناقلة والاستنادية، ولذلك تسمى أحياناً النسج الضامة. وفي الحقيقة تُعد هذه النسج أساسية، سواء من الناحية المورفولوجية أو من الناحية الوظيفية، إذ تقوم بأفعال الاستقلاب. وتعد أساسية أيضاً من الناحية التطورية، إذ تشكل كتلة خلوية متراصة منذ

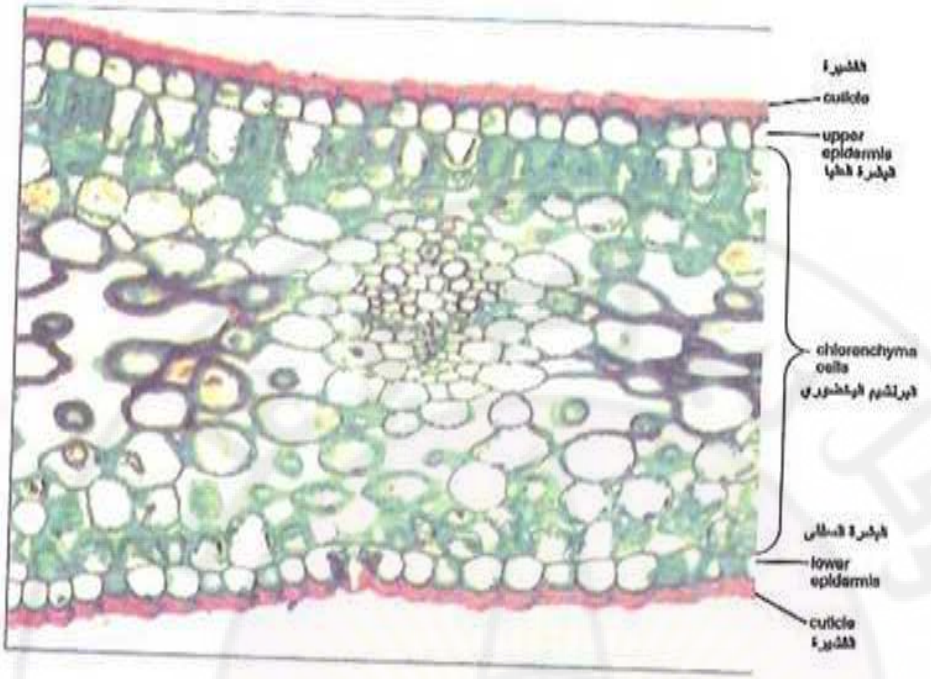
إنتاش البذرة ونمو البادرة، حتى تشكل أعضاء النبات المختلفة. وأخيراً، لوحظ خلال التطور التاريخي للعالم النباتي، أنها شكلت الكتلة الأساسية لجميع العضويات النباتية كثيرة الخلايا، وقد سبقت بالتشكل جميع النسج الأخرى. تتمايز النسج الأساسية في النباتات الراقية إلى نسج أخرى متنوعة، لتقوم بوظيفة محددة: كالاصطناع الضوئي، وادخار المواد الغذائية، ونقل الماء والمركبات العضوية وغيرها. استناداً إلى وظيفة النسج الأساسية، وإلى بنيتها، ومكان تشكلها، وأصلها، تميز أربعة نماذج رئيسية.

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

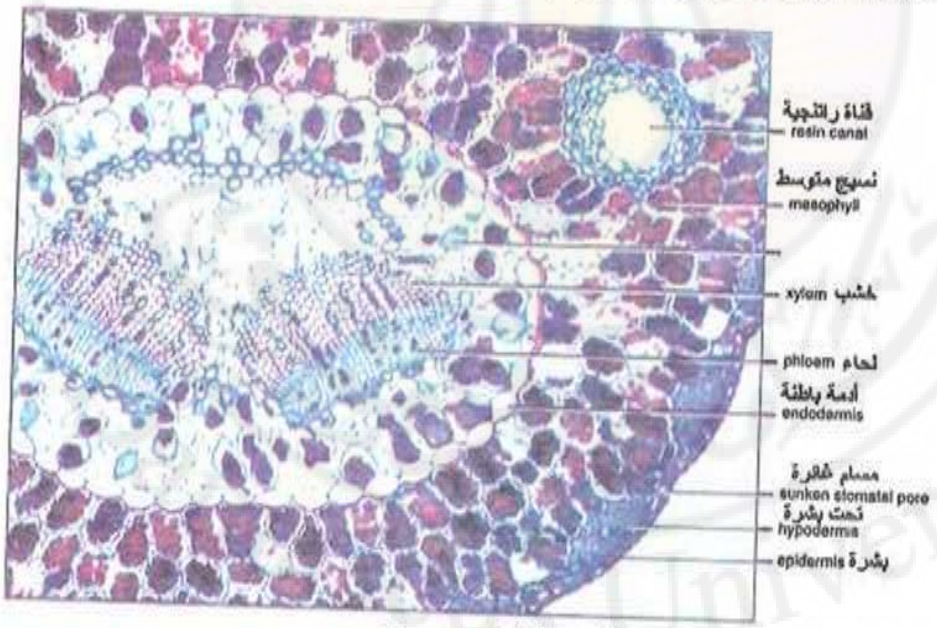
آ- البرنشيم اليخضوري Chlorenchyma

ويسمى أيضاً البرنشيم الصانع Photosynthetic P.. يصادف غالباً في الأوراق وفي الأغصان الفتية الخضراء. تشتمل خلايا هذا النسيج على الصانعات الخضراء، وتقوم بوظيفة الاصطناع الضوئي. يتمايز البرنشيم اليخضوري في الأوراق، بصورة عامة، إلى برنشيم حباكي وبرنشيم إسفنجي أو فراغي وبرنشيم مفصص (في أوراق الصنوبريات) (شكل ٨-١١ و ٨-١٢).

يتناسب النشاط التركيبي للنسيج المتوسط Mesophyll في الأوراق، مع عدد الصانعات الخضراء التي يحتويها. وهذه النسبة في خلايا النسيج الحباكي والفراغي كما يلي: في زهر الشمس 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 اليخضوري 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 الكتالبة *Catalpa* في عامه العشرين ٣٩٠ م^2 مقابل ٥١٠٠ م^2 للسطح الداخلي. تتعلق هذه النسبة إلى حد كبير بشروط الوسط الغذائي.



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



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

ب- البرنشيم الادخاري Storage P.

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

جـ- برنشيم الامتصاص Absorbing P.

ينتشر الشكل النموذجي من هذا البرنشيم في منطقة الأوبار الماصة للجذر الفتي (شكل ٨-١٣)، ويمكن أن يقوم بالوظيفة نفسها برنشيم القشرة الأولية Cortex وممصات النسيج الماص في النباتات الطفيلية والرمية وآكلة الحشرات. كما تنمو النسج الماصة في البذور المنتشة وفي أوبار الأوراق والنسج الواقية للجذور الهوائية وغيرها. أما الجذريدات Rhizoids، التي تصادف في النباتات الدنيا كالبريويات وغيرها، فتقوم بوظيفة الجذور نفسها ولكنها تتمتع ببنية أبسط بكثير. فهي تتركب من خلايا متجانسة وغير متمايزة. ويمكن ضم الفطور الجذرية Mycorrhiza إلى مجموعة النسج البرنشيمية الماصة.



الشكل ٨-١٣: الأوبار الماصة في الجذر

د- البرنشيم الهوائي Aerenchyma P.

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

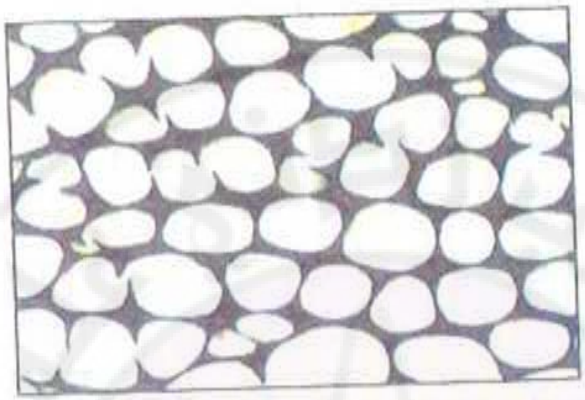
مجموعة النسج الاستنادية Mechanical Tissues

تنتشر النسج الاستنادية في كتلة البرنشيم أو حول محيطه. وهي من النسج الهامة، وذات البنية الخاصة. تتألف من خلايا ذات جدر سميكة، وغالباً ما تكون متخشبة. تكون هذه الخلايا في معظم الحالات ميتة، وذات أشكال متنوعة جداً. تتمايز في الأعضاء المحورية بدءاً من الخلايا البرنشيمية. تؤلف النسج الاستنادية، بمجموعها، هيكلاً متيناً لدعم الأعضاء النباتية ومنعها من كسرها وتهشمها. يمكن تصنيف النسج الاستنادية حسب شكل خلاياها ومكان تمايزها والطبيعة الكيميائية لجدرها الخلوية، إلى المجموعات التالية:

آ- النسج المتصمغ أو الكولانشيم Collenchyma

نسيج دعامي حي، يشاهد على سطوح الأعضاء النباتية تحت البشرة (شكل ٨-١٤). تشتمل خلاياه العضيات الخلوية الضرورية، وأحياناً على الصانعات الخضراء أيضاً وغالباً ما تكون جدر خلاياه سميكة جداً وذات طبيعة سيللوزية (بالإضافة إلى مواد أخرى كالبكتين). لا يشبه الكولانشيم بهذه الصفات، أي نسيج استنادي آخر. فهو قادر على النمو بصورة نشطة، ويُعدُّ أول نسيج استنادي تمايزاً في الساق والأوراق وفي جذور النباتات الراقية. كما يعد النسيج الاستنادي الأساسي في الأوراق والسوق العشبية لعدد كبير من ثنائيات الفلقة. ينمو هذا النسيج إلى حد كبير في الجذور النامية في الضوء. تعد نباتات جنس المكحلة *Tradescantia* من

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



الشكل ٨-١٤: خلايا الكولانشيم، لاحظ الثخانة غير المتساوية لجدرها

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

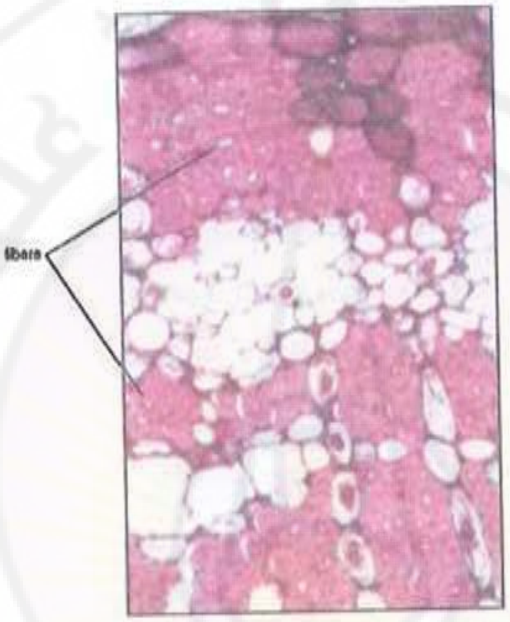
ب- النسيج المتخشب أو الاسكليرنشيم **Sclerenchyma**

يُعدُّ الإسكليرنشيم من أكثر النسج الاستنادية انتشاراً في الأعضاء الإعاشية للنباتات الراقية الهوائية، إنما لا يُلاحظ في النباتات المائية.

ينتشر الاسكليرنشيم الأولي، بشكل واسع، في جميع الأعضاء الإعاشية للنباتات وحيدة الفلقة. ولكنه قليل الوجود نسبياً ضمن البنية الابتدائية للأعضاء المحورية في ثنائيات الفلقة. وبالمقابل ينتشر الإسكليرنشيم بصورة طبيعية وواسعة في البنيات الثانوية لهذه الأعضاء، ويكون فيها أكثر تخصصاً وأوضح تمايزاً. تنتظم الخلايا الاسكليرنشيمية، عادةً بشكل متراص جداً، بحيث لا تترك فيما بينها فراغات هوائية. تسمى الخلايا الاسكليرنشيمية المنفصلة بالألياف ونُميز منها:

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

ب- أليافاً خشبية Xylem fibers ترافق الخشب في البنية الثانوية، وذات جدر خلوية متخشبة دائماً (شكل ٨-١٥).



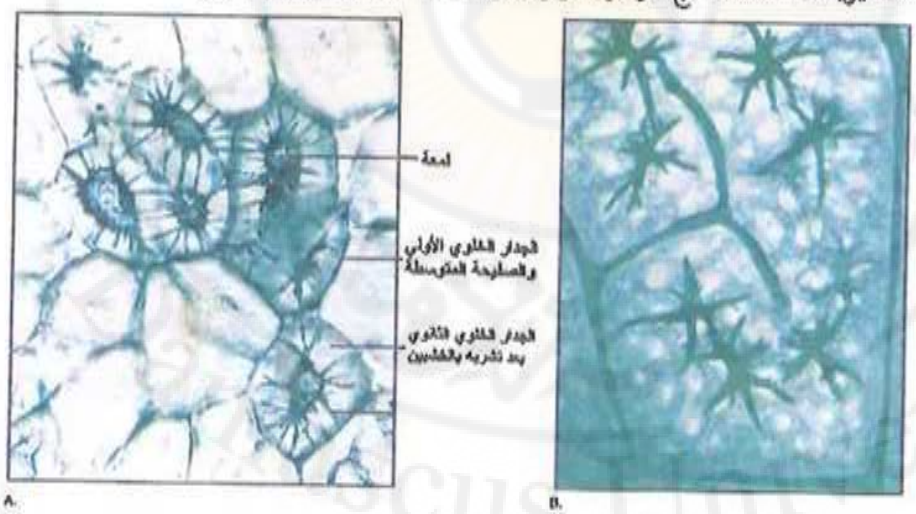
الشكل ٨-١٥: الألياف الخشبية:
مقطع عرضي في جزء من ساق الـ Tilia

يتمايز الإسكلرنشيم الأولي، عادةً، بدءاً من خلايا البروكامبيوم أو من ألياف المحيط الدائر. بينما يتشكل الإسكلرنشيم الثانوي بدءاً من الكامبيوم. يكون اسكلرنشيم المحيط الدائر متطوراً بصورة جيدة، سواء حول محيط الساق أو حول الحزم الناقلة. يتركب الإسكلرنشيم من خلايا بروزنشيمية ذات جدر خلوية متساوية الثخانة، مع العلم أن طولها يمكن أن يتجاوز عرضها بألف مرة أو أكثر. والاسكلرنشيم نسيج متين جداً، إذ أن مقطعاً منه مساحته ١ مم^2 يتحمل ثقلاً حتى ١٥-٢٠ كغ (بينما الفولاذ أمتن منه بأكثر من مرتين فقط ٥٠ كغ/مم^2).

عندما تحتفظ الألياف اللحائية بموادها السيللوزية، يمكن الاستفادة منها صناعياً. فمتوسط طول الألياف ١-٢مم. ولكنها قد تبلغ في الكتان ٤٠ مم طولاً، وفي أنواع أخرى كما في *Behmeria nivea* قد تصل إلى ٣٥٠ مم أو أكثر من ذلك أحياناً.

الاسكليريدات Sclereids

هي خلايا برنشيمية، ذات جدر خلوية سميكة جداً، ومتساوية الثخانة. أما جوف هذه الخلايا، فضامر جداً ولا يتجاوز قطر قنيوات دقيقة للغاية. تصادف الاسكليريدات في الأعضاء النباتية المختلفة وتميز الثمار خاصة. تعد الاسكليريدات مجموعة مركبة من جميع عناصر النسج الاستنادية المختلفة. إلا أن أكثرها انتشاراً هي الخلايا الحجرية Stone cells أو Brachysclerids. تؤلف الخلايا الحجرية نسيجاً دعامياً صلباً في ثمار الأجاص الشائع *Pyrus communis* وفي جنس السفرجل *Cydonia* وغيرها. تتعلق الصفات الغذائية لهذه الثمار بكمية الاسكليريدات التي تحتويها. فعادةً يتم انتقاء الأنواع التي تجري في ثمارها الناضجة، عملية تفكك مادة الخشبين وانحلالها في جدر الخلايا الحجرية. تقوي الاسكليريدات عادةً النسج الرخوة، وتؤمن لها الانتصاب (الشكل ٨-١٦).



الشكل ٨-١٦. الاسكليريدات (الخلايا الحجرية)
A. ثمار الاجاص (مقطع 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 مباشرة، بالشكل الذي تشاهد عليه اليوم، منذ المراحل الأولى لتطور العالم النباتي. فلا تلاحظ في النباتات ذات البنية البسيطة. وتكون مثلاً، في الطحالب السمراء بسيطة جداً وفي بداية تمايزها. بينما تكون في البذريات على أعلى مستوى من التطور والتمايز، باستثناء بعض النباتات المائية، إذ تكون فيها ضعيفة التمايز.

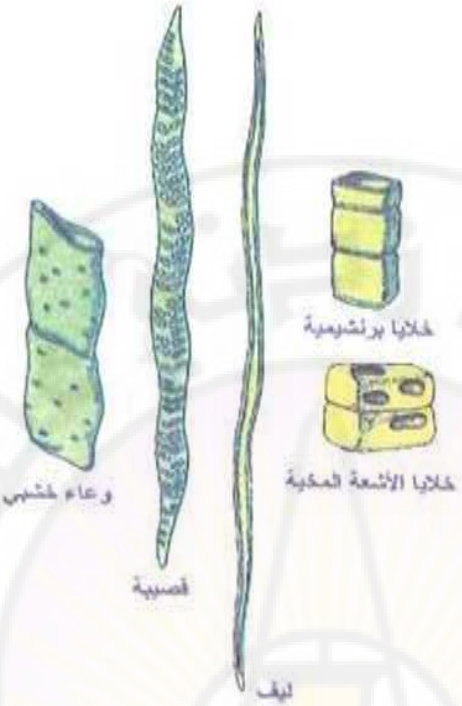
تملك خلايا النسج الناقلة، حسب وظيفتها، شكل أوعية أو أنابيب تتحد بعضها مع بعض، وفق المحور الطولي للنبات، لتشكيل الجهاز الوعائي Vascular system في النبات. يتكون هذا الجهاز من مجموعتين متكاملتين من النسج وهي: الخشب Xylem، الذي ينقل الماء ومحاليل الأملاح المعدنية التي تمتصها الجذور من التربة، واللحاء Phloem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

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

الخشب Xylem

يتألف الخشب من العناصر النسيجية التالية: الأوعية Vessel أو القصبات Tracheas، القصيبات Tracheids، برنشيم الخشب Xylem parenchyma وألياف الخشب Xylem fibers. تؤلف القصبات والقصيبات الجهاز الناقل للنسغ الخام (محاليل الأملاح المعدنية)، ولذلك تتمتع بأهمية فيزيولوجية خاصة (شكل ٨-١٧).

استناداً إلى أصل الخشب وزمن تشكله، يميزون ما بين الخشب الأولي Primary Xylem والخشب الثانوي Secondary Xylem. يتمايز الخشب الأولي بدءاً من صف الخلايا القسومة المتوضعة بشكل موازٍ للمحور الطولي للنبات في النسيج القسوم القمي، وتسمى طليعة الكامبيوم (البروكامبيوم). ويتشكل الخشب الثانوي بدءاً من الخلايا المتمايزة عن الكامبيوم.



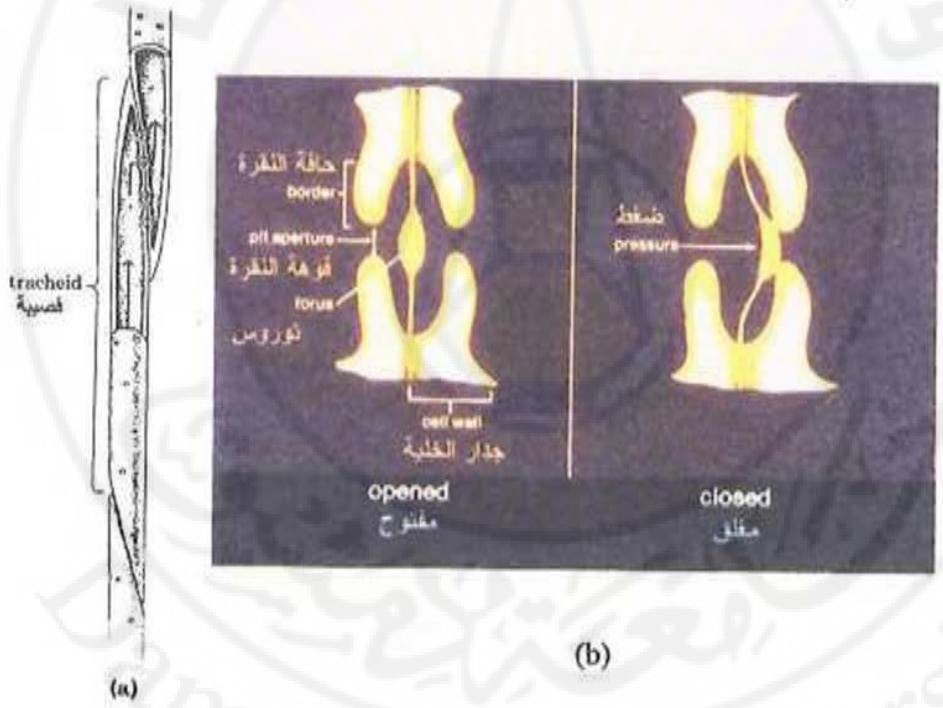
شكل ٨-١٧. العناصر النسيجية المكونة للخشب

تنتقل المحاليل المائية للمركبات المعدنية من الجذر باتجاه الساق فالأوراق. يُعدُّ الماء وسطاً هاماً تجري فيه جميع التفاعلات الاستقلابية التي تؤمن نمو النبات وتطوره. ويعد من أهم المواد الضرورية للنبات، إذ يزوده بانتظام، بالهيدروجين والأكسجين. كما يشتمل المحلول المائي للتربة على أملاح معدنية مختلفة وعناصر متنوعة ضرورية لبناء العضوية النباتية (كالآزوت والفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم وكثير من العناصر الصغرى).

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

القصيبات Tracheids

خلايا ذات جدار عرضي كامل ونهايات مدببة، في حين يتمزق الجدار العرضي في القصبات، وتتشكل مكانه نافذة كبيرة، تسمى الثقب البسيط Simple perforation يكون الجدار العرضي لخلايا القصيبات مائلاً، ويبقى موجوداً طوال نشاطها الوظيفي. ويشتمل كثيراً من النقر الهالية. يندفع النسغ 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 الهالية، وليفية fibrous وتشتمل عدداً قليلاً من هذه النقر (شكل ٨-١٨). يتراوح طول هذه الخلايا ما بين ١٢-١٠ مم، أما قطرها فلا يتجاوز ٠,٥ -٠,٠٨ مم .



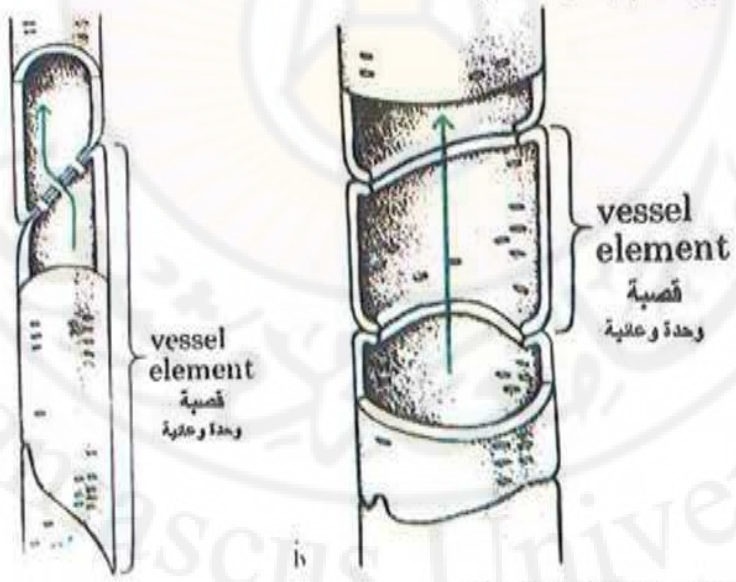
شكل ٨-١٨. القصيبات
(a) الشكل العام للقصيبة وطريقة انتظامها
(b) بنية النقرة في مقطع طولي، موضحاً آلية فتح وإغلاق النقرة

تتشكل القصيبات بدءاً من حزم البروكامبيوم. وتتميز عن الأوعية أيضاً بطريقة تشكلها، إذ يتوغل رأسها المدبب ما بين القصيبات الأخرى المجاورة. تتمايز على الجدر الخلوية للقصيبات أعداد كبيرة من النقر الهالية، التي تأخذ شكلاً سليماً Scalariform perforation كما في قصيبات التريديات.

تؤلف القصيبات الكتلة الرئيسية للخشب في التريديات وعريانات البذور، وتلاحظ نادراً في مغلفات 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 متجاورة، تمتد من قاعدة النبات حتى قمته. يُفترض بأن الجدر العرضية التي تفصل خلايا الوعاء بعضها عن بعض تشكل زاوية قائمة مع الجدر الجانبية. تتمزق الجدر العرضية السابقة وتزول تدريجياً تحت تأثير تيار النسغ الخام (شكل ٨-١٩).



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

يبلغ طول هذه الأوعية المنفصلة عدة أمتار (وأحياناً عشرات الأمتار)، ويتراوح قطرها بين ٠,٧–٠,١ مم.

تتشكل الأوعية الأولية بدءاً من خلايا البروكامبيوم في قمة الساق أو الجذر. وتتوزع على طول العضو النباتي، وتمتد من قاعدة الجذر حتى قمة الساق فالأوراق.

تتطاول خلايا الأوعية (الوحدات الوعائية) سريعاً أثناء نموها. وتبدأ بنقل محاليل الأملاح المعدنية، الأمر الذي يزيدها طولاً. تهرم هذه الخلايا بعدئذٍ، وتظهر فيها فجوات كبيرة. كما تزداد جدرها سماكة، وتتمايز فيها أعداد هائلة من النقر. وبعد أن تأخذ هذه الجدر سماكتها النهائية، تبدأ بالتخشب، وتنشط وظيفتها الناقلة. تُبدي تيارات المحاليل الملحية التي تجري في القصبات ضغطاً مرتفعاً على الحواجز العرضية للوحدات الوعائية التي لا تشتمل ترسبات ثانوية. تتمزق لهذا السبب، الحواجز السابقة وتزول، ويحل مكانها ثقب بسيط. في هذه المرحلة تقريباً، تخسر الخلايا الوعائية محتواها الحي، نتيجة تخشب جدرها الخلوية، ونقلها للنسغ الخام الذي يجرف عضياتها المختلفة. تشير بعض المراجع 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 المتمزق على شكل "طوق" يحيط باللمعة الداخلية للوعاء، يسمى إطار الثقب. فإذا ما كان هذا الإطار وحيداً سمي الثقب السابق بالبسيط، (قد يكون هذا الإطار غير ملحوظ في بعض الأحيان). تتشكل الثقوب البسيطة، عادةً، في الحواجز العرضية القائمة. وتتشكل في الحواجز المرضية المائلة ثقوب كثيرة، يمكن أن تأخذ شكلاً شبكياً أو سلمياً أو افدرياً (بالنسبة إلى الـ *Ephedra*). إن أكثر الثقوب السابقة قدماً وبدائية هي الثقوب السلمية، وأكثرها تقدماً وتطوراً هي الثقوب البسيطة.

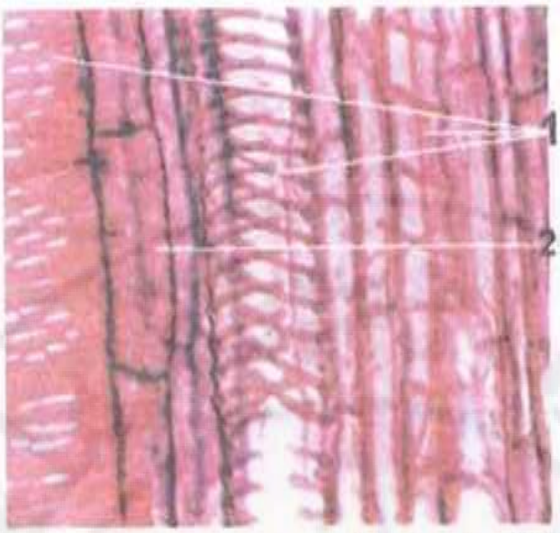
تتحدد أشكال الأوعية والقصيبات بصفات وطبيعة البنية الثانوية لجدرها. فيميزون عادةً، بين أوعية حلقية Annular وحلزونية Spiral وسلمية Scalariform وشبكية Reticulate ومنقطة ومنقرة Pitted وشبكية سلمية وشبكية منقطة أو منقرة (شكل ٨–٢٠).

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



شكل ٨-٢٠: نماذج لتغلظات الأوعية الخشبية

تتشكل الأوعية الحلقية والحلزونية، عادةً، في الخشب الأول عند جميع مغلفات البذور. فتبدأ بالتمايز في مخاريط النمو للأعضاء الإعاشية. ولا تُلاحظ مثل هذه الأوعية في الخشب التالي أو الثانوي. في المراحل المتقدمة من تطور النبات، وخلال تمايز عناصر الخشب الثانوي، تقترب الترسبات الحلقية والحلزونية بعضها من بعض، وتتحد فيما بينها لتكوين الأشكال الأخرى من الترسبات الثانوية. وقد ظهرت أثناء ذلك نقر متطاولة هالية، توضعت على جدار الوعاء حسب صفوف متوازية. سمي مثل هذا الانتشار للنقر السلمي، وسمي الوعاء أيضاً بالاسم نفسه. تميز الأوعية السلمية الكثير من التريديات، كما تصادف في مختلف النباتات مغلفة البذور (شكل ٨-٢١).



