الباب الخامس

أنواع الخلايا والأنسجة النباتية

يتكون جسم النبات فى أبسط أنواعه من خلية واحدة تقوم بجميع وظائف الحياة ، وذلك كما فى البكتريا وفى كثير من الطحالب. ويتركب جسم النبات فى النباتات الأرقى من عدد من الخلايا المتشابهة شكلاً ووظيفة ، وذلك كما فى طحالب باندورينا *Pandorina* الذى يكون مستعمرات كروية أو بيضاوية تتكون من عدد من الخلايا المتشابهة ، والتى تقوم كل منها بجميع وظائف الحياة. وفى النباتات الزهرية نجد أن جسم النبات يتكون من خلايا متخصصة يتجمع كل نوع منها معاً ، فجسم النبات الراقى يتكون من أعضاء organs ، ويتكون العضو النباتى من مجموعة أنسجة tissues.

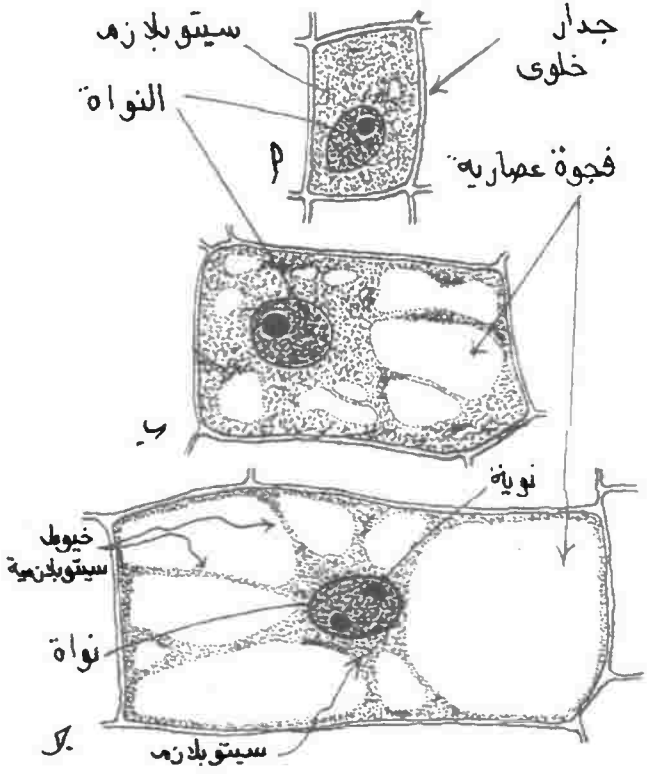
والنسيج النباتى هو مجموعة من الخلايا لها نفس الأصل وتشترك فى وظيفة أساسية واحدة. ويختص كل نسيج من النبات بوظيفة اساسية معينة ، ولا يمكنه أن يعيش مستقلاً ، بل يعتمد فى حياته على باقى الأنسجة.

النسيج النباتى قد يكون بسيطاً إذا تكون من نوع واحد من الخلايا كالأنسجة البرنشيمية والكولنشيمية. وقد يكون النسيج مركباً إذا احتوى على أكثر من نوع من الخلايا ، كنسيج الخشب الذى قد يتكون من أوعية خشبية وقصيبات وبرنشيمية خشب وألياف خشب ، ونسيج اللحاء الذى قد يتكون من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وبرنشيمية لحاء وألياف لحاء.

والأنسجة قد تكون مرستيمية meristems (إنشائية) ، أى تتكون من خلايا ذات قدرة على الإنقسام ، وقد تكون مستديمة permanent ، أى تتكون من خلايا بالغة فقدت القدرة على الإنقسام.

الخلايا والأنسجة المرستيمية

الأنسجة المرستيمية meristems هى أنسجة تتكون من خلايا ذات قدرة على الإنقسام والنمو ، ولهذا فهى توجد فى مناطق النمو بالنبات. وتمتاز الخلايا المرستيمية بجدرها الرقيقة غير المغلظة واحتوائها على سيتوبلازم كثيف ونواة كبيرة نسبياً ، مع وجود فجوات صغيرة الحجم وقد تكون غير موجودة ، إلا أنه فى بعض الخلايا المرستيمية مثل خلايا الكامبيوم الوعائى تكون الجدر سميكة نسبياً والفجوات كبيرة وواضحة (شكل 1/5 أ ، ب). توجد الخلايا

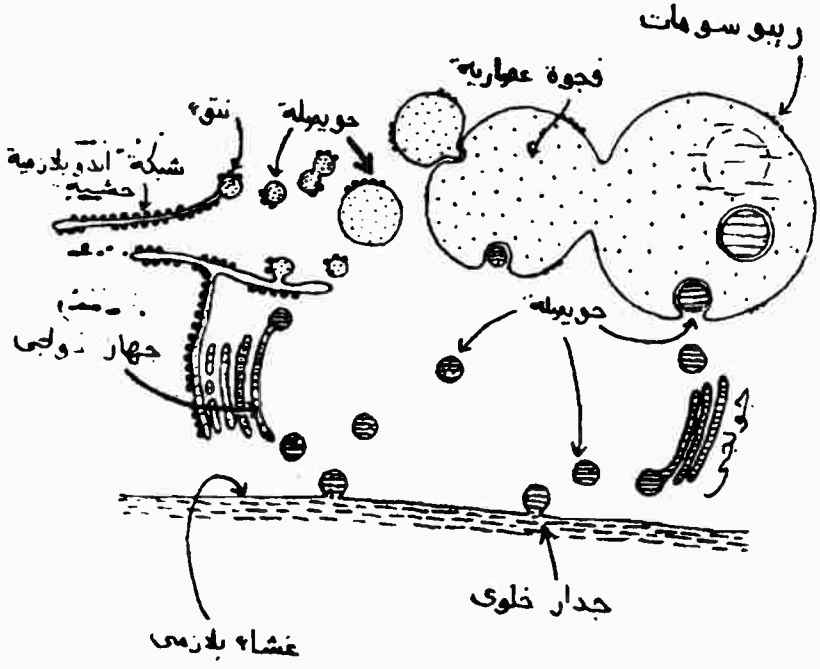


(شكل 1/5) : نمو وتشكل الخلايا

أ – جـ) خطوات تكوين خلية بالغة من خلية مرستيمية

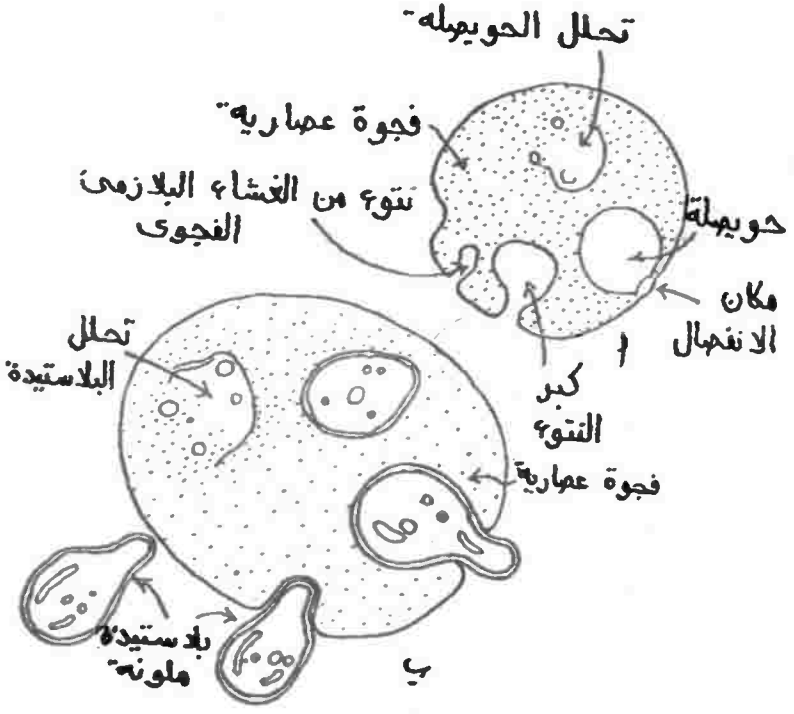
المرستيمية متراصة والمسافات البينية بينها غير واضحة إلا بالفحص بالميكروسكوب الالكترونى. تتحول بعض خلايا هذه الأنسجة إلى خلايا بالغة بأن تفقد خاصية الإنقسام ، وتدخل فى مرحلتين متميزتين ، الزيادة فى الحجم extension والتشكل differentiation. المقصود بالتشكل هو أن تأخذ الخلية الشكل النهائى الذى يتلاءم مع وظيفتها وذلك حسب نوع النسيج البالغ المتكون. فى بعض الأحيان وتحت ظروف خاصة تستعيد بعض الخلايا البالغة قدرتها على الانقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية.

وعادة تحتوى الخلايا المرستيمية والحديثة على فجوات صغيرة وعديدة ، ومع النضج يقل عدد الفجوات بالخلية وتزداد فى الحجم ، وفى النهاية قد تتحد الفجوات ويصبح بالخلية فجوة واحدة كبيرة. وأحياناً قد يمتد خلال الفجوة العصارية الكبيرة



(شكل 2/5) : خطوات تكوين الفجوة العصارية والغشاء البلازمى والجدار الخلوى

خيوط سيتويلازمية. أما عن كيفية تكون هذه الفجوات فإنه يحدث نتوءات صغيرة على الشبكة الإندويلازمية وتنفصل هذه النتوءات على هيئة حويصلات صغيرة وهذه الحويصلات تنتفخ وتتحد مع بعضها لتكون حويصلات أكبر ، وهذه بدورها تتحد مع الحويصلات الأكبر منها وفى النهاية تتكون فجوة أو فجوات عصارية كبيرة. كما أن أجسام جولجى ينطلق منها أيضاً حويصلات منها ما يستعمل فى بناء الغشاء البلازمى والجدار الخلوى ومنها ما يتحد بالفجوة العصارية (شكل 2/5).



(شكل 3/5) : فجوات عصارية ملتقمة

أ) فجوة عصارية يتكون من غشائها البلازمى حويصلات
ب) فجوة عصارية وخطوات التقام بلاستيدة ملونة

فى بعض الخلايا المرستيمية والعادية نجد أن الفجوات العصارية تحتوى على أنزيمات عديدة تحلل DNA و RNA والبروتينات والنشا ويكون لها القدرة على أخذ أجزاء من السيتوبلازم وتحليلها بداخلها ، ومثل هذه الفجوات تسمى الفجوات العصارية الملتقمة autophagic vacuoles ٠

أما عن كيفية إحتواء الفجوة العصارية على أجزاء من السيتوبلازم فهى تختلف بإختلاف الخلايا ، فى بعض الخلايا نجد أن الفجوة العصارية تلتقم البلاستيدة أو الميتوكوندريـة ، وفى البعض الآخـر نجـد أن الغشـاء البلازمى الفجوى يكون نتوءات داخل الفجوة وكل نتوء يأخذ من السيتوبلازم ويكبر فى الحجم تدريجياً ثم ينفصل عن الغشاء البلازمى الفجوى وبداخلها جزء من السيتوبلازم (شكل 3/5 أ ، ب)٠

ونتيجة لوجود الفجوات العصارية الملتقمة يقل حجم السيتوبلازم ويكبر حجم الفجوة العصارية مع كبر الخلية وذلك ما يحدث فى أثناء تكوين خلايا الأنابيب الغربالية وقد يستهلك البروتوبلازم تماماً وتصبح الخلية ميتة كما فى الأوعية الخشبية والقصيبات٠

ويمكن تقسيم الأنسجة المرستيمية على أسس عديدة منها :

أولاً : عدد مستويات الإنقسام التى تنقسم بها الخلية المرستيمية

1- مرستيم عمودى Rib meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى مستوى واحد فقط٠ ولذلك ينتج عن الإنقسام صف واحد من الخلايا٠ ويساعد ذلك على زيادة نمو العضو النباتى فى الطول كما يحدث عند تكوين نخاع الساق وعنق الورقة٠

2- مرستيم طبقى Plate meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى مستويين فقط ، ولذلك يكون النسيج الناتج بشكل طبقى ويساعد ذلك على زيادة مساحة السطح كما فى الأوراق٠

3- مرستيم كتلى Mass meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى أكثر من مستويين ، ويساعد ذلك على زيادة حجم النسيج فى جميع الاتجاهات ، كما يحدث عند تكوين إندوسبرم ونخاع وقشرة بعض النباتات.

ثانياً : منشأ المرستيم

1- مرستيم ابتدائى Primary meristem : وينشأ عن استمرار إنقسام خلايا الجنين كما فى النسيج المرستيمى القمى للسيقان أو الجذور الابتدائية ومبادىء الأوراق والكمبيوم الحزمى. الأنسجة البالغة الناتجة عن نمو وتشكل خلايا المرستيم الابتدائى تعرف بالأنسجة الابتدائية وينتج عنها تكوين جسم النبات الابتدائى الكامل.

2- مرستيم ثانوى Secondary meristem : وينشأ المرستيم من خلايا بالغة ، إستعادت القدرة على الانقسام ، وغالباً ما تكون برنشيمية ، وذلك كما فى الكامبيوم بين الحزمى وكامبيوم الجروح والكامبيوم الفلينى. يبنى المرستيم الثانوى أنسجة إضافية تعرف بالأنسجة الثانوية تحل محل أو تضاف إلى الأنسجة الإبتدائية.

ثالثاً : موضع المرستيم فى النبات

1- مرستيم قمى Apical meristem : توجد فى القمة النامية للجذور والسيقان وبعض أوراق النباتات ، وتسبب استطالة العضو النباتى.

2- مرستيم بينى Intercalary meristem : وهو مرستيم ابتدائى غالباً ، ينتج بعد تحول بعض أجزاء من المرستيم القمى إلى أنسجة بالغة وترك أجزاء بينها مرستيمية تعطى نمو طولى للعضو النباتى. وتشاهد عادة فى النباتات ذات الفلقة الواحدة فى قاعدة الأوراق وفى أجزاء من السلاميات.

3- مرستيم جانبى Lateral meristem : وهو مرستيم تنقسم خلاياه بجدر موازية لمحيط النبات مسبباً زيادة العضو النباتى فى السمك مثل الكامبيوم الوعائى والكامبيوم الفلينى.

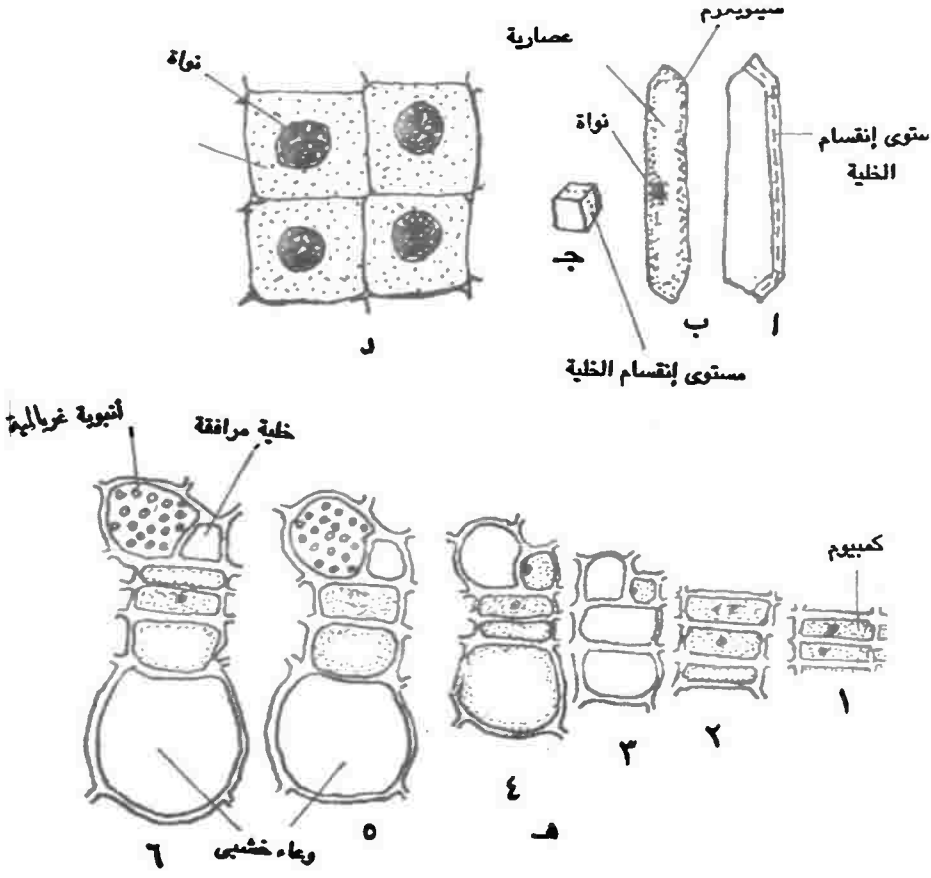
الكامبيوم الوعائى

يعرف الكامبيوم الوعائى vascular cambium أيضاً بالنسيج المرستيمى الوعائى. ويكون الكامبيوم الوعائى نسيجاً ابتدائياً إذا نشأ عن استمرار إنقسام بعض خلايا المرستيم القمى ، ويكون نسيجاً ثانوياً إذا نشأ عن تجدد النشاط الإنقسامى لبعض الخلايا البالغة ، وعادة يكون خليطاً من الحالتين كما يحدث عند التغليظ الثانوى للسيقان والجذور. تنقسم خلايا الكامبيوم الوعائى بجدر موازية لمحيط العضو النباتى معطية لحاءاً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للداخل ، كما تعطى خلايا الأشعة النخاعية والأشعة الوعائية. ويتسبب عن نشاط الكامبيوم الوعائى زيادة النمو فى السمك.

