الفصل 36

شكل النبات

Plant Form

مقدّمة

قد لا تكون درجة التشابه بين نبات الصبار، والسحلبية، وشجرة الخشب القاسي واضحة من النظرة الأولى، إلا أن معظم النباتات تتوحد في أساسيات بنائها. وتظهر هذه الوَحْدة في كيفية بنائها ونموّها وتصنيع غذائها ونقله، وفي تنظيم تطورها. في هذا الفصل، سنعالج كيفية بناء نبات وعائي، وسوف نركز على الخلايا، والأنسجة، والأجزاء المكونة لنبات مكتمل النمو. إن الجذور والسيقان التي تعطي النبات المكتمل ميزاته البنائية فوق سطح الأرض وتحتها هي نتاج نهائي لمخطط أساسي للنبات تم وضعه أساسًا في أثناء مراحل تكوّن الأجنة، وهي العملية التي سنستكشفها كاملة في هذا الفصل.

موجز المفاهيم

36-1 تنظيم جسم النبات: نظرة عامة

- *للنباتات الوعائية جذور وسيقان.*
- *تتكون الجذور والسيقان من ثلاثة أنواع من الأنسجة.*
- *تُحدد الأنسجة المرستيمية خطط الجسم في أثناء حياة النبات.*

36-2 الأنسجة النباتية

- *يكوّن نسيج البشرة مع البيئة سطحًا بينيًّا واقيًا.*
- *تقوم خلايا الأنسجة الأساسية بكثير من الوظائف، بما في ذلك التخزين والبناء الضوئي والدعم.*
- *ينقل النسيج الوعائي الماء والمواد الغذائية عبر النبات.*

36-3 الجذور: تراكيب للتثبيت والامتصاص

- *تتكيف الجذور للنمو تحت الأرض، وامتصاص الماء، والمواد المذابة.*
- *تقوم الجذور المتحورة بوظائف متخصصة.*

36-4 السيقان: دعامات للأعضاء فوق سطح الأرض

- *تحمل السيقان الأوراق والأزهار، وتدعم وزن النبات.*
- *تقوم السيقان المتحورة بالتكاثر الخضري، وتخزين المواد الغذائية.*

36-5 الأوراق: أعضاء البناء الضوئي

- *تمثل التراكيب الخارجية للورقة المظهر الوعائي الخارجي.*
- *تنظم التراكيب الداخلية للورقة التبادل الغازي، والتبخر.*
- *الأوراق المتحورة أجزاء متعددة الاستعمالات.*

1-36 تنظيم جسم النبات: نظرة عامة

كما علمت في الفصل الـ 30، فإن المملكة النباتية ذات تنوع كبير، ليس فقط فيما بين قبائلها، وإنما أيضًا فيما بين الأنواع. لم تُظهر النباتات الوعائية البدائية، التي انقرض كثير منها، تمايزًا واضحًا لجسم النبات، بحيث تظهر أجزاء متخصصة مثل الجذور والأوراق.

وفي النباتات الوعائية الحديثة، يعكس وجود هذه الأجزاء زيادة في التخصص، خصوصًا فيما يتعلق باحتياجات الحياة على الأرض. فالحصول على الماء، على سبيل المثال، هو تحدٍّ على اليابسة، والجذور متكيفة لامتصاصه من التربة. تظهر الأوراق والجذور والسيقان والزهور تباينًا في الحجم والعدد من نبات لآخر. إن تطور شكل هذه الأجزاء من النبات وتركيبها يخضع لسيطرة محكمة جدًا، إلا أن بعض نواحي تطور الورقة، والساق، والجذر تبدي مرونة معقولة. ويؤكد هذا الفصل النواحي الموحِّدة لشكل النبات باستعمال النباتات الزهرية بوصفها نموذجًا.

للنباتات الوعائية جذور وسيقان

يتكون النبات الوعائي من نظامي الجذر والساق (الشكل 36-1). تنمو الجذور والسيقان عند مقدماتها التي تسمى القمم (ومفردها قمة Apex).

ويقوم **النظام الجذري Root System** بتثبيت النبات، واختراق التربة، حيث يمتص منها الماء والأيونات اللازمة لتغذية النبات. وغالبًا ما يكون النظام الجذري واسعًا، ويمكن للجذور النامية أن تعطي قوة كبيرة لتحريك المواد في أثناء استطالتها وتوسعها. وقد تطورت الجذور لاحقًا بعد السيقان (النظام الخضري) لتواكب النمو على اليابسة.

يتكون **النظام الخضري** (نظام الساق) **Shoot System** من السيقان وأوراقها. وتقوم السيقان بعمل منصة لحمل الأوراق، التي هي الأجزاء الأساسية لعملية البناء الضوئي. إن ترتيب الأوراق وحجمها إضافة لبعض الصفات الأخرى للأوراق مهمة جدًا في عملية إنتاج النبات للغذاء؛ حيث تتكون الأزهار وأعضاء التكاثر الأخرى، وأخيرًا، الثمار والبذور على الساق النامية (وسيتم الحديث عن الشكل الخارجي للزهرة، وتكاثر النبات في الفصل الـ 42).