شكل ٨-٢١: النسج الناقلة في ساق الكوسا:
١: نماذج من الأوعية الخشبية، ٢: خلايا البرنشيم

تطورت بعدئذٍ النقر المتطاولة في الأوعية السلمية، وأخذت شكلاً دائرياً أو بيضوياً، حيث توضعت وفق نظام أفقي أو مائل، وأخذت شكل تثقبات متقابلة أو متعاقبة. تتصف الأوعية والقصيبات سليمة أو متعاقبة التثقبات بعدم مرونتها، وبالتالي بعدم قدرتها على التطاول.

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

برنشيم الخشب

يتألف من خلايا برنشيمية متخشبة، تنتظم وفق صفوف شعاعية (نصف قطرية)، في مركز الجذر أو الساق (الأشعة المخية). كما يتألف من خلايا برنشيمية حية تحيط بالأوعية والقصيبات، إلا أن جدرها، غالباً، ما تتخشب مع الاحتفاظ بمحتواها الحي، يُسمى مثل هذا البرنشيم المتخشب. أحياناً تزداد الجدر المتخشبة لبعض الخلايا البرنشيمية سماكة وتتحول إلى خلايا دعامية (اسكلريدات 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 الخلوية المتخشبة. ولكن تستدعي الكمية الكبيرة من الماء التي تجري فيها، وجود دعامة إضافية. وهكذا حصلت مختلف النباتات الوعائية على هيكل استنادي متين، ذي بنية متنوعة، تنتشر عناصره بين الأوعية والقصيبات والخلايا البرنشيمية 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 قفص متين من الألياف، يحيط بالخشب واللحاء معاً. تقوم القصيبات، التي تشتمل عدد قليل من النقر، في الأنواع الشجرية من مغلفات البذور بوظيفة استنادية وتسمى القصيبات الليفية. تخسر القصيبات الليفية، خلال تطورها، ثفقباتها الهالية وتتحول إلى ألياف متخشبة حقيقية.

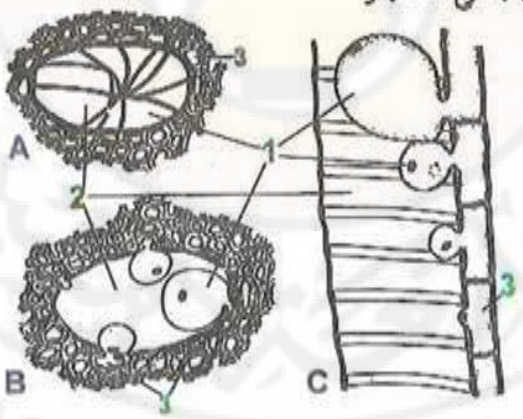
انسداد العناصر الناقلة في الخشب

تقوم العناصر الناقلة في كثير من النباتات العشبية الحولية أو المعمرة، بنقل النسغ الخام طوال فترة حياتها. أما في النباتات الشجرية المعمرة، فلا تستطيع الأوعية والقصيبات القيام بوظيفتها بصورة مستمرة. فمع الزمن، ينغلق مجرى 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 البرنشيمية المجاورة، وتدخل وتمتد إلى العناصر الناقلة عن طريق النقر الموجودة في جدرها الخلوية. يمكن لنواة الخلية البرنشيمية أن تتحول إلى شكل فقاعي وأن تنتقل إلى الأوعية الناقلة. ولكن أحياناً، تنقسم مثل هذه النواة في الخلية البرنشيمية إلى نواتين، تهاجر إحداهما إلى الوعاء

الناقل. تنقسم النواة المهاجرة من جديد وتظهر بين هذه النوى المنقسمة حواجز خلوية. يتشكل، بالنتيجة، نسيج برنشيمي زائف، يغلق الوعاء. تسمى عملية تشكل الخلايا البرنشيمية، كما سبق، ثم انسداد جوف الأوعية بـ Tilloformation .

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

تختلف مدة النشاط الوظيفي للأوعية الناقلة حسب النوع النباتي، وتتراوح عادةً، من ثلاث سنوات أو أربع حتى الأربعين أو الخمسين سنة. تملك هذه التشكيلات الفقاعية البرنشيمية أهمية حيوية كبيرة في النبات، إذ تعزز وتقوي الوظيفة الاستنادية للعناصر الناقلة في الجزء المركزي من جذوع الأشجار



شكل ٨-٢٢: تشكيلات برنشيمية في ساق الأكاسيا البيضاء
A و B مقطع عرضي في الوعاء، C مقطع طولي في الوعاء
١: تشكيلات برنشيمية، ٢: جوف الوعاء، ٣: برنشيم متخشب

اللحاء Phloem

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

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

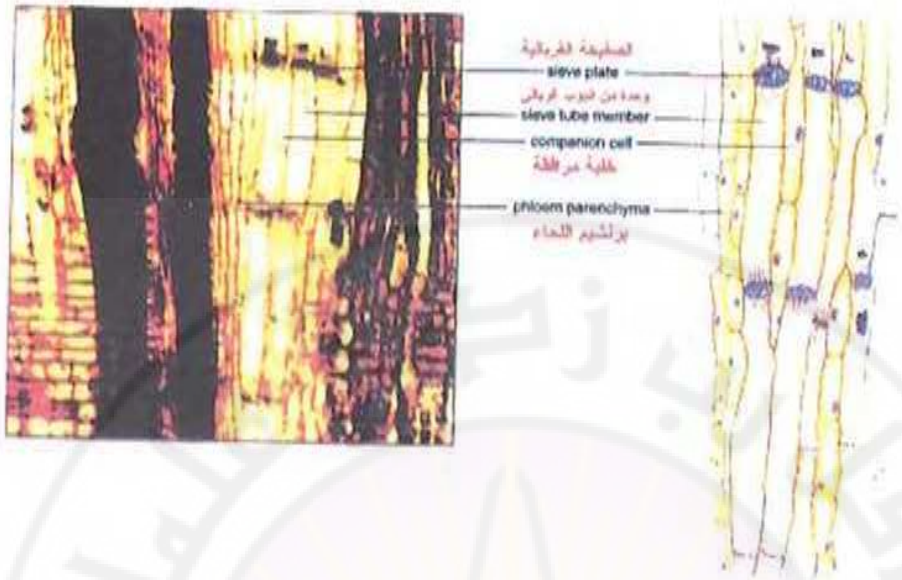
يتمايز اللحاء الأولي بدءاً من حزم البروكامبيوم في النسيج القسوم القمي. بينما يتمايز اللحاء الثانوي بدءاً من الخلايا المنفصلة عن الكامبيوم بعد نشاطه.

يقابل النسغ الخام، الذي يحمل محاليل الأملاح المعدنية إلى الأجزاء النباتية الخضراء، نسغ آخر يدعى التام، حيث يحمل المواد العضوية إلى جميع أعضاء النبات.

يتكون اللحاء من العناصر الأساسية التالية: الأنابيب الغربالية sieve-tubes والخلايا المرافقة companion cells وبرنشيم اللحاء phloem parenchyma وألياف اللحاء (شكل ٨-٢٣).

الأنابيب الغربالية

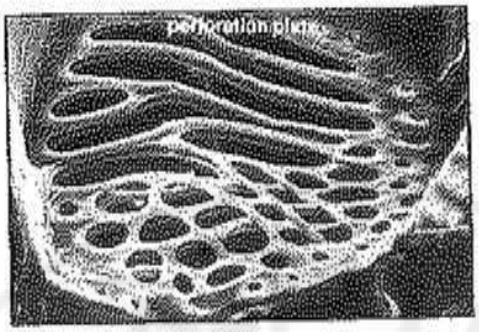
تتألف الأنبوبة الغربالية من اتحاد عدد كبير من الخلايا الغربالية sieve cells التي يتصل بعضها ببعض طولياً، حيث تشبه القصبات، ولكنها تختلف عنها بكونها خلايا حية. تقابل الخلايا الغربالية القصيبات، وتقوم بنقل النسغ التام في كثير من النباتات، كما في عريانات البذور والتريديات. تثقب الحواجز العرضية في الأنابيب الغربالية (الجدر العرضية للخلايا الغربالية) على شكل الغربال، ولذلك سميت بهذا الاسم (شكل ٨-٢٤). كما تظهر حواجز غربالية (الصفائح الغربالية)، في كثير من الحالات، على الجدر الطولية للخلايا الغربالية.



شكل ٨-٢٣: عناصر اللحاء:
مقطع طولي في ساق روبينيا الأكاسيا الزائفة Robinia pseudo-acacia

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

يُسبب النشاط الوظيفي للأنابيب الغربالية، اختلافاً مورفولوجياً كبيراً بينها وبين الخلايا الحية الأخرى. يشتمل الأنبوب الغربالي في بداية تشكله سيتوبلاسم ونواة وفجوة وجداراً خلوياً رقيقاً. يترافق النشاط الوظيفي للأنابيب الغربالية بتطاول وازدياد سماكة جدرها الخلوية قليلاً، ثم يؤدي هذا التطاول إلى تمزق هذه الجدر في مناطق النقر.



الشكل ٨-٢٤: صورة بالمجهر الالكتروني لصفيحة غربالية

يساعد انتقال محاليل المواد العضوية في الأنابيب الغربالية المتمايزة، على ظهور ثقبات في جدرها العرضية بأعداد كبيرة، وعلى تشكل الصفيحة الغربالية sieve-plate. تزداد في هذه المرحلة سماكة الجدر الطولية للأنابيب الغربالية فتعكس الضوء بشدة، وتبدو متلألئة مضيئة، ولكنها تحتفظ بطبيعتها السيللوزية.

وهكذا تتغير وضعية البروتوبلاست في الخلايا الغربالية، بعد تشكل الأنبوب الغربالي، إذ تتحد الواصلات البلاسمية Plasmodesmata التي تخترق الثقوب الغربالية في الصفيحة الغربالية، بعضها مع بعض. ثم تبدي محاليل المواد العضوية، التي تنتقل في الأنابيب الغربالية الفتية، تأثيراً قوياً في الصفات الفيزياكيميائية للسيتوبلاسم. فتتفكك النواة والصانعات عديمة اللون، وتزول الحدود الفاصلة بين الفجوة والسيتوبلاسم. ثم تدمج جميع هذه المركبات في كتلة حيوية واحدة، وتتوقف الحركة الذاتية للسيتوبلاسم، تُدعى مثل هذه الحالة غير الطبيعية للسيتوبلاسم التشوه Denaturation. وبنتيجتها تخسر السيتوبلاسم، نفاذيتها الاصطفائية، وتصبح نفوذة تماماً بالنسبة لجميع المحاليل والمواد العضوية واللاعضوية. على هذا المستوى ينتهي تشكل الأنبوب الغربالي بشكل أساسي. وعندئذٍ لا تؤثر المحاليل مرتفعة التركيز في السيتوبلاسم "المشوهة" في الأنابيب الغربالية، وبالتالي لن تتعرض لحادثة الانكماش البلاسمي Plasmolysis. تعاني الصفائح الغربالية بعد ذلك تغيراً محدوداً، فتتشكل أسطوانة من مادة سكرية خاصة هي الكالوز 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 الأنبوب الغربالي الواحد في البطاطا ١٣٨ ميكروناً، ويتراوح طولها بشكل عام ما بين ١٥٠-٣٠٠ ميكروناً، ويصل أطولها إلى ٥٥٠ ميكروناً. أما قطرها فيتراوح من ٢٠-٣٠ ميكروناً.

تختلف مدة النشاط الوظيفي للأنابيب الغربالية حسب النبات. وهي قصيرة نسبياً، فلا تتجاوز حياتها في النباتات العشبية الحولية، وفي الأجزاء الهوائية من الأعشاب المعمرة، مرحلة إعاشية واحدة. ولا يعيش الأنبوب الغربالي في كثير من الأنواع الشجرية أكثر من عامين. وقد يستمر الأنبوب الغربالي، في نشاطه، في بعض الأنواع الشجرية، من ثلاث سنوات إلى أربع سنوات. وفي هذه الحالة، ينغلق الأنبوب الغربالي بأسطوانات سكرية[2] (Callus) في الخريف، ثم يعود وينفتح في الربيع ليتابع نشاطه الوظيفي. تقوم هذه " السدادات السكرية" أحياناً، التي تُغلق ثقوب الصفيحة الغربالية، بتغطية كامل سطح الغربال. وحينئذٍ، يقوم الكالوز بقطع الواصلات السيتوبلاسمية، فاصلاً المادة الحية في الخلايا الغربالية المتجاورة بعضها عن بعض، وبالتالي سينتهي الأنبوب الغربالي إلى الموت.

الخلايا المرافقة

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

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

---

(2) يجب التمييز ما بين الكالوز Callose والكالس Callus، فالأول 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 ترسبها. كالفرق تماماً بين القشيرين Cutin والقشيرة Cuticle.

الراهنة رقياً وتقدماً. وبالمقابل، لم تُلاحظ في النباتات البوغية أو في بعض مغلفات البذور خلايا مرافقة حقيقية ومتخصصة. كما تغيب أيضاً حسب معطيات العالم I.Beily في الأنواع القديمة من مغلفات البذور، كما في *Austrobailleya maculata* .

برنشيم اللحاء

يُعد من عناصر اللحاء الأساسية، إذ تجري في خلاياه تفاعلات حيوية متنوعة. وتتجمع فيها غالباً، مواد ادخارية مختلفة، كحبات النشاء، ليبيدات، مواد عضوية متفرقة، راتنج وغيرها. تملك خلايا برنشيم اللحاء الأولي شكلاً مستطاولاً، وتتوضع بصورة موازية للأنابيب الغربالية.

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

ألياف اللحاء

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

يمكن تمثيل تطور اللحاء كما يلي: يتألف اللحاء الأولي كما رأينا، من لحاء أول ولحاء تال. ففي مرحلة النمو النشط للأعضاء النباتية طولاً، تتمايز الخلايا المنفصلة عن حيال البروكامبيوم جزئياً إلى عناصر اللحاء الأول. يتألف اللحاء الأول من خلايا ضيقة، سوف تتحول إلى أنابيب غربالية ولا تشتمل فيما بينها، عادةً، خلايا مرافقة. تخسر الأنابيب الغربالية المتشكلة نواتها سريعاً وتتوقف عن النمو والتطاول. يتمايز بعد ذلك-بعد أن ينتهي نمو العضو النباتي طولاً- اللحاء التالي. يتألف هذا اللحاء من أنابيب غربالية ذات نشاط وظيفي ملحوظ، ومن خلايا مرافقة. بعد تطور عناصر اللحاء التالي ونشاطها تزول عناصر اللحاء الأول، أو تتحول إلى ألياف استنادية، كما في ثنائيات الفلقة.

يختلف اللحاء التالي في وحيدات الفلقة عن ثنائياتها ببعض الفروق الهامة:

تضم عناصر اللحاء التالي في ثنائيات الفلقة بالإضافة إلى الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة المتطورة برنشيمياً غربالياً، يكون مفقوداً في وحيدات الفلقة.

يمكن التمييز بسهولة في وحيدات الفلقة، ما بين اللحاءين الأول والتالي، بينما في ثنائيات الفلقة لا يُلاحظ مثل هذا الانتقال الواضح. يستمر اللحاء التالي في وحيدات الفلقة بنشاطه طوال حياة النبات، وذلك لعدم وجود كامبيوم في هذه النباتات. وبالتالي لعدم تشكل لحاء ثانوي.

يتمايز اللحاء الثانوي في عريانات البذور وثنائيات الفلقة بعد نشاط الكامبيوم مباشرة، فتموت عناصر اللحاء التالي وتتحول إلى ألياف متخشبة (اسكلرنشيم). من الجدير بالذكر، أن اللحاء في عريانات البذور، لا يشتمل خلايا مرافقة ويقوم بوظيفتها كما يُعتقد، البرنشيم الغربالي. ومن جهة ثانية تكون عناصر اللحاء الأولي في هذه النباتات غير واضحة.

الحزم الناقلة - الحزم الوعائية الاستنادية Fibro-Vascular Bundles

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 الإعاشية، وفي بعض الثمار كالشمش والكرز.

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

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

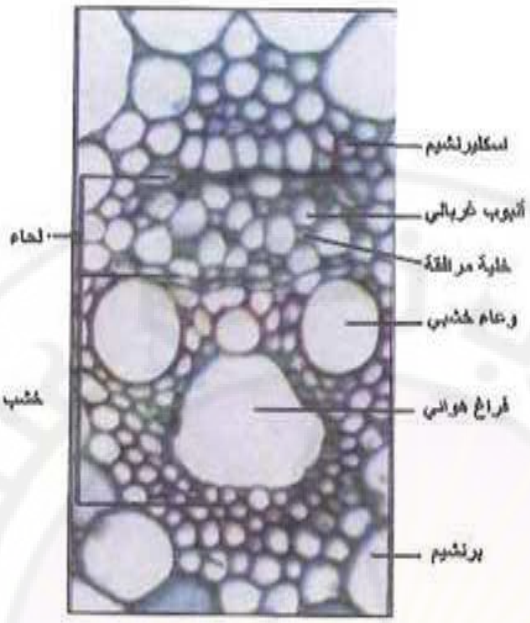
١ - الحزم المتطابقة جانبياً Collateral bundles

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

٢-الحزم المتطابقة ثنائية الجانب Bicollateral bundles

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

يفترض بأن الحزمة الناقلة ثنائية الجانب قد تشكلت بالتحام حزمتين متطابقتين وحيدتي الجانب، بوساطة حزمتيهما الخشبيتين، كما في الفصيلة القرعية والباذنجانية واللافة والركبة وغيرها. وقد يُلاحظ أحياناً، كما في بعض أنواع الفصيلة الوزية (السرمقية)، حزماً متطابقة ثنائية الجانب يشغل اللحاء مركزها، بينما يتوضع الخشب على طرفيه الداخلي الخارجي (شكل ٨-٢٦). تنتشر الحزم ثنائية الجانب بشكل محدود جداً.



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

٣-الحزم متحدة المركز Concentric bundles

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

٤-الحزم المتناوبة أو الشعاعية Radial bundles

يُصادف 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 المتناوبة بنية معقدة: فالحزم الخشبية تتناوب قطرياً مع الحزم الغربالية مشكلة أشعةً قطريةً متماثلة. تجدر الإشارة هنا، إلى أن الانتقال من البنية الابتدائية إلى البنية الثانوية في جذور النباتات ثنائية الفلقة يترافق بتحول الحزم المتناوبة إلى حزم متطابقة جانبياً (شكل ٨ – ٢٨).

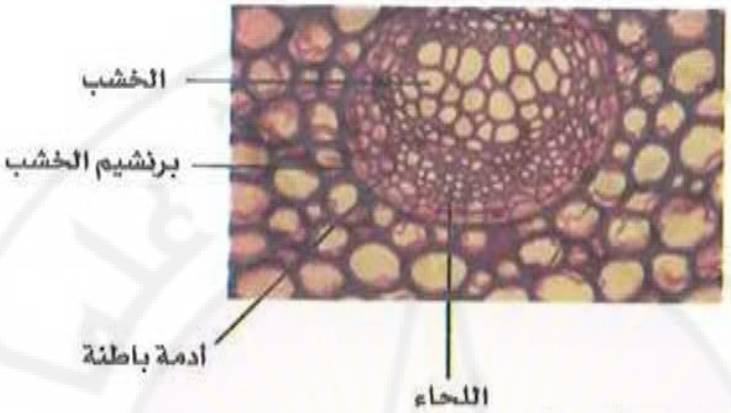


الشكل ٨-٢٦: مقطع عرضي في حزمة متطابقة ثنائية الجانب في ساق الكوسا

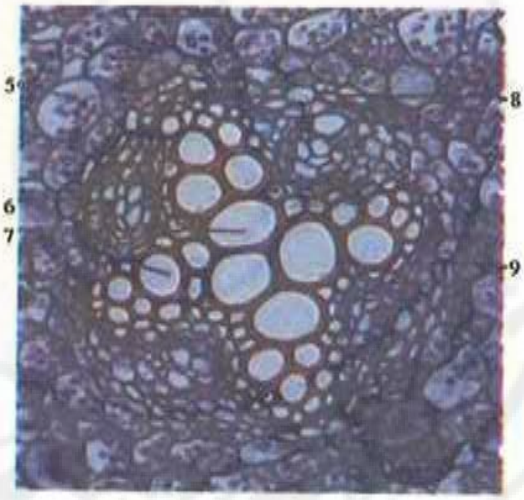
يترافق تشكل البنية الابتدائية في الجذر بظهور عدد محدد ومتساوٍ من الحزم الغربالية والحزم الخشبية. تُصادف عادةً، حزم متناوبة وحيدة، ثنائية، ثلاثية، رباعية أو عديدة، ولكن أكثرها انتشاراً هي الحزم الخماسية.

تتمايز الحزم الناقلة الأولية في النسيج القمي، بدءاً من مجموعات حبال البروكامبيوم. تتحول حزم البروكامبيوم، في النباتات وحيدة الفلقة بكاملها إلى عناصر قسومة ناقلة. إذ لا يبقى منها خلايا قسومة نشطة وظيفياً. وبالتالي لا يلاحظ فيها بعد ذلك، ظهور تشكيلات نسيجية جديدة ثانوية. تدعى مثل هذه الحزم المغلقة (شكل ٨-٢٥). تكون الحزم

المغلقة، عادةً، من نمط الحزم المتطابقة جانبياً. وقد لوحظت حزم مغلقة متطابقة ثنائية الجانب، في بعض أنواع الفصيلة الوزية (السرمقية).



الشكل ٨-٢٧: حزمة ناقلة مركزية



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

أما في النباتات ثنائية الفلقة، فيحتفظ شريط من خلايا البروكامبيوم، ما بين الخشب واللحاء، بصفته القسومة، تتابع خلايا البروكامبيوم، بعد التشكل 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، ونادراً ما تكون متطابقة ثنائية الجانب. تنتشر الحزم المتطابقة المفتوحة في النباتات عريانة البذور وثنائية الفلقة. يتمايز في هذه الحزم ما بين الخشب واللحاء الأوليين: نسيج قسوم ثانوي يدعى الكامبيوم الحزمي. تتصل أقواس الكامبيوم الحزمي، في الحزم المتجاورة بعضها مع بعض، بوساطة الكامبيوم بين الحزم وتشكل اسطوانة مستمرة من الكامبيوم الوعائي.

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

الأوعية اللبنية Laticiferous vessels

تشتمل الأعضاء الإعاشية أو التكاثرية في بعض النباتات، على سائل أبيض اللون، يشبه اللبن أو الحليب، يدعى اللبن النباتي Latex. تتجمع العصارة اللبنية في خلايا ضخمة متفرعة، أو في مجموعة من الخلايا المتحدة بعضها مع بعض حسب المحور الطولي للنبات.

يُعد اللبن النباتي، العصارة الخلوية للأوعية أو للخلايا اللبنية. تنتشر الأوعية اللبنية، عادةً، بين الخلايا البرنشيمية في أعضاء النبات المختلفة، مشكلة شبكة معقدة متداخلة. وتتصف الأوعية اللبنية بجدرها الخلوية الرقيقة، إلا أنها قد تكون أحياناً سميكة كما في جنس الايفورب Euphorbia. ومع ذلك تحافظ على ليونتها ومرونتها، ويُلاحظ عليها عدد قليل من النقر. تتميز هذه الأوعية أيضاً بسيتوبلاسم دائمة تضم عدداً كبيراً من النوى مع صانعات عديمة اللون.

من الصعب تمييز الحدود الفاصلة ما بين العصارة اللبنية والسيتوبلاسم، فتبدوان كأنهما كتلة حيوية واحدة. يعد التركيب الكيميائي لهذه العصارة معقداً ومتنوعاً. فاللبن النباتي مستحلب Emulsion (نسبة الماء فيه من ٥٠ إلى ٨٢٪) لكثير من المواد الادخارية أو لنواتج التفاعلات الاستقلابية. ويشتمل عادةً، على سكاكر، حبات نشوية، حبات بروتينية،

فيتامينات، قلويدات متنوعة، صموغ متنوعة راتنج وغير ذلك. تأخذ حبات النشاء في اللبن النباتي شكلاً مميزاً، يشبه شكل عظام الفخذ. ويُعتبر الكاوتشوك والمطاط من المواد الثمينة التي توجد في هذه العصارة أيضاً في حالة غروية معلقة.

يعطي اللبن النباتي بعض النباتات أهمية صناعية أو زراعية خاصة. فيمكن استخدام النباتات اللبنية الغنية بالسكاكر والنشاء والبروتينات أعلافاً جيدة للمواشي. وتستخدم تلك التي تشتمل القلويدات والغليكوزيدات كمصدر للمورفين والبابافيرين والبانتوبان وغيرها. كما تستعمل بعض النباتات الاستوائية اللبنية في عمليات التخدير، وتمنع بعض النباتات اللبنية السامة، الحيوانات العشبية من القضاء 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 للكاوتشوك في الأسواق العالمية. تنتمي معظم النباتات الغنية بالكاوتشوك إلى النباتات اللبنية، والى الفصيلة المركبة. كما تعد بعض أنواع الفصيلة التوتية Moraceae نباتات كاوتشوكية هامة، وخاصة من جنس التين *Ficus* ومنه شجرة التين المطاطي *Ficus elastica* والتين الشائع *Ficus carica*. ينتمي الكاوتشوك، من حيث التركيب الكيميائي، إلى السكاكر المعقدة.

تنبع أهمية الأوعية اللبنية إذن، من عصارتها اللبنية، التي تشتمل كثير من المركبات الكيميائية ذات الفائدة الاقتصادية الكبيرة.

يميل بعض المؤلفين إلى تصنيف الأوعية اللبنية مع مجموعة النسج الناقلة، 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 نسيجية، في جميع النباتات الراقية.

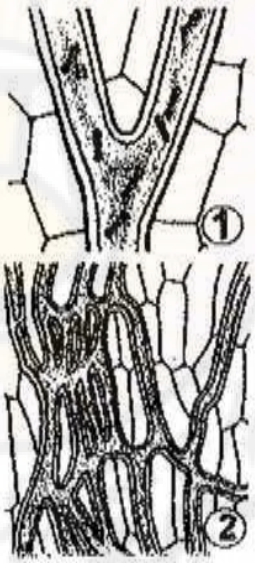
يعتقد حالياً، أن البنية المورفولوجية والوظيفة الفيزيولوجية للأوعية اللبنية في بعض

النباتات، وفقدانها في كثير من النباتات الراقية الأخرى، تضعها في مكانة خاصة. فتشكل بالنسبة لمجموعة محدودة من النباتات، أوعية إضافية لادخار مختلف المواد ونقلها إلى جميع أعضاء النبات.

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

تشتق الأوعية اللبنية البسيطة بدءاً من خلية نباتية واحدة. تنمو هذه الخلية وتتطور بصورة موازية لنمو الجذر والساق. مخترقةً كامل العضوية النباتية ورابطة أعضاءها بعضها ببعض، كمشيجة الفطر تماماً. لا تملك هذه الأوعية حواجز عرضية. يوجد أحياناً، في النبات الواحد، عدد من هذه الخلايا الضخمة العملاقة. تنمو الأوعية اللبنية البسيطة، خاصة في النباتات اللبنية كما في الايفورب.

١: أوعية لبنية بسيطة لدى الايفورب Euphorbia splendens
٢: أوعية لبنية مركبة
لدى الطرخشقون Taraxacum officinale



الشكل ٨-٢٩: الأوعية اللبنية

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

الأوعية اللصبات تماماً، وتنتشر بصورة واسعة في الفصيلة المركبة والخشخاشية وفي بعض جرسيات الأزهار وفي جنس الخس *Lactuca* خاصةً.

يكون اللبن النباتي أبيض اللون، وأحياناً، أصفر أو برتقالياً أو عديم اللون. ويكون في كثير من الخشخاشيات، وخاصة في جنس الخشخاش *Papaver* بلون أصفر، ثم يأخذ في الهواء لوناً أسمر داكناً (بسبب 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 الخلوية. غالباً ما تشكل هذه المركبات الحاصلات النهائية لاستقلاب المواد. لا تُستخدم عادةً، 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، مشكلةً نسيجاً مفرزاً أو غدة Gland. قد تتألف الغدة، في بعض الحالات، من خلية مفرزة واحدة.

تقسم مختلف البنيات أو النسج المفرزة إلى مجموعتين كبيرتين:

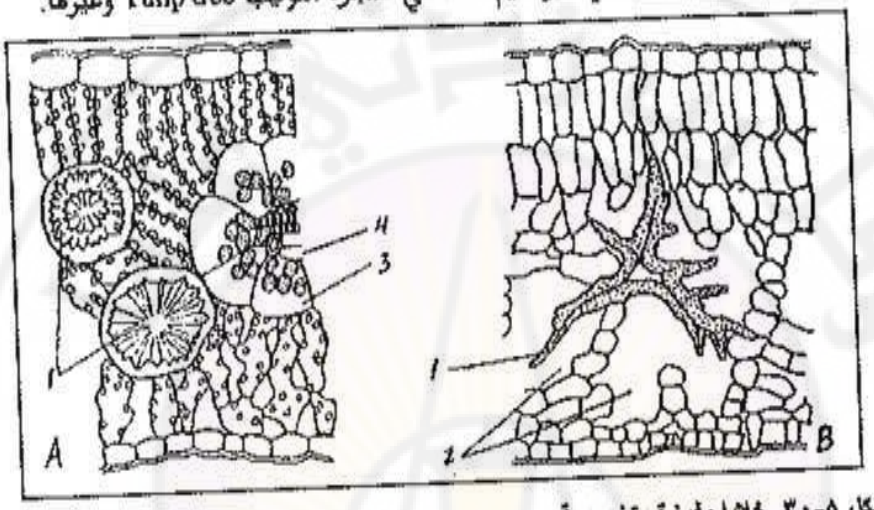
أولاً- نسج داخلية للإفراز: وهي التي يتم فيها إفراز المواد إلى داخل الخلايا المفرزة. ومثالها الأوعية اللبنية، والخلايا المفرزة المتخصصة Idioblasts والجيوب والقنوات المفرزة.

ثانياً- نسج خارجية الإفراز: وهي التي يتم فيها طرح المواد إلى خارج الخلايا المفرزة. ومثالها الأوبار الغدية المتنوعة، والغدد الرحيقية والهاضمة والسمام المائية، تتوضع هذه الغدد على السطح الخارجي للنبات. تعد الزيوت الطيارة والرحيق والماء من أهم مفرزات التشكيلات خارجية الإفراز.