يوجد نوعان من خلايا الكامبيوم الوعائى ، خلايا مغزلية وخلايا شعاعية. الخلايا المغزلية fusiform cells هى خلايا طويلة فى إتجاه المحور الطولى للعضو النباتى ، نهايتيها مسحوبتان قليلاً ، ويتكون منها خلايا أنسجة الخشب واللحاء. فعند انقسام خلية مغزلية تعطى خليتين تبقى إحداهما مرستيمية وتتحول الأخرى إذا كانت خارجية إلى خلية نسيج لحاء ، أما إذا كانت داخلية فتتحول إلى خلية نسيج خشب. وبتكرار الانقسام تعطى مرة خلية لحاء وأخرى خلية نسيج خشب. وقد يتم ذلك بالتساوى ، وكثيراً ما يزيد معدل تكوين نسيج الخشب عن معدل تكوين نسيج اللحاء. والخلايا الشعاعية ray cells هى خلايا صغيرة متطاولة قليلاً أو متساوية الأقطار تعطى عند انقسامها الخلايا البرنشيمية المكونة للأشعة النخاعية والأشعة الوعاية (شكل 4/5).

تحدث تغيرات فى محتويات خلايا الكامبيوم على مدار السنة ، ومن ذلك الفجوات العصارية والميتوكوندريات وأجهزة جولجى والشبكة الإندوبلازمية.

تتجزأ الفجوة العصارية أثناء الخريف والشتاء ، إلى فجوات عصارية صغيرة متطاولة غير منتظمة الشكل وتعرف بالشكل الملينى myelin form ، ثم تصبح بعد ذلك كروية الشكل ولكن مع تكوين نتوءات وتدل هذه النتوءات على أن هذه الخلايا

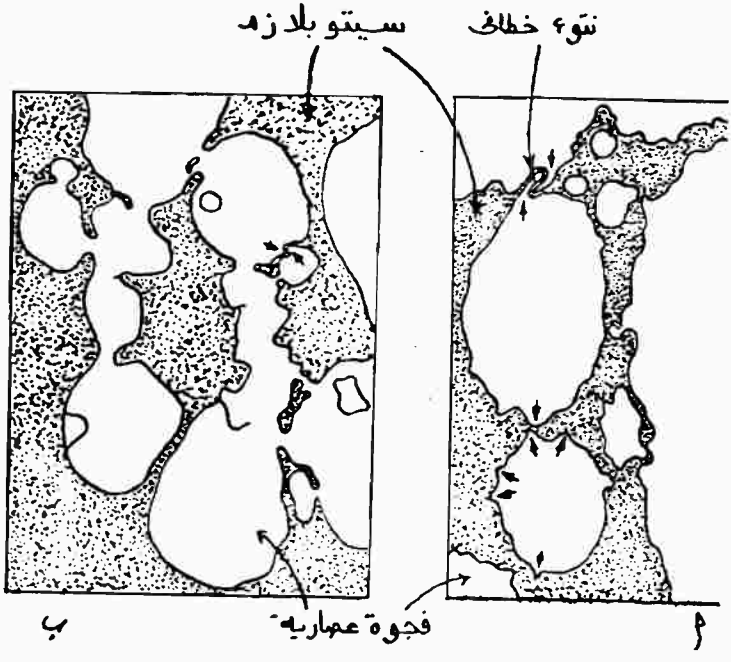


(شكل 4/5) : أنسجة مرستيمية

أ ، ب) خلية كامبيوم مغزلى　　جـ) خلية كامبيوم شعاعى
د) خلايا مرستيم قمى
هـ) خطوات انقسام خلية كامبيوم وعانى وتكوين الخشب واللحاء

فى فصل الشتاء تكون غير ساكنة تماماً بل لها نشاط نسبى. وفى أواخر الشتاء تتحد هذه الفجوات بأن يكبر كل نتوء ليكون شكل خطافى ويتداخل كل خطافين مع بعضهما ثم يزول مكان الاتصال بينهما ويحدث الإلتحام ويتكون نتيجة لذلك شكل شبكى يسمى بالشبكة الملينية myelinic network (شكل 5/5). وفى أوائل الربيع تبدأ الخلايا فى النشاط وإمتصاص الماء ولذلك فإن الشبكة الملينية تمتص الماء وتنتفتخ لتكون فجوة عصارية مركزية قد يتخللها شرائط سيتوبلازمية. ويعتقد أن حامض الأبسيسك والذى يوجد فى سيقان النباتات فى فصل الخريف هو المسئول عن تكوين الشبكة الميلينية.

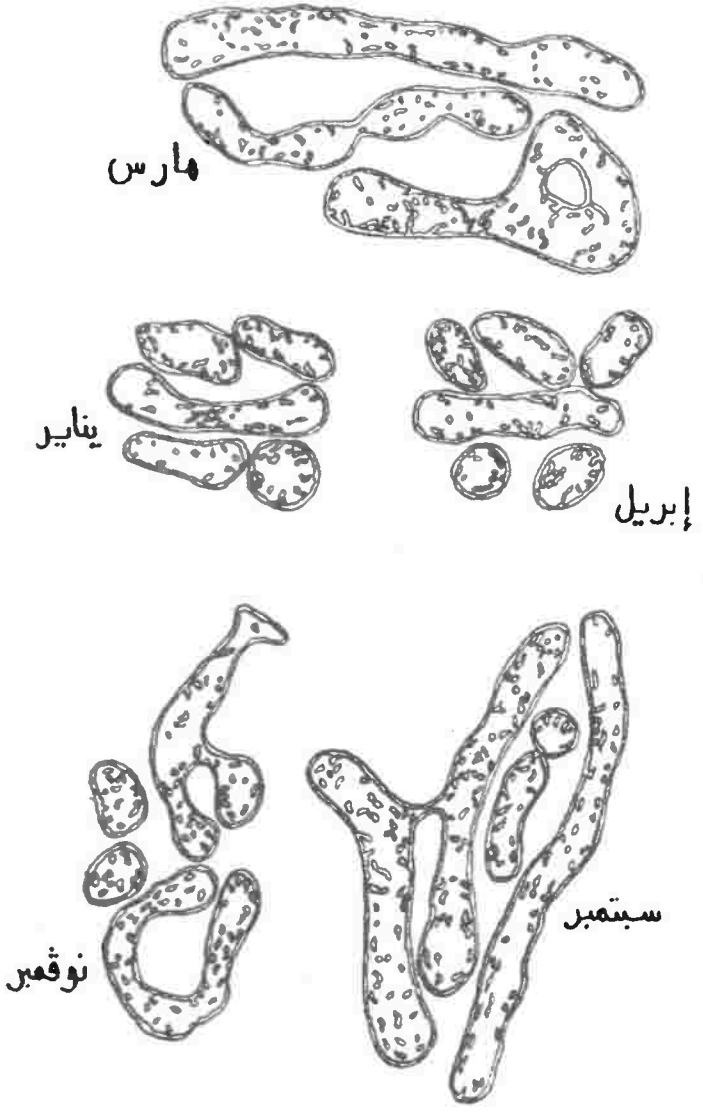
تحدث دورة للميتوكوندريات (شكل 12/3) فى داخل الكمبيوم وهذه الدورة (شكل 6/5) تشاهد فى كثير من النباتات ومنها نبات الأسفندان



(شكل 5/5) : الفجوات العصارية فى خلايا الكامبيوم

أ) خطوات تكوين الشبكة الميلينية ب) شبكة ميلينية

Acer pseudoplatanus. فى أوائل الربيع وقبل إنقسام الخلايا وعندما تمتص الخلايا الماء وتنتفخ خلايا الكمبيوم فإن الميتوكوندريات تصبح مستطيلة. وفى أثناء



(شكل 6/5) : دورة الميتوكوندريات داخل خلايا الكمبيوم الوعائى

موسم النمو فى الربيع تكون الميتوكوندريات كروية عادة ، وفى أثناء الصيف تقل سرعة إنقسامها ويزيد طولها ، وفى الخريف تكون طويلة ولها أشكال مختلفة مثل X ، Y ، Q ، وفى وقت السكون للخلايا فى شهر يناير تصبح مرة أخرى قصيرة وكروية. وفى أثناء هذه الدورة يكون التركيب الدقيق للميتوكوندريات ثابت. وأما عن العوامل التى تتسبب فى صغر حجم الميتوكوندريات وتصبح كروية فهى إنخفاض درجة الحرارة وقلة الماء فى النسيج النباتى وسرعة الإنقسام غير المباشر لخلايا الكمبيوم وزيادة سرعة الحركة الإنسيابية للبروتوبلازم داخل الخلايا ، والعكس صحيح.

بالنسبة لأجهزة جولجى (شكل 13/3) فإنه فى بعض النباتات لا يحدث تغيير فى هذه الأجهزة خلال فصول السنة ، ولكن فى خلايا كمبيوم نباتات أخرى مثل الحور *Populus* والجميز ، فإن عدد أجهزة جولجى فى الشتاء يكون قليلاً كما لا توجد حويصلات منفصلة من هذه الأجهزة ولكن فى الربيع فإن عدد الأجهزة يزداد كما أنه يحدث تكوين وإنفصال حويصلات بكميات كبيرة.

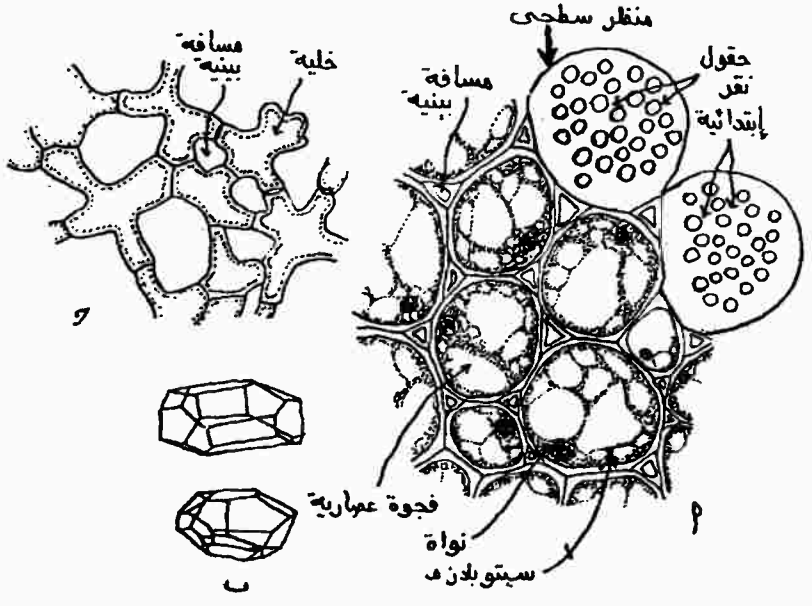
تتكون الشبكة الإندوبلازمية بكميات كبيرة فى خلايا الكمبيوم. عادة تتكون الشبكة الإندوبلازمية الخشنة بكميات فى الربيع والصيف ، والعكس صحيح فى الشتاء حيث تقل كميات الشبكة الإندوبلازمية الخشنة وتزداد كميات الشبكة الإندوبلازمية الملساء. وفى المعتاد تكون الريبوسومات على هيئة عديد الريبوسومات فى الربيع وتصبح ريبوسومات منفردة فى الشتاء.

يعتقد أن التغيرات الموسمية فى تكوين أجهزة جولجى والشبكة الإندوبلازمية مرتبط بتأثير الهرمونات النباتية. فوجود الهرمون النباتى إندول حامض الخليك يزيد من تخليق البروتين و RNA ويسمح بتكوين أجهزة جولجى وريبوسومات ، بينما حامض الأبسيسيك يقلل من تخليق DNA ، RNA. ولذلك يعتقد أن دخول خلايا الكمبيوم مرحلة السكون فى الخريف والشتاء نتيجة لوجود حامض الأبسيسك المثبط لتخليق DNA ، RNA.

الخلايا والأنسجة البرنشيمية

توجد الأنسجة البرنشيمية parenchyma فى القشرة والنخاع والأشعة النخاعية والأشعة الوعائية للجذور والسيقان ، وفى النسيج الوسطى للأوراق ، كما توجد الخلايا البرنشيمية فى أنسجة الخشب واللحاء والقشرة الثانوية.

الخلايا البرنشيمية خلايا حية بالغة تختلف فى الشكل ، فقد تكون كروية (شكل 7/5 أ) وعادة تكون مضلعة نتيجة للضغوط الواقعة عليها من الخلايا المجاورة ، وغالباً ما تكون ذات أربعة عشر ضلعاً (شكل 7/5 ب). وتظهر فى القطاع العرضى بشكل مضلع عادة أو مستدير ، وفى القطاع الطولى بشكل دائرى أو



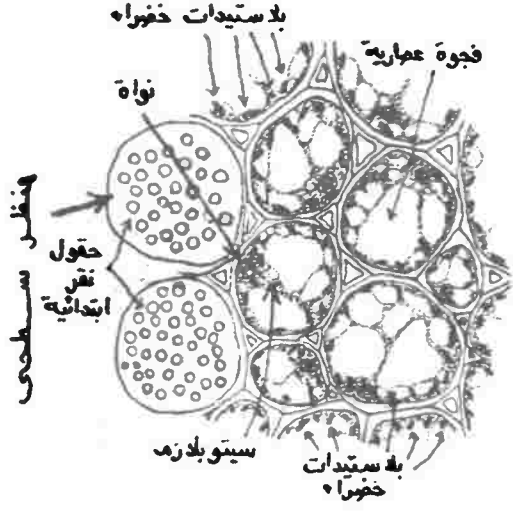
(شكل 7/5) : خلايا برنشيمية

أ) قطاع فى نسيج برنشيمى ب) خلايا برنشيمية مضلعة
جـ) خلايا برنشيمية نجمية

بيضاوى يميل إلى الاستطالة. برنشيمية الحزم الوعائية تكون عادة متطاولة مستدقة الأطراف ، وقد تكون مقسمة ، وتعرف بالخلايا البروزنشيمية prosenchyma (شكل 17/5 جـ ، هـ).

توجد أشكال أخرى كثيرة للخلايا البرنشيمية ، فقد تكون مستطيلة كما فى خلايا النسيج العمادى للأوراق (شكل 19/8) ، وقد تكون نجمية كما فى نخاع ساق نبات السمار *Juncus* والعرق الوسطى لورقة الكانا *Canna* (شكل 7/5 جـ) ، وقد تكون كلوية مفصصة كما فى النسيج الوسطى لورقة نبات الزنبق.

الخلايا البرنشيمة عادة رقيقة الجدر ذات فجوة كبيرة وسطية غالباً ، ومسافات بينية واسعة ، وتحتوى على بلاستيدات عديمة اللون فى الخلايا الداخلية وبلاستيدات خضراء فى الخلايا القريبة من السطح الخارجى للنبات المعرض للضوء ، وتعرف الخلايا البرنشيمية المحتوية على بلاستيدات خضراء بالخلايا الكلورنشيمية chlorenchyma ، وهذه تكون النسيج الوسطى للأوراق (شكل 8/5).