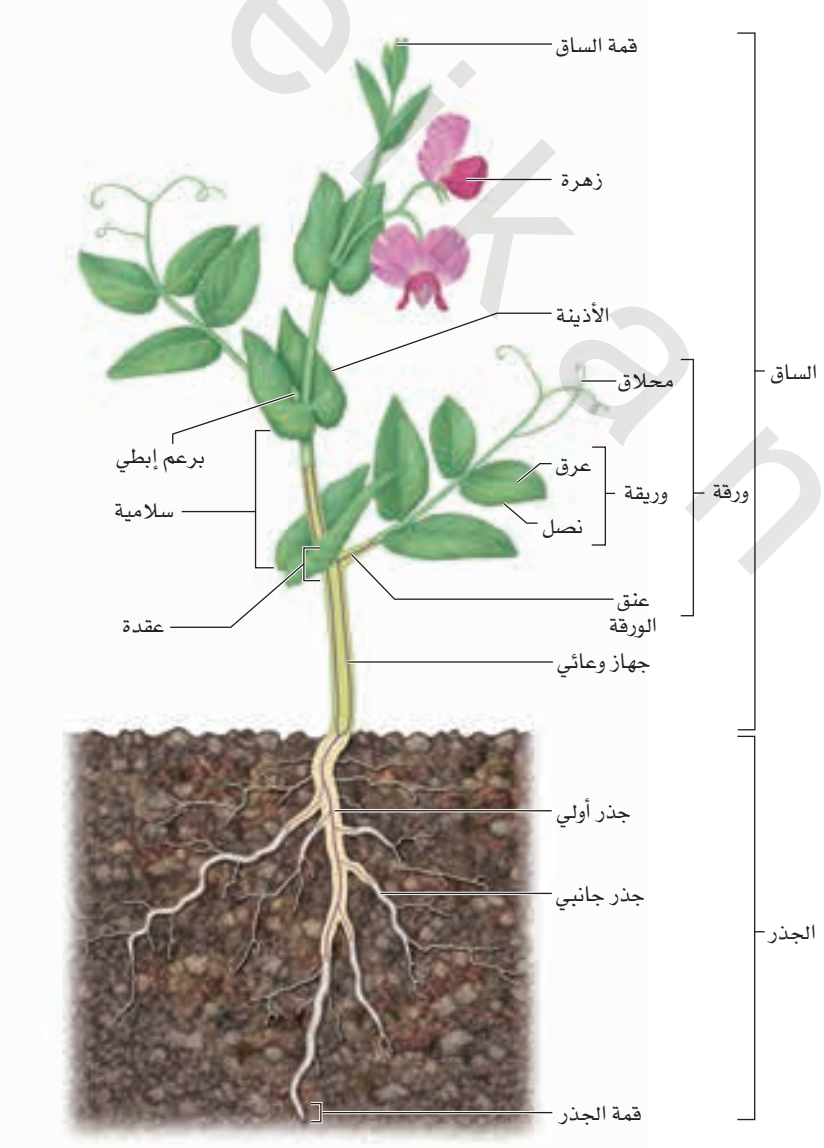
تتكون وحدة الساق الخضري من السلامية، والعقدة، والورقة، والبرعم الإبطي، ولا تشمل التراكيب التكاثرية. والبرعم الإبطي هو قمة ساق جانبية، تمكن النبات من التفرع أو تعويض الساق الرئيسة، إذا تم رعيه من قبل الحيوانات العاشبة. وللبرعم الإبطي القدرة على إعادة تكوين الساق الأولية. عند انتقال النبات للمرحلة التكاثرية من التطور، يمكن لهذه البراعم الإبطية أن تنتج زهورًا، أو سيقانًا زهرية.

تتكون الجذور والسيقان من ثلاثة أنواع من الأنسجة

تحوي الأوراق، والجذور، والسيقان ثلاثة أنواع أساسية من الأنسجة: **الأدمة Dermal**، **والنسيج الأساسي Ground**، **والوعائي Vascular**. وكما هي الحال في أعضاء أجسام الحيوانات، فإن هذه الأنسجة تتكون من نوع أو أكثر من الخلايا. وحيث إن كلًّا من هذه الأنسجة يمتد عبر الجذور والسيقان، فإنه يطلق عليها اسم **الأنظمة النسيجية Tissue Systems**.

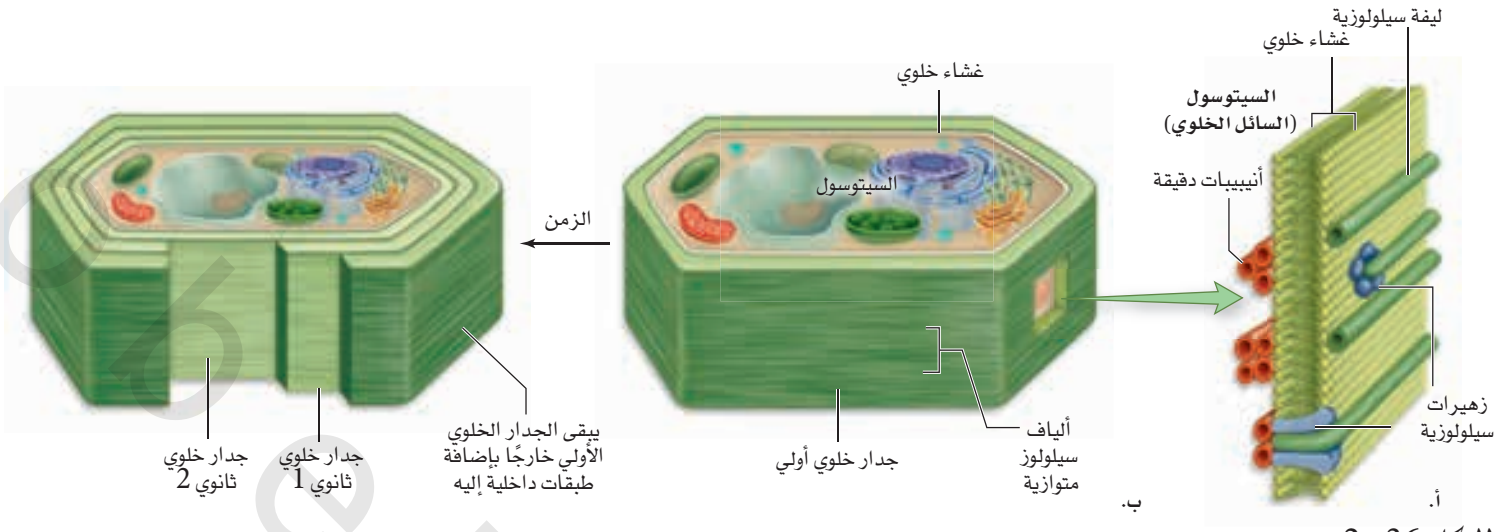
ويمكن تمييز أنواع الخلايا النباتية، سواء أكانت حية أم ميتة، من خلال حجم فجواتها عند اكتمال نموها، ومن خلال سمك الإفرازات في جدرها السيلولوزية، التي هي الصفة المميزة للخلايا النباتية (انظرالفصل الـ 4 لمراجعة تركيب الخلية). فبعض الخلايا له جدار خلوي ابتدائي من السيلولوز فقط يبنى على الغشاء الخلوي. ويتم تموضع الأنيبيبات داخل الخلية، وهي التي تحدد توجُّه الألياف السيلولوزية (الشكل 36-2أ). إن الخلايا الداعمة للنبات تحوي جدارًا خلويًّا مدعمًا بقوة بكثير من طبقات السيلولوز. ويتم ترتيب طبقات السيلولوز بزوايا مع الطبقات المجاورة لها، كما هي في حالة الخشب الرقائقي (المُطابَق)، وهذا بدوره يحسن قوة الجدار الخلوي (الشكل 36-2ب).