النسج داخلية الإفراز

آ: الخلايا المفرزة المتخصصة **Idioblasts:** تشتمل غالباً، على بللورات لأملاح حمض

الحماض أو غيره من الحموض. وتأخذ شكل حزم بلورية إبرية Raphides. تنتشر هذه الأملاح المتبلورة، بصورة واسعة، في النباتات العصيرية أو اللحمية. وقد تأخذ المواد المتبلورة شكل عنقود Cystolith، مشبع بحمات الكالسيوم أو بالسيليس (شكل ٨-٣٠). تنمو الخلايا المفرزة للزيوت الطيارة جيداً في البرنشيم الأساسي لشجرة التوليب Tulip tree وغيرها.



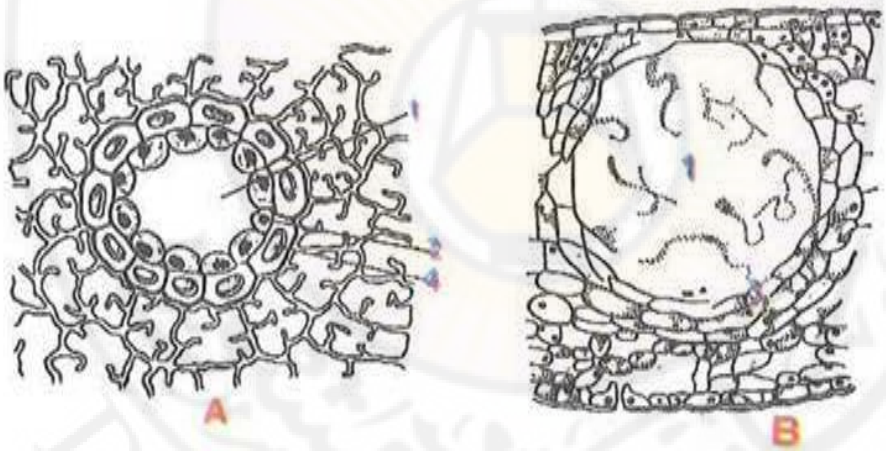
الشكل ٨-٣٠. خلايا مفرزة متخصصة:
A: خلية من النسيج المتوسط لورقة المنتش المطاطي Amaranthus retroflexus
B: خلية إسكلوريدية في ورقة جنس Trochodendron
١: إيدوبلاست، ٢: صماغ خلوي، ٣: خلايا محيطة بالحزمة، ٤: حزمة دقيقة

ب: الجيوب والقنوات المفرزة: غدد داخلية الإفراز، تتمايز بإحدى طريقتين، واستناداً إلى ذلك يميزون ما بين:

I-القنوات المفرزة-انفصالية المنشأ Schizogenous: وتتشكل في النسج الفتية، بعد اتساع الأصمخة الخلوية، وتراجع الخلايا المحيطة بها إلى الوراء بسبب تراكم المفرزات المتنوعة في هذه الفراغات. وقد تتمايز القنوات المفرزة أحياناً، بدءاً من خلية جنينية واحدة، تنقسم أولاً إلى خليتين، ثم إلى أربع. وبعدئذٍ يتشكل فيما بينها صماغ خلوي، تتراكم فيه المفرزات بصورة تدريجية. تتألف الخلايا المحيطة بهذه الأصمخة، بصورة عامة من طبقة خلوية واحدة تسمى الخلايا المُبطِّنة Epithelial cells. وهي خلايا حية ذات نوى ضخمة وسيتوبلاسم كثيفة

حبيبية (شكل ٨-٣١). تؤدي زيادة كمية المفرزات التي تطرحها الخلايا المبطنة في الصماخ الخلوي، إلى اتصال الأصمخة الخلوية بعضها مع بعض، وتشكيل شبكة معقدة، شاقولية وعرضية، من القنوات canals المفرزة، التي تخترق أعضاء النبات وخاصة الساق. تُحاط لمعة القناة بطبقة واحدة من الخلايا المفرزة المبطنة السابقة. تُلاحظ القنوات المفرز الانفصالية في كثير من المجموعات النباتية، ابتداء من الطحالب حتى مغلفات البذور. وتنتشر، بصورة واسعة في الصنوبريات من عريانات البذور.

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



الشكل ٨-٣١. القنوات المفرزة:
A: قناة مفرزة انفصالية المنشأ في جنس الصنوبر Pinus
B: جيب مفرز انحلالي المنشأ في القشرة الخارجية لثمرة اليوسف الندي Citrus unschin .
١: لمعة القناة، ٢: خلايا مبطنة، ٣: خلايا مشكلة لجدار الجيب المفرز، ٤: خلايا دعامية محيطة بالقناة.

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

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

توجد ما بين الغدد المفرزة الداخلية، الانفصالية والانحلالية، جميع الأشكال الانتقالية. فقد تتشكل الغدد المفرزة الداخلية بالطريقة الانفصالية والانحلالية في الوقت نفسه.

وبصورة عامة، لا تختلف الغدد الداخلية بعضها عن بعض بطريقة تشكلها فقط، وإنما بالتركيب الكيميائي لمفرزاتها، وخاصة تركيب الزيوت الطيارة.

النسج خارجية الإفراز

تتصف النباتات المفرزة الخارجية، بأصل عام مشترك. فتتمايز 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

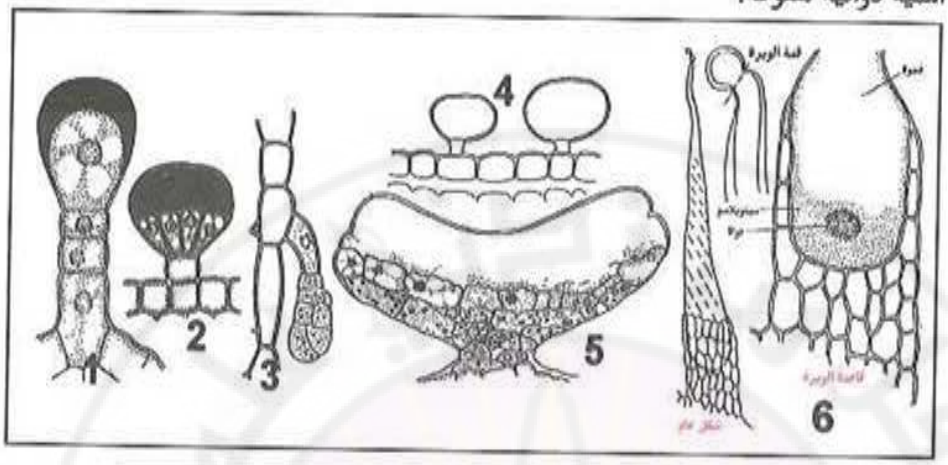
تشكيلات خاصة بالبشرة. تختلف عن الجيوب والقنوات المفرزة، بكونها ليست مخزناً للراتنج والزيوت الطيارة وغيرها فقط، وإنما تعد جهازاً مفرزاً نشطاً. فتستطيع أن تفرز من العضوية النباتية إلى الوسط الخارجي مواد كيميائية متنوعة، في الحالة الغازية أو السائلة أو الصلبة، ولذلك يمكن تسميتها حقاً الأوبار المفرزة (شكل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

تختلف بنيتها كثيراً حسب الأنواع النباتية، ولكنها تحتفظ 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 القراص (شكل ٨-٣٢).

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

أهمية دوائية متنوعة.



الشكل ٨-٣٢. أوبار غدية في أوراق:
١: اللقلق مخطط الورق Pelargonium zonale، ٢: إكليل الجبل Rosmarinus، ٣: البطاطا، ٤: الوزي الأبيض Chenopodium album، ٥: الرويباس الأسود Ribes nigrum، ٦: القراص ثنائي المسكن Urtica dioica.

٢- الغدد الهاضمة Digestive glands

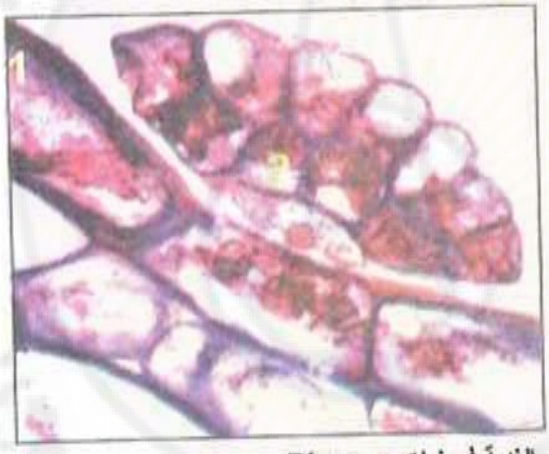
هي أوبار غدية، تُشاهد في النباتات اللاحمة (آكلة الحشرات). تأخذ عادةً بنية أكثر تعقيداً من الأوبار الأخرى، وخاصة في نبات الندية مستديرة الورق *Drosera rotundifolia*، وتفرز مواد لزجة وهاضمة للحشرة كالبيبسين والتريبسين. تفرز الأوبار الغدية في جنسي الديونية *Dionaea* والـ *Pinguicula* أنزيمات هاضمة عند ملامستها للحشرة (شكل ٨-٣٣). ومن الجدير بالذكر، أن بعض النباتات آكلة الحشرات تملك جهازاً محكماً لصيد الفريسة وهضمها بوساطة أنزيمات خاصة، تفرزها خلايا البشرة أو تحت البشرة للورقة.

٣- الغدد الرحيقية Nectaries

غدد متخصصة في إفراز الرحيق. تُصنف حسب مكان تشكلها إلى: غدد رحيقية زهرية تنتشر على الأزهار، وغدد رحيقية لا زهرية تنتشر على الأعضاء الإعاشية. يشتمل كل نموذج من الغدد السابقة سلسلة كاملة من أشكال أخرى أكثر تعقيداً. وهكذا تنتشر الغدد الرحيقية الزهرية في ثنائيات الفلقة في قاعدة الأسدية (القرنفل) أو في قاعدة المدقة. على شكل حلقة

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

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



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

٤- المسام المائية Hydrathodes

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

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

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

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



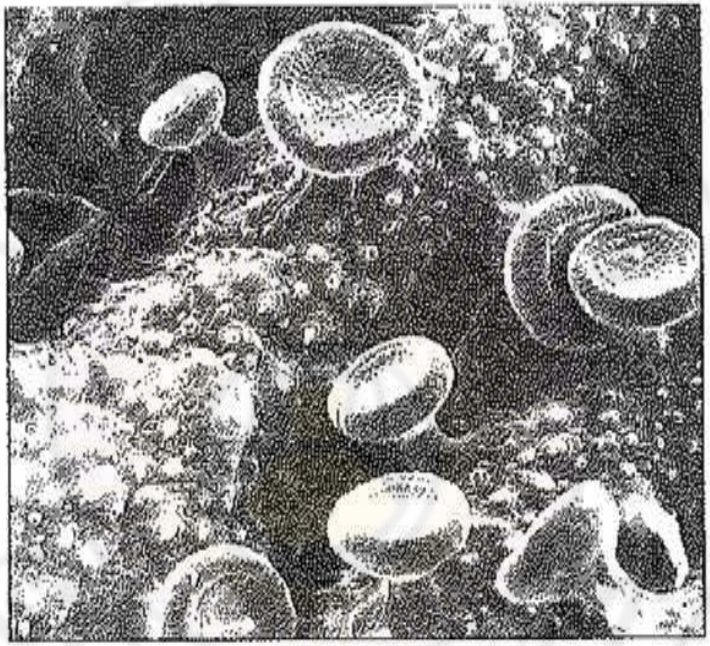
الشكل ٨-٣٤. ظاهرة الإدماع:
A: مقطع طولي في سم مائي في قمة ورقة البريمولا السينية Primula sinensis
B: نقاط من الماء على حافة أوراق الفريز سببها ظاهرة الإدماع.

٥- الغدد العطرية Osmophores

هي بنيات متخصصة في تركيب وإفراز الزيوت الطيارة. تتمايز الغدد العطرية اعتبارا من خلايا بشرة الكأس أو التويج. تفرز هذه الغدد أريجاً مطابقاً لنوع الزهرة، خلال فترة قصيرة من الزمن. يجذب عبيق الأزهار، الحشرات إليها لتساعدها في عملية التأبير.

تتمايز الغدد العطرية جيداً في النباتات ذات الإزهار الطويل. فتقوم بتركيب المواد

العطرية وإفرازها، وتأخذ أشكالاً متنوعة: أجنحة أو أوباراً أو أهداباً مخملية (شكل ٨-٣٥). يتألف النسيج المفرز فيها من عدة طبقات خلوية.



الشكل ٨-٣٥. أوبار غدية لها شكل مسمار صغير على سطح قنابات الزهرة لنبات tarweed
المصورة بالمجهر الالكتروني الماسح x200

الباب الثالث

علم الأعضاء النباتية

Organography

Damascus University


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل التاسع

تعضي الجهاز الإعاشي في البذريات

يمكن تصنيف الكائنات النباتية استناداً إلى شكل وبنية أعضائها الإعاشية إلى مجموعتين كبيرتين:

١- النباتات الدنيا.

٢- النباتات الراقية.

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

وتتميز النباتات الراقية، بجهاز إعاشي متمايز إلى أعضاء Organs. يتألف العضو النباتي 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 والوسط المغذي وغير ذلك.

تتألف عضوية النباتات الراقية من عضوين إعاشيين أساسيين هما: الفارع (الساق والأوراق والبراعم) والجذر (شكل ٩-١).

من المفيد أولاً الإشارة إلى بعض القواعد العامة عن البنية المورفولوجية للأعضاء. فالتناظر Symmetry من أهم هذه القواعد. إذ توجد أعضاء غير متناظرة، وأعضاء وحيدة التناظر، وأخرى عديدة التناظر. فلا يمكن تجزئة الأعضاء غير المتناظرة Asymmetric إلى قسمين متشابهين ومتناظرين بمستوى طولي (عمودي) إطلاقاً، كما هو الحال في ورقة الألم *Ulmus laevis*. بينما يمكن تجزئة الأعضاء وحيدة التناظر (ذات تناظر جانبي) Monosymmetric بمستوى واحد إلى قسمين متناظرين، وهذا شأن معظم الأوراق و بعض

الأزهار كما في جنس البازلاء *Pisum* والفاصولياء *Phaseolus* وغيرهما. وأخيراً يمكن تجزئة الأعضاء عديدة التناظر (ذات تناظر شعاعي) Polysymmetric، بأكثر من مستوى تناظري، كالسوق العامة، والجذور اللحمية وكثير من الأزهار كما في جنس الحوذان *Ranunculus* والورد *Rosa* وغيرهما.

تعد القطبية Polarity ثاني هذه القواعد المورفولوجية العامة للأعضاء الإعاشية. وتعني تمايز العضوية النباتية أو العضو النباتي إلى جزأين: قمي 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 القمي. يختلف القطبان السابقان الواحد عن الآخر من الناحية الفيزيولوجية أيضاً. يتجلى هذا التباين الفيزيولوجي بين القطبين خاصة الانجذاب Tropism.

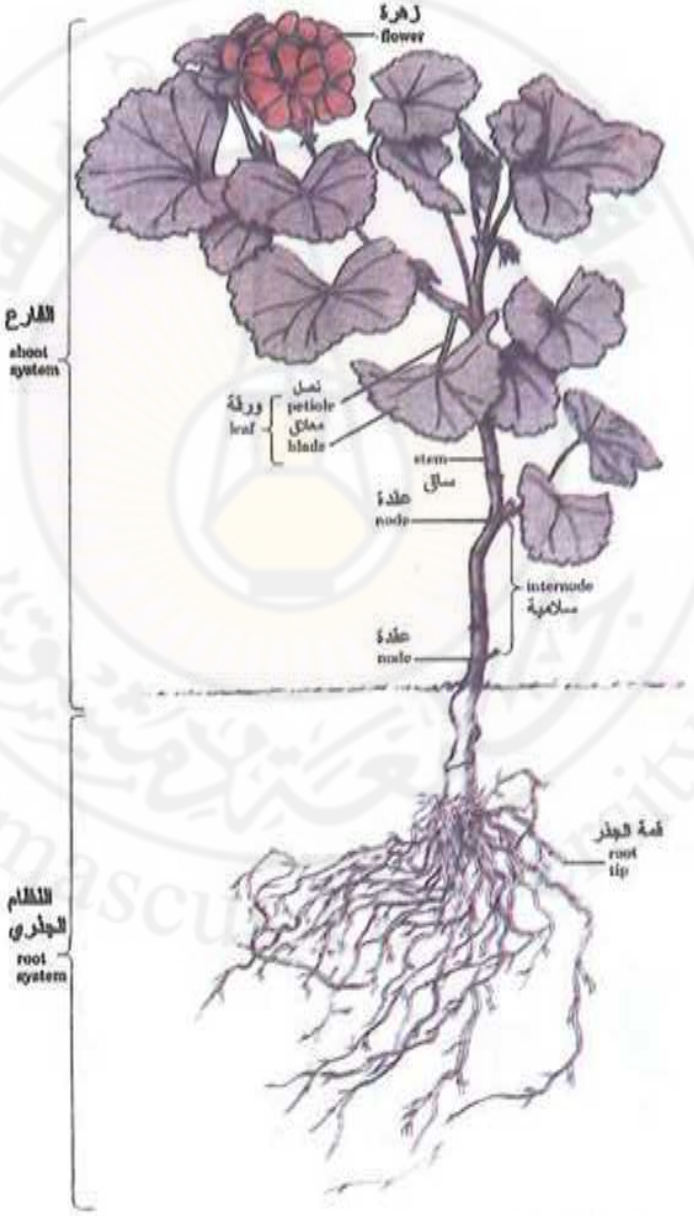
يتميز الساق (القطب القمي) بانجذاب ضوئي موجب Positive Phototropism، أي أنه ينمو باتجاه الضوء. وبانجذاب أرضي سالب Negative geotropism، أي أنه يتأثر سلباً بالجاذبية الأرضية. أما الجذر فهو على العكس تماماً: يتميز بانجذاب ضوئي سالب وانجذاب أرضي موجب.

وأخيراً، يلاحظ تمايز الأعضاء الإعاشية الأساسية في البذريات، سواء ما كان منها تحت سطح التربة (الجذر) أو فوق سطحها (الفارع) في البذرة. وبالتالي يمكن دراسة تطورها عند إنتاش البذرة وتشكل البادرة.

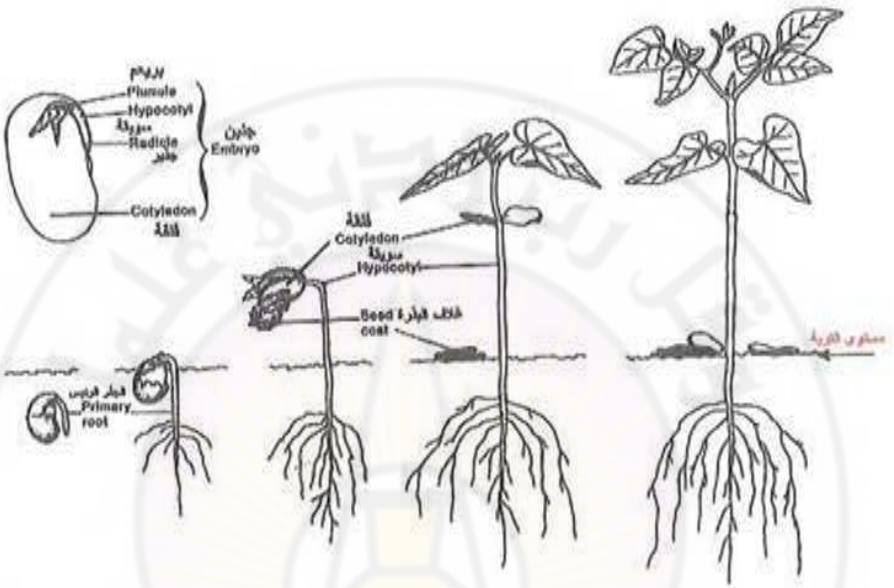
البادرة Seedling plantlet

تبدأ البذرة بالانتاش عندما تتوافر لها الشروط الملائمة من حرارة ورطوبة وهواء (شكل ٩-٢ و ٩-٣). ينمو الجذير في البدء غالباً، متحولاً إلى الجذر الرئيسي، كما في الفاصولياء العادية *Phaseolus vulgaris*. وقد يزول الجذر الرئيسي مباشرة ويموت، وتتشكل مكانه جذور عارضة Adventitious roots كما في جنس القمح *Triticum*. تعمل الجذور العارضة

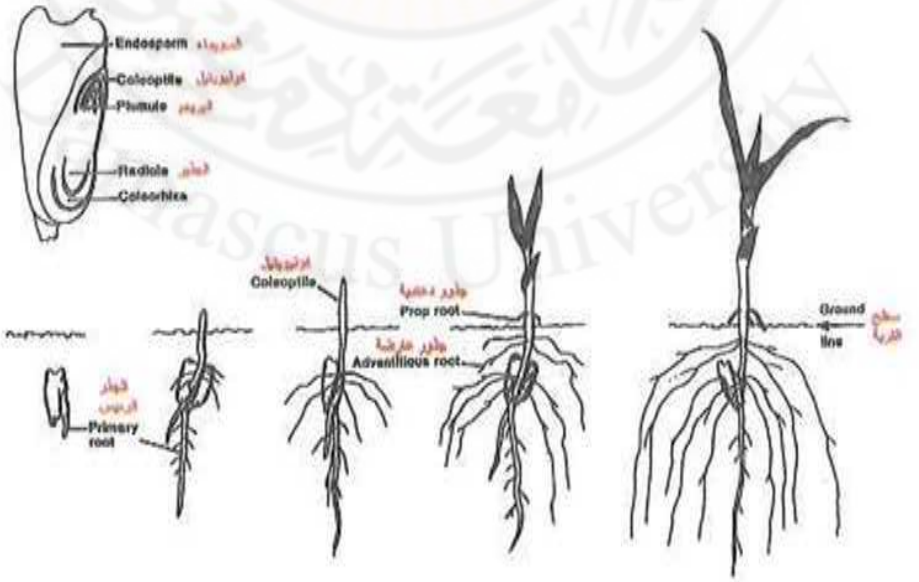
على تثبيت البادرة في التربة بشكل أفضل، كما تقوم بامتصاص الماء والأملاح المنحلة فيه.



الشكل ٩-١: أعضاء النبات الرئيسية



الشكل ٩-٢: إنتاش البذور لدى الفاصولياء من ثنائيات الفلقة



في المرحلة التالية، وعند معظم البذريات، تنحني السويقة وتتقوس، ثم تبرز نحو الأعلى مخترقةً طبقات التربة، وبهذه الطريقة يُحفظ البريعم من التلف.

بعد ذلك، ترتفع الفلقتان في بادرات بعض النباتات، كما في زهر الشمس الحولي *Helianthus annuus* والفاصولياء، فوق سطح التربة. ثم تكتسبان لوناً أخضر، وتقومان بوظيفة الاصطناع الضوئي. تدعى الفلقتان حينئذٍ **الورقتين القبليتين**، وتتميزان بالشكل والحجم عن الأوراق الأخرى، (هناك ورقة قبلية واحدة عند أحاديات الفلقة). فالسويقة محور يمتد اعتباراً من الفلقتين حتى العنبق الجذري، وتسمى أحياناً المحور تحت الفلقي، ويقابل المحور فوق الفلقي الذي يمتد من الفلقتين وحتى الورقة الحقيقية 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.

استنادا إلى ما تقدم يميزون شكلين أساسيين لإنتاش البذور:

(أ) الإنتاش الهوائي: تتطاول السويقة، فترتفع الفلقتان إلى السطح العلوي للتربة (الفاصولياء).

(ب) الإنتاش الأرضي: لا تتطاول السويقة، فتبقى الفلقتان داخل التربة (البازلاء).

أما في النجيليات، فتبقى الفلقة الوحيدة داخل البذرة عند إنتاشها، بينما ينمو غمد البريعم (الكوليوبتيل) Coleoptile شاقاً طريقه خلال جزيئات التربة وحامياً البريعم من التلف. وفي هذه الحالة تتشكل أول ورقة حقيقية تنبثق إلى الخارج بعد تمزق الكوليوبتيل، بدءاً من الفلقة بصورة جزئية.

الجذر The root

غالباً ما يأخذ الجذر شكل عضو محوري ترابي. تنمو قمة الجذر النهائية (مخروط النمو) نحو الأسفل. والجذر لا يشكل أوراقاً، ولا يحمل، كالساق، براعم متنوعة ومتخصصة، ولا يشتمل نمواً بينياً intercalary growth (راجع الميرستيم البيني). كما أن النسيج القسوم

القمي في الجذر، ليس في الحقيقة قمياً، طالما يكون محاطاً بالقلنسوة.

يتشكل الجذر والساق في البذريات، في وقت واحد تقريباً، وهما يشكلان منذ المرحلة الجنينية محوراً واحداً متكاملاً من حيث البنية.

تتشكل الجذور في المجموعات النباتية المختلفة بطرائق متباينة. فتتمايز في عريانات البذور ومعظم النباتات ثنائية الفلقة، بشكل أساسي اعتباراً من الجذير Radicle. يتصف الجذير بنشاط انقسامي مرتفع، مؤدياً إلى تشكل الجذر الرئيسي (جذر أولي 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 ٩-٤). تتشكل في المجموعات النباتية السابقة أيضاً، كما في الشعير والقمح، جذور خاصة، تنمو بدءاً من بداءات جنينية في البذرة، تسمى الجذور البذرية Seminal roots يبلغ عددها في القمح والشعير من (٥-٦) جذور فقط. تتمتع معرفة أصل الجذور المختلفة، الرئيسية والعارضة، بأهمية خاصة.



الشكل ٩-٤: الجذور الدعامية (العارضة) في الأفوغادو.

وظائف الجذر:

يقوم الجذر بوظائف فيزيولوجية وميكانيكية متنوعة أهمها:

١- امتصاص الماء والأملاح المعدنية، ونسبياً المواد العضوية، من التربة إلى الساق فالأوراق. تعد هذه الوظيفة من أهم وظائف الجذر، وتقوم بها الأجزاء الفتية منه، إذ تحتفظ ببنية ابتدائية وتحمل أوباراً ماصة.

٢- تثبيت النبات في بيئته. تقوم بعض الجذور بهذه المهمة بصورة جيدة، كالمرساة تماماً. فنادراً ما تستطيع الرياح والعواصف انتزاع النبات من تربته. تتمتع الجذور بمتانة كبيرة ضد الكسر والتمزق وكمثال على ذلك: تبلغ القوة الواجب بذلها من أجل قطع نبتة ذرة مايسية *Zea mays* رباعية الأشهر، ما ينوف على ١٣٠ كغ.

٣- اصطناع بعض المواد العضوية. فلقد كشفت أبحاث (De-Rope و Sabinin و Tumanava)، القدرة النوعية للجذر في تشكيل بعض المواد العضوية، التي لا يمكن أن يصنعها غيره من الأعضاء.

٤- إيجاد صلة بين النبات والعضويات النامية في التربة. فبفضل مفرزات الجذر الخاصة، يتم التعايش مع الفطور وبكتريا التربة، التي يكون لنشاطها أهمية كبيرة في تغذية النبات.

٥- ادخار المواد الغذائية. يتحور الجذر أحياناً إلى عضو ادخاري، كما في جنس الفجل *Raphanus* والجزر *Daucus* وغيرهما.

٦- التكاثر الإعاشي.

أما من حيث العمق الذي يمكن أن تصل إليه الجملة الجذرية، ومقدار انتشارها، فيمكن التمييز بين جملة جذرية علوية (جذور عارضة غالباً)، وجملة جذرية عميقة، قد تبلغ المياه الجوفية، وهكذا يمتد المجموع الجذري للقمح والشوفان من (١-١,٥م) عمقاً، والذرة من

المحصول السابق. ومن المهم الإشارة هنا، إلى وظيفة خاصة ومتميزة للجذور، وهي المساهمة 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 نباتية: كالساق والأوراق والدرنات والبصلات، 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.

يسمى 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 تُصادف أحياناً، جذورٌ غريبة جداً، بحيث يصعب وضعها ضمن تصنيف معروف. من أهم أشكال الجذور: الليفية، الشريطية، المخروطية، المنزلية.

واستناداً إلى البيئة الغذائية التي تنمو فيها الجذور وتمتص منها الماء والمواد 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 الهوائية: تتلامس

وظائف الجذر:

يقوم الجذر بوظائف فيزيولوجية وميكانيكية متنوعة أهمها:

١- امتصاص الماء والأملاح المعدنية، ونسبياً المواد العضوية، من التربة إلى الساق فالأوراق. تعد هذه الوظيفة من أهم وظائف الجذر، وتقوم بها الأجزاء الفتية منه، إذ تحتفظ ببنية ابتدائية وتحمل أوباراً ماصة.

٢- تثبيت النبات في بيئته. تقوم بعض الجذور بهذه المهمة بصورة جيدة، كالرساة تماماً. فنادراً ما تستطيع الرياح والعواصف انتزاع النبات من تربته. تتمتع الجذور بمتانة كبيرة ضد الكسر والتمزق وكمثال على ذلك: تبلغ القوة الواجب بذلها من أجل قطع نبتة ذرة مايسة *Zea mays* رباعية الأشهر، ما ينوف على ١٣٠ كغ.

٣- اصطناع بعض المواد العضوية. فلقد كشفت أبحاث (De-Rope و Sabinin و Tumanava)، القدرة النوعية للجذر في تشكيل بعض المواد العضوية، التي لا يمكن أن يصنعها غيره من الأعضاء.

٤- إيجاد صلة بين النبات والعضويات النامية في التربة. فبفضل مفرزات الجذر الخاصة، يتم التعايش مع الفطور وبكتريا التربة، التي يكون لنشاطها أهمية كبيرة في تغذية النبات.

٥- ادخار المواد الغذائية. يتحور الجذر أحياناً إلى عضو ادخاري، كما في جنس الفجل

المحصول السابق. ومن المهم الإشارة هنا، إلى وظيفة خاصة ومتميزة للجذور، وهي المساهمة 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 نباتية: كالساق والأوراق والدرنات والبصلات، 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.