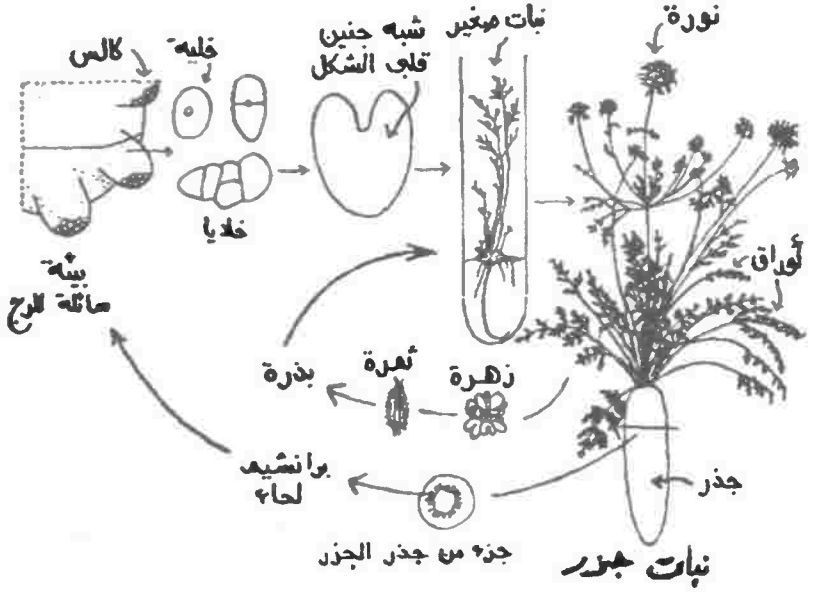
(شكل 8/5) : خلايا كلورنشيمية
قطاع فى نسيج كلورنشيمى

جدار الخلية رقيق إبتدائى به حقوق نقر ابتدائية ، وفى بعض الحالات كما فى أندوسبرم بذرة البلح لا توجد مسافات بينية بين الخلايا ، ويكون الجدار الإبتدائى سميك (شكل 20/3 ب) لاحتوائه على غذاء مخزن فى صورة هيميسليلوز يستهلك أثناء إنبات البذرة. وتوجد خلايا برنشيمية ذات جدر سميكة ملجننة كما فى أنسجة الخشب الثانوى ونخاع بعض النباتات.

فى بعض الحالات تستعيد الخلايا البرنشيمية قدرتها على الإنقسام ، وتصبح خلايا مرستيمية ثانوية كما فى الكمبيوم الفلينى وكمبيوم الجروح ، ولهذا تعتبر الخلايا البرنشيمية أقرب الخلايا إلى الخلايا المرستيمية. وقد أمكن حديثاً جعل الخلايا البرنشيمية تنمو وتنقسم بعيداً عن النبات الكامل بتغذيتها تغذية صناعية خاصة. وبذلك أمكن فى بعض الحالات الحصول على نبات كامل من خلية برنشيمية واحدة وتسمى هذه الخلية totipotent cell ، وفى هذه الحالة يؤخذ نسيج برنشيمى من جذر الجزر أو ساق نبات الدخان أو نسيج كلورنشيمى من أوراق الفول السودانى ويوضع على بيئة مغذية مناسبة وعادة تحتوى هذه البيئة على مصدر كربون عضوى وأزوت عضوى وفيتامينات وهرمونات وأملاح مغذية ، ويؤدى ذلك إلى إنقسام هذه الخلايا وتكوين نسيج من خلايا برنشيمية يعرف بالكالس callus . فى وجود مركبات معينة تتشكل خلايا الكالس إلى أنواع مختلفة من الخلايا مثل خلايا نسيج اللحاء أو الخشب ، وتسمى هذه بطريقة زراعة الأنسجة tissue culture. وفى حالات أخرى يمكن تنمية نسيج الكالس على بيئة سائلة ثم رج هذه البيئة ، فتسبب إنفصال خلايا برنشيمية من على سطح نسيج الكالس. تنتقل هذه الخلايا المنفردة إلى بيئات أخرى مغذية مناسبة كما سبق توضيحه ، يكون أحد مكوناتها عادة لبن جوز الهند حيث أنه يحتوى على مركبات يعتقد أن لها فائدة فى إنقسام وتكشف الخلايا. تنقسم الخلية المفردة إنقسامات عديدة ثم يتكون منها شبه جنين embryoid قلبى الشكل ، يسمى شبه جنين هنا لأنه غير ناتج عن إخصاب. ينمو شبه الجنين ليكون نبات صغير ، ينقل إلى بيئة أخرى حيث يكبر فى الحجم ليعطى نبات كامل مزهر ، وهذا ما يعرف بطريقة زراعة خلية واحدة

free cell culture. وبذلك يمكن عمل دورة حياة كاملة للنبات بواسطة البذرة أو بواسطة خلية برنشيمية مفردة. وقد أمكن عمل ذلك فى عدد من النباتات منها نبات الجزر (شكل 9/5). ويشترط فى الخلية البرنشيمية التى تستعمل فى زراعة خلية واحدة أن يكون لها نواة كبيرة نسبياً وبها نوية واضحة وأن تكون ذات فجوات عصارية عديدة وكبيرة ، وأن يوجد بها خيوط سيتوبلازمية تصل النواة بالسيتوبلازم مع وجود حركة إنسيابية واضحة للبروتوبلازم.

تقوم الخلايا البرنشيمية عادة بوظيفة تخزينية ، ففيها تخزن المواد الزائدة عن حاجة النبات كالنشا والبروتينات والدهون والزيوت. وفى النباتات العصارية الجفافية تقوم الخلايا البرنشيمية بتخزين الماء ويساعدها على ذلك رقة جدرها وكبر فجوتها العصارية وإحتوائها على مواد هلامية غروية تساعد الخلايا على زيادة



(شكل 9/5) : مزارع الأنسجة

دورة حياة نبات الجزر ناتج عن زراعة بذرة أو بزراعة خلية برنشيمية واحدة

القدرة على التشرب والإحتفاظ بالماء. كما قد تقوم الخلايا البرنشيمية بالتخلص من المواد السامة للنبات كالأكسالات ببلورتها فى الخلايا ، أما الخلايا الكلورنشيمية فتظهر أهميتها لإحتوائها على بلاستيدات خضراء وقيامها بعملية التمثيل الضوئى.

الخلايا والأنسجة الكولنشيمية

توجد الأنسجة الكولنشيمية collenchyma فى قشرة الساق وفى أعناق وأنصال الأوراق ولا توجد الأنسجة الكولنشيمية عادة فى الجذور الأرضية ، وقد توجد فى الجذور المعرضة للهواء.

الخلايا الكولنشيمية خلايا بالغة ذات جدر مرنة قابلة للتمدد تشبه الخلايا البرنشيمية إلا أنها أطول منها وقد تكون مستدقة من أحد طرفيها ، جدرها الإبتدائية مغلظة غلظاً غير منتظم بمادتى السيليلوز والبكتين مع وجود نسبة كبيرة من الماء. ويعتبر تغليظ الجدر إبتدائيا لأن الخلايا أثناء تكوينها تكبر فى الحجم وتسمك جدرها فى نفس الوقت. تحتوى جدر الخلايا على حقول نقر إبتدائية ، كما يوجد بالخلية فجوة عصارية كبيرة. وقد تحتوى الخلايا الكولنشيمية على بلاستيدات خضراء.

بعض الخلايا الكولنشيمية تستعيد قدرتها على الإنقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية. كما أن البعض يتلجنن بشدة متحولاً إلى خلايا إسكلرنشيمية.

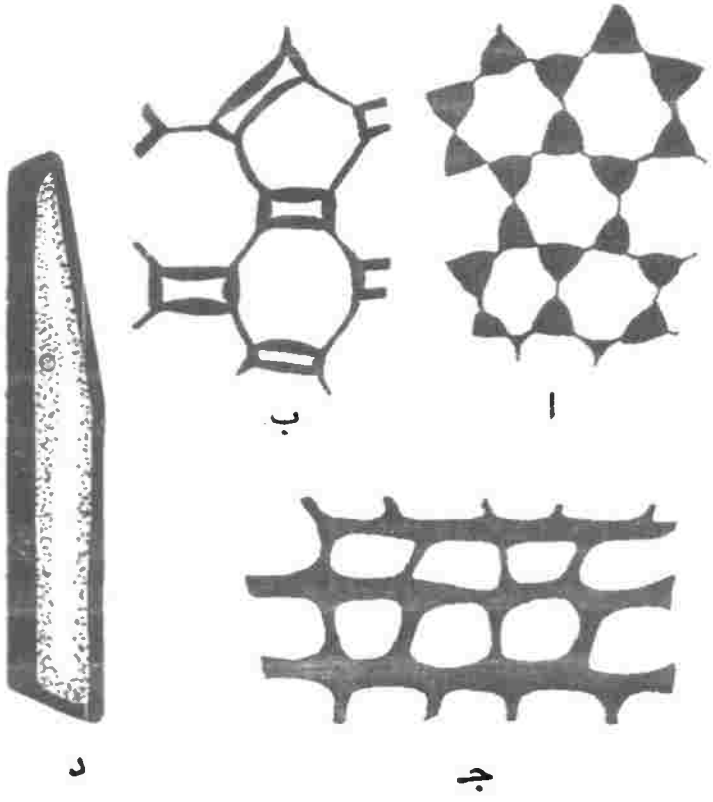
ويمكن تقسيم الخلايا الكولنشيمية تبعاً لنوع التغليظ فى جدرها كالآتى :

1- كولنشيمية زاوية Angular collenchyma : يزداد تغليظ جدر هذه الخلايا طولياً فى الأركان ، وتتلاشى المسافات البينية بينها. هذا النوع هو الشائع فى قشرة البطاطس (شكل 10/5 أ).

2- كولنشيمية صفيحية Lamellar collenchyma : يزداد تغليظ جدر هذه الخلايا طولياً فى الجدر الموازية للمحيط الخارجى لسطح النبات ويقل فى الجدر المتعامدة على سطح النبات ، وتتلاشى المسافات البينية. ويشاهد هذا النوع فى سابق نبات سامبيوكس *Sambucus* (شكل 10/5 جـ).

3- كولنشيمية فراغية **Lacunar collenchyma** : يزداد تغليظ جدر هذه الخلايا طولياً فى أجزاء الخلية المواجهة للمسافات البينية كما فى أعناق أوراق السلفيا *Salvia* (شكل 10/5 ب).

تقوم الخلايا الكولنشيمية أساساً بوظيفة تدعيم النبات ، وإذا إحتوت على بلاستيدات خضراء ، فإنها تقوم بعملية التمثيل الضوئى.



(شكل 10/5) : خلايا كولنشيمية

أ) خلايا كولنشيمية زاوية
ب) خلايا كولنشيمية فراغية
جـ) خلايا كولنشيمية صفيحية
د) قطاع طولى لخلية كولنشيمية

البشـرة

تكـون البـشرة epidermis طبقـة واقيـة علـى الأسـطح الخارجيـة للنبـات المعرضـة للجو ، تستبدل عادة فى الجذور والسيقان المسنة بنسيج الفلين. سمك طبقة البشرة عادة صف واحد فى الخلايا. وفى بعض الحـالات يصبح سمكها أكثر من طبقة وخاصة فى أوراق النباتات الجفافية المعرضة لشمس قوية ، وتسمى البشرة فى هذه الحالـة بالبشرة المتضاعفـة كما فى أوراق التين المطاط (شكل 16/3 د).

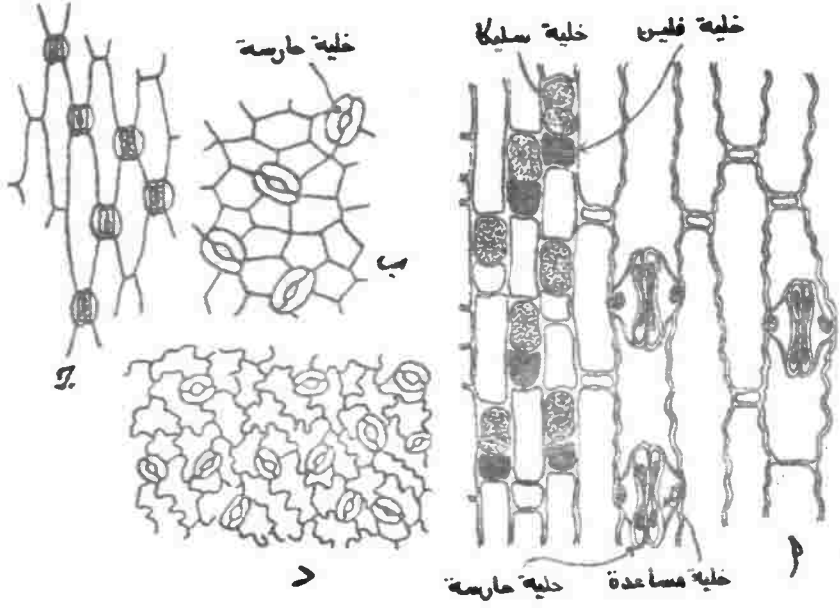
خلايا البشرة خلايا حية بالغة ، نادراً ما تحتوى على بلاستيدات خضراء ، وذات فجوات عصارية كبيرة. تظهر الخلايا فى القطاع العرضى فى معظم النباتات بشكل صف واحد من الخلايا المستطيلة الشكل المتراصة بدون مسافات بينية إلا فى مواضع الثغور التى تحاط بخلايا متخصصة تعرف بالخلايا الحارسة. ويختلف شكل خلايا البشرة العادية كثيراً فى المظهر السطحى ، فقد تكون ذات جدر متعرجة كما فى بشرة ورقة الفلفل أو مضلعة متساوية الأقطار كما فى بشرة ورقة العنب أو مضلعة متطاولة كما فى بشرة ورقة السوسن (شكل 11/5 ب - د).

قد تتكون البشرة من عدة أنواع من الخلايا غير الخلايا الحارسة ، ففى بشرة نباتات العائلة النجيلية تظهر معظم الخلايا بشكل مستطيل ، وبين بجانبها نوعان من الخلايا القصيرة ، هما خلايا السيلكا silica cells وهى خلايا غنية بمادة السيلكا، وخلايا الفلين cork cells وهى خلايا ذات جدر مسوبرة (شكل 11/5 أ).

الجدار الخارجى لخلية البشرة هو أغلظ الجدر عادة ، أما الجدر الجانبية فرقيقة. وتغطى الجدر الخارجية لبشرة السيقان والأوراق ، عدا فى مناطق الثغور، بطبقة من الأدمة cuticle غير المنفذة للماء. وتتكون طبقة الأدمة أساساً من مواد دهنية أهمها الكيوتين cutin. وطبقة الأدمة قد تكون ملساء أو خشنة أو ذات شقوق، ويختلف سمكها باختلاف النباتات والظروف البيئية ، ففى النباتات المائية تكون هذه الطبقة رقيقة جداً وقد تختفى ، وفى النباتات الجفافية تكون الأدمة سميكة

وقد تتكون من عدة طبقات ، الخارجيـة منها غنيـة بالكيوتين وخالية من السليلوز ، والوسطية تحتوى على مزيج من الكيوتين والسليلوز ، والداخلية تحتوى على سليلوز فقط ، وأحيانات توجد طبقة من البكتين تفصل ما بين الأدمة وخلايا البشرة. فى بعض النباتات قد يترسب شمع wax على سطح الأدمة ، كما فى ثمار العنب وسيقان القصب.

تحتوى جدر خلايا البشرة بما فى ذلك الجدر الخارجية على حقول نقر إبتدائية وبلازموديزمات. ويعتقد أن البلازموديزمات الموجودة على الجدر الخارجية تلعب دوراً فى تكوين طبقة الأدمة ، إذ يعتقد أن المركبات الكيوتينية تخرج من الخلية إلى السطح فى صورة زيتية سائلة عن طريق البلازموديزمات ، ثم تتجمد لتكون أول طبقات الأدمة ثم يتكون تحتها طبقات أخرى تباعاً.



(شكل 11/5) : أنسجة البشرة

أ) بشرة ورقة نبات نجيلى
ب) بشرة ورقة العنب
جـ) بشرة ورقة السوسن
د) بشرة ورقة الفلفل

قد تمتد وتنمو بعض خلايا البشرة للخارج مكونة زوائد تختلف فى الشكل والحجم تعرف بزوائد البشرة trichomes. زوائد البشرة قد تكون إفرازية أو غير إفرازية ، والأخيرة تكون مفرغة لدرجة كبيرة. زوائد البشرة ذات جدر سليلوزية ومغطاة بأدمة قد تكون مشبعة بمادة السيلكا أو بكربونات الكالسيوم.

تعتبر البشرة نسيج واقى يحفظ الأنسجة الداخلية من عوامل البيئة الخارجية ، كما أنه يعمل على القيام بتدعيم ميكانيكى للأنسجة الداخلية. وتقوم طبقة الأدمة بتحديد فقد الماء عن طريق النتح ، كما تقوم الثغور بالتحكم فى كمية بخار الماء المفقود وفى تبادل الغازات. وتقوم بشرة الجذور بما عليها من شعيرات جذرية بامتصاص الماء والغذاء الأرضى.

الثغـــــور

الثغور stomata هى فتحات فى البشرة تحيط بها خلايا متخصصة تعرف بالخلايا الحارسة guard cells ، وغالباً ما تطلق الثغور على الفتحات والخلايا الحارسة المحيطة بها.