يتكون نسيج الأدمة، الذي هو البشرة بشكل أساسي، من طبقة واحدة من الخلايا في معظم النباتات، ويشكل طبقة خارجية واقية للنبات. وفي معظم النباتات، تتم إضافة طبقة شمعية للبشرة الخارجية للحد من فقدان الماء، وأثر الأشعة فوق البنفسجية المؤذي، وهو تكيف أساسي للحياة على اليابسة. أما النباتات



الشكل 36-1

رسم تخطيطي لجسم النبات. تشكل الجذور والسيقان المتفرعة جسم النبات. فكل جذر أو ساق له قمة للنمو. وتنشأ الأوراق عند عقد السيقان التي تحوي براعم إبطية، يمكنها البقاء كامنة أو النمو لتكون أفرعًا جانبية أو أزهارًا. ويمكن للورقة أن تكون ذات نصل بسيط أو تتكون من أجزاء عدة، كما هو مبين هنا. وترتبط الجذور والأوراق والسيقان كلها بالنسيج الوعائي (الناقل).



الشكل 36-2

بناء الجدار الخلوي النباتي. أ. السيلولوز عبارة عن مبلمر من الجلوكوز، يتم إنتاجه في زهيرات مكونة للسيلولوز في غشاء الخلية لبناء الجدار الخلوي. ويتم وضع ألياف السيلولوز موازية للأنيبيبات الدقيقة داخل الغشاء الخلوي. تضاف مواد إضافية لتدعيم الجدار الخلوي، وجعله منيعًا لمرور الماء في بعض أنواع الخلايا. ب. تعمل بعض الخلايا على تكوين طبقات إضافية من السيلولوز، ما يؤدي لزيادة القوة الميكانيكية للجدار الخلوي، ولأن السيلولوز يصنّع في الخلية، فإن الطبقات القديمة منه ستكون على خارج الجدار الخلوي. وتمتلك جميع الخلايا جدارًا خلويًّا أوليًّا، أما الطبقات الإضافية من السيلولوز واللجنين فتسهم في تشكيل الجدار الخلوي الثانوي.

الصحراوية المخزنة للماء، فلها طبقات إضافية من الشمع، وفي بعض الحالات يكون نسيج الأدمة واسع الانتشار، ويكوّن القلف في الأشجار.

وتقوم بعض خلايا النسيج الأساسي بالتخزين والبناء الضوئي والإفراز. في حين تدعم الأنسجة الأساسية الأخرى المحتوية على الألياف النبات، وتحافظ عليه. في الملابس القطنية، يتكون القماش أساسًا من ألياف نسيج القطن الأساسي.

تنقل الأنسجة الوعائية بنقل السوائل، والمواد المذابة لجميع أجزاء الجسم. وأحد هذه الأنسجة الوعائية، وهو الخشب، ينقل الماء والمعادن المذابة. أما النوع الثاني من هذه الأنسجة الوعائية، وهو اللحاء، فينقل المحلول المحتوي على المواد الغذائية، بما في ذلك السكروز، وسيتم التعرض لكل من هذه الأنسجة ووظائفها الكثيرة بشكل مفصل أكثر في الأجزاء اللاحقة.

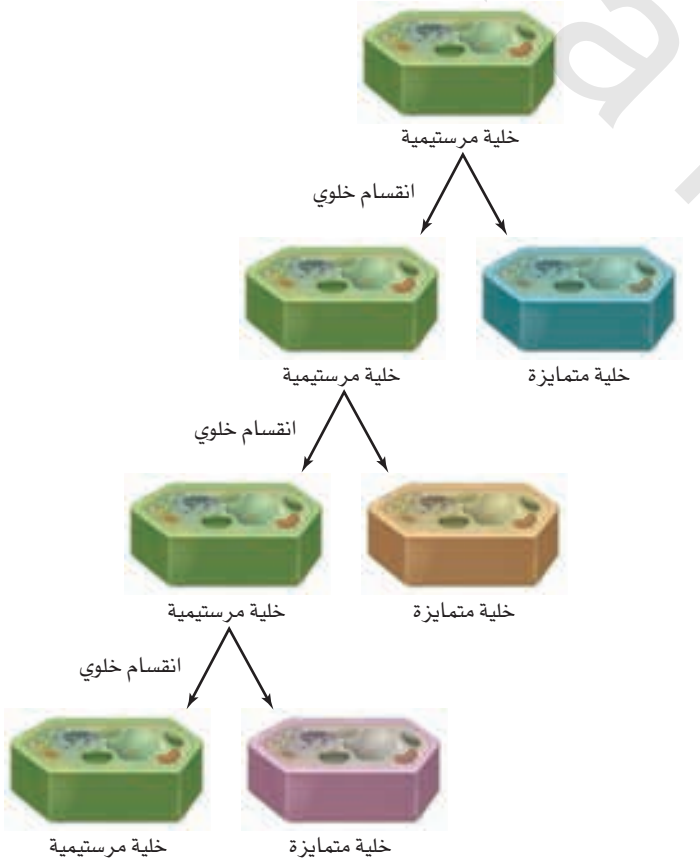
تحدد الأنسجة المرستيمية خطط الجسم في أثناء حياة النبات

عند بداية نمو البذرة، يوجد جزء صغير فقط من النبات المكتمل فيها. ومع أن خلايا الجنين يمكنها الانقسام والتمايز لتكوين كثير من أنواع الخلايا، إلا أن مصير معظم الخلايا البالغة أكثر تقييدًا. ويعتمد التطور اللاحق لجسم النبات على أنشطة المرستيم، وهي خلايا متخصصة توجد في السيقان والجذور، وفي أجزاء أخرى من النبات.