يسمى 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 تُصادف أحياناً، جذورٌ غريبة جداً، بحيث يصعب وضعها ضمن تصنيف معروف. من أهم أشكال الجذور: الليفية، الشريطية، المخروطية، المغزلية.

واستناداً إلى البيئة الغذائية التي تنمو فيها الجذور وتمتص منها الماء والمواد المعدنية،

تظهـر على الفوارع الهوائية وتنمو نحو الأسفل (شكل ٩–٥). تقوم هذه الجذور بامتصاص الهواء وبخار الماء من الجو عن طريق طبقة خلوية سطحية ذات قوام إسفنجي.



الشكل ٩-٥: الجذور الهوائية لدى أحد أنواع الأوركيد.

٤– الجـذور المصية (المصات Haustoria): وهي جذور عارضة، تنتشر في النباتات الطفيلية، كما في جنس الحامول *Cuscuta* والدبق الأبيض *Viscum album* (شكل ٩–٦).





خاصة من الجذور، تعرف باسم الجذور المتقلصة Contractile roots التي تنتشر في النباتات ذات الأبصال أو الكورمات Corms كما في جنس الزعفران *Crocus*. وهي جذور عارضة، تنشأ من قاعدة الساق وتتقلص جاذبة النبات إلى الأسفل، لتضعه في مستوى ملائم من التربة لحمايته.

تصنيف المجاميع الجذرية

للمجاميع الجذرية ثلاثة أشكال أساسية: وتدية، ليفية، مختلطة.

١-المجموع الجذري الوتدي Tap root system: وينشأ 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 عريانات البذور (شكل ٩-٧).



أو ينمو بصورة ضعيفة. إذ لا يمكن تمييزه عن كتلة الجذور العارضة الدقيقة. تشكل الجذور العارضة، بتفرعها، جذوراً جانبية- ثانوية، ثالثية...الخ. ينتشر هذا النمط في وحيدات الفلقة، كما في النجيليات وغيرها. ونادراً ما يشاهد في ثنائيات الفلقة كما في جنس الحوذان *Ranunculus*. تكون الجذور العارضة في وحيدات الفلقة متجانسة ومتشابهة، نظراً لأنها لا تشتمل بنية ثانوية.

٣-المجموع الجذري المختلط: ويتشكل بنتيجة نمو المجموعين الجذريين السابقين بالوقت نفسه، كما هو الحال في كثير من النباتات العشبية ثنائية الفلقة مثل الفريز الحرجي *Fragaria vesca*.

تتعلق أبعاد المجموع الجذري بالشكل الحياتي للنبات (شجرياً، شجيرياً، عشبياً) وبالشروط الخارجية. فالمجموع الجذري، عند النباتات المائية، يكون ضعيف النمو. وعلى العكس، يكون عند نباتات الأراضي القاحلة ضخماً جباراً.

البنية المجهرية للجذر

تتصف الجذور بمختلف أشكالها، رئيسة أو عارضة أو جانبية، ببنية داخلية متشابهة. يبين القطع الطولي للجذر، وجود عدة مناطق متباينة التركيب، مختلفة الوظيفة. يلاحظ عند الانتقال من قمة الجذر باتجاه الساق، وجود ثلاث مناطق رئيسية بالإضافة إلى

تفرز الخلايا المحيطة من القلنسوة مادة مخاطية لزجة، تسهل اختراق الجذر للتربة.

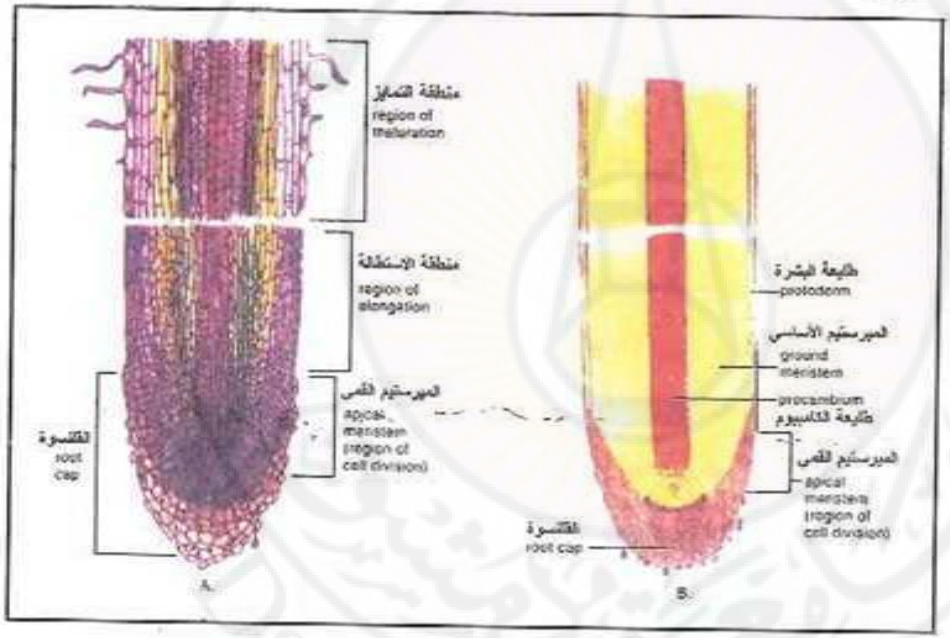
٢- منطقة النسج غير المتمايزة: تؤدي هذه المنطقة إلى نمو الجذر طولاً، وذلك بفضل انقسام خلاياها النشط من جهة أولى، وتطاول هذه الخلايا من جهة ثانية. تتألف هذه المنطقة، في الحقيقية، من منطقتين مختلفتين:

آ- المنطقة القسومة Meristematic Zone: تنقسم خلاياها باستمرار لتعوض عن الخلايا التي بدأت بالتمايز في منطقة الأوبار الماصة. وهي خلايا صغيرة الحجم، صغيرة النوى، رقيقة الجدران، عديمة الأصمخة، 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 القسومة عن الانقسام وتبدأ بالتمايز والتطاول. إن مقدار النمو اليومي للجذر ليس متساوياً بالنسبة لجميع النباتات. فبينما لا يتعدى النمو اليومي لجذر أحد أنواع النجيليات ٢سم، قد يصل هذا النمو في نجيل آخر إلى ٦,٥سم. إن لهذه الناحية، أهمية تطبيقية في الزراعة. فعند انتقاء النباتات المحتملة للجفاف، يختار منها، ما كان جذره ينمو بصورة نشطة. لا يتعدى طول منطقة النسج غير المتمايزة على ١-١,٥ ميليمتر إلا نادراً[٣].

منطقة الأوبار الماصة Root-hairs Zone: وتدعى أيضاً بمنطقة الامتصاص

الأوبار الماصة.



الشكل ٩-٨: مقطع طولي في قمة جذر نباتيات الفلقة:
A: مناطق الجذر الرئيسية، B: موقع توضع النسج المرستومية الأولية

تتشكل الوبرة الماصة نتيجة تطاول الجدران السطحية لخلية الأدمة، حيث تتركز فيها السيتوبلاسم وتتوضع في قمتها النواة (شكل ٩-٩). بينما تشتمل خلية الأدمة الأساسية على

النمفي *Nymphaea* وغيرها.

يبلغ متوسط طول الوبرة الماصة الواحدة نحو ١ ميليمتر، ويصل في النجيليات إلى ١.٥ 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.

الوبرة الماصة قصيرة العمر، فتموت خلال ١٠ إلى ٢٠ يوماً. ولكن عند بعض نباتات الفصيلة السيزالبينية وغيرها، كما في غليدتشيا ثلاثي الأشواك *Gleditschia triacanthos* تتخشب الأوبار الماصة، وتبقى لمدة سنتين كاملتين. يحصل تخشب الأوبار الماصة، غالباً، في شروط شديدة الجفاف، أو بالعكس، في تربة شديدة الرطوبة.





الدائر، كما، جنس الجزر *Daucus*. وقد تتشكل أحياناً، من الأدمة الباطنة أو من الطبقات الخلوية العميقة من القشرة، كما في نبات الحمص *Cicer arietinum*. فالجذور الجانبية إذاً، داخلية المنشأ Endogenous، في حين تكون الفروع الثانوية خارجية المنشأ Exogenous.

البنية الابتدائية للجذر

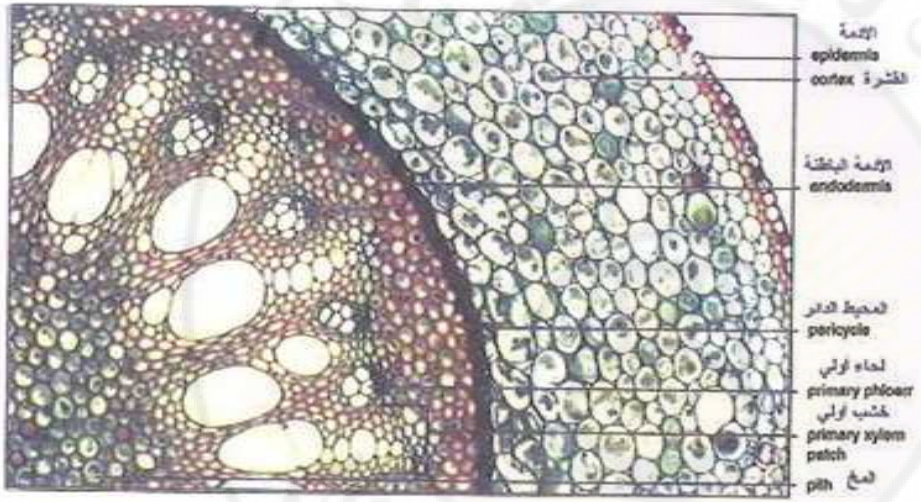
تتألف البنية الابتدائية للجذر من مجموعة النسج الأولية Primary tissues، أي مجموعة النسج المتمايزة عن النسيج القسوم الأولي.

من المفيد الإشارة أولاً، إلى أن البنية الابتدائية للجذر هي نفسها بالنسبة لجذور جميع النباتات: عريانة البذور ومغلفاتها، ومعظم النباتات البوغية الراقية. تصادف البنية الابتدائية، في الزمر النباتية السابقة في منطقة الأوبار الماصة.

يبين المقطع العرضي للجذر في هذه المنطقة، وجود أسطوانتين متحدتي المركز: الأسطوانة الخارجية هي القشرة الأولية **Cortex**. والداخلية الأسطوانة المركزية **Stele**. وتسمى أيضاً الأسطوانة الوعائية Vascular cylinder (شكل ٩-١٠).

القشرة الأولية Cortex

تُعدُّ أسطوانة ثخينة من الخلايا، تقع في الناحية المحيطة من المقطع، تتميز القشرة



الشكل ٩-١٠: البنية الابتدائية لجذر أحاديات الفلقة لدى جنس Smilax .

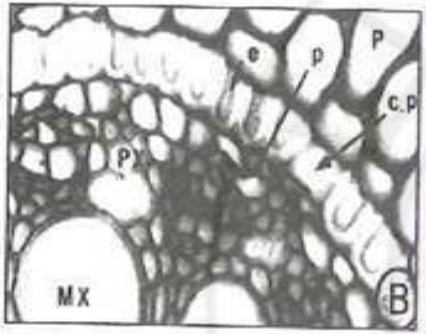
تتألف القشرة الأولية، بصورة عامة، من طبقات عديدة من الخلايا البرنشيمية. تدعى الطبقة المحيطية منها، التي تقع تحت الأدمة مباشرة **الأدمة الخارجية Exoderma**، وتسمى الطبقة الداخلية التي تجاور المحيط الدائر **الأدمة الباطنة Endoderma**، وما بينهما من برنشيم قشري، يدعى **الأدمة المتوسطة Mesoderma**.

تتألف الأدمة الخارجية من طبقة واحدة، أو عدة طبقات من الخلايا المضلعة عديدة

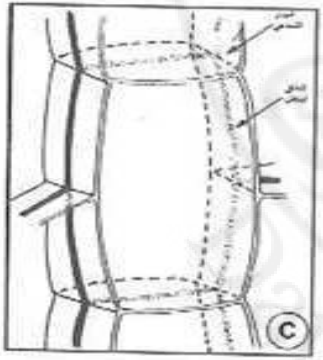
وتكون مليئة بغاز ثاني أكسيد الكربون.

تتكون الأدمة الباطنة من صف واحد من الخلايا المتراصة. تتميز الأدمة الباطنة عما يجاورها من الخلايا، بوجود شريط كاسبار Casparian strip على الجدر الشعاعية الأربعة من كل خلية. أما شريط كاسبار، فهو ترسبات لمادة الخشبين أو الفلين وأحياناً للمادتين معاً، على الجدار الأولي لخلايا الأدمة الباطنة. يتم تشكل 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 النسيج في سائل يسبب البلزمة. يفترض أن شريط كاسبار، يحيط بالنبيبات الدقيقة في الأغشية البلاسمية ويجعلها غير نفوذة، ولكنه لا يحول دون نفاذية المحلول الترابي من القشرة إلى الاسطوانة المركزية بالاتجاه الشعاعي ماراً خلال سيتوبلاسم خلايا الأدمة الباطنة.





E أدمة باطنة على شكل نعل الفرس، c.p. خلية عبور، p المحيط الدائر.





A

الشكل ٩-١٢: الأدمة الباطنة

(A) جزء من الأدمة الباطنة في نبات الحوذان Ranunculus (شاتيات الفلقة)
(B) جزء من الأدمة الباطنة في نبات السوسن Iris germanica (أحاديات الفلقة)
(C) خلية من الأدمة الباطنة تظهر كيفية ترسب اللغين على جدرها

الغذائية بين القشرة والأسطوانة المركزية في الاتجاه الشعاعي.

الأسطوانة المركزية Stele

تتميز جذور جميع النباتات البذرية باسطوانة مركزية محددة وواضحة. وهي إلى حد ما، منفصلة ومتميزة عن القشرة. فالأسطوانة المركزية في الجذر أكثر وضوحاً منها في الساق. فهي غير متقطعة بالنوافذ أو الثغرات الورقية Leaf gaps كما أن الجذر لا يشتمل الأوراق. يحيط بالأسطوانة المركزية عادةً، صف واحد من الخلايا المتراصة تؤلف المحيط الدائر Pericycle، وهو أول طبقاتها- وتجاوره إلى المحيط الأدمة الباطنة، وهي الطبقة الداخلية من القشرة.

المحيط الدائر Pericycle

يتألف المحيط الدائر، غالباً، من صف واحد من الخلايا البرنشيمية رقيقة الجدران. وقد يتكون أحياناً من عدة صفوف خلوية، كما في عريانات البذور وبعض وحيدات الفلقة (مثل بعض النجيليات والنخيل والآغاف *Agave*)، وفي قليل من ثنائيات الفلقة (كما في الجوز الملكي *Juglans regia* وبعض أنواع الفصيلة الفولية Fabaceae). كما توجد بعض النباتات المائية والطفيلية التي لا تشتمل محيطاً دائراً إطلاقاً. من الجدير بالذكر، أن المحيط الدائر في وحيدات الفلقة، قد يتخشب مع الزمن طالما لا تتشكل فيها بنية ثانوية

متناوبة أو شعاعية، وبأعداد متساوية. يختلف عدد الحزم الخشبية (أقطاب الخشب)[1]، باختلاف النباتات. فهناك أسطوانة مركزية ذات قطبين من الخشب كما في جنس اللفوف *Brassica*، واسطوانة مركزية رباعية الأقطاب – كما في القرنيات، مثل نبات الفول *Vicia faba*، واسطوانة خماسية الأقطاب كما في جنس الحوذان *Ranunculus*، واسطوانة سداسية الأقطاب كما في جنس البصل *Allium* ويمكن أن تصادف اسطوانة مركزية ذات حزمة خشبية واحدة كما في نبات كمأة الماء *Trapa natans*.

تُعدُّ أولى الأوعية الخشبية تشكلاً من حيث الزمان، أوعية الخشب الأول Protoxylem، التي تكون متاخمة للمحيط الدائر. ثم تتشكل بعد ذلك أوعية الخشب التالي Metaxylem نحو مركز الجذر. وهكذا يكون تمايز الخشب الأولي في الجذر جاذباً (أي اعتباراً من المحيط ونحو المركز). تأخذ الأوعية الخشبية الأشكال التالية، وذلك على التسلسل من المحيط ونحو المركز: حلقية حلزونية، شبكية، سلمية، منقرة.

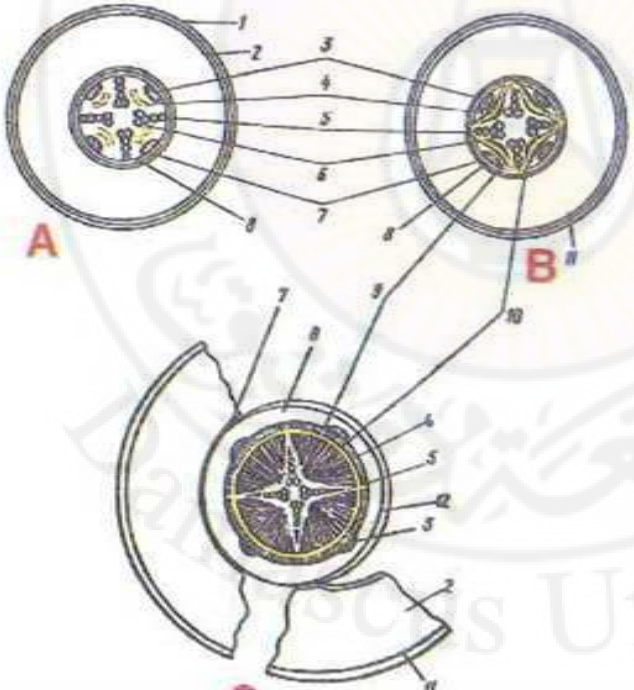
أما اللحاء Phloem، فيتوضع في الأسطوانة المركزية على شكل حزم متناوبة مع مثيلتها الخشبية، ويتمتع بتمايز جاذب أيضاً. فاللحاء الأول Protophloem يتاخم المحيط الدائر، بينما يكون اللحاء التالي Metaphloem أقرب إلى المركز. تنتشر ما بين حزم اللحاء

وهامة إذ تتمايز فيها خلال تطورها، البنية الثانوية. من المهم الإشارة ثانية، إلى أن منطقة الأوبار الماصة في هذه النباتات تتألف من نسج أولية فقط.

تبدأ البنية الثانوية بالتمايز، بعد تشكل الكامبيوم الوعائي Vascular cambium. ويتشكل هذا الكامبيوم بفضل ظهور أقواس خلوية صغيرة وضيقة في الأسطوانة المركزية، إلى الجهة الداخلية من حزم اللحاء. تنمو هذه الأقواس عرضاً، بتحول الخلايا البرنشيمية، ما بين الخشب واللحاء، إلى خلايا قسومة. ثم تحيط الأقواس السابقة تدريجياً باللحاء، مرتكزة من طرفيها على المحيط الدائر (شكل ٩-١٣). في هذا الوقت تبدي بعض الأجزاء من المحيط الدائر، 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 الدائر أيضاً.

يبدأ نشاط الكامبيوم، بانقسام خلاياه مماسياً أي بصورة موازية لسطح العضو (انقسام بيريكليني). تتمايز نواتج هذا الانقسام إلى عناصر نسيجية متنوعة: فإلى المركز يتمايز الخشب الثانوي (تمايز نابذ)، وإلى المحيط يتمايز اللحاء الثانوي (تمايز جابذ). عدا ذلك، فالكامبيوم ينتج خلايا برنشيمية تشكل الأشعة المخية، وذلك بدءاً من أقواس المحيط الدائر التي ساهمت

الأدمة الباطنة. وقد يتشكل الكامبيوم الفلليني بدءاً من طبقات أكثر عمقاً، مؤدياً حينئذٍ إلى موت بعض نسج الأسطوانة المركزية (حتى طبقات اللحاء الثانوي المحيطية) وذلك بالإضافة إلى القشرة الأولية.



اللحائية، وبرنشيم لحائي (تستخدم خلاياه في ادخار المواد). بالإضافة إلى الأشعة المخية اللحائية والمؤلفة من خلايا برنشيمية.

التحورات الرئيسية للجذر

تشاهد الجذور الطبيعة الموصوفة سابقاً، في معظم النباتات البذرية، ولكن قد تتغير أشكال الجذور في بعض الأنواع النباتية خلال مراحل تطورها. فقد تُلاحظ جذور متكيفة مع وظيفة الادخار أو التكاثر الإعاشي أو جذب النبات إلى التربة. كما قد تشاهد جذور أخرى متكيفة مع الحياة في أواسط مغذية خاصة (كالمستنقعات، والمياه، والتربة الفقيرة بالهواء وغيرها). وتعرف أيضاً أمثلة كثيرة لتعايش الجذور مع الفطور (الفطور الجذرية Mycorrhiza).

١-الجذور الادخارية: يرتبط تحور الجذور هنا، بنمو البرنشيم الثانوي المتخشب واللحائي وتراكم المواد الادخارية فيهما، كما هو الحال عند كثير من ثنائيات الفلقة، مثل الشمندر والفجل وجنس الهندباء *Cichorium*. يمكن تمييز شكلين من الجذور الادخارية، استناداً إلى أصلها وشكلها الخارجي: الجذور اللحمية (أو الثمرية)، والجذور الدرنية.

آ-الجذور اللحمية: وتتشكل بدءاً من الجذر الرئيسي (جذور وتدية متحورة) وقد يسهم في

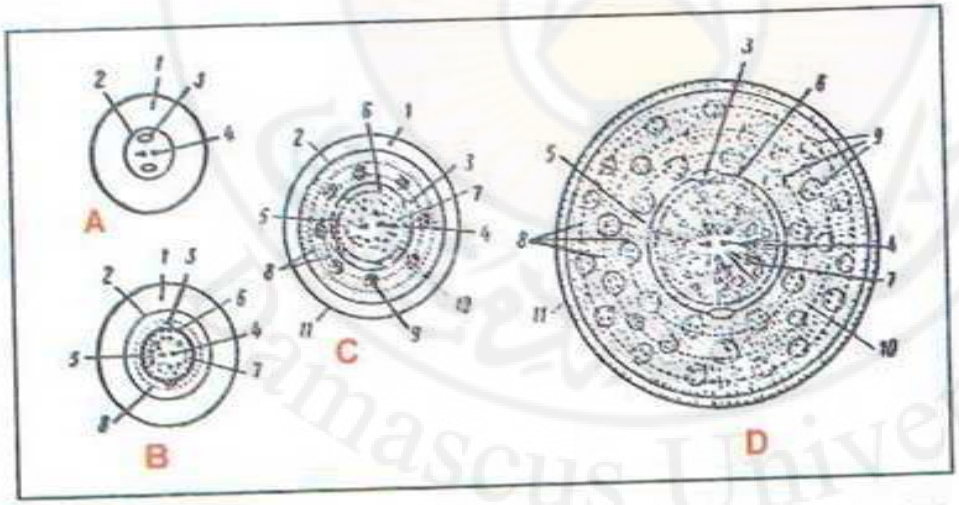
هـذا الجـذر فوق سطح التربة، والمؤلف من المحور تحت الفلقي القصير، بالإضافة إلى جزء من الفارع المتحور.

وفـيما يلي عرض لتطور هذا الجذر بدءاً من البادرة: تشتمل بادرة هذا النبات في مرحلة الورقـتين القبليـتين، جـذراً فتياً ذي بنية ابتدائية. تتألف هذه البنية من حزمتين من الخشب الأولـي متـناوبة مع حزمتين من اللحاء الأولـي. تظهـر بعـد ذلك الأوراق الحقيقية، ويتمايز الكامبـيوم ويـبدأ بنشاطه عندما يبلغ عمر البادرة نحو (١٢-١٥) يوماً، بتشكيل البنية الثانوية (شـكل ٩-١٤ A و B). تـبقى البنية الثانوية 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:

ففـي الوقـت الذي يبدأ فيه الكامبيوم المتشكل نشاطه، تنقسم أيضاً وبنشاط شديد طبقة المحيط الدائـر واللـحاء الـتاخم أي اللحاء الأول. وبنتيجة ذلك، تتشكل طبقة ضخمة (عديدة الصفوف الخلويـة) من الخلايا البرنشيمية المتجانسـة، بدءاً من مركز الأسطوانة نحو المحيط تدعى طبقة البرنشـيم الحلقي. تنقسم الصفوف الخلوية السابقة، والمنتشرة على شكل حلقات هندسية منـتظمة، مماسـياً، مـتمايزة إلى طبقات الكامبيوم الإضافي يبلغ عددها أحياناً ثماني طبقات أو أكثر من ذلك (شكل ٩-١٤ D و C).

الساق الدرنية (كما هو الحال في البطاطا وغيرها) بأنها خالية من الأوراق الحرشفية والبراعم (شكل ٩-١٥). وقد اكتشفت أخيراً حالة خاصة لنمو شاذ في جذر نبات البطاطا الحلوة *Ipomoea batatas*. فيلاحظ في برنشيم الخشب، تشكل كامبيوم خاص حول كل وعاء من الأوعية الخشبية. يعطي هذا الكامبيوم الموضعي إلى المحيط من الأوعية، لحاءً ضخماً، يتألف من خلايا برنشيمية عادية مع قليل من الأوعية اللبنية. والى المركز منها، تتمايز عناصر الخشب.



الشكل ٩-١٤. مخطط تطور التشكيلات الثانوية في جذر الشمندر العادي:

السحلبية مثل شريطي الورق *Taeniophyllum zolingeri* صانعات خضراء، فتقوم بعملية الاصطناع الضوئي، وتأخذ شكل الأوراق.



الشكل ٩-١٥. الجذور الدرنية لدى نبات البطاطا الحلوة **Ipomoea batatas** .

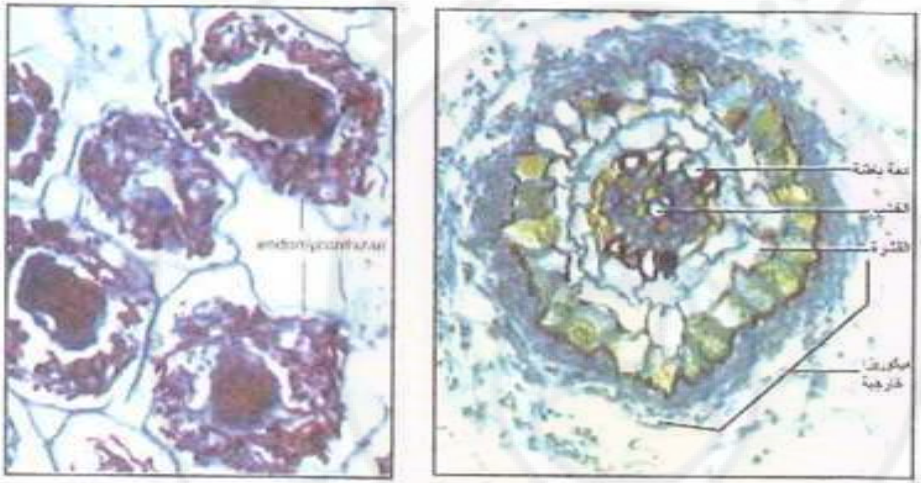
٣- الجذور المصية Haustoria: وهي المصات في النباتات الطفيلية. تخترق هذه الجذور نسج النبات المضيف وتمتص منها المواد الغذائية بالإضافة إلى الماء. تلاحظ مثل هذه المصات متطورة في جنس الحامول *Cuscuta* (شكل ٩-٦) والدبق الأبيض *Viscum album* (شكل ٩

٤- الفطور الجذرية Mycorrhiza والعقد البكتيرية:

تتحقق التغذية الترابية عند كثير من النباتات بمساهمة خيوط Hyphae بعض الفطريات. وأحياناً، ينمو النبات بفضل تعايشه مع فطر في التربة، خلال مرحلة إنتاش 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 متعايشة، 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 بسطح الجذر فقط، (تتغلغل جزئياً ما بين الخلايا)، ويستعاض 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 إنتاش البذور وفي وقت



الشكل ٩-١٧. الفطريات الجذرية (الميكوريزا):
A: داخلية التغذية، B: خارجية التغذية

العقد البكتيرية:

تقطن في البرنشيم القشري لجذور النباتات البقلية، بكتريا ترابية خاصة هي ريزوبيوم البقليات *Rhizobium leguminosarum* تتغذى هذه البكتريا بمواد النبات العضوية، ويؤدي توغلها في الجذر إلى تشكيل تدرنات أو أورام في البرنشيم القشري. فتبدو على جذور هذه النباتات، عقد صغيرة (شكل ٩-١٨). تنحصر الأهمية الحيوية للعقد البكتيرية في قدرتها



الشكل ٩-١٨. العقد الجذرية لدى بعض أنواع جنس الفصة Medicago .

تجدر الإشارة أخيراً إلى وجود جذور عارضة متحورة تدعى بالدعامية، كما في نبات

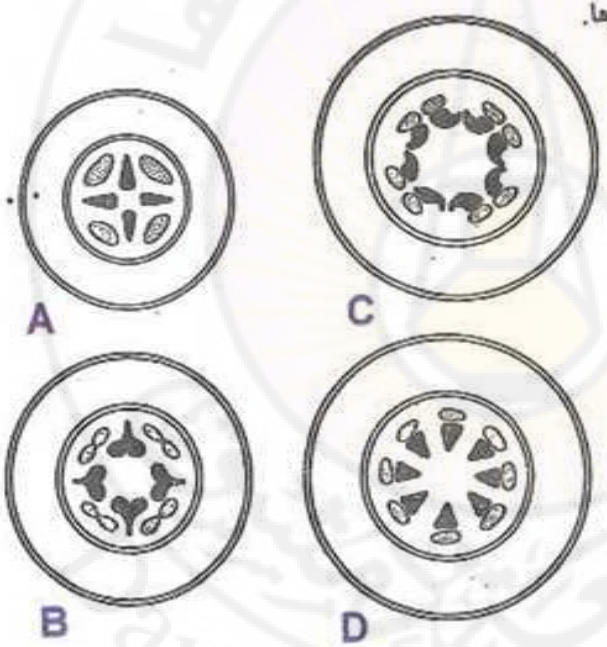
الفصل العاشر

الجملة الفارعية Shoot system

السويقة:

تصل السويقة، التي تسمى أيضاً المحور تحت الفلقي Hypocotyl ما بين الجملة الجذرية والجملة الفارعية. وتمتد من العنيق الجذري حتى مستوى الورقتين القبليتين. تُعد السويقة صلة الوصل ما بين الجذر والساق، بالرغم من اختلاف بنيتهما الداخلية: فالخشب الأولي ذو تمايز جابذ 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 المحور القصير. تكون السويقة أكثر وضوحاً في البادرة، ويسميها 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 الدائر والنسج الناقلة الثانوية. وبصورة غير مباشرة، وأكثر

والخشب في الجذر. ينتشر هذا النموذج في كثير من النباتات ثنائية الفلقة كالفاصولياء والقرع والترمس وغيرها.