توجد الثغور فى أجزاء النباتات الحديثة الهوائية ، وبصفة خاصة فى الأوراق، ويختلف عدد الثغور فى السطوح السفلى عن السطوح العليا للأوراق ، عادة تزداد فى السطوح السفلى ، وقليلاً ما يحدث عكس ذلك كما فى أوراق البرسيم الحجازى والقمح. وفى بعض الأحيان لا توجد ثغور على السطوح العليا إطلاقاً كما فى التفاح والخوخ.

وتكون الثغور ، عادة ، مبعثرة فى بشرة أوراق النباتات ذات الفلقتين ، وتكون، عادة ، مرتبة فى صفوف متوازية فى أوراق النباتات ذات الفلقة الواحدة. وتوجد الثغور ، عادة ، فى مستوى خلايا البشرة العادية ، إلا أنها فى بعض الحالات قد تكون منخفضة عن سطح خلايا البشرة العادية كما فى أوراق السوسن ، وقد تكون مرتفعة كما فى أوراق الفلفل والطماطم.

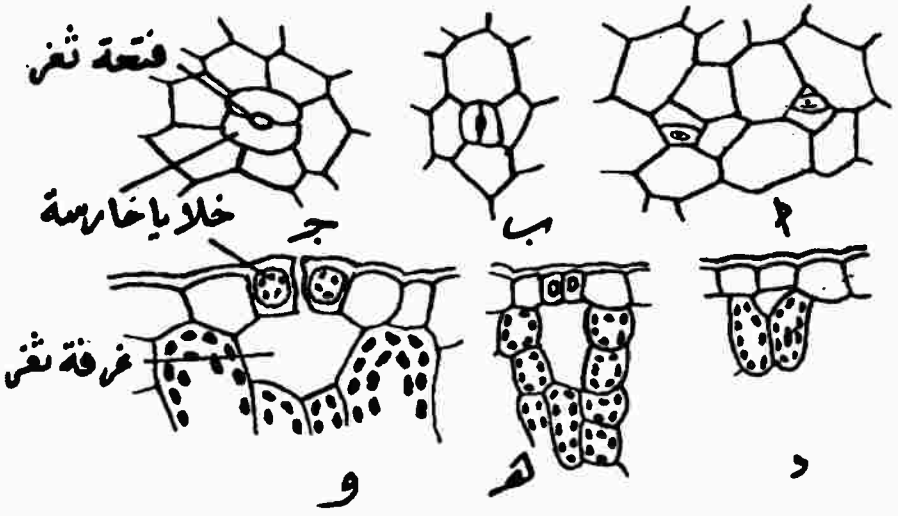
تحاط كل فتحة ثغر بخليتين حارستين تختلفان فى الشكل عن باقى خلايا البشرة ، وتكونان ، عادة ، كلويتى الشكل فى المنظر السطحى. والخلايا الحارسة خلايا حية ، بروتوبلازمها أكثر كثافة من بروتوبلازم خلايا البشرة العادية كما أنها تحتوى على بلاستيدات خضراء ، جدرها الجانبية رقيقة أما جدرها الخارجية والداخلية فسميكة ، وكثيرا ما يبرز الجداران الخارجى والداخلى أو الخارجى فقط فى إتجاه فتحة الثغر.

يختلف شكل الخلايا الحارسة فى معظم نباتات العائلتين النجيلية والسعدية ، فتكون دميلية الشكل dumbell shaped حيث تكون فى المظهر السطحى سميكة الجدر فى أجزائها الوسطية منتفخة ورقيقة الجدر فى أطرافها. وفى كثير من الأحيان تحاط الخليتان الحارستان بخليتين أو أكثر يختلفان فى الشكل عن باقى خلايا البشرة وتسمى بالخلايا المساعدة subsidiary cells (شكل 11/5).

تعتبر الثغور نهاية شبكة المسافات البينية الموجودة بين خلايا النبات ، فيوجد أسفل الثغر تجويف يعرف بغرفة الثغر. وتتصل غرفة الثغر بالمسافات البينية لخلايا الأنسجة المحيطة بها.

وللثغور القدرة على التحكم فى سعة فتحاتها ، وتوجد عدة نظريات حول ميكانيكية فتح وقفل الثغور. وتقول إحدى هذه النظريات أن الخلايا الحارسة نظراً لاحتوائها على بلاستيدات خضراء ، فإن تركيز السكر بها يكون كبيراً أثناء النهار أى يزداد ضغطها الأسموزى فينتقل الماء إليها من الخلايا المجاورة مما يؤدى إلى إنتفاخها وتكورها فتتسع فتحة الثغر. وفى الليل تتحول السكريات الذائبة بالخلايا الحارسة إلى نشا فيقل الضغط الأسموزى بالخلايا الحارسة عنه فى الخلايا المجاورة فينتقل الماء من الخلايا الحارسة إلى الخلايا المجاورة ويقل المحتوى المائى للخلايا الحارسة فتترهل الجدر الجانبية الرقيقة للخلايا الحارسة وتغلق فتحة الثغر.

كيفية تكوين الثغر : تنقسم إحدى خلايا البشرة إلى خليتين غير متساويتين فى الحجم ، تنقسم الخية الصغيرة والتى تعتبر الخلية الأمية للخليتين الحارستين ، إلى خليتين تكبران فى الحجم وتأخذان الشكل المحدد للخليتين الحارستين ، ثم تنتفخ مواد الصفيحة الوسطى الموجودة بين الخليتين ، ويحدث إنفصال فى الجزء الوسطى من الصفيحة الوسطى وتتكون فتحة الثغر (شكل 12/5)٠



(شكل 12/5) : خطوات تكوين ثغر

أ – جـ) منظر سطحى د – و) قطاع طولى

زوائد البشرة غير الإفرازية

تعرف جميع زوائد البشرة سواء كانت وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا ، سواء كانت إفرازية (شكل 23/5 أ ، ب) أو غير إفرازية (شكل 13/5 ، 14/5) بالتريكومات trichomes. ويمكن تقسيم زوائد البشرة غير الإفرازية إلى الآتى :

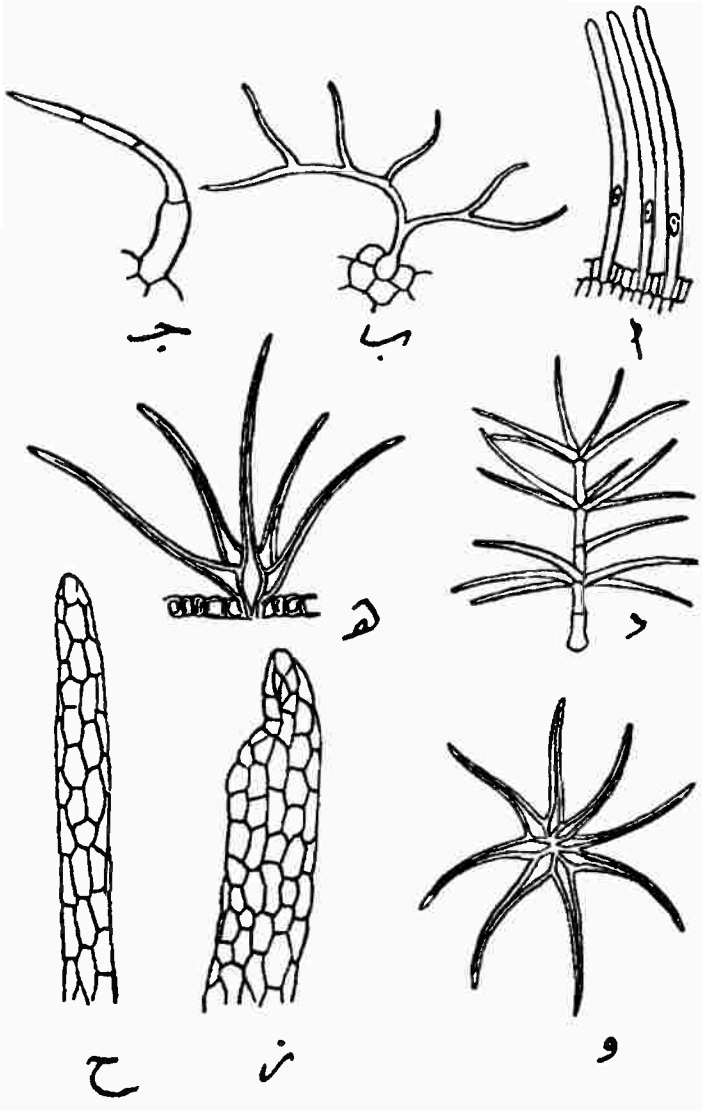
1- شعور وحيدة الخلية Unicellular hairs : وتتكون من خلية واحدة جزء منها يقع بين خلايا البشرة والجزء الخارجى الباقى يمتد إلى الخارج ، وقد يكون الجزء الخارجى غير متفرع كما فى شعرة بذرة القطن ، وقد يكون متفرعاً كما فى شعور أوراق المنثور ونادراً فى شعر القطن (شكل 13/5 أ ، ب).

2- شعور عديدة الخلايا Multicellular hairs : وتتكون من عديد من الخلايا قد تكون غير متفرعة كما فى شعور أوراق القرع والطماطم وخلاياها توجد فى صف واحد ، وشعور قواعد بتلات الرجلة وخلاياها توجد فى عدة صفوف. وقد تكون الشعور عديدة الخلايا متفرعة كما فى نباتات ستيراكس *Styrax* وأبوتيلون *Abutilon* حيث يكون التفريع نجمى ، وقد يكون التفريع شجيرى كما فى نبات بلاتانس *Platanus* (شكل 13/5 جـ - ح).

3- شعور عديدة الخلايا منبسطة Squamiform hairs : وهى شعور ذات رأس منبسطة قد تكون جالة فتسمى حراشيف scales ، أو تكون معنقة فتسمى شعور درعية peltate hairs كما فى أوراق الزيتون (شكل 14/5 أ ، ب).

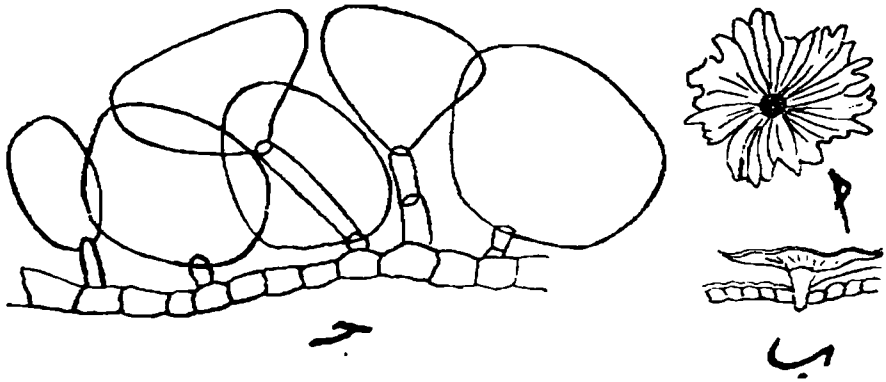
4- المثانات Bladders : وهى زوائد بشرة كبرت فى الحجم وتخصصت لتخزين الماء. تحمل المثانة على عنق يمتد على خلايا البشرة كما فى أوراق نبات أتريبلكس *Atriplex* (شكل 14/5 جـ) وقد تكون جالسة كما فى نبات حى علم.

5- زوائد غير سطحية Emergences : وهى ذات أصل من البشرة وبعض الطبقات من تحت البشرة كما فى أشواك نبات الورد.



(شكل 13/5) : زوائد البشرة غير الإفرازية

أ) شعر بذرة القطن أثناء نموه
ب) شعرة ورقة منتور
جـ) شعرة ورقة طماطم
د) شعرة نبات بلاتانس
هـ ، و) شعرة نبات ستيراكس
ز ، ح) شعرة بتلات الرجلة



(شكل 14/5) : شعور درعية ومثانات

أ ، ب) شعور درعية فى أوراق الزيتون جـ) مثانات فى أوراق اتريبلكس

الخلايا والأنسجة الاسكلرنشيمية

الخلايا الاسكلرنشيمية sclerenchyma خلايا ميتة لا تحتوى على بروتوبلازم عند النضج ، إلا أنها قد تكون حية وتحتوى على بروتوبلازم ، الخلايا ذات جدر ثانوية سميكة صلبة ، عادة ملجننة وبها نقر بسيطة عادة ، وقد تكون النقر ذات قنوات ، وأحياناً تكون مضفوفة. تنشأ الخلايا الاسكلرنشيمية مباشرة من خلايا مرستيمية ، وقد تنشأ من تغلظ خلايا برنشيمية تغليظاً ثانوياً ، بعدها تفقد بروتوبلازمها.

يوجد نوعان من الخلايا الاسكلرنشيمية ، هما الخلايا الاسكلريدية وخلايا الألياف.

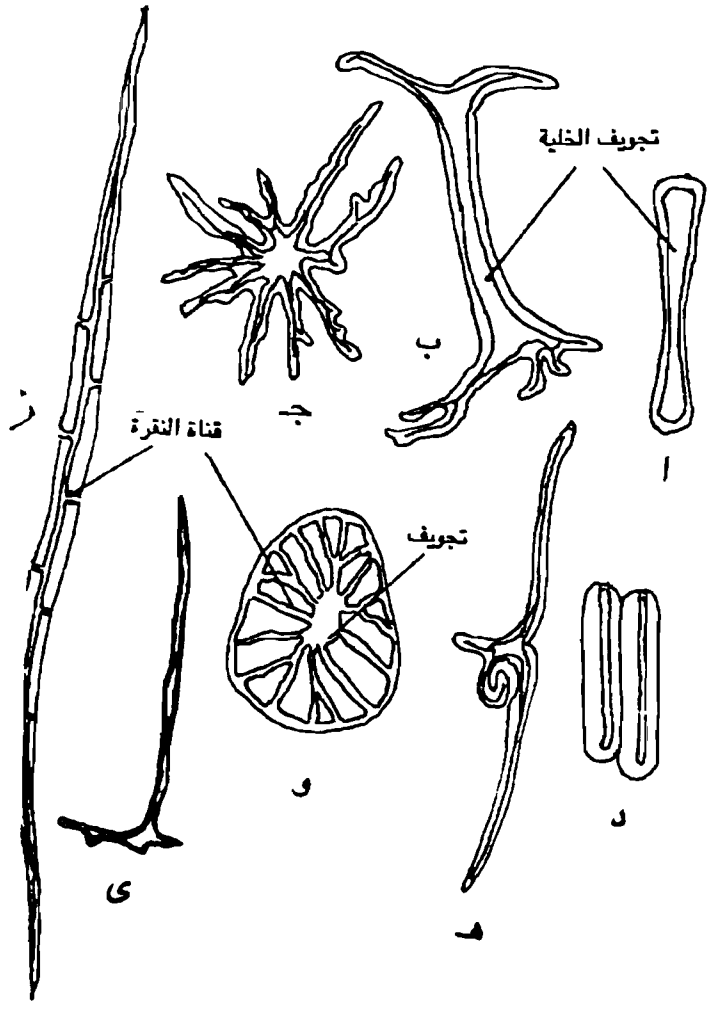
الخلايا الاسكلريدية

تختلف الخلايا الاسكلريدية sclereids كثيراً فى الشكل والحجم ، فقد تكون كروية أو مضعلة وقد تكون متساوية الأضلع ، وقد تكون متطاولة ، وكثيراً ما تكون متفرعة. وقد توجد هذه الخلايا متجمعة فى السيقان والأوراق والثمار والبذور مكونة أنسجة ، أو قد توجد كخلايا منفردة مبعثرة بين خلايا النسيج الواحد ، ومنها أنواع عديدة كالآتى :

(أ) الخلايا الحجرية Brachysclereids : تشبه الخلايا البرنشيمية من حيث الشكل والحجم ، إلا أن جدرها سميكة ملجننة ، وتشاهد فى لب بعض الثمار مثل الكمثرى والجوافة (شكل 15/5 و).

(ب) الخلايا العصوية Macrosclereids : خلاياها أسطوانية الشكل ، توجد عادة متراصة بجانب بعضها بشكل الخلايا العمادية ، كما فى قصرة البسلة والفاصوليا (شكل 15/5 د).

(جـ) الخلايا النجمية Astrosclereids : وهى خلايا متفرعة بكثرة وبشكل غير منتظم وتشاهد فى أوراق نبات الشاى وأعناق أوراق البشنين *Nymphae* (شكل 15/5 جـ).