نظرة عامة على المرستيمات

تتكون **المرستيمات Meristems** من كتل من الخلايا الصغيرة ذات السيتوبلازم الكثيف، والأنوية الكبيرة نسبيًّا التي تعمل بوصفها خلايا جذعية، كما هو في الحيوان، بمعنى أن خلية واحدة تنقسم لتعطي خليتين، تبقى إحداهما مرستيمية في حين تتمايز الأخرى لتشكل جسم النبات (الشكل 36-3). وبهذه الطريقة، يتجدّد عدد الخلايا المرستيمية المولدة باستمرار.

وتدعم أدلة الوراثة الجزيئية فرضية أن الخلايا الجذعية الحيوانية والخلايا المرستيمية للنبات يمكن أن تشترك في مسارات عملية التعبير عن الجينات.



الشكل 36-3

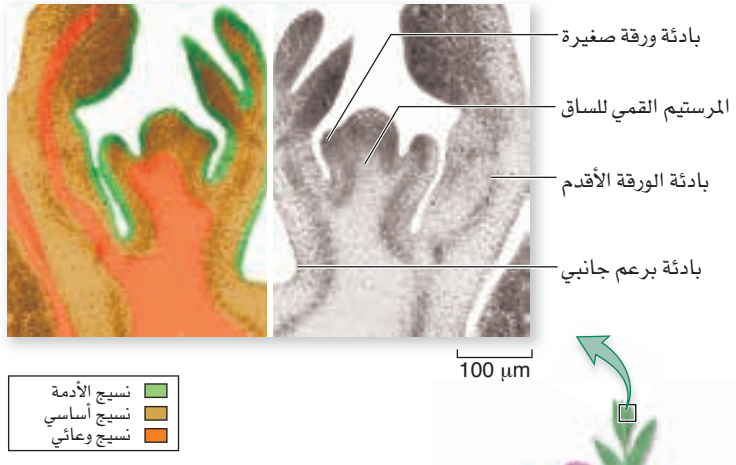
انقسام الخلية المرستيمية. تتكون المرستيمات النباتية من انقسام خلايا مكونة خلية جديدة متمايزة، وخلية أخرى تستمر بوصفها خلية مرستيمية.

يستعمل علماء الحياة كلمة الخلايا المرستيمية بدلًا من الخلايا الجذعية Stem cells لتجنب الالتباس؛ لأن كلمة Stem تعني أيضًا الساق التي تمثل النظام الخضري.

وتتم استطالة الجذور والسيقان نتيجة للانقسام المستمر للخلايا، وما يتبع ذلك من استطالة الخلايا الناجمة عن **المرستيم القمي Apical meristems**. وفي بعض النباتات الوعائية، بما فيها الأشجار والشجيرات، يزيد **المرستيم الجانبي Lateral meristems** قطري الجذر والساق.

المرستيم القمي *Apical meristems*

يقع المرستيم القمي في نهايات (قمم) السيقان والجذور (الشكل 36-4). وفي أوقات النمو، تنقسم خلايا المرستيم القمي، وتضيف باستمرار المزيد من الخلايا على هذه القمم. تسمى الأنسجة الناتجة عن المرستيم القمي **الأنسجة الأولية Primary Tissues**. إن تمدد الجذر والساق واستطالتهما يكوّن ما هو معروف



الشكل 36 – 4

المرستيم القمي. تمد المرستيمات القمية للساق والجذر جسم النبات فوق سطح الأرض وتحته. وتحمي بادئات الأوراق مرستيم الساق الغض، في حين أن مرستيم الجذر ينتج قلنسوة واقية إضافة إلى نسيج الجذر الجديد.

الجسم الأولي للنبات Primary plant body. يشمل الجسم الأولي للنبات الأجزاء الغضة، والطرية من الجذور، والسيقان للشجرة أو الشجيرة، أو كل الجسم في بعض النباتات.

ويتكون المرستيم القمي في كل من الجذور والسيقان من خلايا طرية تحتاج إلى الحماية (انظر الشكل 36-4). ويتم الحفاظ على المرستيم القمي في الجذر بقلنسوة الجذر التي سنصف تشريحها لاحقًا. تُنتج خلايا هذه القلنسوات عن طريق مرستيم الجذر، ويتم تقشرها واستبدالها في أثناء نمو الجذر في التربة. وبالمقارنة، فإن بدايات الورقة تحمي المرستيم القمي النامي للساق الذي يكون حساسًا جدًا، وبصورة خاصة للجفاف الناجم عن تعرضه للهواء والشمس.

يكوّن المرستيم القمي ثلاثة أنظمة نسيجية من خلال المبادرة بتكوين **المرستيمات الأولية Primary Meristem**. وهذه المرستيمات الثلاث الأولية هي: **البشرة الابتدائية Protoderm** التي تكون البشرة، **والكمبيوم الأولي Procombium** الذي يكون الأنسجة الوعائية الأولية (الخشب الأولي واللحاء الأولي بشكل أساسي)، **والمرستيم الأساسي Ground Meristem** الذي يتمايز أكثر مكونًا النسيج الأساسي.

وفي بعض النباتات، مثل ذيل الحصان والذرة، يظهر **المرستيم السلامي Intercalary** في سلاميات الساق (وهي المسافات بين ارتباطات الأوراق)، ما يؤدي لإطالة السلاميات. وإذا سرت في حقل ذرة في إحدى الأمسيات الصيفية الهادئة، عندما يصل ارتفاع النبات إلى الركبة، يمكن أن تسمع حفيفًا ناعمًا، وسبب هذا الصوت هو سرعة نمو مرستيم السلاميات. حيث إن مقدار استطالة الساق الحاصل في وقت قصير جدًا مدهش حقًا.