الشكل ١٠-١. مخطط يظهر طريقة انتقال بنية الجذر في بنية الساق:
A: البنية الابتدائية في الجذر
B: قاعدة المنطقة الانتقالية: تشعب حزم الخشب واللحاء
C: الجزء العلوي من المنطقة الانتقالية: دوران أنصاف الحزم الخشبية
D: الجزء السفلي من النبات وتقوس [illegible]

يملك تسيجاً قسوماً دائماً. فينمو على حساب الميرستيم القمي، وقد ينمو أحياناً على حساب الميرستيم البيني. ويعد الساق الجزء الأساسي من النبات، الذي ينمو عادةً فوق سطح التربة ويحمل الأوراق والأزهار والثمار والبراعم، ويتميز بانجذاب أرضي سالب.

من الصعب إعطاء تعريف دقيق للساق. ويعود السبب في ذلك، إلى التنوع الواسع للسوق، بدءاً من جذوع الأشجار الضخمة والسوق المتحورة، إلى السوق العشبية المتجانسة. ويكمن السبب الثاني، في عد الساق والأوراق معاً، عضواً نباتياً متكاملاً واحداً، حسب رأي معظم علماء النبات. فمن الخطأ النظر إلى الساق كعضو إعاشي مستقل. وبالفعل يتداخل الساق والورقة بنيوياً في كثير من الأحيان، لدرجة أنهما يرتبطان معاً من الناحية الوظيفية أيضاً، مما يستدعي النظر إليهما كجزءين 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 الإعاشي، من بصلات ودرنات وبراعم فتية وغيرها. ولذلك، غالباً ما ينظر إلى الفارع كعضو معقد خاص.

كالجذر تماماً، القيام بوظيفة التكاثر الإعاشي.

يتصف الفارع بفضل تفرعه، ببنية متكررة ومتجانسة، إذ يتشكل برعم على كل عقدة. يعطي كل برعم بعد نموه وتطوره نفس الوحدات البنيوية التي نشأ 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 متجاورتين السلامية Internode. يتميز الفارع القصير، بسلاميات صغيرة وعقد متقاربة. ويكون الفارع طويلاً، فيما إذا كانت سلامياته متطاولة وعقده متباعدة (شكل ١٠-٢)



محددة، تعرف بمناطق النمو، فينمو الساق طولاً بفضل قمته التي تحمل برعماً قمياً. وقد تتطاول سوق كثير من النباتات بفضل النسيج القسوم البيني في قاعدة سلامياته.

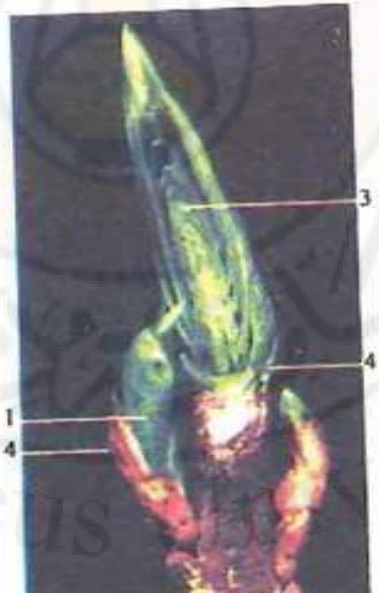
يعد النسيج القسوم البيني أولياً، وغالباً ما يعد النسيج القسوم البيني ثانوياً. كما توجد براعم في إبط الأوراق المتطورة تدعى البراعم الجانبية (أو الإبطية). تتميز سوق النجيليات وخاصة الخيزرانيات، وكثير من النباتات ثنائية الفلقة، بنمو بيني نشط ومستمر. أما النمو البيني لفترة قصيرة فيلاحظ بشكل واضح عند تطور البراعم. تملك السوق الفتية للخيزرانيات رقماً قياسياً في سرعة نموها، فتنمو يومياً ما يقارب من ٧٠ إلى ٩٠ سم.

البراعم Buds

يعد البرعم فارعاً عادياً، متقارب العقد، قصير السلاميات. ويتألف من عدد كبير من الأوراق الجنينية، هي بداءات الأوراق Leaf primordia، ومن أوراق حرشفية متداخلة تغطي الأوراق العادية. تسقط هذه الحراشف بعد نمو البرعم وتطوره لتكوين فارع جديد. تخفي الأوراق السابقة القمة القسومة للساق، التي تسمى مخروط نمو أو نقطة نمو الساق. يؤدي نشاط هذا المخروط وتطوره، كما رأينا، إلى نمو الساق وتطاوله.

يبدي البرعم تكيفاً عالياً لحماية مخروط نموه، إذ تتشرب الأوراق الحرشفية مادة

فيبقى لها أثر في الفارع. تستمر هذه الظاهرة لعدة سنوات، حيث يمتد أثر البرعم في الفارع خلال حلقات النمو السنوية للساق (شكل ١٠-٤). تتشكل مثل هذه البراعم على سوق النباتات الشجرية وتسمى البراعم النائمة Dormant buds، وذلك تمييزاً لها عن البراعم النشطة. من المستحسن الإشارة هنا، إلى عودة البراعم النائمة للنمو والنشاط بعد قطع الأجزاء العلوية من الساق.



الشكل ١٠-٣: برعم قمي في ساق نبات متخشب وقد تم قطعه طولياً لإبراز الأوراق المتنامية
١: برعم جانبي
٢: ساق
٣: بداءة ورقية
٤: حرشفة

عند النباتات الشجرية. تتميز البراعم العارضة بإمكان تشكلها على جميع أجزاء النبات وأعضائه وخاصة على الساق والجذور. في حين تنتشر البراعم النائمة على ساق النباتات الشجرية فقط.

كما قد تتشكل البراعم العارضة في الشروط المناسبة، بدءاً من الخلايا البرنشيمية النشطة للورقة وشمراخ الزهرة والمدقة وغيرها. وبفضل نشاط البراعم العارضة، يصبح التكاثر الإعاشي بواسطة أعناق الأوراق ممكناً وسهلاً في كثير من النباتات كما في جنس البيغونيا *Begonia* والجلبان *Lathyrus* وغيرهما.

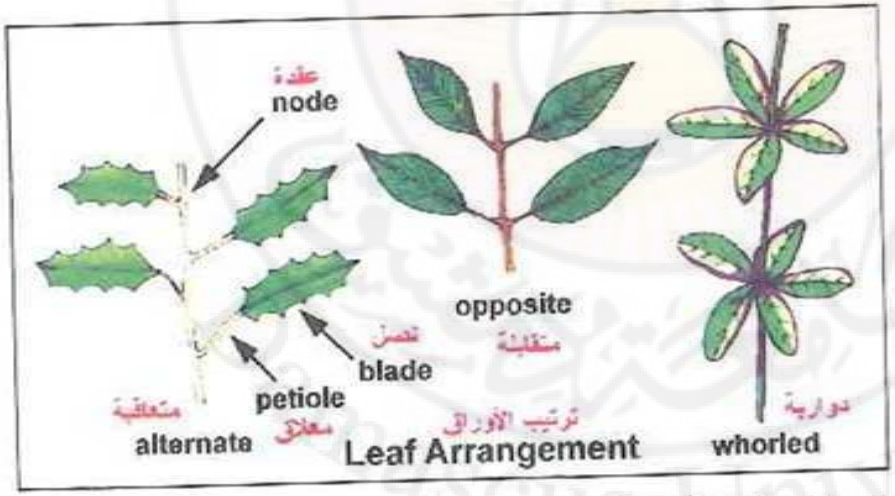
تنشأ البراعم العارضة غالباً، بدءاً من الكامبيوم أو المحيط الدائر أو من النسج القسومة الأخرى. وقد تتشكل أيضاً، بدءاً من النسيج البرنشيمي النشط (عند غياب النسج القسومة) في أي جزء من أجزاء النبات. وفي جميع الحالات، تتميز البراعم العارضة التي تتشكل على الجذور، بمنشأ داخلي Endogenous ، بينما تتصف مثيلتها التي تظهر على الساق والأوراق بمنشأ خارجي Exogenous.

يميزون أيضاً ما بين براعم إعاشية وبراعم زهرية. ففي حين تُشكل البراعم الإعاشية فوارع جديدة، تعطي البراعم الزهرية الأزهار. كما تتميز البراعم الإعاشية عند كثير من النباتات بنهاية مدببة 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 متعاقبة وإما بصورة متقابلة.

النظم الورقي Phyllotaxis

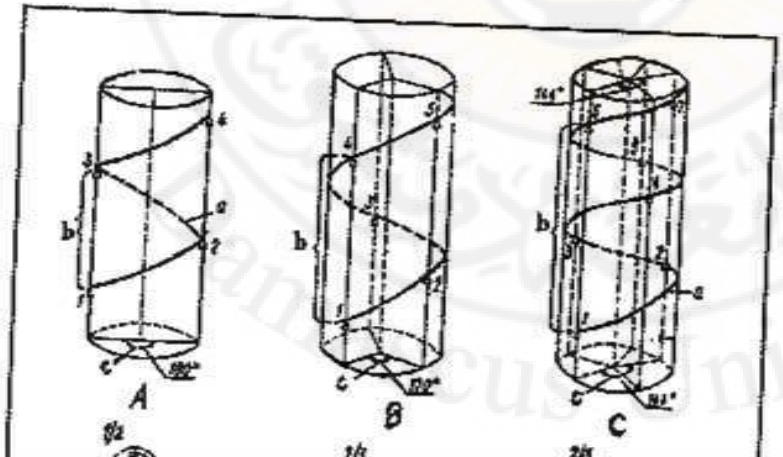
تنتشر الأوراق على الساق وفق ثلاث طرائق رئيسية هي: المتعاقبة والمتقابلة والدوارية (شكل ١٠-٥).



الشكل ١٠-٥ : انتظام الأوراق على الساق.

مباشرة. تسمى عدد الدورات هذه، الحلقة الورقية ويتألف المخرج من عدد الأوراق التي يمر منها الحلزون.

تُميِّز أبسط نسبة ½ نظم الأوراق في معظم النجيليات. إذ تتألف الحلقة الورقية من دورة حلزونية واحدة وتمر من ورقتين فقط. وتساوي 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 الأجاص والخوخ وبعض أنواع التفاح وغيرها (شكل ١٠-٦).



تساوي زاوية التباعد ١٨٠ درجة في حالة الصيغة ½، وتساوي ١٢٠ درجة في حالة النسبة 1/3 و١٤٤ درجة في حالة 2/5 و١٣٥ درجة في حالة 3/8 وتلاحظ في الملفوف.

أما في نمط **الأوراق المتقابلة**، فتحمل كل عقدة ورقتين متقابلتين كما في أجناس النعناع *Mentha* والقراص *Urtica* والياسمين *Jasminum* والليلك *Syringa* والوثاقية *Ligustrum* والعراتلي *Lonicera* وغيرها. تشكل الأوراق المتقابلة أيضاً ما يسمى الحلقة الورقية إذ تبدل الأوراق المتقابلة، أماكن توضعها على الساق، مشكلة خلال ذلك حلزوناً مؤلفاً من عدد من الدورات (وذلك عند الانتقال من زوج من الأوراق المتقابلة إلى الزوج الذي يقع فوقه مباشرة وفي المستوي نفسه).

وأخيراً يُلاحظ في نمط **الأوراق الدوارية** وجود ثلاث أوراق أو أكثر على كل عقدة، كما في الدفلة *Nerium oleander* (ثلاث أوراق)، وفي الصلباني *Crucianella chlorostachys* (أربع أوراق) وفي الفوي الإيبيري *Rubia iberica* (خمس أوراق).

يعد تكيف الأوراق لتلقي أشعة الشمس، العامل الأساسي في طريقة انتشارها. فكل ورقة من أوراق النبات تسعى لأن تكون عرضة للضوء مباشرة. كما يلاحظ خلال عملية سعي الأوراق لتلقي الإضاءة بعض التغيرات الشكلية في أقراصها الورقية. فقد تطول أو تقصر أو تظهر عليها بعض الثنيات وغير ذلك.

فوارع أولية وثانوية وثالثية وما يليها.

تتنوع طرق تفرع الساق إلى حد كبير، ويتعلق ذلك بتباين مكان البراعم واختلاف شروط الوسط الغذائية وغيرها. من الهام الإشارة أولاً، إلى وجود بعض النباتات غير المتفرعة، مثل معظم النجيليات ونبات الكينجيا الأسترالي *Kingia australis* والذرة المايسية *Zea mays* وجنس الموز *Musa* وغيرها. يميزون عادة الطرق الأربع التالية للتفرع (شكل ١٠-٧):

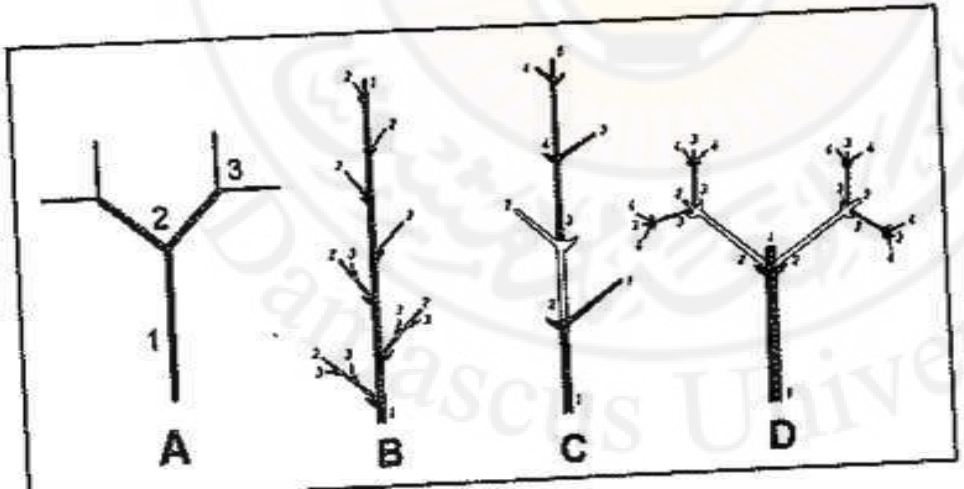
١: **التفرع القمي الثنائي الحقيقي:** تنقسم نقطة النمو في هذا النموذج إلى نصفين متساويين، يعطي كل منهما محوراً ثانوياً مستقلاً. ثم يعود مخروط النمو في كل محور، إلى الانقسام ثانية وبالطريقة نفسها، لإعطاء محورين ثالثيين. وهكذا تتكرر هذه العملية مرات متعددة كما في رجل الذئب *Lycopodium clavatum*.

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 القمي على نشاطه زمناً طويلاً. ففي العام التالي وبعد الاستراحة الشتوية، يبدأ هذا المخروط بالنشاط من جديد، مؤدياً إلى نمو وتطور محور النبات الرئيسي مجدداً، ولهذا السبب يتميز المحور الرئيسي للنبات بنمو غير محدود. وتتشكل الفوارع الجانبية بدءاً من براعم جانبية، ويكون أكبرها قريباً من قاعدة الساق، وأصغرها قريباً من قمة الفارع الرئيسي. لا

من أفضل أمثلة هذا النموذج: جنس الأجاص *Pyrus* والتيلو *Tilia* وغيرهما.

٤: التفرع القمي الثنائي الزائف: لا يعد هذا النمط من التفرع نموذجاً مستقلاً، وإنما حالة خاصة مشتقة عن التفرع مدغم المحاور. ففي هذا النموذج، تموت أيضاً القمة النامية للفارع، ويظهر عوضاً عنها في العام التالي، وبالوقت نفسه، برعمان متقابلان جانبيان يعطيان فارعين جديدين متساويين تقريباً، وتبقى بينهما قمة الفارع الميتة في العام السابق.

يلاحظ هذا النمط في جنس الليلك *Syringa* والقرنفل *Dianthus* وفي نبات كستناء الحصان *Aesculus hippocastanum*.



من فوارع هذه "الشجيرة" بشمراخ زهري لسنبلة بسيطة أو مركبة. ولهذا السبب تتمتع النجيليات التي تتفرع بهذه الطريقة، والتي تدخل في صناعة الخبز، بقيمة اقتصادية باهظة، نظراً لوفرة محصولها (شكل ١٠-٨).

يميزون عادة ما بين نجيليات متراصة "الشجيرات"، يتم تفرعها فوق سطح التربة، وتشكل غطاء أخضر كثيفاً، وبين نجيليات متراخية " الشجيرات"، يجري تفرعها تحت سطح التربة مباشرة. يتم تشكل الفوارع الإضافية وفق هذه الطريقة في المراحل المبكرة من تطور النبات وبدءاً من العقد المتقاربة الأولى، بصورة موازية لظهور الجذور العارضة. تظهر على كل فارع جديد عقد الإشطاء الخاصة به.

من الجدير بالذكر أن كمية الفوارع الإضافية السابقة في النجيليات البرية، تفوق إلى حد كبير مثيلتها في النجيليات المزروعة التي تدخل في صناعة الخبز. فبينما لا يتشكل في الشعير والقمح والجودار خلال مرحلتها الإعاشية أكثر من (١٢) فارعاً، يتشكل مقابلها في النجيليات البرية عدة عشرات. هذا مع العلم، أن الفوارع الجديدة المتشكلة تكون قادرة دوماً على التفرع بطريقة الإشطاء.

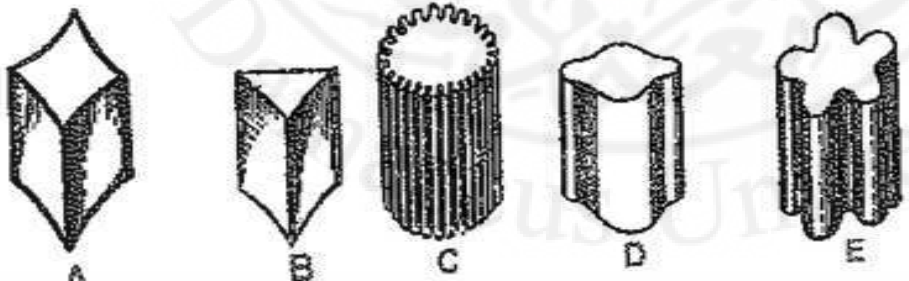


أنواع السوق Stem Types

تتباين أشكال الفوارغ، باختلاف الأنواع النباتية، سواء من حيث شكلها العام أو شكل مقطعها العرضي ودرجة تخشبها وغير ذلك من الخواص الأخرى (شكل ١٠-٩).

فغالباً ما يكون لمقطع الساق شكلٌ مستدير. وقد يأخذ شكلاً مثلثياً كما في نباتات الفصيلة السعدية Cyperaceae، أو مربعاً كما في الفصيلة الغاغرة Lamiaceae (الشفوية Labiatae)، أو مخمساً كما في الفصيلة القرعية Cucurbitaceae، أو مخرماً كما في كثير من أنواع الفصيلة الكرفسية Apiaceae (الخيمية Umbelliferae) وغيرها.

ويكون الفارغ في معظم النباتات ملياً. وقد يكون في بعضها، مجوفاً في مركز السلاميات ومليئاً في مناطق العقد، وتسمى مثل هذه الفوارغ القشية. تنتشر الفوارغ القشية عادةً عند جميع النباتات النجيلية وفي كثير من نباتات الفصيلة الخيمية.



ينمو الساق عادةً، فوق سطح التربة ويسمى لذلك، الساق الهوائي Aerial stem. وقد ينمو في بعض الأحيان، تحت سطح التربة ويسمى حينئذٍ الساق الترابي أو المنظمر Underground stem. ويعد معظم علماء النبات السوق الترابية من الأشكال المتحورة للساق.

السوق الهوائية

تؤدي النسج الاستنادية 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 الاستنادية المتطورة، كما في الحور والجوز والتين.

٢: السوق الناهضة Sitting up stems: وتصادف عند النباتات العشبية كالزعتر Thymus. وتتميز بنسجها الاستنادية الأقل تطوراً ونمواً، من مثيلتها في السوق القائمة.

ولكن قد لا يستطيع الساق الانتصاب قائماً في الهواء، عندما لا تنمو النسج الاستنادية فيه بالشكل الكافي. في هذه الحالة يُظهر الساق تكيفاً عالياً على الانتصاب بصورة شاقولية، كما في السوق الملتفة والمتسلقة.

٣: السوق الملتفة Climbing stems: تحاول هذه السوق الاحتفاظ بوضعها الشاقولي عن

أما النباتات التي لا تشتمل على نسج استنادية متطورة، ولا تستطيع الالتفاف حول الدعامات ولا تملك أعضاء تسلق وظيفية، فإنها تستلقي أو تزحف على الأرض بصورة أفقية.

٥: السوق المستلقية **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 الزاحفة **Runner stems**: تنمو هذه السوق أفقياً على سطح التربة. وتتميز عن السوق المستلقية بكونها تشكل جذوراً عارضة من عقدها نحو الأسفل، وفوارع هوائية منتصبة نحو الأعلى، كما في الفريز *Fragaria vesca* وجنس القادر *Potentilla* والعليق *Rubus* وغيرها (شكل ١٠-١٠). يسمى الفارع الزاحف في هذه الحالة الرئد. يستطيع الرئد بفضل جذوره العارضة تثبيت نفسه على سطح التربة واحتلال مساحة واسعة من الأرض.



خاص. وتبعاً لذلك تأخذ هذه الساق شكلاً لحمياً منتفخاً، وتتغطى بطبقة كتيمة من القشيرين لتقليل عملية النتح. وللسبب السابق، قد تتحور أوراقها إلى أشواك صغيرة، ويقوم الساق حينئذٍ بعملية الاصطناع الضوئي، كما في معظم نباتات الفصيلة الصبارية Cactaceae وبعض أنواع الفصيلة الايفوربية Euphorbiaceae (الشكل ١٠-١١).



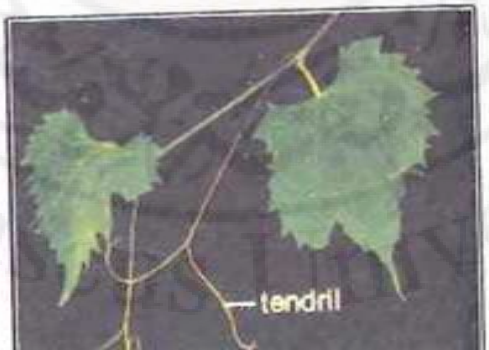
A B

الشكل ١٠-١١: تحورات الساق
A: الساق اللحمية: تحور الأوراق إلى أشواك، وقيام الساق بوظائف الأوراق بالإضافة إلى ادخار الماء
B: الساق المسطحة: Ruscus sp. ساق مسطح يحمل أوراق حرشفية وبراعم زهرية

تتشكل 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*. تُلاحظ هذه الأشواك في النباتات الصحراوية ونباتات المناطق الجافة، فتساعدها على تقليل عملية النتح عن طريق اختزال سطح التعرق، كما في جنس الزعرور *Crataegus*.

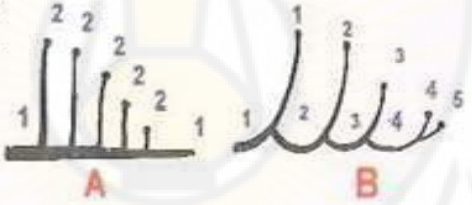
٤: الساق المحلاقي- المحالق Tendrils:

تنشأ هذه المحالق في إبط الأوراق، مما يشير إلى أصلها الفارعي، كما في الكرمة. فتساعد النبات على التسلق والانتصاب. تعتبر المحالق الفارعية في الفصيلة القرعية، كما في البطيخ مثلاً، غير وظيفية. وبالتالي تبقى سوق هذه النباتات مستلقية على الأرض (شكل ١٠-١١).



الشكل ١٠-١٢: المحالق في الكرمة ذو أصل ساقي

الفارعي، أنها تحمل أوراقاً حرشفية، تتشكل في إبطها براعم جانبية. كما تشتمل برعماً انتهائياً، وتتمايز من عقدها جذور عارضة. وتتميز عن الجذور أيضاً، بكونها لا تنتهي بالقلنسوة. والجذامير كالفوارع الهوائية تماماً، يمكن أن يكون تفرعها وحيد المحور أو مدغم المحاور (شكل ١٠-١٣). كما يمكن أن تكون الجذامير في وضع شاقولي أو أفقي في التربة.



الشكل ١٠-١٣. تفرع الجذمور
A: وحيد المحور، B: مدغم المحاور
١: محور أولي، ٢: محور ثانوي، ٣: محور ثالثي .. وهكذا

يرتبط تحور الفارع إلى جذمور بتحقيق بعض الوظائف الحيوية الهامة: كادخار المواد الغذائية، وحماية هذا العضو من شروط الوسط القاسية (كالبرد شتاءً)، والقدرة على القيام بعملية التكاثر الإعاشي. تصادف الجذامير غالباً، في النباتات العشبية المعمرة، وتعطي كل عام فوارع هوائية جديدة، تعيش سنة واحدة فقط تموت الأجزاء الهرمة من الجذمور بصورة مستمرة. تشكل النباتات الجذمورية والمتفرعة أفقياً، فوارع هوائية عديدة، ولذلك سرعان ما تشغل مساحة واسعة. فإذا ما كانت هذه النباتات طفيلية أو ضارة مثل حب البر الزاحف

الهوائية، انتفاخات في محور الساق الرئيسي، كالملفوف *Brassica oleraceae* أو في الفوارع الجانبية، كما في أنواع السحلب *Orchis*. تحمل مثل هذه الدرنات أوراقاً عادية، 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، وتُمثل عقد الساق. يمكن أن يوجد في كل عين من ٢–٣ 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 برعماً قمياً، (شكل ١٠–١٥ آ). يستطيع كل برعم في الدرنة توليد نبات جديد.

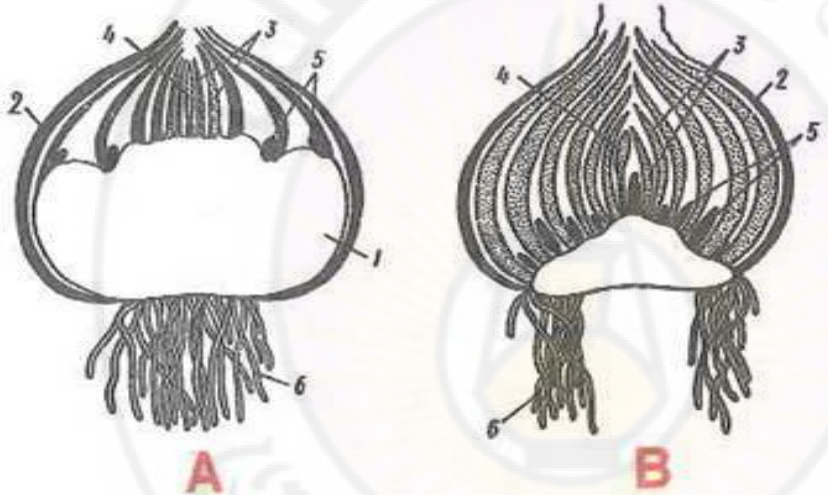




الأوراق الحرشفية الداخلية اللحمية والغنية بالمواد الغذائية (شكل ١٠-١٦).

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 الإعاشي وتسمى البصيلات (شكل ١٠-١٥ - ب).





الشكل ١٠-١٦. مقارنة بين بنية الكورمة والبصلة
A: كورمة، وفيها تتراكم المواد الادخارية في الساق
B: بصلة، وفيها تتراكم المواد الادخارية في الحراشف (أوراق متحورة)
١: ساق قصير، ٢: حرشفة مبتة، ٣: أوراق المرحلة الإعاشية القادمة، ٤: فارع جنيني زهري، ٥: براعم، ٦: جذور عارضة.

حياة الساق وأبعاده

يمكن أن تمتد حياة الساق في بعض النباتات الشجرية، كشجرة الماموت *Sequoiadendron* (في شمال أمريكا) وشجرة التنين التنيني *Dracaena draco* (أفريقيا) (شكل ١٠

amygdaliva فيصل إلى ١٢٠ متراً، وفي شجرة الماموت إلى أكثر من ١٤٠ متراً، في حين يبلغ قطر جذعها عند القاعدة، عشرة أمتار.



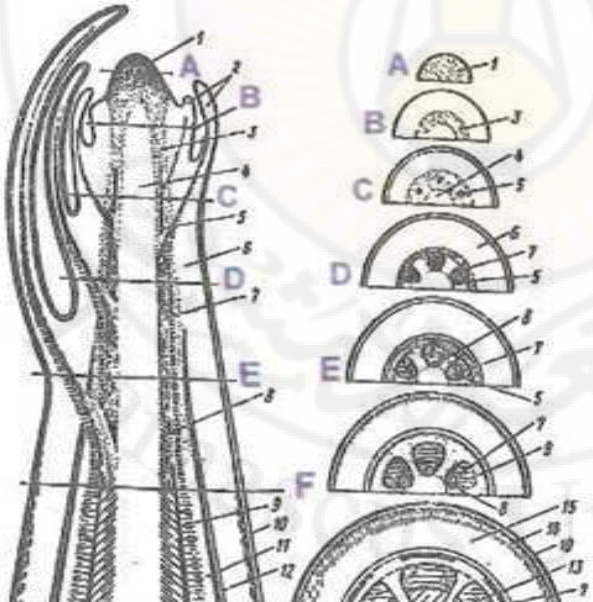
الشكل ١٠-١٧. شجرة التين التيني

البنية المجهرية للساق

تأخذ البنية المجهرية للساق، أشكالاً عديدة جداً لا تحصى، إذ لا توجد بنية عامة

البرعم، تقع تحت حماية الأوراق الجنينية والحراشف البرعمية.