(شكل 15/5) : خلايا اسكلرنشيمية

ا ، ب) خلايا عظمية
جـ) خلية نجمية
د) خلايا عصوية
هـ) خلية خيطية
و) خلية حجرية
ز) خلية ليفية
د) خلية شكل L

(د) الخلايا العظمية Osteosclereids : وهى خلايا أسطوانية تشبه الخلايا العصوية ، إلا أن أطرافها منتفخة وقد تتفرع كما فى ورقة نبات هاكيا *Hakea* وتحت بشرة قصرة البسلة (شكل 15/5 أ ، ب)٠

(هـ) الخلايا الخيطية Trichosclereids : خلايا طويلة رفيعة ، قد تكون متفرعة ، وتشاهد فى أوراق الزيتون (شكل 15/5 هـ)٠

(و) خلايا لها شكل حرف L L – shaped sclereids : خلايا رفيعة لها شكل حرف L وتوجد فى الشعيرات الغدية الموجودة على أعناق ورقة البيجونيا *Begonia imperalis* (شكل 15/5 ى)٠

الألياف

تختلف الألياف fibers عن الخلايا الاسكلريدية فى أنها طويلة ورفيعة وغير متفرعة ، أطرافها مستدقة غالباً (شكل 15/5 ز)٠ وقد يصل طولها إلى 25 سم كما فى ألياف نبات الرامى *Boehmeria nivea*٠ الخلايا ذات جدر غليظة ملجننة ، عادة ، إلا أن التغليظ قد يكون سليلوزى كما فى ألياف الكتان ، فراغ الخلية صغير وقد يتلاشى كلية أو حتى فى بعض مناطق الخلية٠ الألياف عادة غير مقسمة ، إلا أنه قد توجد ألياف مقسمة بجدر عرضية ملجننة إلى عدة خلايا فى الليفة الواحدة كما فى العنب٠ تنزلق نهايات خلايا الألياف على بعضها مكونة خيوط طويلة مكونة من عدة خلايا تتصل أطرافها ببعضها٠

قد توجد الألياف متجمعة فى كتل مستقلة كما فى ألياف اللحاء ، وقد توجد ضمن مكونات الخشب ، كما قد توجد فى أوراق بعض نباتات الفلقة الواحدة٠

تقوم خلايا الألياف بوظيفة التدعيم للنبات ، بعضها ذو أهمية إقتصادية كما فى ألياف الكتان وهى ألياف سليلوزية لحائية تستخرج من السيقان ، وألياف السيسل وهى ألياف ملجننة ورقية٠

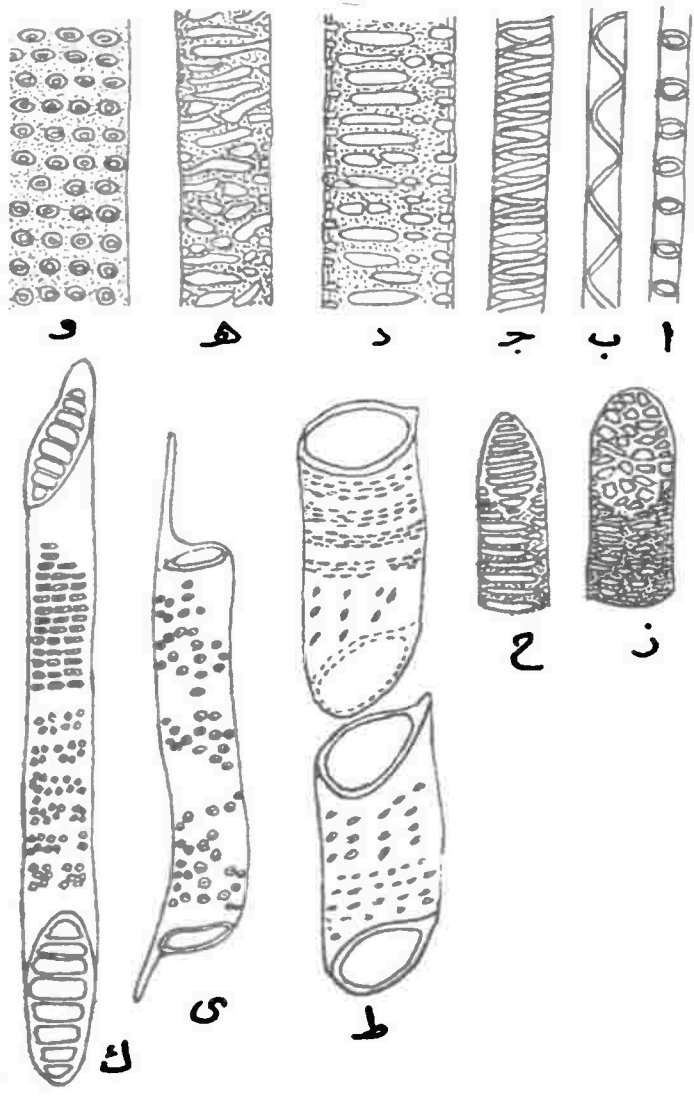
نسيـــج الخشـــب

نسيج الخشب xylem نسيج مركب يتكون فى النباتات كاسيات البذور من أوعية خشبية وقصيبات وألياف خشب وبرنشمية خشبية ، ويتكون فى النباتات عاريات البذور من قصيبات وألياف خشب وبرنشيمية خشب ولا توجد أوعية خشبية عادة. الوظيفة الرئيسية لنسيج الخشب هو توصيل الماء والأملاح الذائبة من الجذور عبر الساق إلى الأوراق وذلك بواسطة الأوعية الخشبية والقصيبات ، أما الألياف فتقوم بمهمة دعامية وتقوم الخلايا البرنشيمية بمهمة تخزينية.

1 - الأوعية الخشبية

تعرف الأوعية الخشبية Vessels أيضاً باسم القصبات tracheae. ويتكون الوعاء الخشبى من خلايا متراصة طولياً فوق بعضها لمسافات مختلفة تقل عادة عن المتر ونادراً ما تمتد بطول ساق النبات. خلايا الأوعية الخشبية ميتة ذات جدر مغلظة تغليظاً ثانوياً ملجنناً ونهايتها مثقبة. تحتوى جدر الأوعية على نقر بسيطة أو مضفوفة أو نصف مضفوفة.

تختلف الأوعية فى أطوالها وفى طرق تغليظها ، يتأثر ذلك بنوع وعمر النبات وقت تكون الوعاء الخشبى ، فالأوعية التى تتكون وتنضج فى أول عمر النبات وقت إستطالة النسيج المكون للأوعية تكون الخشب الأول protoxylem ، وتكون أقل قطراً من أوعية الخشب التالى وهى التى تنضج حين تقل أو تتوقف إستطالة النسيج المكون للأوعية ، ويكون تغليظ أوعية الخشب الأول حلقياً annular أو لولبياً spiral ، وهذه الأوعية قابلة للإستطالة ، فى حين يكون تغليظ أوعية الخشب التالى سلمياً scalariform بأن يزداد التغليظ اللولبى قليلاً ، أو شبكياً reticulate إذا تقارب اللولب وتشابك بدرجة كبيرة ، وقد يكون منقراً pitted ، وفيه يشمل التغليظ الثانوى جميع الجدر تاركاً مواضع النقر (شكل 5، 16 أ - و). وفى بعض الأحيان يتكون بالوعاء الواحد أكثر من نوع من التغليظ ، وقد تتكون حالة وسطية بين نوعين من التغليظ.



(شكل 16/5) : الأوعية الخشبية

ا ـ و) أنواع التغليظ
هـ) شبكى
ز) شبكى

أ) حلقى
و) منقر
ح ، ك) سلمى

ب ، جـ) لولبى
ز ـ ك) أنواع الصفائح المثقبة
ط ، ى) بسيطة

د) سلمى

تعرف النهايات المثقبة للأوعية الخشبية بالصفائح المثقبة perforated plates وتختلف تلك الصفائح فى طريقة تثقيبها (شكل 16/5 ز- ك) ، فتكون تلك الصفائح بسيطة إذا إحتوت على ثقب واحد ، أو عديد التثقيب multiperforate إذا إحتوت على أكثر من ثقب ، فإذا كانت الثقوب متطاولة ومتوازية فيكون سلمياً scalariform ، وإذا كانت الثقوب موزعة فى نظام شبكى كان التثقيف شبكاً reticlate. وتعتبر خلية الوعاء الخشبى القصيرة الواسعة ذات النهايات الأفقية والتثقيب البسيط أرقى الأنواع (شكل 16/5 ط ، ى).

تنشأ خلايا الأوعية الخشبية من خلايا مرستيمية ، فتنقسم الخلية المرستيمية فى إتجاه طولى للخلية ، ثم تفقد إحدى الخليتين الناتجتين القدرة على الإنقسام. تتمدد الخلية الغير منقسمة نتيجة لإنقسام ونمو الخلية المرستيمية المجاورة. وأثناء ذلك يحافظ الجدار الابتدائى على سمكه. تنتفخ الصفيحة الوسطى فى الأماكن التى سيحدث بها تثقيب فى الصفيحة المثقبة. يتكون الجدار الثانوى داخل الجدار الإبتدائى ويتكون على الجزء الداخلى من الجدار التغليظ المميز للجدار. يذوب الجدار الابتدائى والصفيحة الوسطى فى أماكن الثقوب بالصفيحة المثقبة وذلك بواسطة الأنزيمات الموجودة بالبروتوبلاست ، كما يتحلل البروتوبلاست ذاته نتيجة لوجود الفجوات العصارية الملتقمة (شلك 3/5) والأجسام الكروية ، وبذلك تصبح خلية الوعاء الخشبى المتكونة خلية ميتة ناضجة.

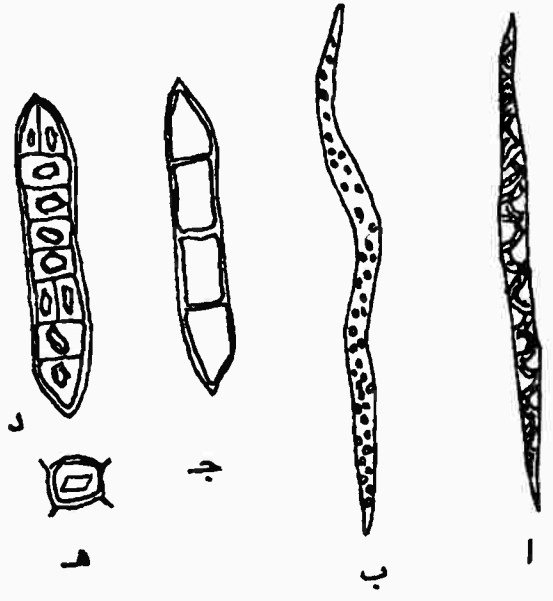
2 - القصيبات

القصيبات tracheids خلايا ميتة عند النضج ، أضيق من الأوعية الخشبية ، وجدرها مغلظة تغليظاً ثانوياً ملجنناً ، مقطعها مضلع عادة ، ونهايتها مستدقة وغير مثقوبة. تنلق النهايات المائلة للقصيبات معاً مكونة جدراً مائلة تكثر عليها النقر ، كما توجد نقر على الجدر الجانبية. النقر مضفوفة غالباً وقد تكون بسيطة ، وعبر هذه النقر يتحرك الماء والأملاح من خلية إلى أخرى.

تشبه القصيبات خلايا الأوعية الخشبية فى طرق التغليظ الثانوى الذى قد يكون حلقياً أو لولبياً أو سلمياً أو شبكياً أو منقراً ، كما تشبه القصيبات الألياف فى الشكل إلا أن جدر القصيبات أرق والتجويف أوسع من تجويف الألياف (شكل 17/5 أ ، ب).

3 - ألياف الخشب

تشبه ألياف الخشب الألياف العادية ، وهى ملجننة ، جدرها أسمك من جدر القصيبات ، ويوجد منها ثلاثة أنواع ، ألياف قصيبية fiber tracheids وألياف ليبرية libriform fibers وألياف جيلاتينية gelatinous fibers.



(شكل 17/5) : قصيبات وبرنشيمية خشب

أ) قصيبة تغليظها لولبى ب) قصيبة تغليظها منقر
جـ) برنشيمية خشب مقسمة
د ، هـ) برنشيمية خشب مقسمة تحتوى إحداهما على بلورات فى قطاع طولى وقطاع عرضى

الألياف القصيبية أقل طولاً وسمكاً من الألياف الليبرية ، نقرها مضفوفة ذات قنوات قمعية مسطحة (شكل 23/3)٠ الألياف الليبرية لها نقر بسيطة من نوع خاص فهى تفتح فى الجدار السميك فى إتجاه تجويف الخلية بشكل قمعى مسطح٠ وقد يتكون بالألياف القصيبية والليبرية جدر عرضية تفصل الليفة الواحدة إلى عدة خلايا وتسمى ألياف مقسمة septate fibers ، وهى توجد بكثرة فى نباتات ذات الفلقتين٠ كثيراً ما تحتفظ تلك الألياف بمادتها الحية لعدة سنوات كما فى العنب٠ تقوم الألياف المقسمة الحية بتخزين الغذاء الزائد عن الحاجة وذلك بالإضافة إلى وظيفتها التدعيمية٠

الألياف الجيلاتينية جدرها الثانوية تحتوى على لجنين ، ويكون بها نسب كبيرة من السليلوز ولها مظهر جيلاتينى٠

4 - برنشيمة الخشب

تشبه الخلايا البرنشيمية العادية ، إلا أنها تميل إلى الاستطالة وقد تتغلظ جدرها تغليظاً لجنينياً ، ويوجد عليها نقر بسيطة أو مضفوفة أو نصف مضفوفة ، وتختلف فى محتوياتها من المواد المخزنة ، وقد تكون مقسمة بجدر عرضية إلى غرف ، وقد تحتوى كل غرفة منها على بلورة واحدة عادة (شكل 17/5 جـ - هـ)٠

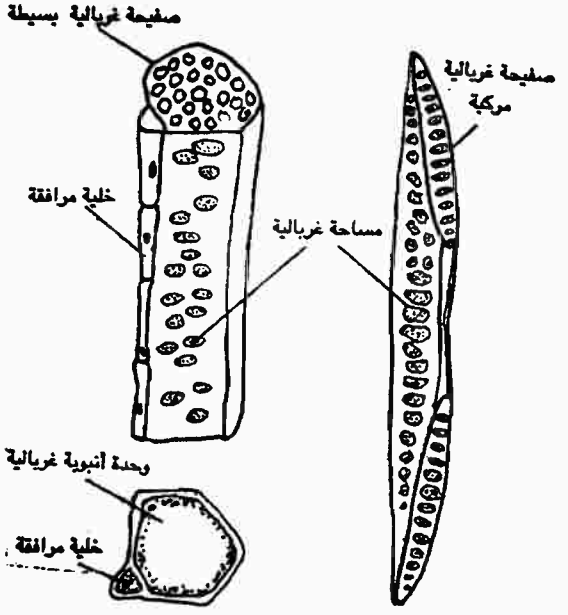
نسيـــج اللحـــاء

نسيج اللحاء phloem نسيج مركب ، يتكون فى النباتات كاسيات البذور من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة واسكلرنشيمية لحاء وبرنشيمية لحاء ، ويتكون فى النباتات عاريات البذور من خلايا غربالية وألياف لحاء برنشيمية لحاء.

الوظيفة الرئيسية لنسيج اللحاء هو نقل الغذاء العضوى المجهز من الأوراق إلى باقى أجزاء النبات ، كما تقوم الألياف بالتدعيم والخلايا البرنشيمية بالتخزين.

1 - الأنابيب الغربالية

تتكون الأنبوبة الغربالية sieve tube من صف من الخلايا الحية تسمى وحدة الأنابيب الغربالية sieve tube elements (شكل 18/5). ولكل وحدة من وحـدات



(شكل 18/5) : وحدات أنابيب غربالية وخلايا مرافقة

الأنابيب الغربالية جدر ابتدائية رقيقة سليلوزية ، وفى بعض الأحيان تكون جدرها سميكة. تحتوى وحدة الأنابيب الغربالية فى المبدأ على سيتوبلازم ونواة ومحتويات أخرى منها أجسام بروتينية لزجة slime protein bodies (شكل 19/5 جـ ، د ، هـ). أثناء نضج الوحدة الغربالية تختفى النواة ، ويكون السيتوبلازم طبقة رقيقة تبطن الجدر مع وجود فجوة عصارية كبيرة ، ثم يتحلل الغشاء البلازمى الفجوى فتختلط محتويات الفجوة العصارية مع السيتوبلازم.