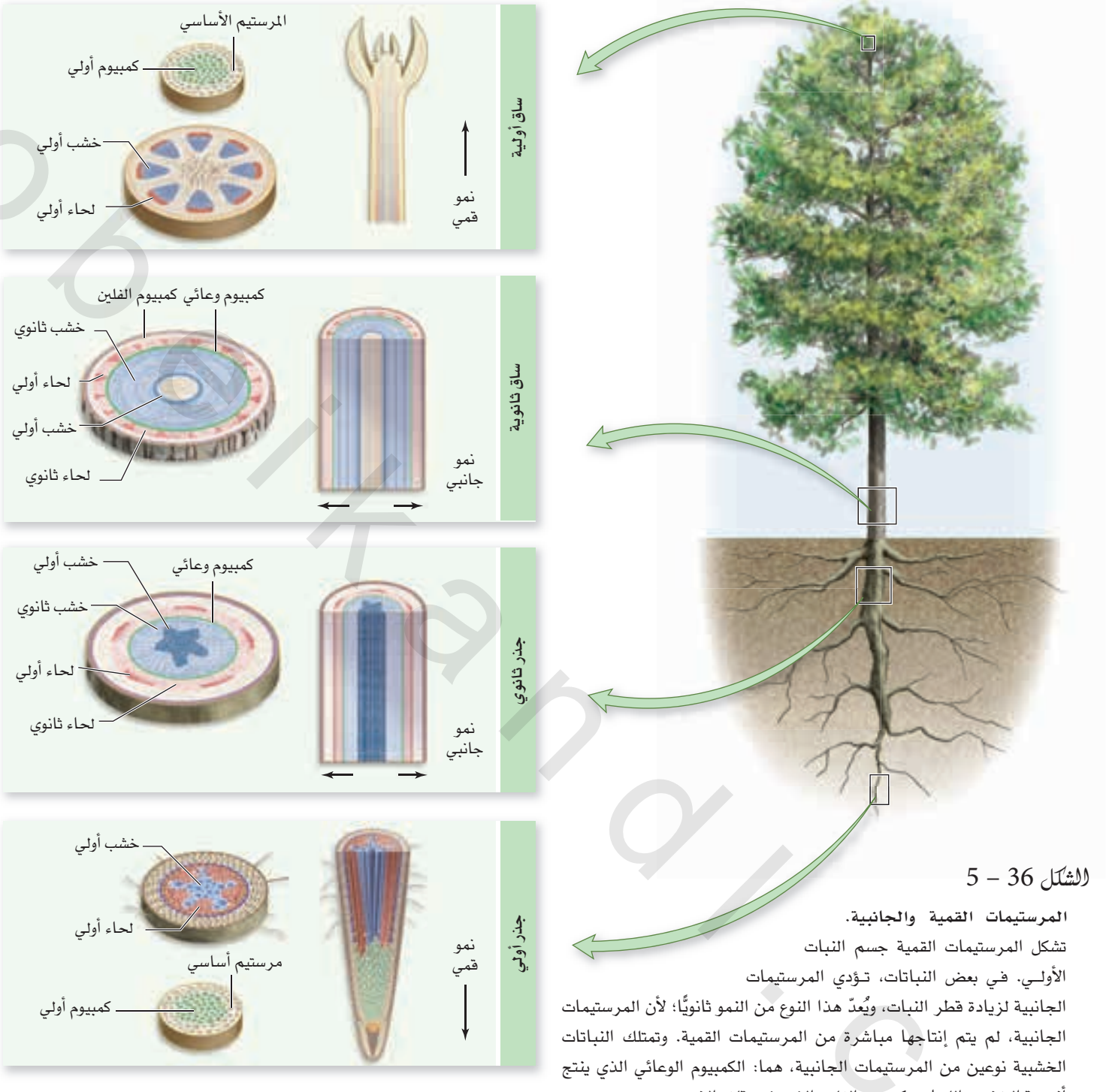
المرستيمات الجانبية

يبدي كثير من النباتات العشبية (ذات السيقان اللحمية وليس الخشبية) نموًّا أوليًّا فقط، في حين أن النباتات الأخرى تنمو **نموًا ثانويًا Secondary growth** ويمكن أيضًا أن يؤدي لزيادة كبيرة في قطرها. ويتم النمو الثانوي من خلال المرستيم الجانبي، وهو أسطوانات جانبية في النسيج المرستيمي في الساق، والجذور تؤدي لزيادة القطر في ذوات البذور المعراة ومعظم ذوات البذور المغطاة، بحيث تبقى نباتات وحيدة الفلقة هي الاستثناء الرئيس (شكل 36 - 5).

ومع أن النمو الثانوي يزيد القطر في بعض النباتات غير الخشبية، إلا أن تأثيره أكبر في النباتات الخشبية، التي تحوي اثنين من المرستيمات الجانبية. ويوجد في لحاء الساق الخشبية **كمبيوم الفلين Cork cambium**، وهو مرستيم جانبي ينتج القلف الخارجي للشجرة، ونجد تحت القلف **الكمبيوم الوعائي Vascular cambium**، وهو مرستيم جانبي ينتج الأنسجة الوعائية الثانوية، ويتكون بين الخشب واللحاء في الأسطوانة الوعائية مضيفًا نسيجًا وعائيًّا ثانويًّا لجانبي الأسطوانة.

إن الخشب الثانوي هو المكون الرئيس للخشب، واللحاء الثانوي قريب جدًا من سطح الساق الخشبية، وإزالة طبقة القلف عن الشجرة يؤدي لإيذاء اللحاء، وقد يقضي على الشجرة في النهاية. تُعرف الأنسجة المتكونة من المرستيم الجانبي، والمكونة لمعظم جذع الشجرة وفروعها، والجذور القديمة للأشجار والشجيرات **بالأنسجة الثانوية Secondary tissues** وتسمى، بمجموعها، **الجسم الثانوي للنبات Secondary plant body**.

تحدّد المرستيمات أنظمة السيقان والجذور لجسم النبات الأولي والثانوي، وتتمايز الخلايا المشتقة من المرستيمات في الجذور والسيقان لتعطي أحد ثلاثة أنظمة نسيجية، هي: نسيج الأدمة، والنسيج الأساسي، والنسيج الوعائي.