يعد النسيج القسوم القمي أصل جميع النسج في الساق، كما يحدد نموه طولاً. ويتمتع بحجم صغير نسبياً، إذ تبلغ أبعاده بصورة عامة، من ١–١,٥ ملم، وهو الجزء الأكثر فتوة في الساق. تصبح بنية الساق أكثر قدماً، عند الانتقال من قمته باتجاه قاعدته (شكل ١٠–١٨). تتكون قمة الساق، كما رأينا من خلايا متجانسة صغيرة الحجم، رقيقة الجدران ضخمة النوى.



١- نظرية مولدات النسج للعالم هانشتاين عام ١٨٦٨ : يتألف مخروط النمو، حسب هذه النظرية من ثلاث طبقات خلوية هي: مولد البشرة Dermatogen، ومولد القشرة Periblema ، ومولد الأسطوانة المركزية Pleroma. فالديرماتوجين، هو الطبقة الخارجة من المخروط، ويتألف من صف واحد من الخلايا التي سوف تتمايز إلى البشرة. أما الـ Pleroma، فهي الطبقة المركزية الضخمة التي سوف تشكل الاسطوانة المركزية ومخ الساق. وأخيراً تمتد الـ Periblema ما بين الطبقتين السابقتين وسوف تعطي القشرة الأولية. لقد فقدت هذه النظرية أهميتها في العصر الراهن.

٢- نظرية القميص والجسيم Tunica and corpus للعالم Schmidt (عام ١٩٢٠): يتألف النسيج القسوم القمي وفق هذه النظرية، من طبقتين فقط، هما القميص والجسيم. فالقميص Tunica يكون مسؤولاً عن تشكيل البشرة وجزء من القشرة الأولية. بينما يسهم الجسيم جزئياً في تشكيل القشرة الأولية، ويعطي الأسطوانة المركزية بكاملها. تعد هذه النظرية أكثر انتشاراً من سابقتها على الرغم من عدم إتباعها.

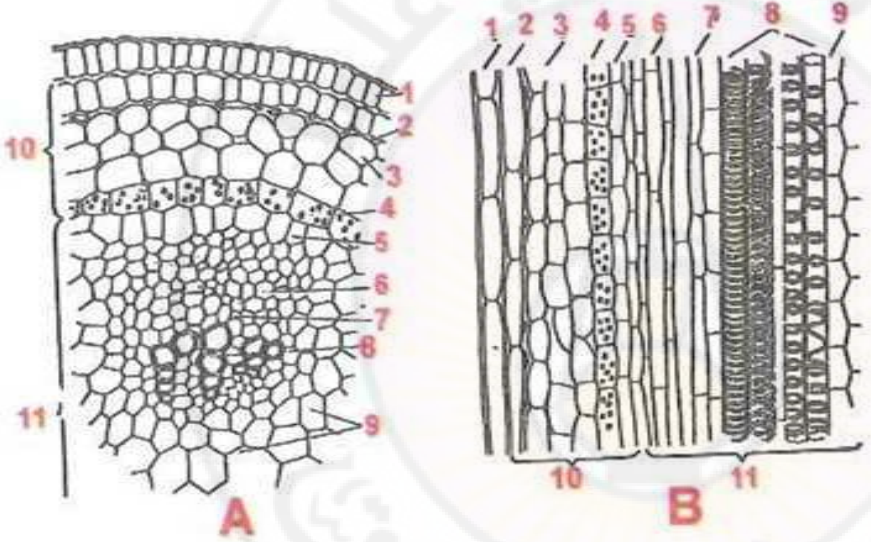
يجري في مخروط النمو، ازدياد عدد الخلايا، وذلك عن طريق انقسامها النشط، خاصة في الشروط الملائمة، يلي مخروط النمو مباشرة منطقة استطالة الخلايا، حيث تبدأ الخلايا فيها بالتمايز. تعرف هذه المنطقة جيداً من خلال الندبات الورقية، التي يتصور دراستها الأولية

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 نابذاً.

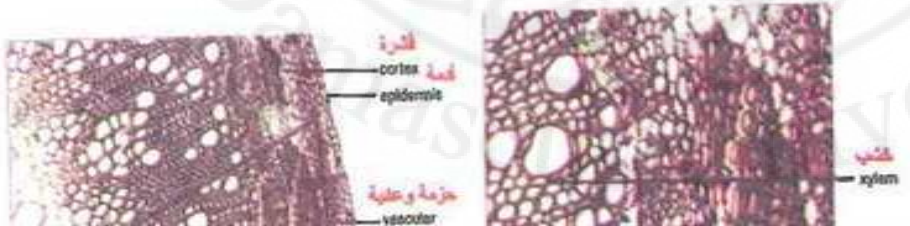
ويجري تمايز اللحاء الأولي بطريقة مماثلة، في الجهة المقابلة للخشب الأولي. ويتم ذلك بدءاً من الخلايا الخارجية من البروكامبيوم، أي القريبة من محيط الساق. يجري هذا التمايز ابتداءً من المركز نحو المحيط. وبهذه الصورة سوف يتوضع اللحاء الأول في محيط الساق، بينما سوف يتشكل اللحاء التالي في الجهة القريبة من المركز، وبالتالي يكون تمايز اللحاء الأولي في الساق جاذباً.

وبهذا الشكل، تتقابل طبقات اللحاء والخشب التاليين ضمن الحزم الناقلة. ففي بعض الأحيان تنطبق هذه الطبقات بعضها على بعض تماماً، كما في وحيدات الفلقة. وفي حالات أخرى تتوسط بينهما طبقة الكامبيوم، كما في عريانات البذور وثنائيات الفلقة. إذ يبدأ صف من الخلايا في طبقة البروكامبيوم بالانقسام مماسياً، وتتشكل بذلك طبقة الكامبيوم . يسهم بتشكيل الكامبيوم عادةً، المحيط الدائر أيضاً.

يتشكل المحيط الدائر من بعض طبقات الحلقة الانقسامية التي تقع تحت اللحاء الأولي مباشرة، أي إلى المحيط منه. يتوضع البروكامبيوم في الساق على شكل أسطوانة متصلة



الشكل ١٠- ١٩. بنية ساق فتي من نبات الحليلوب الحولي **Mercurialis annua**
A: جزء من المقطع العرضي، B: مقطع طولي (للسلامية)
١: بشرة، ٢: كولانشيم، ٣: برنشيم القشرة، ٤: أدمة باطنة، ٥: محيط دقر، ٦: لحاء، ٧: كامبيوم، ٨: خشب، ٩: برنشيم المخ، ١٠: قشرة أولية، ١١: أسطوانة مركزية



الأولية، المحاطة بالبشرة. الثانية هي الأسطوانة المركزية. تتألف القشرة الأولية عادةً من:

آ: نسيج استنادي، هو الكولانشيم، ويتوضع تحت البشرة مباشرة.

ب: برنشيم القشرة الأولية، وتشتمل معظم خلاياه على الصانعات الخضراء.

ج: الأدمة الباطنة.

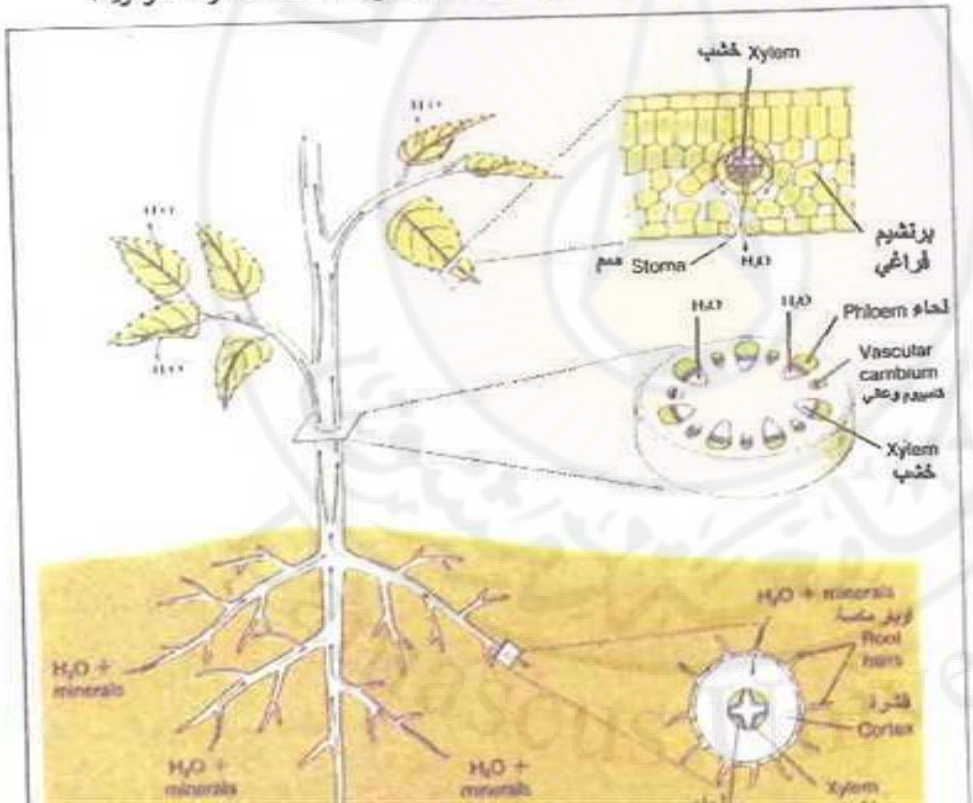
أما الاسطوانة المركزية فتتكون من: ١- المحيط الدائر، ٢- اللحاء، ٣- الخشب، ٤- برنشيم المخ.

من المفيد في هذا المجال مقارنة البنية الإبتدائية للساق مع مثيلتها في الجذر (شكل ١٠ -٢١). كما وتنبغي الإشارة أولاً إلى مظاهر الاختلاف الأساسية بينهما. ففي المقطع الطولي من السهل ملاحظة ما يلي:

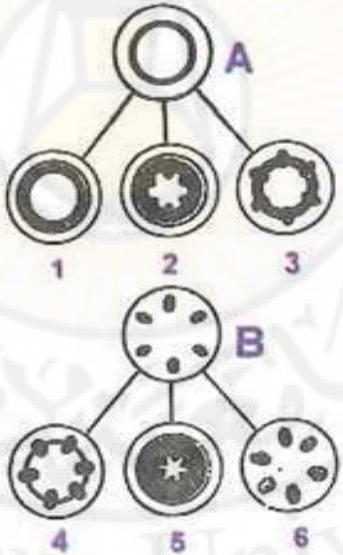
١: تكون القمة النامية في الجذر محاطة بالقلنسوة، بينما تكون في الساق مغطاة بالأوراق الجنينية وبالحراشف البرعمية.

٢: تحيط الأدمة بالقشرة الأولية في الجذر، وتقوم بوظيفة امتصاص المحلول الترابي، وتتألف من خلايا رقيقة الجدران ومتجانسة الثخانة ومزودة بالأوبار الماصة. وفي المقابل، يكون الساق محاطاً بالبشرة المؤلفة عادةً، من خلايا رقيقة الجدران غير متجانسة السماكة، يتوضع الكولانشيم تحتها مباشرة.

لهذين العضوين. فهنا وهناك، تتشكل بنيتان أساسيتان، هما القشرة الأولية والأسطوانة المركزية تتمايز بينهما الأدمة الباطنة، والمحيط الدائر– أول طبقات الأسطوانة المركزية.



رئيسية. مع العلم أن بعضها كان متقارباً لدرجة كبيرة من الناحية التخطيطية (شكل ١٠-٢٢) وقد استند في تصنيفه السابق إلى طريقة تمايز البروكامبيوم، وأصل طبقة الكامبيوم، وقدرة كل خلية من خلاياه على الانقسام وفق جميع سطوحها. كما وُضعت في الحسبان، طبيعة النسج النباتية المتمايزة عن نشاط الكامبيوم وكميتها ومكان وجودها.

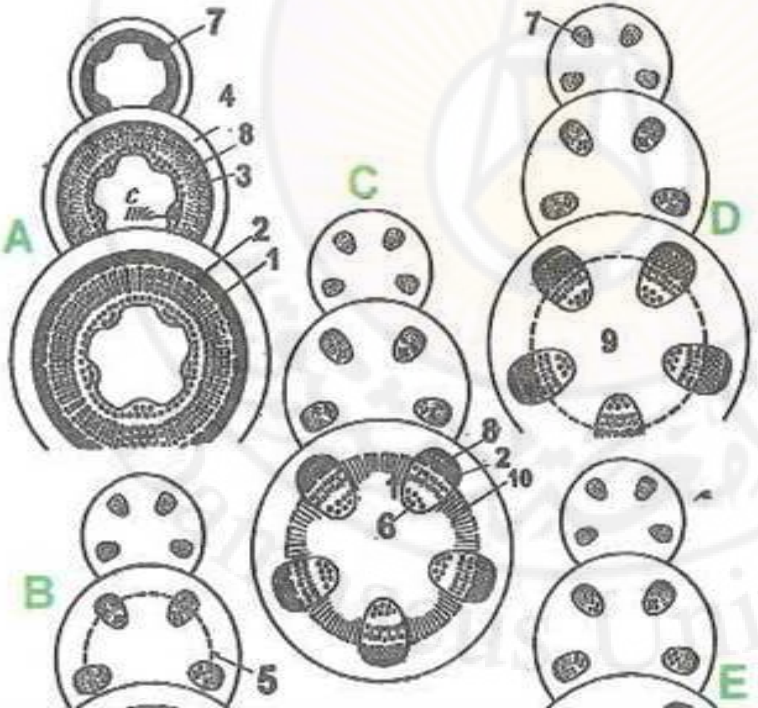


الشكل ١٠-٢٢. مخطط لأشكال البروكامبيوم:
A: بروكامبيوم متصل.
B: بروكامبيوم متقطع إلى حبال.

١: الصابونية المخزنية Saponaria officinalis
٢: في التيلو القلبي Tilia cordata
٣: في جنس النفل Trifolium
٤: الكيليدونيوم الأكبر Chelidonium majus.
٥: زهر الشمس الحولي Helianthus annuus
٦: جنس الحوذان Ranunculus

من الضروري في هذا المجال، دراسة أكثر هذه البنيات انتشاراً، وخاصة في المناطق

وفي المقابل يتمايز الخشب الثانوي، بدءاً من محيط حلقة الكامبيوم و باتجاه مركز الساق. ويضم العناصر التالية: الأوعية، القصيبات، الألياف الخشبية، البرنشيم المتخشب، وأشعة الخشب المخية.



officinalis والدودي الأرجواني *Ipomoea purpurea* وغيرها. كما ينتمي إلى المخطط السابق، عدد كبير من النباتات التي تختلف قليلاً عن سابقتها في بنية اسطوانتها المركزية. إذ يمكن رؤية قمم الخشب الأول، بشكل واضح حول المخ، كما في نبات التيلو القلبي *Tilia cordata* والتفاح المدجن *Malus domestica* والقيقب التتري *Acer tataricum* والكتان كثير الاستعمال *Linum usitatissimum* تنبغي الإشارة أخيراً، إلى بعض الخصائص العامة في بنية الساق الخشبية (باستثناء سوق وحيدات الفلقة).

ترتبط البنية الثانوية للساق، كما في الجذر، بتشكل النسج القسومة الجانبية، من كامبيوم وفللوجين. وتحت تأثير تمايز البنية الثانوية وتطورها، تتلاشى البنية الابتدائية وتزول تقريباً. تتحدد البنية الثانوية للساق بطبيعة نشاط طبقة الكامبيوم.

يتجلى هذا النشاط، بأنه يؤدي إلى تمايز كمية من الخشب الثانوي، أكبر بكثير من كمية اللحاء المماثل. كما أن عناصر الخشب المتشكلة، تزداد كتلتها العامة، عاماً بعد عام، بصورة موازية لمراحل نشاط الكامبيوم. في حين تتحول عناصر اللحاء، تحت تأثير نشاط الفللوجين، من وقت لآخر إلى قلف Rhytidome، يتساقط تدريجياً. وبذلك يتضح أن الكتلة العامة للسوق المعمرة تتألف بشكل أساسي من الخشب الثانوي.

يتجلى نشاط الكامبيوم الفصلي، بتشكيل طبقات خشبية متتابعة هي الحلقات

التطور، إذ أنها تحتل الحلقات الحديثة في سلسلة التطور التاريخية. لقد تحققت التحورات الشكلية للأعضاء الإعاشية، وكذلك الانتقال المستمر من الأشكال الشجرية إلى الجنبات فالأعشاب بطرق مختلفة، كان من أهمها: سيطرة النسيج البرنشيمي على بنية الساق، وضمور الكامبيوم أو اختزاله. ينشط الكامبيوم، في مثل هذه الحالات، وقتاً قصيراً جداً وخلال فصل واحد فقط.

فمثلاً 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.

يخبو نشاط الكامبيوم الانقسامي أو يتوقف نهائياً، حسب الوحدة التصنيفية للنباتات 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 المتنوعة في سوق النباتات العشبية ثنائية الفلقة، يكون أسرع بكثير من مثيلتها الشجرية أو الشجيرية. يشير ذلك إلى قدرتها العالية على التمايز.

تملك السوق العشبية بنية أساسية تميزها عن السوق الخشبية مثل: غياب الفلوجين،

١- البنية الحزمية: يتوضع فيها البروكامبيوم على شكل حبال منفصلة تبدو في المقطع العرضي للساق على شكل أقواس متفرقة.

يتمايز الكامبيوم بدءاً من البروكامبيوم ومن برنشيم الأشعة المخية الأولية. يشتق الكامبيوم الحزمي من البروكامبيوم، وتتمايز مشتقاته في كل حزمة، إلى عناصر اللحاء والخشب الثانويين. بينما يشتق الكامبيوم ما بين الحزم من الأشعة المخية، وتتمايز منتجاته إلى برنشيم الأشعة المخية الثانوية.

استناداً إلى ما تقدم تستمر البنية الابتدائية الحزمية للساق، في بنيته الثانوية أيضاً. تتميز هذه البنية عن مثيلتها في وحيدات الفلقة، بانتظام الحزم في ثنائيات الفلقة في حلقة واحدة وابتعادها بعضها عن بعض بمسافة محددة، اعتباراً من قمة الساق حتى قاعدته (١٠-٢٢ و١٠-٢٣). تُلاحظ البنية الحزمية للساق في النباتات العشبية بصورة عامة، كما في الزراوند السحاري *Aristolochia sipho* والكوسا *Cucurbita pepo* (شكل ١٠-٢٤)* والكيليدونيوم الأكبر *Chelidonium majus* والحوذان الزاحف *Ranunculus repens* وغيرها.



الشكل ١٠-٢٤. البنية الحزمية في مقطع عرضي لساق نبات الكوسا:
١: بشرة، ٢: كولانشيم، ٣: حلقة اسكلرنشيم، ٤: برنشيم، ٥: لحاء، ٦: كامبيوم، ٧: خشب، ٨: لحاء

الكامبيوم ما بين الحزم إلى تشكيل لحاء وخشب ثانويين أيضاً. كما في الكامبيوم الحزمي تماماً. وبالتالي تتشكل حزم ناقلة جديدة تتوضع ما بين الحزم القديمة. وهكذا مع مرور الزمن يتحد الكامبيوم الحزمي مع نظيره ما بين الحزم في الجزء الأقدم من الساق. وتتشكل نتيجة لما سبق، اسطوانة مستمرة من الكامبيوم، تتوسط اسطوانتين متحدتي المركز. تضم المحيطية منهما عناصر اللحاء الثانوي، والداخلية عناصر الخشب الثانوي.

تأخذ النسج الثانوية السابقة في المقطع العرضي، شكل طبقات حلقية كثيفة متراصة. وتبقى قمم الخشب واللحاء الأوليين، الشاهد الوحيد على البنية الحزمية للساق في المراحل المبكرة من تطوره. تُلاحظ البنية الانتقالية عند الكثير من النباتات العشبية في الفصيلة المركبة، مثل زهر الشمس الحولي *Helianthus annuus* وسيرسيوم الحقول *Cirsium arvense* وغيرهما.

٣- **البنية المستمرة:** 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 ب- التمايز.

فعلى أثر تمايز خلايا البروكامبيوم يظهر الخشب واللحاء الأوليان على شكل أسطوانتين مستمرتين، متحدتي المركز المحيطية منهما أسطوانة اللحاء، والداخلية أسطوانة

النباتات الشجرية، سواء من عريانات البذور أو من مغلفاتها (ثنائيات الفلقة).

تُدرس المقاطع العرضية لساق الكتان عادةً، عندما يُراد تحديد صفات الألياف اللحائية وجودتها. فالألياف الجيدة صناعياً، هي التي تكون متراصة، سميكة الجدر الخلوية، وذات لمعة خلوية داخلية صغيرة. وبالمقابل، عندما تكون الألياف اللحائية مبعثرة وذات جدر خلوية رقيقة، ولمعة خلوية داخلية كبيرة، فإنها تفقد معظم قيمتها الصناعية.

يتم تشكيل الحلقات السنوية، بسبب عدم تجانس بنية الخشب. فالخشب الربيعي (الخشب المبكر)، يتألف من أوعية ضخمة، كبيرة القطر. ثم يتشكل الخشب الصيفي-الخريفي، الذي يتكون من أوعية صغيرة القطر وقصيبات.

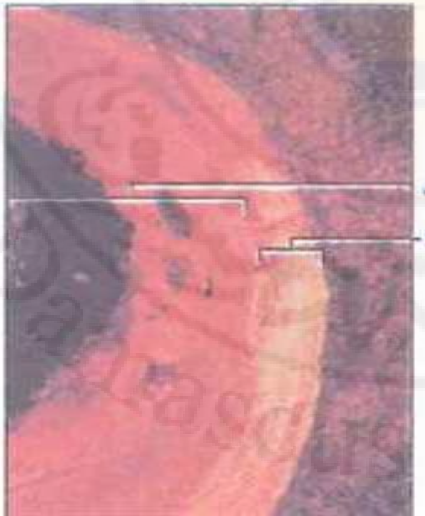
بتأثير تشكل عناصر الخشب الجديدة، تنزاح طبقة الكامبيوم تدريجياً نحو المحيط، دافعةً معها بنفس الاتجاه، جميع النسج التي تقع إلى محيطها. يتوقف نشاط الكامبيوم بعد ذلك، حتى ربيع السنة القادمة، حيث يبدأ النمو الربيعي مجدداً، ويستأنف الكامبيوم نشاطه وتتشكل أوعية ضخمة. ثم تتشكل بعد الأوعية السابقة عناصر الخشب الصغيرة في نهاية الصيف وبداية الخريف. تتكرر هذه العملية في ربيع السنة القادمة. وهكذا في كل عام. يتجلى هذا الانتقال الحاد من الخشب الخريفي ذي الخلايا الصغيرة إلى الخشب الربيعي ذي الأوعية الضخمة بظهور فواصل مرئية بالعين المجردة، ما بين طبقات النمو السنوية للخشب.

يمتد نشاط الكامبيوم، في هذه الحالة، بضع سنوات، ويتمتع الساق حينئذٍ، ببنية خشبية ويتشكل 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 القَطْع العرضي لجذع أو لفارع نباتات لا يقل عمرها عن (٣٠ — ٣٥) سنة، طبقات الخشب المتتالية (الحلقات السنوية)، والتي يمكن تعدادها، وبالتالي معرفة عمر الجذع تقريباً.



عند النظر إلى قطع عرضي لجذع بعض النباتات الشجرية (كالسنديان مثلاً)، يمكن ملاحظة جزء مركزي ملون في الجذع، يدعى نواة الخشب أو الخشب الصميمي. أما كتلة الخشب الضخمة المضيئة الواقعة ما بين نواة الخشب والقشرة فتسمى الخشب الرخو (شكل ١٠-٢٦ و ١٠-٢٧). تفقد العناصر الناقلة في الخشب الصميمي وظيفتها في النقل تدريجياً، وتقوم بخزن مواد متنوعة، سواء في جدرها الخلوية أو في باطنها: عفصية، راتنجية صمغية، ملحية، وغيرها من حاصلات الاستقلاب الخلوي.



بالقشرة. تظهر حلقات النمو السنوية في القطع الطولي للساق، على شكل خطوط مستقيمة متوازية. تكون هذه الحلقات، واضحة تماماً في جميع أشجار ثنائيات الفلقة وعريانات البذور، سواء في القطع الطولي أو العرضي، باستثناء بعض الحالات المحدودة.



Betula pubescens وغيرها، بوجود حلقات سنوية غير واضحة.

تتصف البنية المجهرية لسوق النباتات الشجرية ببنية بسيطة ومتجانسة نسبياً، خاصة في عريانات البذور. فهي تتمتع ببعض الخصائص البنيوية الهامة: فتتألف الجملة الناقلة الأولية فيها، من حزم متطابقة جانبياً، وذلك بالقرب من مخروط النمو. ثم تتشكل بعد ذلك، وخلال تمايز البنية الثانوية 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. ويتألف الخشب في الصنوبر، كما في عريانات البذور، من عناصر متجانسة، تتكون بصورة عامة من القصيبات، بينما تغيب منها الأوعية والعناصر الاستنادية المتخصصة Libriforms.

يشير تنوع العناصر الناقلة للخشب، إلى مستوى التطور المرتفع للنبات، كما في معظم مغلفات البذور.

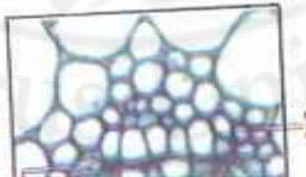
بنية الساق في وحيدات الفلقة

تتصف الحزم الناقلة في وحيدات الفلقة، كما هو معروف، بأنها مغلقة. أي تتصف بنشاط انقسامي محدود، وبالتالي بنمو عرضي بطيء. تنتشر 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 لساق السوسن الألماني *Iris germanica*:

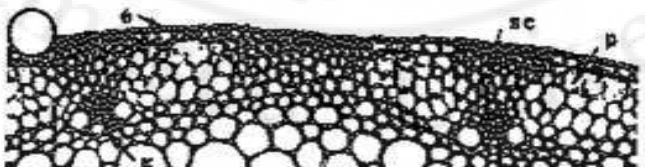
يتشكل تحت النسيج الواقي (أي البشرة) ثلاث لبنات من النسج المتمايزة بعضها عن بعض، بوضوح. تتألف اللبنة الأولى من البرنشيم اليخضوري. وتتكون اللبنة الثانية من الإسكلرنشيم المتخشب غالباً، الذي يتوضع إلى الداخل من البرنشيم اليخضوري. ويعتبر المخ اللبنة الثالثة في مركز هذا الساق. يشتق الإسكلرنشيم بدءاً من المحيط الدائر، وبالتالي، تعد الطبقة الخارجية منه، أولى طبقات الأسطوانة المركزية. تفصل الأدمة الباطنة، المؤلفة من صف واحد من الخلايا البرنشيمية المتراصة ما بين الإسكلرنشيم والبرنشيم اليخضوري، فتعد لذلك آخر طبقات القشرة. وأخيراً يشاهد المخ الذي يتألف من طبقة ضخمة من البرنشيم الأساسي، تنتشر فيه الحزم الناقلة المتطابقة والمغلقة. يكون اللحاء فيها نحو محيط الساق، بينما يتوضع الخشب نحو المركز.





تتمتع سوق معظم النجيليات ببنية 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 لمثل هذه السوق. وكمثال عليها، يمكن دراسة بنية المقطع العرضي لساق القمح (شكل ١٠-٢٩).

يلاحظ في محيط المقطع، حلقة متصلة من الإسكلرنشيم. تبرز الخلايا الاسكلرنشيمية في بعض المناطق نحو السطح الخارجي من الساق، مشكلة أعرافاً مضلعة. تفصل الأعراف السابقة بعضها عن بعض في الساق الفتية، كتل خلوية برنشيمية، مليئة بالصانعات الخضراء، وذات جدر خلوية رقيقة. وتدريجياً مع مرور الزمن، تتشرب جدر خلايا البرنشيم اليخضوري وخلايا البشرة مادة الخشبين. تنتشر الحزم الناقلة في صفين، وأحياناً في ثلاثة صفوف. تتداخل الحلقة الخارجية من الحزم الناقلة الإسكلرنشيم. في حين تتوزع الحزم الداخلية ما بين الخلايا البرنشيمية، وتحاط عادة، بغمد من الألياف المتخشبة.

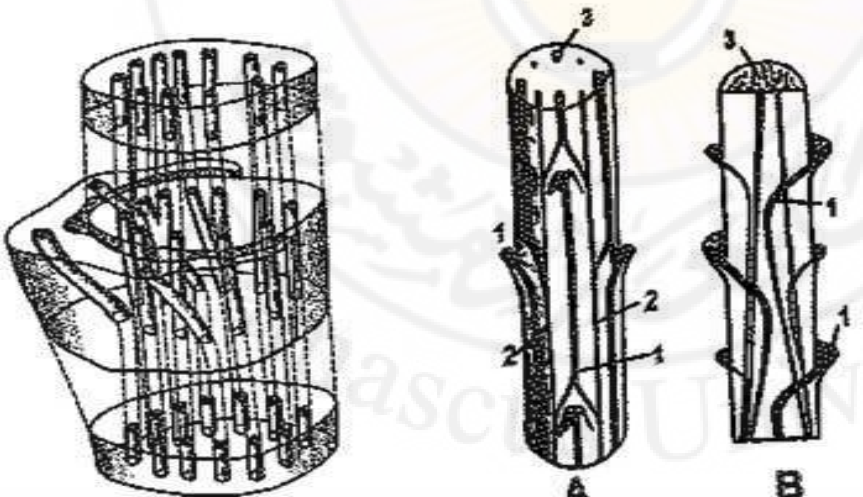


الشكل ١٠-٢٩. جزء من مقطع عرضي في ساق الشوفان Avena :
e: بشرة مغطاة بقشيرة ثخينة، p: برنشيم محيطي، sc:

إلى إحدى مجموعتين:

آ: مجموعة الحزم الناقلة الخاصة بالساق فقط.