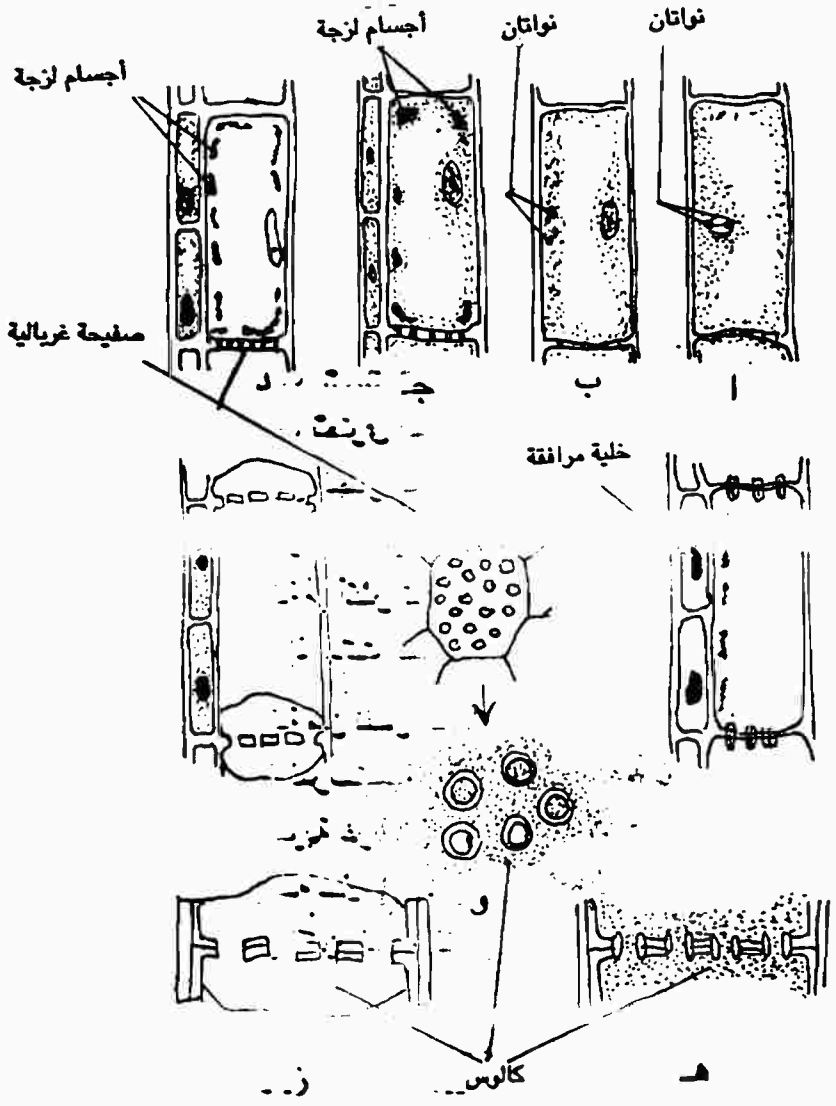
تنفصل وحدات الأنبوبة الغربالية عن بعضها بجدر مثقبة ، قد تكون أفقية أو مائلة وتسمى بالصفائح الغربالية sieve plates (شكل 18/5).

والصفائح الغربالية قد تكون مركبة إذا إحتوت على عدد من المساحات الغربالية sieve areas يفصلها مساحات خالية من الثقوب. والمساحة الغربالية هى مساحة من الصفيحة الغربالية بها ثقوب عديدة. وتتوزع المساحات الغربالية على الصفيحة الغربالية بشكل سلمى أو شبكى. والصفائح الغربالية المركبة تكون فى وضع مائل على الأنبوبة الغربالية وتشاهد فى سيقان العنب. وقد تكون الصفائح الغربالية بسيطة إذا احتوت الصفيحة الواحدة على مساحة غربالية واحدة. وتكون الصفائح الغربالية البسيطة عمودية على الأنبوبة الغربالية أو مائلة عليها قليلاً ، كما فى سيقان اللوف والقرع ، والنوع الأخير هو أكثر أنواع الأنابيب الغربالية رقياً.

قد توجد المساحات الغربالية على الجدر الجانبية إلا أن ثقوبها تكون أضيق من ثقوب المساحات الغربالية الموجودة بالصفائح الغربالية. إذا جاورت المساحات الغربالية جدر خلايا برنشيمية تتكون حقول نقر إبتدائية مقابل ثقوب المساحات الغربالية. تم خلال ثقوب المساحات الغربالية خيوط سيتوبلازمية cytoplasmic strands تصل بروتوبلاست الوحدة الغربالية بالوحدات الأخرى وبالخلايا المجاورة. وتكون تلك الخيوط السيتوبلازمية التى تخترق الصفيحة الغربالية سميكة ، وتكون أرفع فى المساحات الغربالية الجانبية. وتحاط الخيوط

السيتوبلازمية المارة بالصفائح الغربالية بطبقة رقيقة من مادة الكالوس callose ، وهى مادة كربوايدراتية تعطى جلوكوز عند تحللها ، وتأخذ اللون الأزرق عند معاملتها بأزرق الأنيلين. يزداد ترسيب الكالوس حول الخيوط السيتوبلازمية فى الخريف أو عقب حدوث جروح ، وقد يؤدى ذلك إلى تغطية الصفائح الغربالية وإنسداد ثقوبها وإختفاء الخيوط السيتوبلازمية وفقدان الوحدة لوظيفتها (شكل 19/5). عند نشاط نسيج اللحاء ثانية فى الربيع تذوب عادة أجزاء من مادة الكالوس فتنفتح الثقوب وتتكون الخيوط السيتوبلازمية من جديد. عند موت الوحدة الغربالية يختفى الكالوس وتبقى الثقوب معراة.

فى أثناء تكوين خلايا الأنابيب الغربالية تتكون بداخلها مادة بروتينية يختلف نوعها باختلاف النبات ، كما يحدث تجمع لهذه المادة البروتينية ليتكون منها الأجسام البروتينية اللزجة ، وهى ذات أشكال عديدة تختلف باختلاف النبات فهى خيطية فى القرع أو أنبوبية فى الدخان أو بلورية فى فول الصويا ، وعند تمام تكوين هذه الأجسام داخل الخلايا فإنه يحدث بعد ذلك مباشرة سلسلة من التغيرات وهى إختفاء النواة وتحلل الغشاء البلازمى الفجوى ، وبذلك يزداد تميؤ سيتوبلازم الخلية نتيجة لاختلاط مكونات الفجوة العصارية بالسيتوبلازم وتغير شكل الشبكة الإندوبلازمية ، ثم يلى ذلك تجزىء الأجسام البروتينية إلى أجزاء صغيرة ، تتحرك وتتوزع فى سيتوبلازم الخلية ، أما عن وظيفة هذه الأجسام البروتينية أو نواتجها بعد التجزئة فإنه من الثابت أنه عند إختلاط الضغط المائى داخل خلايا الأنابيب الغربالية فإن هذه الأجسام البروتينية أو نواتجها تصل إلى ثقوب الصفيحة الغربالية وبذلك تمنع الانسياب السريع للمواد الغذائية المجهزة فى الأوراق ، لأنه إذا لم يحدث ذلك فإن المواد الغذائية المجهزة ستصل إلى الجذر بسرعة كبيرة دون أن يستفيد منها باقى أجزاء النبات وبذلك يعانى النبات من نقص الغذاء العضوى. كما أن هذه الأجسام أو نواتجها تشترك مع الكالوس فى سد ثقوب الصفائح الغربالية فى الشتاء.



(شكل 19/5) : تكوين الانابيب الغربالية والخلايا المرافقة

أ ـ د) خطوات تكوين وحدة أنبوبة غربالية وخليتين مرافقتين

هـ ـ ز) تكوين الكالوس

2 - الخلايا الغربالية

الخلايا الغربالية sieve cells هى خلايا أسطوانية طولية ذات جدر طرفية مائلة بشدة ومتراكبة مع جدر خلايا غربالية أخرى. لا توجد صفائح غربالية ، بل توجد مساحات غربالية غير متخصصة ، ثقوبها ضيقة ومتماثلة على أجزاء الخلية ، كما لا يوجد مع الخلايا الغربالية خلايا مرافقة ، ولكن يوجد معها فى النباتات المخروطية خلايا زلالية تشبه الخلايا المرافقة.

3- الخلايا المرافقة

الخلايا المرافقة companion cells هى خلايا برنشيمية متخصصة توجد ملاصقة للأنابيب الغربالية ، تحتوى الخلية المرافقة على سيتوبلازم كثيف ونواة. تقابل المساحات الغربالية فى الجدر الجانبية لوحدات الأنابيب الغربالية حقول نقر إبتدائية فى جدر الخلايا المرافقة. توجد علاقة وثيقة بين وحدة أنبوبة غربالية خالية من النواة وبين خلية مرافقة أو أكثر تحتوى كل منها على نواة ، فتتوقف الأنبوبة الغربالية عن أداء وظيفتها إذا ماتت الخلايا المرافقة المتصلة بها.

تنشأ الخلايا المرافقة من نفس الخلايا المرستيمية التى تنشأ منها الأنابيب الغربالية . تنقسم الخلية المرستيمية الأمية طولياً إلى خليتين غير متساويتين ، الكبيرة منها تكون وحدة أنبوبة غربالية والصغرى تكون خلية مرافقة ، وفى حالة وجود أكثر من خلية مرافقة لكل وحدة أنبوبة غربالية فإن الخلية الصغيرة تنقسم عرضياً لتعطى خليتين مرافقتين للخلية الكبيرة ، وهكذا (شكل 19/5 أ- د).

4 - ألياف اللحاء

يحتوى اللحاء الابتدائى والثانوى على ألياف قد تكون مقسمة أو غير مقسمة ميتة أو حية ، توجد فى مجاميع وقد توجد فى صفوف تتبادل مع صفوف الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة. كما قد يحتوى اللحاء على خلايا إسكليريدية توجد مع

الألياف أو توجد منفردة وتظهر عادة فى اللحاء المسن نتيجة للتلجنن الشديد للخلايا البرنشيمية.

5 - برنشيمة اللحاء

هى خلايا برنشيمية تميل للإستطالة ، وقد تكون ملجننة وقد تكون مقسمة بجدر عرضية إلى غرف قد تحتوى كل غرفة منها على بلورة ، كما يحدث فى برنشيمة الخشب ، وقد تحتوى برنشيمة اللحاء على مواد مخزنة أخرى.

الخلايا والأنسجة الناقلة

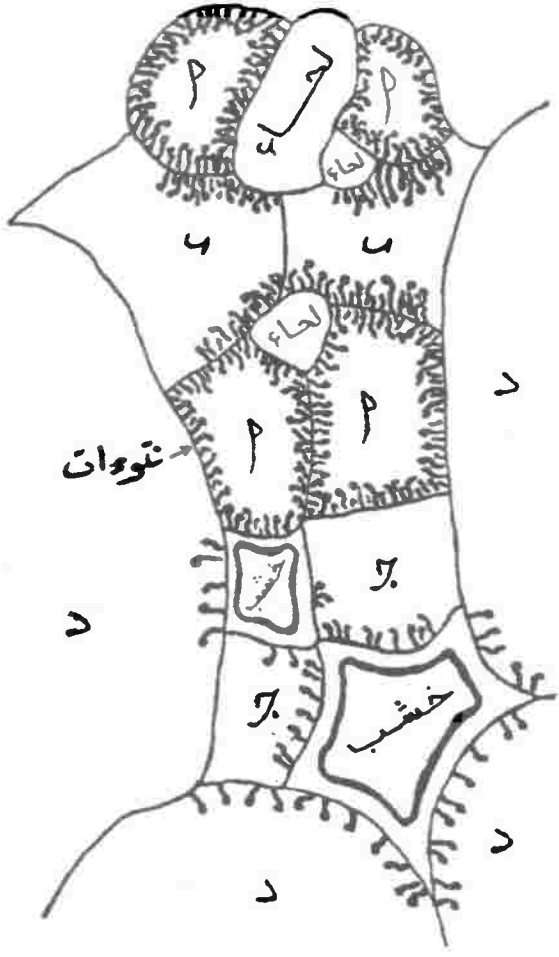
تتميز الخلايا الناقلة transfer cells بأن جدرها الخلوية يخرج منها نتوءات كثيرة تمتد إلى داخل الخلية. ويحيط بهذه النتوءات الغشاء البلازمى (شكل 20/5). نتيجة لذلك تزيد نسبة المساحة الداخلية للخلية إلى حجمها ، حيث نجد أن مساحة الجدار الداخلى والغشاء البلازمى تكون أكبر فى هذه الخلايا عنه فى حالة خلايا أخرى لها نفس الحجم وليس بها هذه النتوءات ، لذلك فإن هذه الخلايا ذات كفاءة عالية فى إمتصاص وإفراز العناصر والمواد العضوية نتيجة لكبر السطح بالنسبة للحجم وقد أمكن إثبات ذلك باستخدام العناصر المشعة.

تتميز هذه الخلايا بغزارة سيتوبلازمها وكثافة شبكتها الإندوبلازمية وبوجود عدد كبير من الميتوكوندريات ذات الرشراشات الكثيرة وخاصة بجانب هذه النتوءات.

تقسم هذه الخلايا على أساس كيفية توزيع النتوءات داخل الخلية إلى خلايا غير قطبية non-polar حيث توجد النتوءات موزعة بانتظام على محيط السطح الداخلى للخلية كله ، وخلايا قطبية polar حيث توجد النتوءات هى جهة واحدة أو جهتين من الخلية أو أكثر ، أى تكون غير موزعة بانتظام ومركزة فى مناطق دون أخرى. توجد هذه النتوءات فى أنواع كثيرة من الخلايا فهى توجد فى الخلايا البرنشيمية

والكلورنشيمية وبرنشيمية اللحاء وبرنشيمية الخشب والبشرة والبريسيكل والخلايا الغدية.

توجد الخلايا الناقلة ، عادة ، فى العروق الصغيرة للأوراق وملاصقة لأنسجتها الوعائية وحيث يكون تبادل العناصر والمركبات العضوية بين النسيج



(شكل 20/5) : الخلايا الناقلة

قطاع عرضى فى جزء من عرق ورقة صغير يبين أنواع الخلايا الناقلة المختلفة (أ ، ب ، جـ ، د)

الوسطى للورقة والعروق على أشده ، وهذه الخلايا هى المسئولة عن سرعة إنجاز عملية التبادل لكبر سطوحها الداخلية ، ويوجد من هذه الخلايا أربعة أنواع (شكل 20/5) هى أ (A) ، ب (B) ، جـ (C) ، د (D)٠

النوع أ : خلايا غير قطبية ملاصقة للأنابيب الغربالية وتتميز بغزارة سيتوبلازمها (تعتبر خلايا مرافقة متحورة)٠

النوع ب : خلايا قطبية تكون ملاصقة للأنابيب الغربالية أو الخلايا المرافقة أو خلايا النوع أ ، وسيتوبلازمها أقل كثافة من النوع السابق ، توجد النتوءات فى الجزء من الخلية الملاصق للأنابيب الغربالية أو الخلايا المرافقة أو خلايا النوع أ ، ولا توجد النتوءات فى الأجزاء المقابلة للمسافات البينية أو الأنواع الأخرى من الخلايا (تعتبر برنشيمية لحاء متحورة)٠

النوع جـ : خلاياه قطبية تكون ملاصقة للأوعية الخشبية والقصيبات ، توجد النتوءات فى الجزء من الخلية الملاصق للأوعية الخشبية والقصيبات فقط ، كثافة سيتوبلازمها أقل من النوع السابق وعدد النتوءات أقل من الأنواع السابقة (تعتبر خلية برنشيمية خشب متحورة)٠

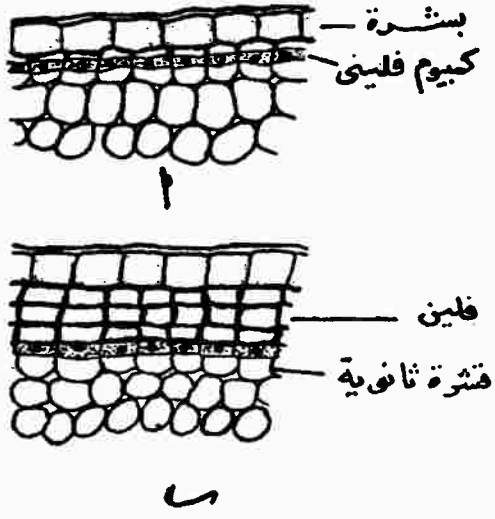
النوع د : تكون خلاياه قطبية ملاصقة لغلاف حزمة الورقة ، توجد النتوءات فى الجزء من الخلايا المقابل لأقرب أوعية خشبية أو قصيبات ، وعدد النتوءات قليل٠ السيتوبلازم عادى الكثافة ومماثل للخلايا العادية الأخرى (تعتبر خلية غلاف حزمة متحورة)٠

النوع أ ، ب هى أكثر الأنواع شيوعاً فى عروق الأوراق٠

نسيج البريديرم

نسيج البريديرم periderm نسيج وقائى ، ثانوى المنشأ ، يحل محل بشرة السيقان والجذور المستمرة فى النمو فى السمك ، كذلك يتكون البريديرم فى مواضع إنفصال وتساقط الأعضاء النباتية كالأوراق وأسفل الجروح ، فيحمى الأنسجة الداخلية من فقد الماء بالبخر ومن الميكروبات ، كما يتكون حول الإصابات المرضية فى كثير من النباتات المقاومة للمرض فيحد من انتشار الكائنات الممرضة فى الأنسجة السليمة.