الشكل 36 – 5

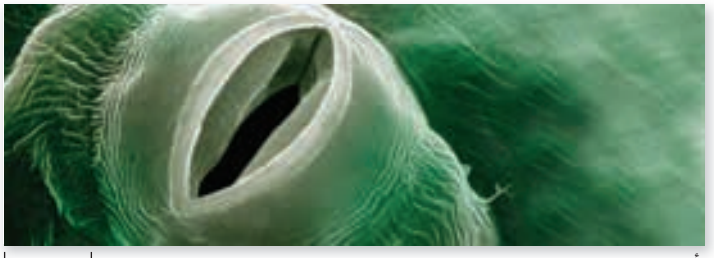
المرستيمات القمية والجانبية.
تشكل المرستيمات القمية جسم النبات الأولي. في بعض النباتات، تؤدي المرستيمات الجانبية لزيادة قطر النبات، ويُعدّ هذا النوع من النمو ثانويًّا؛ لأن المرستيمات الجانبية، لم يتم إنتاجها مباشرة من المرستيمات القمية. وتمتلك النباتات الخشبية نوعين من المرستيمات الجانبية، هما: الكمبيوم الوعائي الذي ينتج أنسجة الخشب واللحاء، وكمبيوم الفلين الذي ينتج قلف الشجرة.

2-36 الأنسجة النباتية

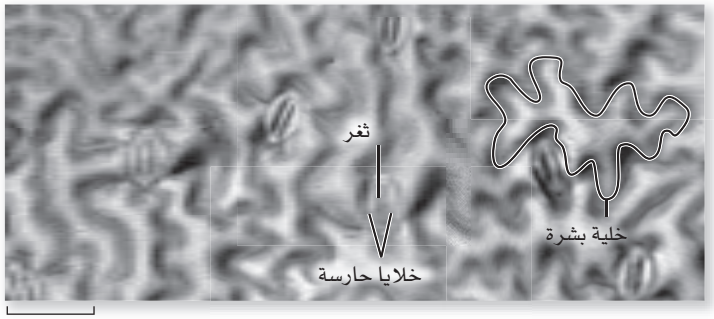
يمكن تمييز ثلاثة أصناف من الأنسجة في جسم النبات، هي: (1) نسيج الأدمة على السطوح الخارجية، ويقوم بوظيفة وقائية. (2) النسيج الأساسي الذي يكون أنواعًا عدة من الأنسجة الداخلية التي تشارك في عملية البناء الضوئي، وتقوم بوظائف التخزين، أو توفير دعامة لبنية النبات. (3) النسيج الوعائي الذي ينقل الماء والمواد الغذائية.

يكوّن نسيج البشرة مع البيئة سطحًا بينيًّا واقيًا

يكوّن نسيج الأدمة المشتق من الجنين أو المرستيم القمي **البشرة Epidermis**. هذا النسيج مكون من طبقة واحدة من الخلايا في معظم النباتات، ويشكل الطبقة الخارجية الواقية لها. وفي أجزاء النباتات اليافعة المكشوفة، تكون البشرة مغطاة بطبقة من **الكيوتين** (الجليدين) **Cutin** الدهنية، المكونة من الكيوتيكل



أ.



ب.

(الجُليد) **Cuticle**. ففي النباتات العصارية الصحراوية، يمكن إضافة طبقات عدة من الشمع للكيوتيكل؛ لمنع فقدان الماء، والحماية من الأذى الذي تسببه الأشعة فوق البنفسجية. وفي بعض الحالات يكون نسيج الأدمة أكثر امتدادًا، ويشكل قلف الشجرة.

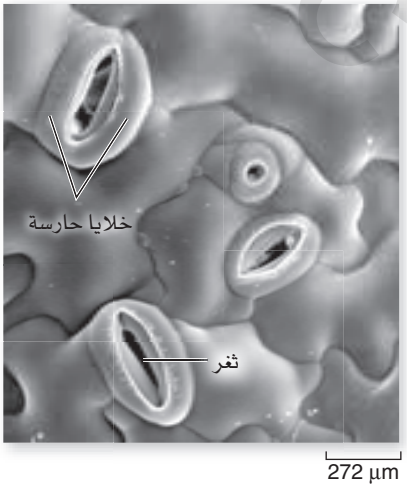
تغطي **خلايا البشرة Epidermal Cells**، التي تنشأ من البشرة الأولية، كل أجزاء الجسم الأولي للنبات، ويوجد عدد من أنواع الخلايا المتخصصة في البشرة، من بينها الخلايا الحارسة، والشعيرات، والشعيرات الجذرية.

الخلايا الحارسة

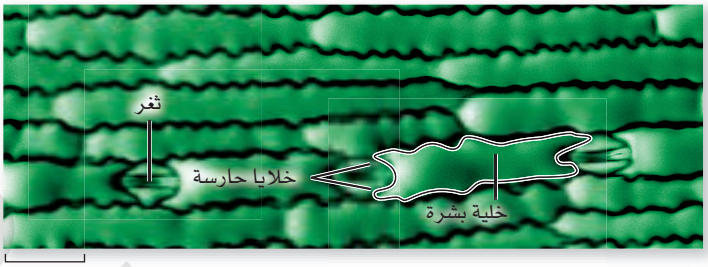
الخلايا الحارسة Guard Cells أزواجٌ من الخلايا تشبه النقانق، وتحيط بجانبي الثغر، وهو فتحة تشبه الفم في البشرة. وتحوي الخلايا الحارسة البلاستيدات الخضراء بخلاف خلايا البشرة.

وتوجد الثغور في خلايا بشرة الورقة (الشكل 36-6أ)، وأحيانًا في أجزاء أخرى من النبات مثل السيقان والثمار. وتتم عمليات مرور الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، وكذلك انتشار الماء على هيئة بخار عبر هذه الثغور بصورة حصرية. وهناك ما بين 1000 إلى أكثر من مليون ثغر لكل سم مربع من سطح الورقة. وفي كثير من النباتات، نجد أن الثغور ذات وجود أكبر في البشرة السفلى منها في البشرة العليا، ما يساعد على تقليل فقدان الماء إلى حده الأدنى. وإن بعض النباتات تحوي ثغورًا

الشكل 36-7



الطفرة متعددة الأفواه (الفتحات) في الثغور. تفتقر هذه الطفرة من نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* إلى إشارة ضرورية لتباعد الثغور. وعادة ما يقوم زوج من خلايا الثغور قيد التمايز بتثبيط تمايز الخلية المجاورة لتصبح خلية حارسة.



جـ.