ب: مجموعة الحزم الناقلة العامة، أي المشتركة بين الساق والورقة الطابقة (شكل ١٠-٣١) يسمى جزء الحزمة العامة، الآتي من الورقة والموجود في الساق الأثر الورقي. يتحد هذا الأخير حينئذٍ، مع الحزم الخاصة بالساق. أما أصل الحزم الناقلة في وحيدات الفلقة، فيكون مغايراً لما سبق. إذ تعد جميع الحزم الناقلة في سوق هذه النباتات آثاراً ورقية (أي حزماً عامة)، حيث تلتقي في الساق وتتحد مع حزم أخرى مشابهة لها.



شجرة التنين التنيني *Dracaena draco*. هذا النبات متفرع جداً، يبلغ ارتفاعه ١٥ متراً وقطر جذعه، أربعة أمتار تقريباً. كما يصل طول ورقته إلى ٦٠ سنتمتراً وعرضها ٢,٥ سنتمتر.

لا تختلف بنية ساق الدراسينا الفتية في عامها الأول، من حيث تركيب عناصرها النسيجية، عن ساق النباتات العشبية وحيدة الفلقة، كالذرة المايسية *Zea mays*. تبرز الاختلافات الجوهرية مع ظهور النسج الثانوية في الساق. فتبدي الطبقات العميقة من القشرة نشاطاً انقسامياً مرتفعاً، إذ تنقسم خلاياها مماسياً على كامل محيط الساق. ونتيجة لذلك، تتمايز حلقة خاصة، تعد نسيجاً قسوماً ثانوياً شاذاً وفريداً. يؤدي النشاط الانقسامي للحلقة السابقة إلى تراكم خلايا برنشيمية فقط نحو الوحشي، والى تشكيل نسيج برنشيمي وحزم ناقلة مبعثرة نحو الأنسي. يتألف الخشب في هذه الحزم من قصيبات فقط (شكل ١٠-٣٢).



الشكل ١٠-٣٢. جزء من مقطع عرضي لساق التنين التنيني Dracaena .

الورقـة Leaf

تتميز الورقة عن الجذر والساق بتناظرها الجانبي، ونموها المحدود. فتنمو في البداية، بفضل نشاط النسيج القسوم القمي في نهايتها، ثم تتابع نموها، وتأخذ شكلاً مسطحاً بفضل انقسام خلايا النسيج القسوم البيني الذي يتمايز على جانبي قرص الورقة. تتصف الأوراق في النباتات الشجرية، بأنها محدودة العمر أيضاً، فتتساقط دورياً، ويتشكل عوضاً عنها، أوراق فتية جديدة. أما في النباتات العشبية الحولية، فغالباً ما تنتهي حياة الساق والأوراق في وقت واحد تقريباً، وذلك بعد ٤٥ إلى ١٢٠ يوماً من بداية حلقة تطورها. وأخيراً، تستطيع الأوراق في النباتات دائمة الخضرة الحياة من سنةٍ واحدة حتى خمس سنوات، وأحياناً إلى عشر سنوات كما في الصنوبريات من جنس الطقسوس *Taxus* والتنوب *Abies*. يعد جنس الفلفيتشيا *Welwitschia* حالة استثنائية في هذا المجال إذ يحمل النبات فيه ورقتين متقابلتين فقط. تعيشان حتى نهاية حياة النبات (من٩٠ إلى ١٢٠سنة).

تقوم الأقراص الورقية ببعض الوظائف الأساسية، كالاصطناع الضوئي والنتح والتنفس. كما تدخر أحياناً، بعض المواد الغذائية. تملك الأجزاء الأخرى من الورقة وظائف متنوعة، أقل أهمية وتحديداً. فالأذنات Stipules مثلاً لا تقوم في كثير من الأحيان، بأي دور وظيفي. فقد تسقط مبكرة كما في جنس التفاح *Malus*، وقد تبقى طوال المرحلة الإعاشية للنبات، ولكنها لا

الفصائل الكبرى كالملفوفية Brassicaceae (أو الصليبية Cruciferae) والغاغرة Lamiaceae 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 تظلل الأوراق بعضها على الساق بصورة عامة (شكل ١٠-٣٤). ويتم ذلك عن طريق:

١: الاختلاف في طول المعاليق وفي درجة انحنائها.

٢: التباين في مساحة سطح الأقراص الورقية.

٣: الحساسية الضوئية الموجبة للأوراق.

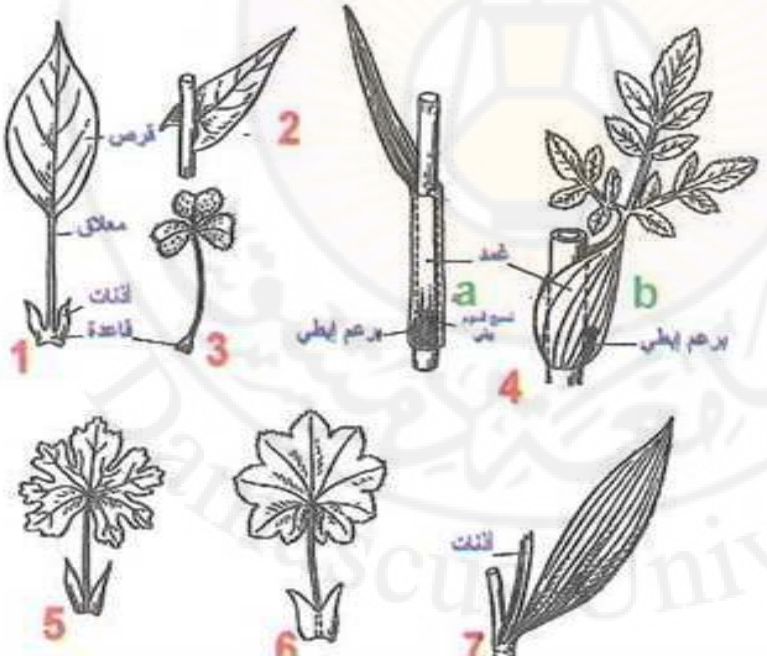


الشكل ١٠-٣٤. أوراق اللبلاب Hedera helix:
لاحظ كيف أن نصل كل ورقة يتوجه بشكل يتلقى فيه أكبر كمية من الضوء

متر، وفي رافية الخيطان *Raphia taedigera* إلى ٢٠–٢٢ م طولاً و١٢م عرضاً.

أجزاء الورقة:

تتألف الورقة عادة، من عدة أجزاء مختلفة، يتراوح عددها من جزء واحد حتى ستة أجزاء (شكل ١٠–٣٥) وهي :



- اللسينة Ligule: زائدة حرشفية صغيرة تتشكل في منطقة اتصال الغمد بقرص الورقة.
- الحلمات Auricles: لواحق أو نتوءات ورقية عند قاعدة الورقة.

غالباً ما تتألف الورقة من جزءين إلى ثلاثة أجزاء، ونادراً ما تتألف من القرص فقط، فتسمى حينئذٍ الورقة اللاطئة. تمثل الحالات الثلاث التالية، أكثر الأوراق انتشاراً في الطبيعة:

١: تتألف الورقة في الحالة الأولى من القرص والمعلاق، وقد تضاف إليهما الأذنتان 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 الجزءين الرئيسين في الورقة.

تنتشر الأذنات غالباً، في النباتات الشجرية من مغلفات البذور، فتوجد في نحو ٤٠٪ من النباتات الشجرية وفي ٢٠٪ من النباتات العشبية ثنائية الفلقة، ومن الجدير بالذكر عدم تشكل الأذنات إطلاقاً في معظم الصليبيات.

تصنف الأذنات عادةً، في مجموعتين أساسيتين:

١: مجموعة الأذنات الحرة، كما في الكرمة الخمرية *Vitis vinifera* وفي الشجرى التولبي

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، إذ تعد الأوراق من أكثر أجزاء النبات تغيراً، سواء في الشكل والحجم، أو في اللون ومدة 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 الفارع البرعمي من العوامل الخارجية، أو ادخار المواد الغذائية. وهي أقدم الأوراق في النبات، إذ أنها تمايزت منذ المراحل الأولى لتطوره. فتنتمي الأوراق القبلية، والحراشف البرعمية، وحراشف الجذامير والفوارع الهوائية، إلى مجموعة الأوراق السفلية في النبات.

٢: **الأوراق المتوسطة:** هي الأوراق العادية التي تميز نوعاً نباتياً عن نوع آخر، وهي التي نعنى 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 الفوارع الأفقية والعمودية. ويصبح هذا الاختلاف أكثر وضوحاً في النباتات المائية: كالحوذان المائي *Ranunculus aquaticus* والـ *Limnophylla heterophylla* وسهمي الورق *Sagittaria 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 ١٠-٣٦).



مشكلة تصنيفية حقيقية. إذ لا يوجد تصنيف واحد يحيط بجميع الأوراق المتباينة في الطبيعة. ولذلك فقد ظهرت عدة طرائق تصنيفية مختلفة، لكل منها أسسها الخاصة. تعد جميع التصانيف 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 بدائية بسيطة البنية، كما في رتبة أرجل الذئب *Lycopodiales* والمخروطيات Coniferae، ذات الأضلاع البسيطة وتشمل المجموعة الثانية أوراقاً متنوعة مركبة، معقدة البنية.

استناداً لما تقدم تصنف الأوراق في زمرتين: بسيطة ومركبة.

الأوراق البسيطة Simple leaves

يتألف قرصها من قطعة واحدة، وتعد من الناحية التطورية، أكثر أشكال الأوراق بدائية. فالنباتات الأولى من عريانات البذور، كانت تحمل أزهاراً بدائية 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 عميقة، إنما دون الوصول إلى الضلع الرئيسي. تسمى الورقة حينئذٍ المفصصة Lobed كما في جنس الأرطماسيا *Artemisia*

وبيضوي في الـ *Dorantia*، ومتطاول في الزيتون *Olea* وريشي في الكاليبتوس *Eucalyptus* وشريطي في الذرة *Zea*، ورمحي في لسان الحمل *Plantago* وإبري في الصنوبر *Pinus* (شكل ١٠-٣٧).

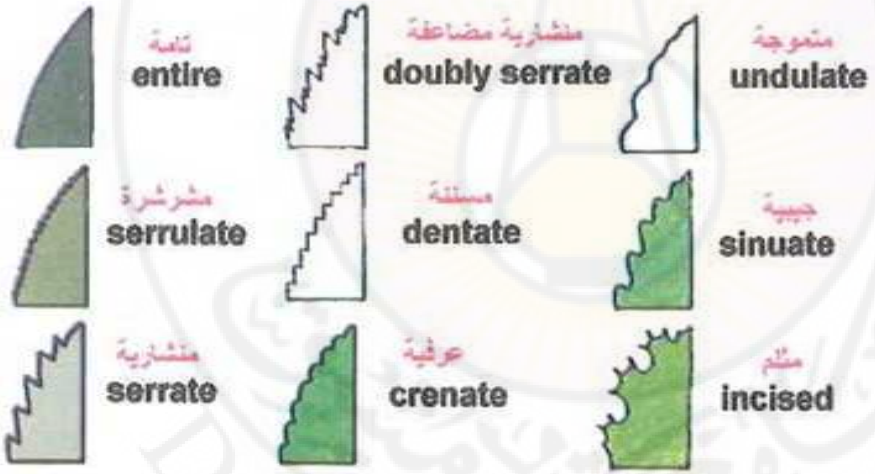


الشكل ١٠-٣٧. أهم أشكال الورقة البسيطة

٢: واستناداً إلى شكل قاعدة القرص: يميزون بين قاعدة قلبية في المشمش *Prunus armeniaca* ومستديرة في الخبازي، وسهمية في جنس السلق والسهمي *Sagittaria*، ورمحية، وكلوية في البوهينية *Bauhinia variegate* (شكل ١٠-٣٨)



٣: ويميزون استناداً إلى حافة القرص: بين التامة في الزيتون والبصل، والمسننة في جنس القراص *Urtica*، والمنشارية في الورد *Rosa*، والمقروضة في التوت *Morus*، والمتموجة في السنديان *Quercus*، والشوكية في البربريس *Berberis* (شكل ١٠-٣٩).



الشكل ١٠-٣٩. أهم أشكال حافة الورقة

٤: وأخيراً تصنف الأوراق البسيطة حسب قمة قرصها إلى: كليلة أو مدببة في جنس الـ *Dorantia*، ومستديرة في الدلبرجية *Dalbergia* ومستدقة مذنبة في تين المعابد *Ficus*

ب- الأوراق مفصصة القرص: ويميزون فيها:

١: سطحية التفصص: وفيها لا يتجاوز عمق انقسام القرص ربع عرضه، كما في جنس السنديان والقطن *Gossypium*.

٢: عميقة التفصص: وفيها يكون الانقسام عميقاً، وقد يصل إلى ثلثي عرض القرص، كما في جنس الخشخاش *Papaver* (شكل ١٠-٤١).

٣: مجزأة: ويصل الانقسام فيها إلى الضلع الرئيسي للورقة. وتتميز عن الورقة المركبة بأن كل جزء من أجزائها لا يشتمل معلاق، كما في الحونان القيقبي *Ranunculus acer*.

من المفيد الإشارة إلى أن الأوراق المفصصة السابقة قد تكون كفية أو ريشية التضليع



قاعدتها، بينما ينذر أن تسقط الوريقات بصورة منفصلة.

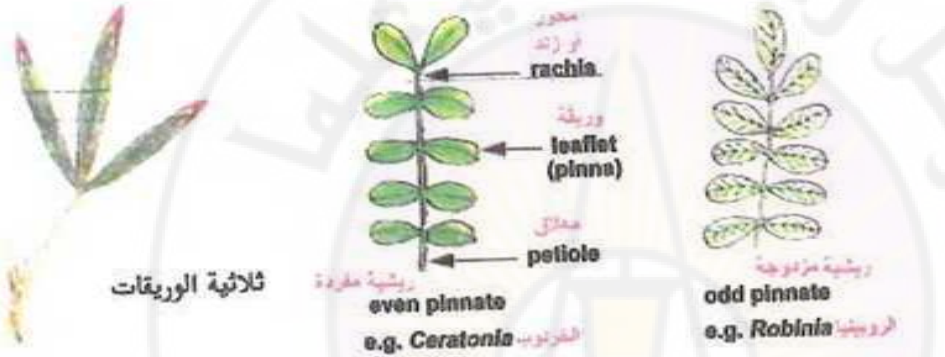
تميز الأوراق المركبة بعض الفصائل النباتية، كالفولية مثلاً. وتنتشر بصورة عامة، في الأشجار والجنبات وفي بعض الأنواع العشبية كما في جنس إكليل الملك *Melilotus* وجنس الفصفصاء *Medicago* وغيرها. وقد لوحظ في بعض النباتات العشبية أشكال انتقالية للورقة بين المركبة والبسيطة. يرتبط تحول الورقة المركبة إلى ورقة بسيطة بضمور معاليق الوريقات، واختزالها. تفقد عملية تساقط الأوراق أهميتها الحيوية عند النباتات العشبية، بسبب موت الفارع بكامله دفعة واحدة تقريباً.

تقسم الأوراق المركبة، حسب طريقة توضع الوريقات على المعلاق الورقي، إلى زمرتين: مركبة ريشية ومركبة كفية أو راحية (شكل ١٠-٤٢).

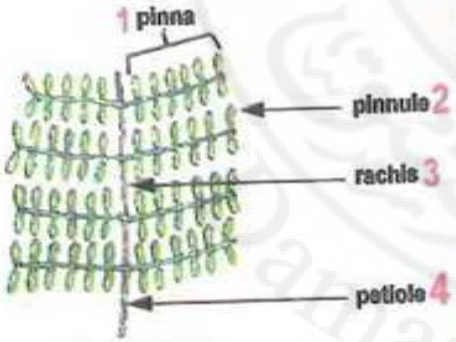
آ- **الأوراق المركبة الريشية**: وفيها يحمل المعلاق الورقي Rachis الذي يمثل الضلع الرئيسي في الورقة البسيطة، الوريقات على جانبيه، حيث تنتظم في أزواج متقابلة. تصنف هذه الأوراق في الفئات التالية:

١: أوراق مركبة ريشية مفردة: وفيها ينتهي المعلاق الورقي بوريقة واحدة فقط، كما في جنس الورد *Rosa*.

٢: أوراق مركبة ريشية مزدوجة: وفيها ينتهي المعلاق الورقي بورقتين متقابلتين كما في جنس



الشكل ١٠-٤٢: الورقة المركبة الريشية





تضليع الأوراق Venation

تنتشر في قرص الورقة عادةً، وبطرائق مختلفة، جملة من الحزم الناقلة الوعائية اللحائية، تعرف باسم الأضلاع. تتحد هذه الحزم مع مثيلتها في الساق والجذر، مشكلة جملة ناقلة متكاملة. تكسب الأضلاع قرص الورقة قوة ومتانة كبيرتين، وتحميهما من التمزق بفعل الرياح والعواصف. من أكثر أشكال التضليع انتشاراً: البسيط، الثنائي Dichotomy الشبكي، القوسي والمتوازي (شكل ١٠-٤٤).

١: التضليع البسيط: يمتاز بوجود ضلع واحد فقط (أي حزمة ناقلة واحدة)، يخترق قرص الورقة من قاعدتها حتى قمتها. يصادف هذا النمط عند النباتات البوفية الراقية، كالطحالب وأرجل الذئب، وفي كثير من عريانات البذور، كالصنوبريات. ويلاحظ عند مغلفات البذور، كما في الايلوديا الكندية *Elodea canadensis*.

٢: التضليع الثنائي: وفق هذا النمط من التضليع، يخترق قرص الورقة أضلاع متفرعة ثنائياً. يلاحظ هذا الشكل في بعض النباتات البذرية كما في الجنكو ثنائي الفص *Ginkgo biloba*.

٣: التضليع الشبكي: ينتشر هذا النموذج بصورة واسعة في النباتات ثنائية الفلقة، وله شكلان رئيسان: ريشي وكفي.

يقع الضلع الرئيسي في الشكل الريشي، في منتصف الورقة وعلى استقامة معلاقها.

٤: التضليع 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 ١٠-٤٤. أشكال التضليع في الورقة

بفضل معطيات 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:

المغنولية والوردية والخبازية وغيرها).

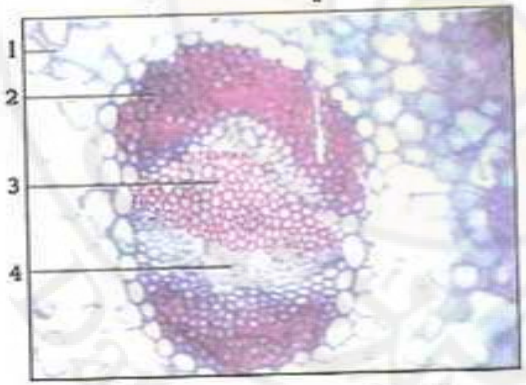
البنية المجهرية للورقة

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 تناظراً جانبياً واضحاً بالعين المجردة. ويبدو هذا التناظر الجانبي أكثر وضوحاً، عند دراسة المقطع العرضي لقرص الورقة تحت المجهر. فيتألف قرص الورقة من البشرة العليا والسفلى، والنسيج المتوسط (البرنشيم الحباكي والفراغي) والحزم الناقلة الوعائية اللحائية (شكل ١٠-٤٥).



المؤذية، ومن الأحياء الدقيقة المتطفلة. تتعزز الوظيفة الدفاعية للبشرة، بترسب طبقة من القشيرين على سطح جدارها الخارجي. وقد يحمل السطح الخارجي للبشرة أحياناً طبقة كثيفة من الأوبار.

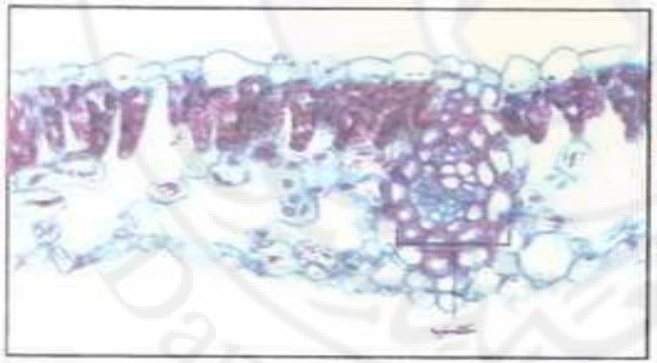
تنتشر الحزم الناقلة في النسيج المتوسط لقرص الورقة، على شكل شبكة كثيفة من الأضلاع. وهي حزم مغلقة متطابقة جانبياً، يتجه الخشب فيها نحو السطح العلوي للورقة، بينما يتمايز اللحاء باتجاه سطحها السفلي (شكل ١٠-٤٦).



الشكل ١٠-٤٦. مقطع عرضي في ورقة البوغا في منطقة العصب الرئيس:
١: برنشيم، ٢: اسكلرنشيم يشكل غمداً حول الحزمة، ٣: خشب، ٤: لحاء

تنحصر وظيفة الأضلاع (الحزم الناقلة) في تموين خلايا الورقة بالماء والأملاح المنحلة

الخارجية كالإضاءة، والتموين بالماء وغيرها. ويبدو هذا الاختلاف في البنية، واضحاً 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 تلتف على شكل الأنابيب). يملك الضوء إذن، أهمية كبيرة وخاصة في طريقة تمايز البنية المجهرية لقرص الورقة (شكل ١٠-٤٧).



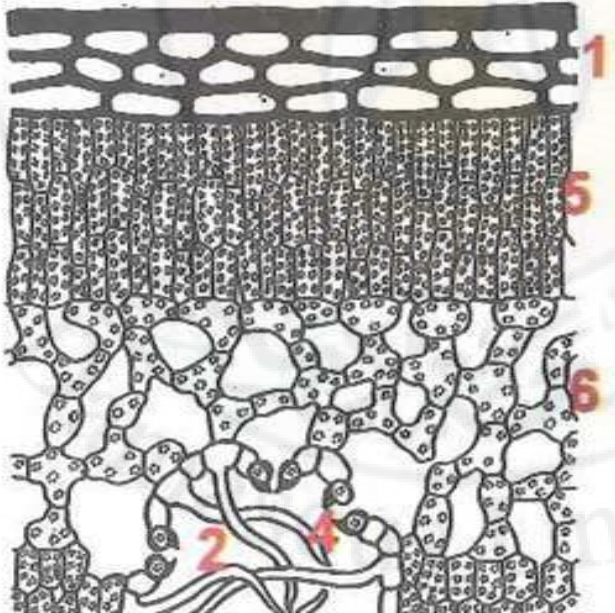


وآخر فراغي. أما في الإضاءة الشمسية المتجانسة (في حالة تساوي الإضاءة على سطحي الورقة) كما في جنس النرجس *Narcissus* والسوسن *Iris* والكاليبتوس *Eucalyptus*، أي عندما يكون قرص الورقة منتصباً أو متدلياً، فتملك الورقة، بنية متجانسة من الجانبين.

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، بتكيف الورقة مع تقليص عملية النتح في الأراضي القاحلة أو في السهول الجافة. فيلتف قرص الورقة في جنس القدمي *Stipa* حول نفسه، ليأخذ شكل أنبوب مغلق، بغية تقليل عملية النتح إلى أقصى حدٍ ممكن. يتموج السطح العلوي من الورقة بشدة، ويقع إلى الجهة الداخلية من الأنبوب. تتوزع المسام على هذا السطح وفي باطن الأخاديد التي تفصل الأعراف بعضها عن بعض. بينما يكون السطح السفلي (الخارجي) لهذه الورقة أملسَ ومحروماً من المسام. كما تتصف خلايا البشرة السفلى بسماكة جدرانها، وتتمتع بتغلظ ملحوظ (شكل ١٠-٤٨).



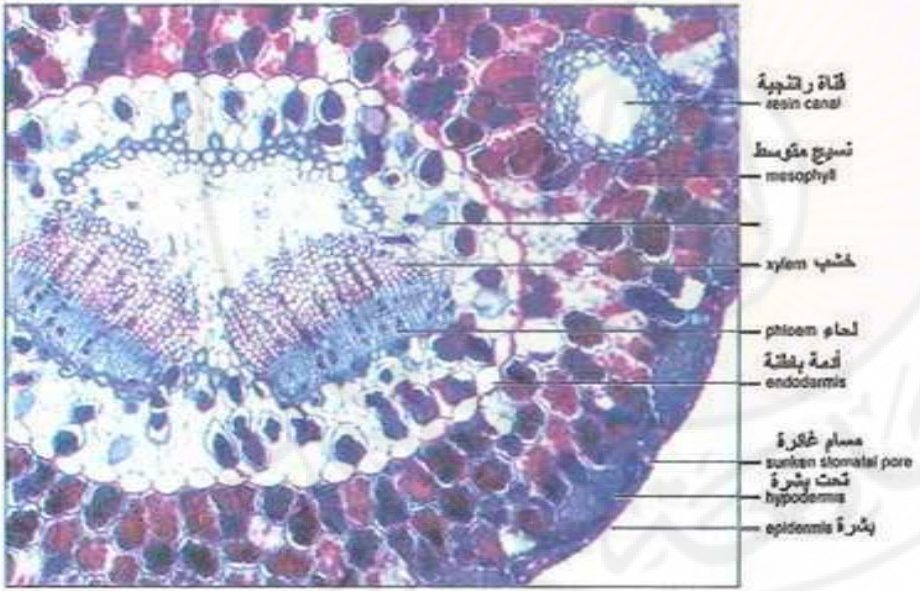
أما ورقة الدفلة *Nerium oleander*، فيتضمن سطحها السفلي تجاويف خاصة تدعى Crypts، تقع المسام في باطنها. تشكل خلايا الطبقة الوحيدة للبشرة والمبطنة لهذه التجاويف، أوباراً طويلة، تعمل على إغلاق فتحة التجاويف لتقليل عملية النتح. وبالمقابل، تتكون البشرة في مناطق الأعراف، التي تفصل التجاويف السابقة بعضها عن بعض، من عدة طبقات خلوية، تترسب على سطحها الخارجي طبقة سميكة من القشيرين (شكل ١٠-٤٩).



آ: وجود طبقة من الخلايا تحت البشرة Hypoderma تقوم بوظيفة ادخار الماء.

ب: وجود البرنشيم اليخضوري، المؤلف من خلايا مفصصة.

جـ: وجود طبقة الأدمة الباطنية.



الشكل ١٠-٥٠. مقطع عرضي لورقة الصنوبر الحرجي

تحورات الورقة

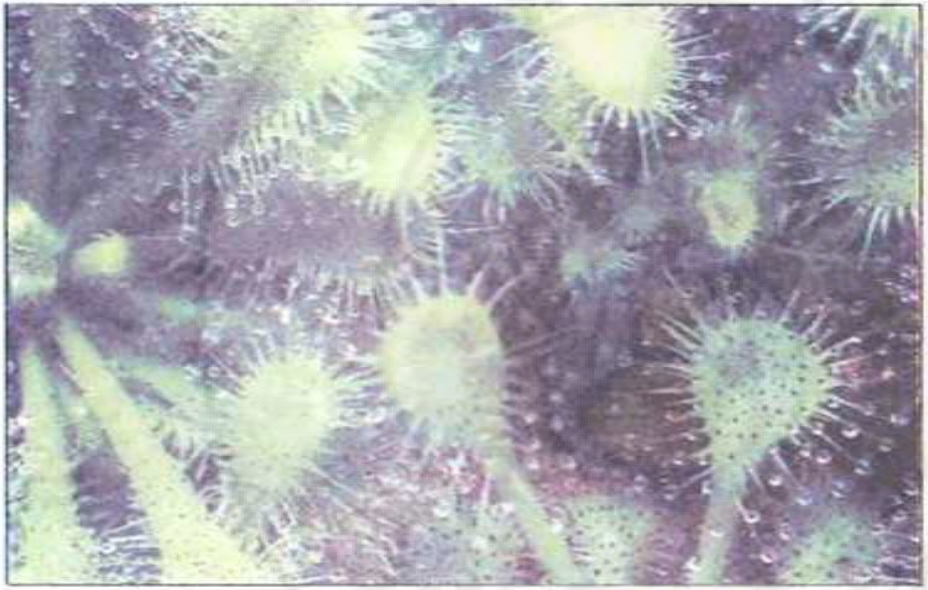
pseudoacacia. وقد تشتق أيضاً من بعض أجزاء قرص الورقة، كما في جنس الشوك *Carduus* وغيره من نباتات الفصيلة المركبة Compositae. وفي هذه الحالة تتحول نهاية الأضلاع في قرص الورقة إلى أشواك.



a b c d

الشكل ١٠-٥١. 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 متحورة (في البربريس c، والصبار d).

٢: الأجهزة القانصة: تعد من أشكال الأوراق المتحورة، وتميز النباتات آكلة الحشرات كما في جنس الندية *Drosera* وجنس السلوى *Nepenthes* وخناق الذباب *Dionaea muscipula* وغيرها. تأخذ الأوراق في كل من جنسي الندية *Drosera* والسلوى *Nepenthes* أشكالاً مختلفة تفيد في صيد الحشرات. فإذا ما وقعت حشرة صغيرة في باطن هذه الأجهزة [illegible]



A



Pisum sativum. وقد تتحور الأذنات إلى محالق كما في جنس السميلاك *Smilax*. وأخيراً، قد يتحول معلاق الورقة إلى محلاق كما في جنس الكبوسين *Tropaeolum*.



الشكل ١٠-٥٣. الأوراق اللحمية لدى جنس الصبر Aloe ferox



الأعضاء المتشابهة والمتجانسة Analogous and Homologous organs

تنتشر التحورات أو التغيرات الشكلية بصورة واسعة، سواء في عالم النبات أو الحيوان. والتحور ظاهرة مميزة للمادة الحية في جميع مستويات تطورها، تصيب الأعضاء الإعاشية أو التكاثرية على السواء. تتميز التحورات عن الانحراف العرضي، بأنها تراكيب خاصة غير قابلة للعكس .تلاحظ أكثر أشكال التحور تطوراً وانتشاراً في النباتات مغلفة البذور، بسبب الاختلاف الشديد في العوامل المناخية وفي شروط الوسط الأخرى. استناداً إلى ما تقدم، يمكن النظر إلى التحورات، كتعبير حقيقي عن مرونة العضويات، خلال عملية تكيفها مع شروط الوسط والمتغيرة باستمرار.