ينشأ البريديرم من الكامبيوم الفلينى phellogen ، وهو نسيج مرستيمى ثانوى يتكون من طبقة واحدة من الخلايا المتراصة . وينشأ الكامبيوم الفلينى عن تحول خلايا البشرة أو بعض خلايا القشرة أو البريسيكل أو اللحاء إلى خلايا مرستيمية تحتوى على فجوات عصارية كبيرة. تنقسم خلية الكامبيوم الفلينى إلى خليتين ، الخارجية تستكمل نضجها متحولة إلى خلية فلينية ، وتبقى الداخلية مرستيمية ، وهذه

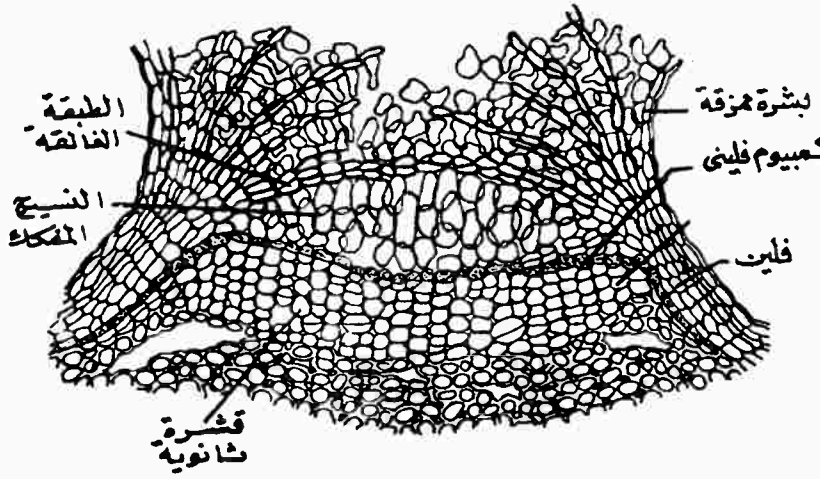


(شكل 21/5) : تكوين نسيج البريديرم

بدورها تنقسم إلى خليتين ، الداخلية تستكمل نضجها متحولة إلى خلية برنشيمية والخارجية تبقى مرستيمية ، وهكذا يتكرر الانقسام وتكون النتيجة النهائية تكوين نسيج الفلين phellem خارجياً وتكوين نسيج القشرة الثانوية phelloderm داخلياً. وعادة يكون معدل تكوين الفلين أعلى من معدل تكوين القشرة الثانوية ، يشمل نسيج البريديرم كل من الفلين والكامبيوم الفلينى والقشرة الثانوية (شكل 21/5).

باستمرار نمو السيقان والجذور فى السمك يتمزق البريديرم الذى تكون أولاً ، ويحل محله بريديرم آخر ينشأ من أنسجة أعمق من الأنسجة التى نشأ منها الكامبيوم الفلينى السابق ، وهكذا.

تظهر خلايا الفلين فى القطاع العرضى بشكل مستطيلات متراصة فى صفوف ، خالية من المسافات البينية ، خلايا الفلين تموت عند نضجها نتيجة لتغليظها بمادة السيويرين الدهنية الغير منفذة للماء. جدر الخلايا خالية من النقر وفراغ الخلية مملوء بالهواء ، وقد يحتوى على بلورات أو مواد تأنينية.



(شكل 22/5) : عديسة نبات الزان

تعمل طبقة الفلين على حماية أنسجة النبات الداخلية ، كما تعمل على تقليل أو منع فقد الماء من أنسجة النبات الداخلية ، كذلك تعمل كعازل حرارى يقلل من تأثير التغييرات الحرارية الخارجية على الأنسجة الداخلية ، ويستعمل الفلين تجارياً كسدادات للقوارير ويؤخذ من نبات البلوط الفلينى.

ونظراً لأن الفلين لا ينفذ الغازات بسهولة مما ينتج عنه صعوبة تنفس أنسجة النبات الداخلية فإن الكامبيوم الفلينى لا تنتج عنه دائماً خلايا فلين للخارج بل فى بعض المناطق ، يعطى تحت الثغور عادة بدلاً من الفلين نسيج مفكك مكون من خلايا برنشيمية رقيقة الجدر تفصل بينها مسافات بينية ، وتعرف هذه المناطق بالعديسات lenticels ولهذا تعتبر العديسات نسيج للتهوية ولتبادل الغازات (شكل 22/5).

والعديسات من المكونات الطبيعية لنسيج البريديرم فى الجذور والسيقان ، وتختلف العديسات فى الحجم فقد تكون ميكروسكوبية وقد ترى بسهولة بالعين المجردة وعادة تبرز للخارج.

ويتصل الكامبيوم الفلينى للعديسة بالكامبيوم الفلينى للبريديرم ، ولكنه يلتوى عادة للداخل عند العديسات فيظهر أكثر عمقاً. ينتج الكامبيوم الفلينى فى منطقة العديسة خلايا برنشيمية للخارج وللداخل ، ويعرف النسيج الخارجى بالنسيج المفكك losse tissue ، والنسيج الداخلى بالقشرة الثانوية. فى بعض النباتات مثل الزان *Fagus* نجد أن النسيج المفكك لا يتكون باستمرار ، بل يعطى الكامبيوم الفلينى ، وخاصة تحت الظروف الجوية الشديدة البرودة ، طبقة أو طبقات فلينية لتعزل الأنسجة الداخلية عن الجو الخارجى ، تعرف بالطبقة الغالقة closing layer. وعند تحسن ظروف البيئة يكون الكامبيوم الفلينى نسيجاً مفككاً ثانية يضغط على الطبقة الغالقة فيمزقها ، وقد تتكرر هذه العملية فيظهر بالنسيج المفكك عدة طبقات غالقة تفصل بينها خلايا مفككة.

الأنسجة الإفرازية

الأنسجة الإفرازية secretory tissues هى أنسجة تقوم بافراز أو إخراج مواد خاصة. ويقصد بالإفرازات secretions ، بوجه عام ، مجموع المركبات التى ينتجها السيتوبلازم أثناء عمليات التحول الغذائى. وقد تستخدم تلك الإفرازات استخدامات خاصة تكون ذات فائدة للنبات وتدخل فى دورات التحول الغذائى للنبات مثل الإنزيمات أو تؤثر على نمو النبات مثل الهرمونات ، أو تكون غير ذات فائدة للنبات مثل اللبن النباتى. ويميز البعض بين الإفراز والإخراج. فالإفراز هو إنتاج مركبات مفيدة للنبات فى حين أن الإخراج excretion هو إنتاج مركبات غير مفيدة للنبات.

يجب التفرقة بين الخلية الإفرازية غير الغدية والخلية الإفرازية الغدية gland cell. ففى الحالة الأولى نجد أن الخلية تفرز أفرازاً يتجمع داخل الخلية ولا يكون للخلية وسيلة لإخراجه خارجها كما فى حالة القنوات اللبنية فى كثير من النباتات مثل الفيكس ريليجيوزا *Ficus religiosa* (شكل 24/5 أ). أما فى الحالة الثانية فنجد أن الخلية لها القدرة على أفراز ما بداخلها خارج الخلية ، ويحدث ذلك بطريقتين ، ففى الطريقة الأولى تتحلل الخلايا ويتبقى الإفراز فى مكان تحلل الخلايا وتعتبر هذه طريقة سلبية حيث أن الخلية الغدية ليس لها تركيب معين للإفراز وتسمى هذه الطريقة من الإفراز holocrine وذلك كما فى الفجوات الإفرازية الانقراضية فى ثمار الموالح. فى الطريقة الثانية وهى طريقة إيجابية للإفراز وتسمى merocrine حيث أن الخلية الغدية لا تتحلل ، وقد يحدث الإفراز مباشرة عن طريق إختراق الغشاء البلازمى الخارجى وعادة يكون الإفراز ماءاً مذاب به أملاح كما فى الغدد المائية ، وتسمى هذه الطريقة من الإفراز eccrine ، أو قد يكون الإفراز نتيجة لتكون حويصلات فى داخل الخلية من أجسام جولجى عادة والتى تتحرك إلى حافة الخلية وتفرز محتوياتها خارج الخلية كما فى الفجوات الإفرازية الانفصالية فى أوراق الصنوبر وفى خلايا قلنسوة الجذر وتسمى هذه الطريقة من الإفراز granulocrine.

وعموماً يمكن تقسيم الأنسجة الإفرازية إلى تركيبات إفرازية خارجية وأخرى داخلية :

التراكيب الإفرازية الخارجية

تتكون التراكيب الإفرازية الخارجية external secertory structures من بعض خلايا بشرة النبات أو زوائد بشرة النبات ، وقد تشمل معها بعض الطبقات أسفل البشرة. بعض خلايا تلك التركيبات أو جميعها ذات قدرة على إفراز مركبات خاصة إلى سطح النبات مثل الرحيق. بعض النباتات الملحية قد تفرز أملاح. والنباتات آكلة الحشرات تفرز رحيق ومواد لزجة وأنزيمات هاضمة.

ومن أنواع التراكيب الإفرازية ما يأتى :

1 - الشعور الغدية Glandular hairs : هى شعور وحيدة الخلية كما فى الحريق أو عديدة الخلايا كما فى اللافندر. ففى الشعور اللاذعة لنبات الحريق *Urtica urens* ، تكون الخلية المفرزة قارورية الشكل منتفخة القاعدة ، منغمسة جزئياً فى نتوء من البشرة عديد الخلايا ومسحوبة إلى أعلى بشكل أنبوبة تستدق قرب الطرف ثم تنتهى بإنتفاخ كروى يدخل فى تركيبه السيلكا. فإذا لامست الشعرة جلد إنسان أو حيوان تنكسر القمة الكروية تاركة النهاية المدببة التى تسبب جرح فى الجلد. وبالضغط على الجزء القاعدى المنتفخ يندفع الإفراز السام المحتوى على مركب الهستامين إلى الجرح مسبباً الإحساس بالألم (شكل 23/5 أ).

بعض الشعور الغدية تتجمع إفرازاتها الغدية تحت طبقة الأدمة ، وبزيادة كمية الإفرازات تتمدد الأدمة وتتمزق ثم يتحرر الإفراز وذلك كما فى أوراق نبات اللافندر *Lavandula vera* (شكل 23/5 ب).

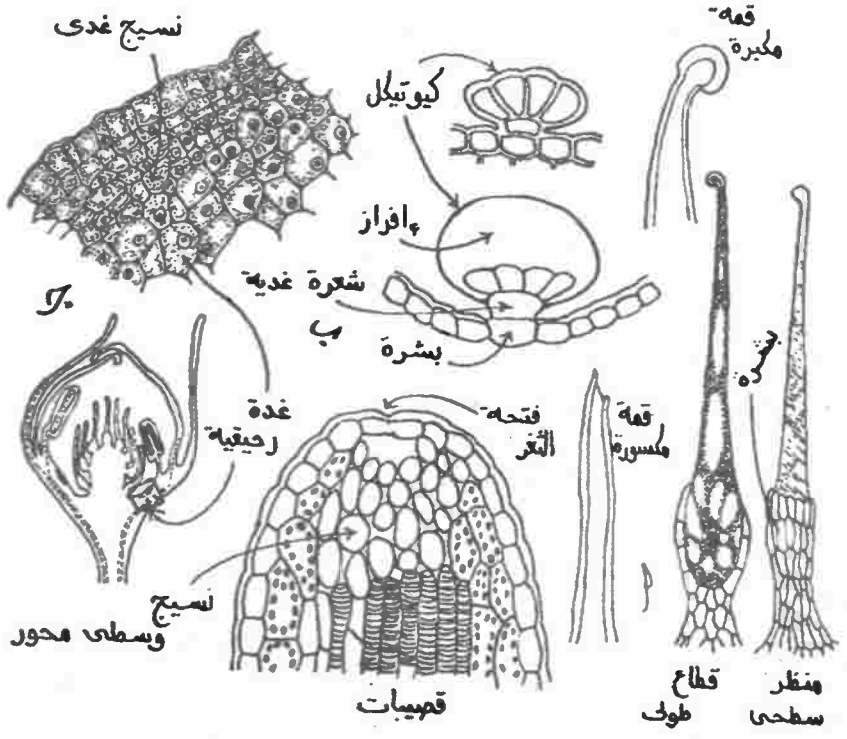
ومن الزوائد الغدية ما يتكون على أوراق النباتات آكلة الحشرات كما فى أوراق نبات ورد الشمس *Drosera*. وتفرز غدد هذه النباتات بجانب المواد اللزجة أنزيمات هاضمة لجسم الحشرة المقتنصة (شكل 14/8 أ).

2 - الغدد الرحيقية Nectaries : وهى عبارة عن تراكيب سطحية تتكون عادة من خلايا بشرة متحورة ، وقد تشمل عدة طبقات من الخلايا أسفل البشرة. وقد توجد الغدد الرحيقية فى الأزهار وتسمى غدد رحيقية زهرية ، وهى توجد فى أجزاء مختلفة من الزهرة منها التخت والسبلات والبتلات (شكل 23/5 جـ) ، أو توجد فى أجزاء النبات مثل السيقان والأوراق والأذينات ، وتسمى غدد رحيقية غير زهرية. تفرز الغدد الرحيقية الرحيق nectar وهو محلول سكرى أغلب سكرياته هى السكروز والجلوكوز والفركتوز. وتوجد علاقة هامة بين نسبة اللحاء والخشب فى الأنسجة الوعائية التى تمد الغدد الرحيقية وكمية السكر بالرحيق. فإذا كان نسيج اللحاء هو السائد فإن الرحيق يحتوى على معدلات مرتفعة من السكر تصل إلى 50% ، وإذا كان الخشب هو السائد قلت نسبة السكر كثيراً. وكلما كانت خلايا الغدد أكثر تشكيلاً وتمييزاً عن الخلايا العادية كلما كان إفرازها أكثر اختلافاً فى تركيبه عن عصارة اللحاء.

تختلف طريقة إفراز الرحيق من خلايا الغدد الرحيقية باختلاف التركيب الدقيق للغدة وباختلاف النباتات . تزداد كميات الشبكة الاندوبلازمية وأعداد جهاز جولجى والحويصلات فى بعض الغدد الرحيقية كما تحتوى تجاويفها على مواد مفرزة. تنتقل الحويصلات الناتجة من هذه الأجزاء بما تحتويه من إفرازات إلى محيط الخلية حيث تصب محتوياتها خارج الخلية وتتجمع الإفرازات خارج الغدد ، وهذا النوع من الإفراز هو granulocrine ، وقد أمكن إثبات هذه الحالة وجميع خطواتها باستعمال العناصر المشعة فى الغدد الرحيقية الموجودة على مبيض نبات الصبار *Aloe*. وفى بعض الغدد الرحيقية يكون العكس صحيح حيث لا تزداد كمية أجسام جولجى أو الحويصلات قبل أو أثناء الإفراز كما فى الغدد الرحيقية لنورة نبات بنت القنصل *Euphorbia pulcherrina*.

يخرج الرحيق إلى سطح النبات فى وجود الأدمة الغير منفذة بأن تكون الأدمة ضعيفة التكوين أو مثقوبة أو تنفجر وتتمزق بزيادة الإفراز.

3 - **الثغور المائية Hydathodes** : هى نوع خاص من الأنسجة الإفرازية مختصة بالإدماع guttation ، توجد عادة فى حواف الأوراق. يفرز الماء من تلك الثغور المفتوحة دائماً ، يحدث ذلك عند حدوث إمتصاص سريع للماء ونشاهد قطرات ماء الإدماع عند إرتفاع رطوبة الجو ، ويوجد نوعان من الثغور المائية. تحتوى الثغور المائية فى النوع الأول على نسيج يدفع الماء إلى الخارج ، وتعرف



(شكل 23/5) : تراكيب إفرازية خارجية

أ) شعرة غدية لنبات الحريق ، والقمة مكبرة
ب) شعرة غدية لنبات اللافندر قبل وبعد الأفراز
ج) زهرة الفراولة مبيناً الغدد الرحيقية وتركيبها
د) ثغر مائى

الثغور فى هذه الحالة بالغدد المائية water glands. وفى النوع الثانى تكون الثغور المائية مجرد فتحات يخرج منها الماء نتيدة لدفعه بالضغط الجذرى الذى يدفع الماء فى أنسجة الخشب حتى يصل إلى نهايتها فى الورقة. ثم يتخلل الماء المسافات البينية للنسيج الوسطى المحور epithem ، المكون من خلايا برنشيمية صغيرة لا تحتوى على الكلوروفيل عادة والذى يفصل ما بين نهاية الخشب وفتحة الثغر المائى ، فنيدفع الماء بعد ذلك للخارج خلال فتحة الثغر المائى (شكل 23/5 د). وتوجد الثغور المائية فى أوراق الفراولة والطماطم والقمح وأبو خنجر وغيرها.