الشكل 36-6

الثغور. أ. الثغر هو فراغ بين خليتين حارستين، تنظمان حجم الفتحة. تتوزع الثغور بالتساوي في البشرة في ذوات الفلقة وذوات الفلقتين، إلا أن النمط مختلف. ب. ورقة بازيلاء ذات توزيع عشوائي للثغور. جـ. ورقة ذرة (فلقة واحدة) حيث تتوزع الثغور بصفوف وبالتساوي. وتبين هذه الصورة المأخوذة بالمجهر الإلكتروني تنوع أشكال الأوراق في النباتات، حيث إن بعض خلايا النبات تشبه الصندوق، كما في الذرة (ج)، في حين بعضها الآخر غير منتظمة الشكل، كما في أشكال قطع الأحجية، ومثال ذلك خلايا بشرة نبات البازيلاء (ب).

في البشرة السفلى فقط، و في القليل من النباتات تكون الثغور في البشرة العليا فقط، كما هي الحال في زنابق الماء، وذلك لتعظيم التبادل الغازي إلى حده الأقصى.

إن تكوّن الخلية الحارسة ناجم عن انقسام غير متناظر للخلية، منتجًا خلية حارسة وأخرى مساعدة، لفتح الثغور وإغلاقها. لقد أثار هذا النمط من الانقسام غير المتناظر الذي أدى لتوزيع الثقوب، حيرة علماء بيولوجيا التشكل (الشكل 36-6ب وجـ). وتقدم الطفرات «المرتبكة» في تحديد مكان الثغور، معلومات عن زمن بدء تكوين الثغور، وعن نوع التواصل بين الخلايا، الذي يؤدي لتكوين الخلايا الحارسة للثغور. فعلى سبيل المثال، نجد أن الطفرات متعددة الأفواه *TMM* الحاصلة في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis*، تعطل النمط الطبيعي لانقسام الخلية الذي يؤدي لتباعد الثغور مكانيًّا (الشكل 36-7). وقد بينت الدراسات على هذا الجين، وعلى جينات أنماط توزيع الثغور، وجود شبكة منظمة من الاتصال بين خلية وأخرى تبين موقع الخلية بالنسبة إلى الخلايا الأخرى، ومن ثم تحديد مصيرها. إن الجين *TMM* يشفِّر مستقبلًا مرتبطًا بالغشاء، وهذا المستقبِلُ جزءٌ من عملية الترميز التي تسيطر على عملية انقسام الخلية غير المتناظر.

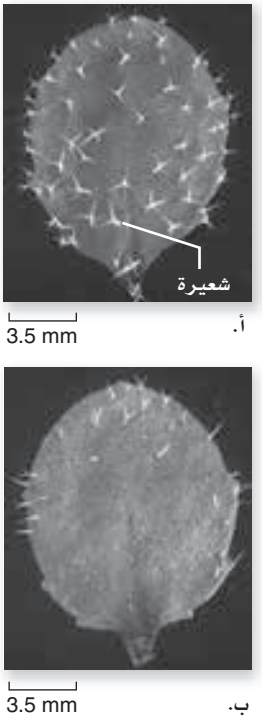
الشعيرات *Trichomes*

الشعيرات عبارة عن نموات خلوية أو متعددة الخلايا، تنشأ من البشرة، وتشبه الشعرة (شكل36-8). وهي تكثر على السيقان، والأوراق، وأعضاء التكاثر. وإن

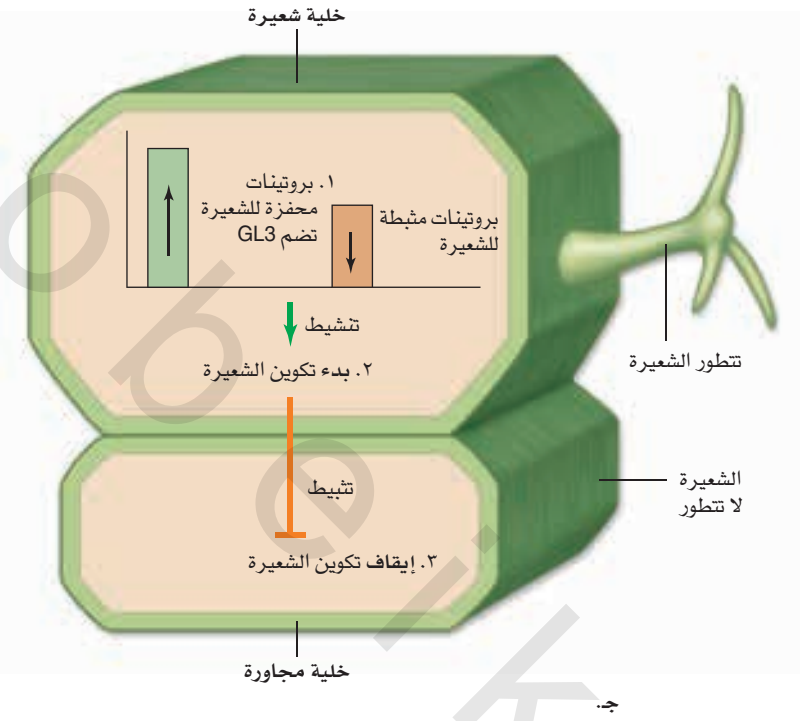
الشكل 36-8

الشعيرات. هذه الشعيرات ذات اللون البني، والرؤوس المنتفخة في نبات البندورة، شعيرات غدية، تفرز مواد تؤدي لالتصاق الحشرات بها.

الشكل 36 – 9



أنماط الشعيرات. بينت الطفرات في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* وجود جينات ذات دور في تنظيم توزيع الشعيرات وتشكلها. أ. الطراز البري. **ب.** طفرة *glaborous3*، وهي طفرة فشلت في بدء تشكيل الشعيرة. **جـ.** عند وجود ما يكفي من مادة GL3 في الخلية، ويكون مستوى البروتين المثبط لتكوين الشعيرة منخفضًا جدًا، فإن الخلية سوف تكوّن الشعيرة. وعند بدء الخلية بتكوين الشعيرة، فإنها تؤشر للخلايا المجاورة، وتمنعها من تكوين الشعيرات.