تصنف التحورات عادةً، في أربع مجموعات: تحورات الجذر والساق والورقة والفارع. ولكن من الضروري الإشارة إلى عدم وجود حدود فاصلة قوية بين تحورات الأعضاء السابقة. ولهذا السبب: يمكن تصنيف جميع الأعضاء المتحورة في زمرتين مختلفتين من حيث المبدأ: الأعضاء المتشابهة والأعضاء المتجانسة. تتميز الأعضاء المتحورة المتشابهة (شكل ١٠-٥١) ببنية متشابهة مورفولوجياً وبوظائف متماثلة فيزيولوجياً، إلا أنها لا تملك أصلاً واحداً، إذ ليس بينها قرابة محددة. الأمثلة على الأعضاء المتشابهة متعددة، منها: أشواك البربريس- ورقية الأصل، وأشواك جنس الزعرور *Crataegus* – فارعية الأصل، وأشواك روبينيا الأكاسيا

فمثلاً لكل من شوكة البربريس وشوكة الصبار، الأصل المشترك نفسه (الورقة). كما تملك شوكة جنس الورد *Rosa* وشوكة العليق *Rubus* أصلاً واحداً (البشرة). وكذلك، يتمتع الجذر اللحمي لكل من الشمندر العادي *Beta vulgaris* والجزر البري *Daucus carota* بالأصل نفسه. إذ تنمو، بصورة أساسية، بدءاً من المحور تحت الفلقي، ومن الفارع القصير (الرأس) ومن الجذر نفسه.

ولكن أحياناً، لا تتمتع الأعضاء المتجانسة 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 التكاثر الإعاشي وادخار المواد الغذائية. تعد جميع الأعضاء التالية: الجذمور في جنس الـ *Agropyron* والشوكة في نبات البونسير ثلاثي الورق *Poncirus trifoliata* ، والمحلاق في جنس الفريز *Fragaria*، والدرنة في البطاطا، من الأعضاء المتحورة المتجانسة، إذ تملك جميعاً أصلاً عاماً واحداً – الفارع.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

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. Gorenflot, R: Biologie Végétale "Plantes Supérieures" Tome 1 & 2. Masson, 1985.
7. Judd W., Campbell C., Kellogg E. and Stevens P.: Plant Systematics " A Phyllogenetic approach" Sinauer Associates, Inc. Publishers U.S.A1999.
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, Englewwod Cliffs, New Jersey, 1977.
13. Tourte M.: Biologie Cellulaire. 2 ed. Dunod Paris 2003.
14. Vacieleiv 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. Блукет 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.,Лотова 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.,Кудрявов Л. Ботаника"Систематика растений"."Просвещение",Москва,1975.
31. Кудрявов Л.,Родионова Г. Ботаника с основами экологии."Просвещение",Москва,1979.
32. Лебедев С. Физиология растений."Колос",Москва, 1982.
33. Либберт З. Физиология растений.Перевод с немецкого языка."Мир",Москва,1976.
34. Момот Т.С. Дифференциация растений сосны пицундской Pinus pithyus 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. Поздалкова И.А. Лекции по биоэнергетике

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 индолилуксусной кислоты на рост и дыхание отрезков колеоптилей кукурузы.Вестник Ленинградского университета №9,стр.110-112,1980.

43. Сергеева П.В. Биологические мембраны."Медицина",1978.

44. Тахтаджян А.А. и др. Жизнь растений.т.I,2,3, 4,5,"Просвещение",Москва,1981.

45. Тутаюк В.Х. Анатомия и морфология растений. "Высшая икола",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."Просвещение",Москва,1980.

المراجع العربية

٥٤- أبو حرمة دياب: الفيزيولوجيا النباتية. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨١

٥٥- أبو حرمة دياب ورفاقه: علم البيولوجيا. الجزء الأول والثاني. المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر ١٩٩٧.

٥٦- الشهابي مصطفى: معجم الشهابي في مصطلحات العلوم الزراعية، إعداد أحمد شفيق الخطيب، مكتبة لبنان ١٩٧٨.

٥٧- بركودة يوسف، عمودات محمد: نباتات سورية "البيئة والغطاء النباتي والأنواع الشائعة". مجلة علوم الحياة، مطبعة المدينة ١٩٧٩.

٥٨- بغدادي وفاء: تصنيف الفطريات. منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨٢.

٥٩- بدر جابر، متوج آدم: علم الوراثة. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة ١٩٩٢.

٦٠- حداد مصطفى: المورفولوجية النباتية، منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم ١٩٨٢.

٦١- خطيب محمد أنور: الفصائل النباتية، منشورات جامعة دمشق ١٩٨٧.

٦٢- شرابي نجم الدين، هابيل منير: الأحياء الدقيقة. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة ١٩٨٠.

٦٣- الصباغ عبد العزيز: موسوعة النبات العام، الديوان الوطني للمطبوعات الجزائرية

فهرس المصطلحات العلمية

Index

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
	A	
Absorbing parenchyma	Parenchyme absorbeur	برنشيم امتصاص ١٥٧، ١٧٤
Adventitious buds	Bourgeons adeventives	براعم عارضة ٢٤٥
Adventitious root	Racines adventives	جذور عارضة ٢١٢، ٢١٧، ٢١٨، ٢٢٠، ٢٣٩، ٢٥٥، ٢٥٩، ٣٠٧
Aerenchyma	Parenchyme aérifière	برنشيم هوائي ١٥٧، ١٧٥
Agronomy	Agronomie	علم الزراعة ٢٠
Alkaloids	Alcaloides	القلويدات ١٣٩
Amiloplasts	Amiloplasts	صانعات النشاء ١٠٨
Amylose	Amylose	أميلوز ١٣٥
Analogous organs	Organes Analogues	أعضاء متشابهة ٣٠٧، ٣١٠
Anaphase	Anaphase	الطور الأول ٧١
Anatomy	Anatomie	علم التشريح ١٨
Antibiotics	Antibiotiques	صادات ١٣٢
Anticlinal	Anticlinal	شعاعي ١٦٨
Apical meristem	Mèristème apical	نسيج قمم قمي ١٥٨

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Botany	Botanique	علم النبات ٢٠
Buds	Bourgeons	براعم ٢٤٥
Bulbs	Bulbes	أبصال ٢٦١
Bundle	Faisceau	حزمة ١٩٣

C

Callose	Callose	سكر الكالوز ١٩٠
Callus	Cal	أسطوانة سكرية ١٩١
Calyptrogen	Calyptrogène	مولد القلنسوة ٢٢١
Calyptrodermatogen	Calyptrodermatogène	مولد القلنسوة والبشرة ٢٢١
Cambium	Cambium	كامبيوم (القلب) ١٥٩
Cap	Coiffe	قلنسوة ٢٢١
Cell Wall	Paroi de la cellule	جدار الخلية ١٤٢
Chlorenchyma	Chlorenchyme	برنشيم يخضوري١٥٧، ١٧٢
Chlorophyll	Chlorophylel	يخضور ١٤, ١٠١
Chloroplasts	Chloroplastes	صانعات خضراء ١٤, ٩٨, ١٠٥, ١٠٨
Chromatid	Chromatide	صبيغي (كروماتيد) ٦٣
Chromatin	Chromatine	الكروماتين (المادة الصبغية) ٥٨

عربي ورقم الصفحة	فرنسي	انكليزي
فلين ١٥٧، ١٦٢، ١٦٨	Liège	Cork
كامبيوم فليني ١٥٩	Cambium liège	Cork cambium
كورمة ٢٢٠، ٢٦٢	Corme	Corm
قشرة ١٧٤، ٢٢٥	Cortex (Ecorce)	Cortex
قشرين ١٤٩، ١٦٣، ١٦٧، ١٩١	Cutine	Cutin
قشيرة ١٥٠، ١٦٣، ١٦٧، ١٩١	Cuticule	Cuticle
تقشرن ١٤٩	Cutinisation	Cutinization
انقسام سيتوبلاسمي ٧٣	Cytokinese	Cytokinesis
علم الخلية ٢٤	Cytologie	Cytology
الهيكل السيتوبلاسمي ١١٨	Cytosquellette	Cytoskeleton
العصارة الخلوية ٤١، ٩٠، ١٢٣	Cytosol	Cytosol

D

تمايز رجعي ١٥٦	Dédifférentiation	Dedifferentiation
تشوه ١٩٠	Dénaturation	Denaturation
مولد البشرة ١٥٧، ١٦٢، ٢٦٦	Dermatogène	Dermatogen
نزع السمية ٨٢	Détoxification	Detoxification
تمايز ٨٧، ١٥٣	Différentiation	Differentiation
ديكتيوزومات ٨٣	Dictyosomes	Dictyosomes
	Diploïde	Diploid

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
	endoplasmique	
Epiblema	Epiblème	أدمة ١٥٧، ١٦٢، ٢٢١
Epidermis	Epiderme	بشرة ١٥٧، ١٦٢
Epiphyte	Epiphyte	نبات فوقي ١٧١
Euchromatin	Euchromatin	كروماتين حقيقي ٥٩
Eukaryotic	Eucaryotique	طلائعيات النوى ٣٤
Exocytosis	Exocytosis	الالتقاط ٨٧
Exoderma	Exoderme	أدمة خارجية ٢٢٧
Exons	Exons	اكزونات ١١٤
Exogenous	Exogène	خارجي المنشأ ٢٢٥، ٢٤٧

F

Family	Famille	فصيلة ١٩
Fascicular cambium	Cambium fasciculaire	كامبيوم حزمي ١٥٩
Fibrous root system	System racine fibreuse	مجموع جذري ليفي ٢٢٠
Florography	Florographie	تخطيط النبيت ١٩
Fragmoplast	Fragmoplast	فراغموبلاست ٧٣، ٧٥، ١١٩

G

Gel	Gel	هلامة ٧٧
Gene	Gène	مورثة ١٢٤

عربي ورقم الصفحة	فرنسي	انكليزي
حبيبات ١٠١	Granule	Grana
نسيج قسوم أساسي ١٥٩	Méristème de base	Ground meristem
إدماع ١٥٧، ٢٠٧	Guttation	Guttation

H

وحيد الصيغة الصبغية	Haploïde	Haploid
ممصات ٢١٩، ٢٣٦	Suçoirs	Haustoria
كروماتين مغاير ٥٩	Hétérochromatine	Heterochromatin
تعدد الشكل الورقي ٢٩٠	Hétérophyllie	Heterophylly
نباتات غير ذاتية التغذية ١٦	Plantes hétérotrophe	Heterotrophic plants
علم النسج ١٨، ١٥٨	Histologie	Histology
هستونات ٦٢	Histones	Histones
سرة ١٣٥	Hile	Hilum
أعضاء متجانسة ٣١٠	Organes homologues	Homologous organs
مسام مائية ١٥٧، ٢٠٦	Hydrathodes	Hydrathodes
محور تحت فلقي (سويقة) ٢٤١	Hypocotyl	Hypocotyl
تحت بشرة ١٦٢، ٣٠٦	Hypoderme	Hypoderma

I

خلايا مفرزة متخصصة ٢٠١	Idioblastes	Idioblasts
إيديوغرام ٦٥	Idiogramme	Idiogram

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Lateral meristem	Méristème latérale	نسيج قسوم جانبي١٥٧، ١٥٩
Laticiferous vessels	Vaisseaux laticifères	لبن نباتي ١٩٨
Leaf gaps	Vide entre feuilles	ثغرات ورقية ٢٢٩
Leaf	Feuilles	ورقة ٢٨٦
Leaflets	Folioles	وريقات ٢٨٦
Lenticels	Lenticelles	عديسات ١٦٩
Leucoplasts	Leucoplastes	صانعات عديمة اللون ١٠٦، ١٠٨
Lignification	Lignification	تخشب ١٤٧
Lignin	Lignine	خشبين ١٤٧
Ligule	Ligule	لسينة ٢٨٩
Lysigenous	Lysigène	انحلالي المنشأ ٢٠٧
Lysosomes	Lysosomes	الجسيمات الحالة ٨٥

M

Matrix	Matrice	قالب ٥٢، ٩٢، ١٣٨
Meats	méat	فصحة ١٤٥
Mechanical tissues	Tissus mécaniques	نسج استنادية ١٥٧، ١٧٥
Meiosis	Méiose	انقسام منصف ٧٠
Meristematic tissues	Tissus méristémiques	نسج قسومة ١٥٧، ١٥٨
Meristematic Zone	Zone méristémiques	منطقة قسومة ٢٢٢

عربي ورقم الصفحة	فرنسي	انكليزي
الدبيبات الدقيقة ٧١، ١١٨	Microtubules	Microtubules
تمعدن ١٤٩	Minéralisation	Mineralization
خنيدرة ٩٠	Mitochondrie	Mitochondria
انقسام خيطي ٧١	Mitose	Mitosis
وحيد المحور (تفرع) ٢٥١	Monopode	Monopodial
علم الشكل ١٧	Morphologie	Morphology
عصائد (لثأ، مخاط نباتي) ١٥٦	Mucilages	Mucilages
فطور جذرية ١٧٤، ٢٢٤، ٢٣٤،	Mycorrhizes	Mycorrhiza
N		
غدد رحيقية ٢٠٥	Glands nectaires	Nectaries
عقدة ٢٤٥	Noeud	Node
غلاف نووي ٥٣	enveloppe nucléaire	Nuclear envelope
نوية ٥٦	Nucléole	Nucleolus
نواة ٥١	Noyau	Nucleus
بلازما نووية ٥٢	nucleoplasm	nucleoplasm
جسيمات صبغية ٦٢	nucleosome	nucleosome
O		
أكرة ٢٨٦	Ocréa	Ocrea

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Perforation	Perforation	ثقب ١٨١
Periblema	Périblème	مولد القشرة ٢٦٦
Periclinal	Périclinal	مماسي ١٦٨
Pericycle	Péricycle	محيط دائر ٢٢٩
Periderma	Périderme	نسيج واقي قلفي ١٦٨
Peroxisomes	Peroxisomes	جسيمات فائقة ٨٨
Petiole	Pétiole	معلاق (الورقة) ٢٨٨
Phellem (phellen)	Phellème	قلفين ١٦٨، ١٧٠
Phellodenn (s)	Phelloderme	برنشيم قلفي ١٦٨
Phellogen	Phellogène	كامبيوم قلفي ١٦٨
Phloem	Phloème, Liber	لحاء ١٥٦، ١٨٨
photorespiration	photorespiration	تنفس ضوئي ٨٩
Photosynthesis	Photosynthèse	اصطناع ضوئي ١٤
Phototropism	Phototropisme	انجذاب ضوئي ١٤، ٢١٢
Phyllotaxis	Phyllotaxie	نظم ورقي ٢٤٨
Phylogenesis	Phylogenesis	تطور سلالي ١٨
Phytogeography	Phytogeographie	الجغرافيا النباتية ١٨
Pit	Fovéole	نقرة ١٨٣

عربي ورقم الصفحة	فرنسي	انكليزي
طلائعيات النوى ٣٤، ٩٥	procaryote	Prokaryote
طور طليعي (أول) ٧١	Prophase	Prophase
بروزنشيم (خلايا لبية) ٣٨	Prosenchyme	Prosenchyma
صانعات بروتينية ١٠٧	Protéoplastes	Proteoplasts
طليعة البشرة ١٥٩	Protoderme	Protoderma
لحاء أول ١٨٨، ٢٣٠	Protophloème	Protophloem
بروتوبلاست ٣٩	Protoplaste	Protoplast
خشب أول ٢٣٠	Protoxylème	Protoxylem

R

معلاق الورقة المركبة ٢٩٦	Rachis	Rachis
حزم شعاعية ١٩٥	Faisseaux radieux	Radial bundles
جنير ٢١٦	Radicule	Radicle
جذريدات ١٧٤	Rhizoides	Rhizoids
جذامير ٢٥٨	Rhizomes	Rhizomes
القلف ١٦٢، ١٧٠، ٢٧٣	Rhytidome	Rhytidome
الريبوسات ١٠٨	Ribosomes	Ribosomes
الجذر ٢١٥	racine	Root
سوق زاحفة ٢٥٦	Tiges	Runner stems

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Sheath	Gaine	غمد (الورقة) ٢٨٩
Shoot system	Groupe de pousses	الجملة الفارعية ٢٤١
Sieve tube	Tube criblé	أنبوب غربالي ١٨٨
Sol	Solution colloïdale	حلالة ٧٧
Spherosomes	Spherosomes	الجسيمات الكروية ٨٩
Stele	Stèle	الأسطوانة المركزية ٢٢٥، ٢٢٩
Stem	Tige	الساق ٢٤٢
Stipules	Stipules	أذنات ٢٨٦، ٢٨٩
Stomata	Stomates	مسام ١٦٣
Stolon	Stolon	رند ٢٦١
Storage parenchyma	Parenchyme de réserve	برنشيم ادخاري ١٧٤
Stroma	Stroma	السردة ١٠٠
Suberification	Suberification	تفلن ١٤٨
Succulent stem	Tige succulente	ساق لحمية ٢٥٦
Sympodial	Sympodique	مدغم المحاور (تفرع) ٢٥١
Systematic	Systematique	علم التصنيف ١٩

T

Tannins	Tannins	عفص ١٤٠

انكليزي	فرنسي	عربي ورقم الصفحة
Traduction	Traduction	ترجمة ١١٥
Transcription	Transcription	النسخ ١١١
Traumatic meristem	Meristem traumatique	ميرستيم الاصابات ١٥٧، ١٦١
Trichomes	Trichomes	ملحقات البشرة ١٤٩، ١٦٣، ١٦٦، ٢٠٤
Tubers	Tubercules	درنات ٢٥٩
Tunica	Tunique	قميص ٢٦٩
	U	
Ultrastructure	Ultrastructure	بنية فائقة ٤٠
	V	
Vacuoles	Vacuoles	فجوات ١٣٨
Vascular cambium	Cambium vasculaire	كامبيوم وعائي ١٥٩، ٢٣١
Vascular tissues	Tissus vasculaires	نسج ناقلة ١٧٩
Venation	Venation	تضليع الورقة ٢٩٩
Vessel	Vaisseau	وعاء ١٧٩، ١٨٢
	X	
Xylem	Xylème	خشب ١٥٦، ١٧٩
Xylem fiber	Fiber de bois	ألياف الخشب ١٧٧، ١٧٩

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

جدول المسميات اللاتينية وما يقابلها بالعربية

لاتيني	عربي
Abies	جنس التنوب
Acacia	جنس الأكاسيا
A. alba	أكاسيا بيضاء
Acer	جنس القيقب
A. negundo	قيقب نوكوندي
A. tataricum	قيقب تتري
Aesculus hippocastanum	كستناء الحصان
Agave	جنس الباهر – آغاف
Agropyron	جنس حب البر
A. repens	حب البر الزاحف (عصا الراعي)
Ailanthus altissima	ايلنطس ألتيسيما
Alhagi	جنس العاقول
Allium	جنس البصل
A. cepa	بصل

Damascus University

لاتيني	عربي
Aristolochia sipho	زرواند سحاري
Artemisia	جنس الأرطماسيا
Asarum europaeum	سارون أوربي
Asparagus	جنس الهليون
Asteraceae	الفصيلة النجمية
Astragalus	جنس الاستراغال
Atropa belladonna	طيف السيدة الجميلة
Austrobaileya	استروبيلي ملطخ
B	
Bauhinia variegate	بوهيني فاريغاتا
Begonia	جنس البيغونيا
Behmeria nivea	بهميري ثلجي
Berberis	جنس البربريس
B. vulgaris	بربريس عادي
Beta vulgaris	شمندر عادي
Betula	جنس القضباني
B. pubescens	قضباني زغب

لاتيني	عربي
Caltha palustris	أنزيون
Camellia	جنس كاميلية
Canna	الكنا
C. indica	كنا هندية
Cannabis sativa	قنب مزروع
Capparis	جنس القبار
Carduus	جنس الشوك
C. arabicus	شوك عربي
Carex	جنس الكارك
C. pilosa	كارك بيلوزي
C. riparia	كارك ريباري
Castanea sativa	كستناء زراعية
Catalpa	جنس الكتالبة (من البغدونية)
Cerasus vulgaris	كرز عادي
Ceratonia	جنس الخرنوب
Characeae	فصيلة الأشنيات الكارية
Chelidonium majus	الكيليدونيوم الأكبر

لاتيني	عربي
Cladophora	جنس الكلادوفورا
Closterium	جنس الكلوستريوم
Colchicum	جنس الكولشيك (الحلاح)
Colocasia	جنس القلقاس
Compositae	الفصيلة المركبة
Coniferae	شعبة المخروطيات
Convallaria	جنس زنبق الوادي
C. majalis	زنبق الوادي الكبير
Convallis	جنس سوسن الوادي
Convolvulus	جنس اللاف (القنديل)
C. arvensis	لاف حقلي
Crataegus	جنس الزعرور
Crataegus orientalis	زعرور شرقي
Crocus	جنس الزعفران
Crucianella chlorostachys	الصلباني
Cruciferae	الفصيلة الصليبية
Cucumis sativus	خيار مزروع

لاتيني	عربي
Cyperaceae	الفصيلة السعدية
	d
Dahlia	جنس الأضاليا
D. variabilis	أضاليا متغيرة
Dalbergia	جنس دابرجية (من البقلية)
Daucus	جنس الجزر
D. carota	جزر بري
Dentaria	جنس الدانتاريا
Dianthus	جنس القرنفل
Dionaea	جنس الديونية
D. muscipula	خناق الذباب
Dioscorea batatas	بطاطا صينية
Dischidia	جنس الديشيديا
D. rafflesiana	ديشيديا رافليزيانا
Diospyros kaki	ديوسبيروس كالي
D. lotus	ديوسبيروس شائع
Dorantia	جنس الدورانتيا

لاتيني	عربي
Elodea	جنس الايلوديا
Elodea canadensis	ايلوديا كندية
Elymus	جنس شعير الكثبان
E. giganteus	شعير الكثبان
Ephedra	جنس الاقدرا
Epiphyta	نباتات فوقية
Equisetopsida	صف أذنات الخيل
Escherichia coli	عصية كولونية
Eucalyptus	جنس الكينا
E. amygdaliva	كينا لوزية
Euphorbia	جنس الايفورب (الحليلاب)
E. splendens	ايفورب اسبلندي
Euphorbiaceae	الفصيلة الايفوربية
F	
Fabaceae	الفصيلة القولية
Fagopyrum sagittatum	الحنطة السوداء السهمية
Fagus	جنس الزان

لاتيني	عربي
Fragaria	جنس الفريز
F. vesca	فريز حراجي
Fraxinus	جنس الدردار
G	
Galium	جنس اللبلي
G. verum	لبلي حقيقي
Geum rivale	غوم نهري
Gibberella	جنس الجيبريلا
Ginkgo biloba	جنكو ثنائي الفص
Gladiolus	جنس الغلاديول (الغلايول)
Gleditschia	جنس الغليدتشيا
G. triacanthos	غليدتشيا ثلاثي الأشواك
Glycine	جنس الغليسين
G. hispida	فول الصويا
Gossypium	جنس القطن
G. hirsutum	قطن خشن
Graminales	رتبة النجيليات

لاتيني	عربي
Polygonaceae	الفصيلة العقدية
Polygonum	جنس العقدي
Poncirus trifoliata	بونسير ثلاثي الورق
Populus canadensis	حور كندي
P. deltoides	حور أمريكي
Potentilla	جنس القادر
Primula sinensis	بريمولا صينية
Proteaceae	الفصيلة البروتية
Prunus	جنس الخوخ
P. armeniaca	مشمش
P. avium	خوخ طيري
P. domestica	خوخ داجن
P. spinosa	خوخ شائك
Pyrus	جنس الاجاص
P. communis	أجاص شائع
Q	
Quercus	جنس السنديان

لاتيني	عربي
R. aquati•	حوذان مائي
Raphanus	جنس الفجل
Raphia vinifera	رافية الخمر (من النخلية)
R. taedigera	رافية الخيطان
Rhamnus catharicus	نبق مسهل
Rhizobium leguminosarum	ريزوبيوم البقليات
Rhizophora conjugata	عرقي مدعم
Ribes	جنس الريباس
R. nigrum	ريباس أسود
R. rubrum	ريباس أحمر
Ricinus communis	خروع شائع
Robinia	جنس الروبينيا
R. pseudoacacia	روبينيا الأكاسيا الزائفة
Rosa	جنس الورد
R. beggeriana	ورد بيجيري
R. canina	ورد كلبي
Rosaceae	الفصيلة الوردية

لاتيني	عربي
R. hyrcanus	صفندر هيركانس
	S
Saccharum officinarum	سكر مخزني (قصب السكر)
Sagittaria	جنس السهمي
S. sagittifolia	سهمي الورق
Salicornia europaea	شنان أوربي (من السرمقية)
Salix	جنس الصفصاف
Sambucus	جنس البيلسان
S. racemosa	بيلسان أحمر
Saponaria officinalis	صابونية مخزنية
Sarracenia	جنس البوقي
Saxifraga oppositifolia	صخري متقابل الورق
Schinus terebenthifolius	فلفل تربنتي
Secale	جنس الجودار
S. cereale	جودار حبوبي
Senecio friesiorum	زهرة الشيخ (من المركبة)
Sequo jadendron	شجرة السيكو (الصاموت)

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصباغ

د. غسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعري

لاتيني	عربي
Zea	جنس الذرة
Z. mays	ذرة مايسية (صفراء)

Damascus University

لاتيني	عربي
Ulmus	جنس الألم
U. campestris	ألم حقلي
U. laevis	ألم خفيف
Umbelliferae	الفصيلة الخيمية
Urtica	جنس القراص
U. dioica	قراص ثنائي المسكن
Urticularia vulgaris	القربى العادي
V	
Vaccinium vitis-idea	عنبي كرمي
Vallisneria	جنس الكلوي
Veronica campilopda	ورونيكا كامبيلي
V. longifolia	ورونيكا طويلة الورق
Vicia faba	فول
Victoria regia	فيكتوريا ملكية
Viola odorata	بنفسج عطري
V. mirabilis	بنفسج ميرابيلي
Viscum album	دبق أبيض

لاتيني	عربي
Stipa	جنس القدمي
Syringe	جنس الليلك
S. vulgaris	ليلك عادي
	T
Taeniophyllum zolingeri	شريطي الورق
Taraxacum officinalis	طرخشقون مخزني
Taxus	جنس الطقسوس
T. baccata	طقسوس شائع
Thymus	جنس الزعتر
T. caucasicum	زعتر قوقازي
Tilia	جنس التيلو
T. cordata	تيلو قلبي
Tracheophyta	نباتات وعائية
Tradescantia	جنس المكحلة
T. virginica	مكحلة فيرجينية
Trapa natans	كماة الماء
Trifolium	جنس النفل

Damascus University

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصباغ

د. غسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعري

لاتيني	عربي
Zea	جنس الذرة
Z. mays	ذرة مايسية (صفراء)

Damascus University

لاتيني	عربي
Ulmus	جنس الألم
U. campestris	ألم حقلي
U. laevis	ألم خفيف
Umbelliferae	الفصيلة الخيمية
Urtica	جنس القراص
U. dioica	قراص ثنائي المسكن
Urticularia vulgaris	القرىى العادي
V	
Vaccinium vitis-idea	عنبي كرمي
Vallisneria	جنس الكلوي
Veronica campilopda	ورونيكا كامبيلي
V. longifolia	ورونيكا طويلة الورق
Vicia faba	فول
Victoria regia	فيكتوريا ملكية
Viola odorata	بنفسج عطري
V. mirabilis	بنفسج ميرابيلي
Viscum album	دبق أبيض

لاتيني	عربي
Stipa	جنس القدمي
Syringe	جنس الليلك
S. vulgaris	ليلك عادي
	T
Taeniophyllum zolingeri	شريطي الورق
Taraxacum officinalis	طرخشقون مخزني
Taxus	جنس الطقسوس
T. baccata	طقسوس شائع
Thymus	جنس الزعتر
T. caucasicum	زعتر قوقازي
Tilia	جنس التيلو
T. cordata	تيلو قلبي
Tracheophyta	نباتات وعائية
Tradescantia	جنس المكحلة
T. virginica	مكحلة فيرجينية
Trapa natans	كمأة الماء
Trifolium	جنس النفل

Damascus University

المدقق العلمي

د. أكرم خوري

د. عبد العزيز الصباغ

د. غسان عياش

المدقق اللغوي

د. شوقي المعري

لاتيني	عربي
Zea	جنس الذرة
Z. mays	ذرة مايسية (صفراء)

Damascus University

لاتيني	عربي
Ulmus	جنس الألم
U. campestris	ألم حقلي
U. laevis	ألم خفيف
Umbelliferae	الفصيلة الخيمية
Urtica	جنس القراص
U. dioica	قراص ثنائي المسكن
Urticularia vulgaris	القربى العادي
V	
Vaccinium vitis-idea	عنبي كرمي
Vallisneria	جنس الكلوي
Veronica campilopda	وروئيكا كامبيلي
V. longifolia	وروئيكا طويلة الورق
Vicia faba	فول
Victoria regia	فيكتوريا ملكية
Viola odorata	بنفسج عطري
V. mirabilis	بنفسج ميرابيلي
Viscum album	دبق أبيض

لاتيني	عربي
Stipa	جنس القدمي
Syringe	جنس الليلك
S. vulgaris	ليلك عادي
	T
Taeniophyllum zolingeri	شريطي الورق
Taraxacum officinalis	طرخشقون مخزلي
Taxus	جنس الطقسوس
T. baccata	طقسوس شائع
Thymus	جنس الزعتر
T. caucasicum	زعتر قوقازي
Tilia	جنس التيلو
T. cordata	تيلو قلبي
Tracheophyta	نباتات وعائية
Tradescantia	جنس المكحلة
T. virginica	مكحلة فيرجينية
Trapa natans	كمأة الماء
Trifolium	جنس النفل

Damascus University