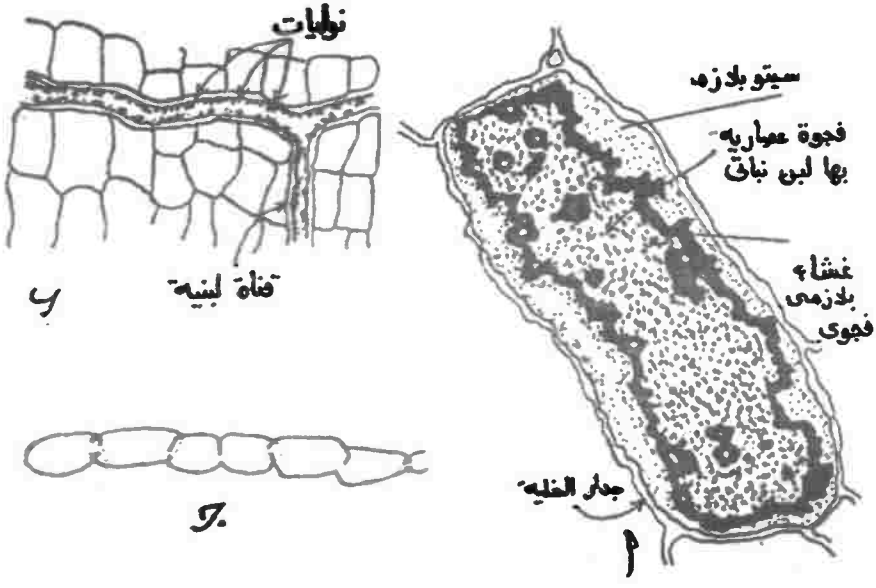
التراكيب الإفرازية الداخلية

تتكون التراكيب الإفرازية الداخلية internal secretory structures من خلايا متخصصة لإفراز مواد معينة وهذه تحفظ المواد المفرزة فى داخلها كما فى القنوات اللبنية أو فى تجاويف خارجها كما فى الفجوات الإفرازية ، وعموماً يمكن تقسيم التراكيب الإفرازية الداخلية إلى ما يأتى :

1 - القنوات اللبنية Laticiferous ducts : وهى عبارة عن خلايا حية أسطوانية وقد تكون متفرعة تخصصت فى إفراز اللبن النباتى latex الذى يتجمع بداخل الفجوة العصارية ويوجد بتركيز كبير على حواف الفجوة ملاصقاً للغشاء البلازمى الفجوى (شكل 24/5 أ). اللبن النباتى مادة سائلة لزجة ذات لون أبيض أو أصفر أو برتقالى ، وقد تكون عديمة اللون ، تتكون من مواد مختلفة منها سكريات أو أملاح أو أحماض أو أشباه قلويات أو أحماض عضوية أو تانينات فى حالة ذائبة ، وبروتينات ودهون فى حالة معلقات ومستحلبات ، وقد تحتوى على مواد أخرى مثل المطاط أو الشموع. ويعتقد البعض أن اللبن النباتى هو ناتج ثانوى لعمليات التحول الغذائى ، لا يستفيد منه النبات. وتكون القنوات اللبنية نسيجاً ينتشر فى أجزاء النبات. ويوجد نوعان من القنوات اللبنية.

(أ) قنوات وحيدة الخلية non-articulated ducts : وتنشأ القناة الواحدة من خلية واحدة لها أصل فى الجنين تستطيل لدرجة كبيرة وتنمو بين خلايا النبات وتحتوى على عديد من النوايات ، وقد تتفرع بكثرة كما فى نبات أم اللبن *Euphorbia* (شكل 24/5 ب) وقد تكون غير متفرعة كما فى نبات الونكا *Vinca* والحريق.

(ب) قنوات عديدة الخلايا articulated ducts : وتنشأ القناة الواحدة من خلايا عديدة ملتصقة ، والجدر الفاصلة تزول أو تتثقب أو تبقى كما هى. القنوات المتكونة قد تكون متفرعة كما فى نبات الشيكوريا والمطاط ، وقد تكون غير متفرعة كما فى نبات الموز (شكل 24/5 جـ).

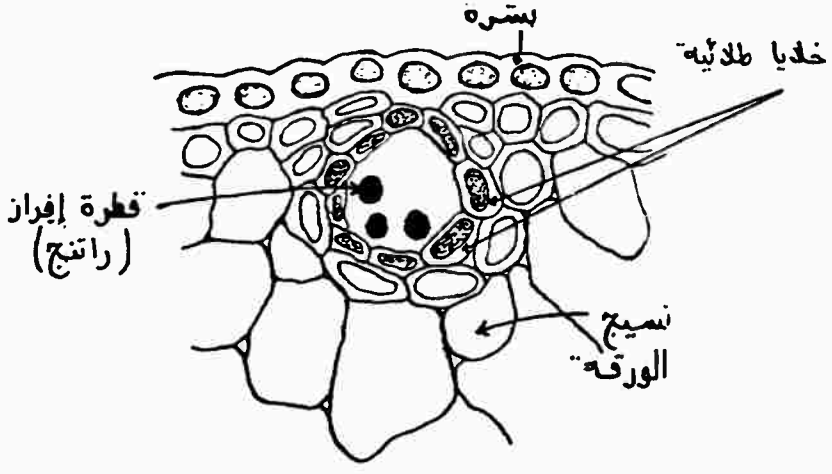


(شكل 24/5) : القنوات اللبنية
أ) قطاع طولى فى خلية لبن نباتى فى الفيكس ريليجيوزا
ب) قناة لبنية وحيدة الخلية متفرعة فى أم اللبن
جـ) قناة لبنية عديدة الخلايا فى الموز

لبعض أنواع اللبن النباتى أهمية اقتصادية كبيرة كما فى نبات المطاط *Hevea brasiliensis* ، حيث يحتوى لبنه النباتى على 30% مطاط ، واللبن النباتى لنبات بلاكوينم *Palaquinum* يستخرج منه الصمغ الهندى وهى مادة عديمة التوصيل الكهربائى ولذلك تستخدم فى صناعة الكابلات.

2 - **الفجوات الإفرازية Secretory cavities** : الفجوات الإفرازية عبارة عن فجوات بين الخلايا قد تكون كروية أو مستطيلة تمتد فى صورة قنوات تتجمع فيها إفرازات ناتجة من خلايا غدية محيطة بها. وتتكون الفجوات الإفرازية بطريقتين.

تعرف الطريقة الأولى بالطريقة الانفصالية schizogenous. تنفصل بعض الخلايا عن بعضها بذوبان الصفائح الوسطى ، التى تلصق الخلايا المتجاورة ببعضها ، وإتساع المسافات البينية بين الخلايا المنفصلة. تنقسم الخلايا المحيطة



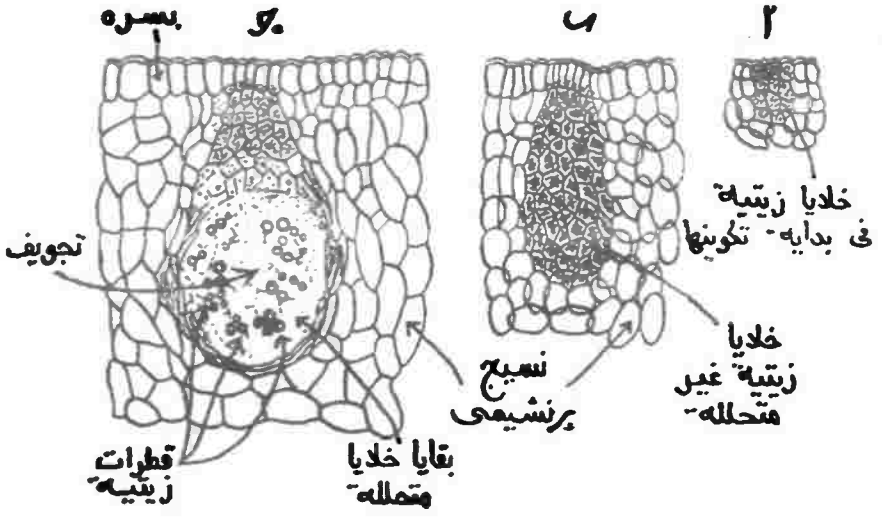
(شكل 25/5) : فجوة إفرازية انفصالية

قطاع عرضى فى تجويف غدى انفصالى فى ورقة الصنوبر

بالمسافات البينية الناتجة مكونة خلايا إفرازية رقيقة الجدر ذات بروتوبلازم كثيف تبطن التجويف ، تعرف بالخلايا الطلائية epithelium. كما فى أوراق الصنوبر حيث تتكون قنوات تحتوى على زيت التربنتين (الراتنج) (شكل 25/5).

تعرف الطريقة الثانية بالطريقة الإنقراضية (التحللية) lysigenous ، حيث تتكون الفجوة الإفرازية بتحلل بعض الخلايا الداخلية فيتكون تجويف تتجمع فيه المواد المفرزة والناتجة من الخلايا المتحللة ، وتبطن الفجوات عادة ببقايا الخلايا المتحللة ، وذلك كما فى أوراق وقشرة ثمار الموالح (شكل 26/5).

وقد تتكون الفجوة الإفرازية بالطريقتين معاً فتعرف الفجوة بأنها إنفصالية إنقراضية schizolysigenous ، فيتكون التجويف بطريقة الإنفصال ثم بتحلل بعض الخلايا كما فى أزهار قرنفل الزيت.



(شكل 26/5) : فجوة إفرازية انقراضية
خطوات تكوين فجوة افرازية انقراضية فى الموالح

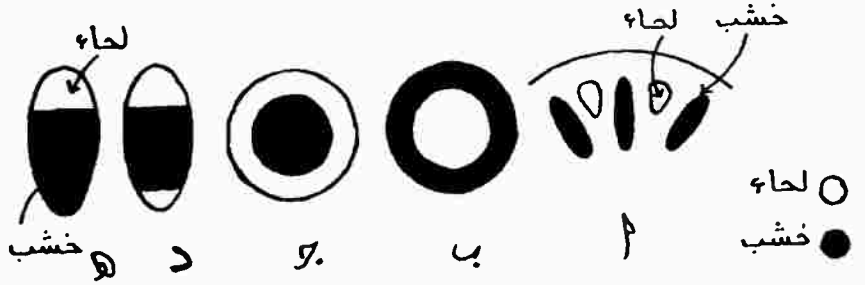
أنواع الحزم الوعائية

تعرف ثلاثة أنواع رئيسية من الحزم الوعائية vascular bundles ، وتختلف فى موضع كل من الخشب واللحـاء بالنسبة لبعضهما (شكل 27/5) وهذه الأنواع هى :

1 - **الحزمـة القطريـة Radial bundle** : وفيهـا يتبـادل الخـشب واللحـاء فيكون كل منهما على نصف قطر مختلف عن الآخر ومثال ذلك حزم الجذور .

2 - **الحزمـة الجانبيـة Collateral bundle** : فيها يوجد كل من الخشب واللحاء على نصف قطر واحد . ومثال ذلك حزم السيقان .

وفى حالة السيقان ذات الفلقتين يفصل الخشب واللحاء نسيج الكمبيوم الوعائى وتسمى حزمـة جانبيـة مفتوحـة open ، أمـا فـى حالـة السيقان ذوات الفلقة فلا يوجد نسيج كمبيوم فاصل بين الخشب واللحاء وتسمى حزمة جانبية مغلقة (مقفولة) closed .



(شكل 27/5) : أنواع الحزم الوعائية

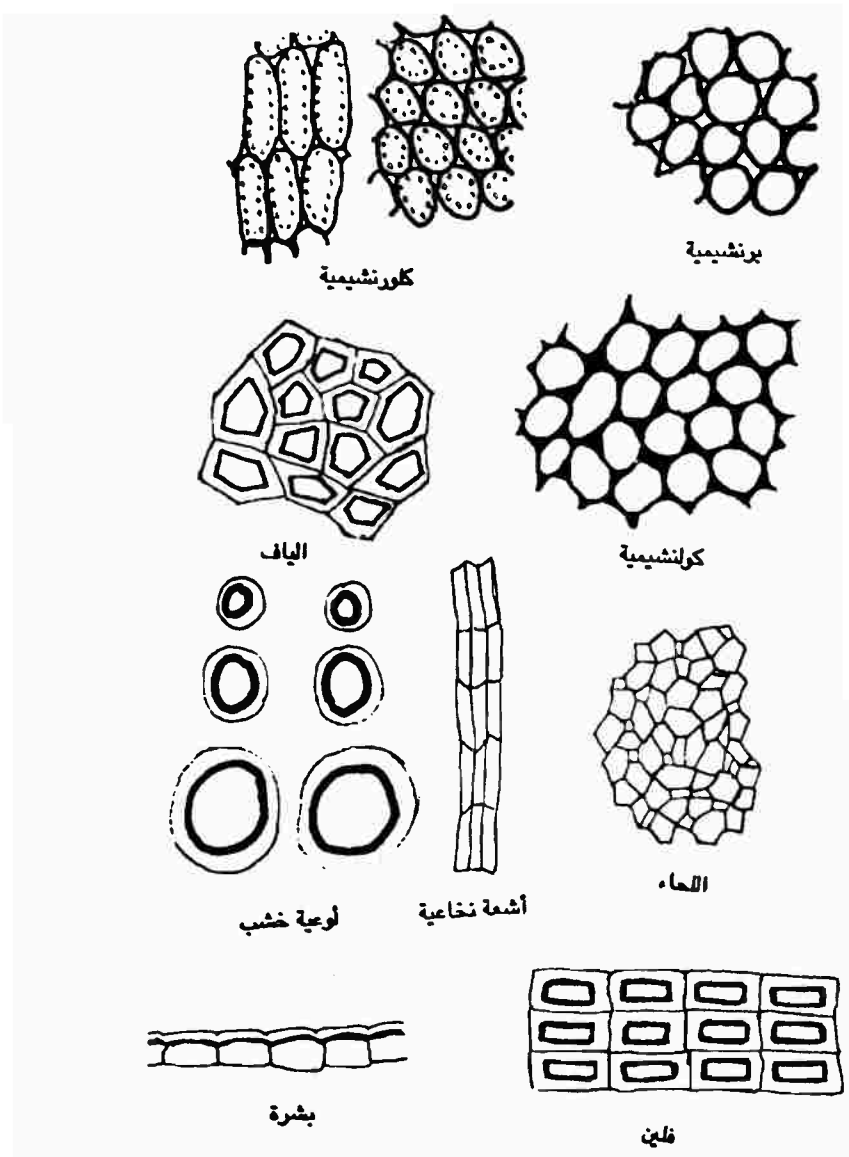
أ) حزمة قطرية
ب) حزمة مركزية اللحاء
جـ) حزمة مركزية الخشب
د) حزمة ذات جانبين
هـ) حزمة جانبية

يوجد الخشب أحياناً بين لحاءين أحدهما خارجي ويفصله عن الخشب كمبيوم وعائي والآخر داخلي ولا يفصله عن الخشب كمبيوم ، وتسمى الحزمة في هذه الحالة بأنها حزمة مفتوحة ذات جانبين open bicollateral ، وتشاهد هذه الحزم في سوق القرع وبعض نباتات العائلية القرعية والباذنجانية.

3 - الحزمة المركزية Concentric bundle : فيها نجد أن الخشب أو اللحاء في مركز الحزمة بينما يكون النسيج الآخر محيط به تماماً ، ويوجد نوعان من هذه الحزم الوعائية :

أ) حزمة مركزية اللحاء Amphivasal : فيها يكون اللحاء مركزياً ويحيط به الخشب كما في ساق الدراسينا.

ب) حزمة مركزية الخشب Amphicribral : فيها يكون الخشب مركزياً ويحيط به اللحاء كما في ورقة الفوجير *Nephrolepis*.



(شكل 28/5) : كيفية رسم الخلايا المختلفة فى القطاعات العرضية