الورقة الزغبية أو الصوفية تكون مغطاة بالشعيرات التي يمكن مشاهدتها بوضوح باستعمال العدسة الصغيرة في مجهر. وتحافظ هذه الشعيرات على برودة سطوح الأوراق، وتقلل التبخر من خلال تغطيتها لفتحات الثغور. وقد تختلف الشعيرات بدرجة كبيرة في الشكل، فبعضها يتكون من خلية واحدة، في حين أن بعضها الآخر متعدد الخلايا، وبعض منها غدية، وغالبًا ما تفرز مواد لزجة أو سامة لمقاومة تغذية الحيوانات آكلة العشب عليها.

لقد تم التعرف إلى الجينات المنظمة لتكوين الشعيرات بما فيها *GLABROUS3 (GL3)* (شكل 36–9). عند وصول البروتين المحفِّز لتكوين الشعيرة مثل GL3 إلى مستوى العتبة مقارنة بالبروتين المثبط لتكوينها، تتحول خلية البشرة إلى شعيرة، حيث تقوم إشارات من هذه الشعيرة الخلوية بمنع الخلايا المجاورة من تفعيل جينات إنشاء شعيرة جديدة (انظر الشكل 36–9).

الشعيرات الجذرية

الشعيرات الجذرية هي امتدادات أنبوبية للخلايا المفردة من البشرة، توجد في منطقة خلف قمم الجذور الصغيرة النامية (الشكل 36–10). ببساطة، الشعيرة الجذرية امتداد لخلية البشرة، وهي ليست خلية منفصلة، فليس هناك أي حاجز يفصل الشعيرة عن بقية الخلية. وتقوم الشعيرات الجذرية بتوفير الاتصال الحميم مع حبيبات التربة المحيطة، وتزيد بدرجة كبيرة المساحة السطحية للجذور، وفعالية الامتصاص.

ومع تقدم الجذر في النمو، يبقى مدى منطقة الشعيرات الجذرية ثابتًا تقريبًا، حيث يتم التخلص من الشعيرات القديمة، في حين تتكون شعيرات جديدة عند القمة النامية. ويتم امتصاص معظم الماء والمعادن عبر الشعيرات الجذرية خصوصًا في النباتات العشبية. ويجب عدم الخلط بين الشعيرات الجذرية، والجذور الجانبية المكونة من تراكيب متعددة الخلايا ومتأصلة في عمق الجذر.

لقد افتقرت النباتات اليابسة الأولى للجذور التي تشكلت من السيقان فيما بعد. وبالنظر إلى هذا الأصل العام، فليس من المدهش أن تؤدي بعض الجينات التي يحتاج إليها تمايز الشعيرات والثغور في خلايا بشرة السيقان دورًا في تشكل الشعيرات الجذرية.

تتعدم الشعيرات الجذرية، عندما يتوسع جهاز نسيج البشرة ليكون كمبيوم الفلين الذي يسهم في البشرة المحيطية (القلف الخارجي) لجذع الشجرة أو الجذر. وتقوم البشرة المحيطة Periderm مقام البشرة، عند تمددها وتكسرها بسبب التمدد الشعاعي للمحور عن طريق الكمبيوم الوعائي. وتتكون البشرة المحيطة من:

استقصاء

حدد ثلاثًا من صفات أنسجة الأدمة القابلة للتكيف مع نمط العيش على اليابسة، وبيّن لماذا تعد هذه الصفات ذات فائدة؟

الشكل 36–10

الشعيرات الجذرية. نوع من خلايا البشرة، التي تزيد المساحة السطحية للجذر لتحسين امتصاص الماء والمعادن.

obeikandl.com

خلايا الفلين، وكمبيوم الفلين، والخلايا البرنشيمية المسماة الفيلوديرم التي ينتجها كمبيوم الفلين.

تقوم خلايا الأنسجة الأساسية بكثير من الوظائف، بما في ذلك التخزين والبناء الضوئي والدعم

يتكون النسيج الأساسي بشكل رئيس من خلايا برنشيمية رقيقة الجدار، وتقوم بوظائف التخزين والبناء الضوئي والإفراز. وإن بعض النسيج الأساسي المكون من خلايا كولنشيمية وسكلارنشيمية يعمل على توفير الدعم والوقاية.

النسيج البرنشيمي *Parenchyma*

إن **الخلايا البرنشيمية Parenchyma cells** هي الأكثر شيوعًا في الخلايا النباتية. وهي تمتلك فجوات كبيرة وجدرًا رقيقة. في البداية، تكون ذات شكل كروي تقريبًا، ومن ثُمّ تتدافع هذه الخلايا المحتوية على البروتوبلاست الحي ضد بعضها مباشرة بعد تكوينها، فتتخذ أشكالًا أخرى، وغالبًا ما تنتهي بأحد عشر إلى سبعة عشر ضلعًا.

يمكن للخلايا البرنشيمية أن تعيش سنوات عدة، وتعمل على تخزين الماء والغذاء وفي البناء الضوئي والإفراز. وهي الأكثر وجودًا في الأنسجة الأولية، وإنها توجد بنسبة أقل في الأنسجة الثانوية (الشكل 36-11أ). تمتلك معظم الخلايا البرنشيمية جدرًا أولية، بُنيت في أثناء نضج الخلايا. الخلايا البرنشيمية أقل تخصصًا من خلايا النبات الأخرى، مع أن هناك كثيرًا من درجات التنوع، لتأدية وظائف خاصة مثل إفراز الرحيق، والراتنج، أو تخزين المواد الحليبية، والبروتينات، والمخلفات الأيضية.

يوجد في الخلايا البرنشيمية أنوية فعالة قادرة على الانقسام، وهي تبقى في العادة حية بعد اكتمال نضجها. وفي بعض النباتات (الصبار مثلًا) قد تعمر مدة تزيد على مئة سنة. إن الجزء الأكبر من الخلايا في الفواكه مثل التفاح هي برنشيمية، ويحوي بعضها البلاستيدات الخضراء، خصوصًا في الأوراق، وفي الأجزاء الخارجية من السيقان العشبية. ويسمى مثل هذا النسيج البرنشيمي القادر على البناء الضوئي النسيج الكلورنشيمي *Chlorenchyma*.

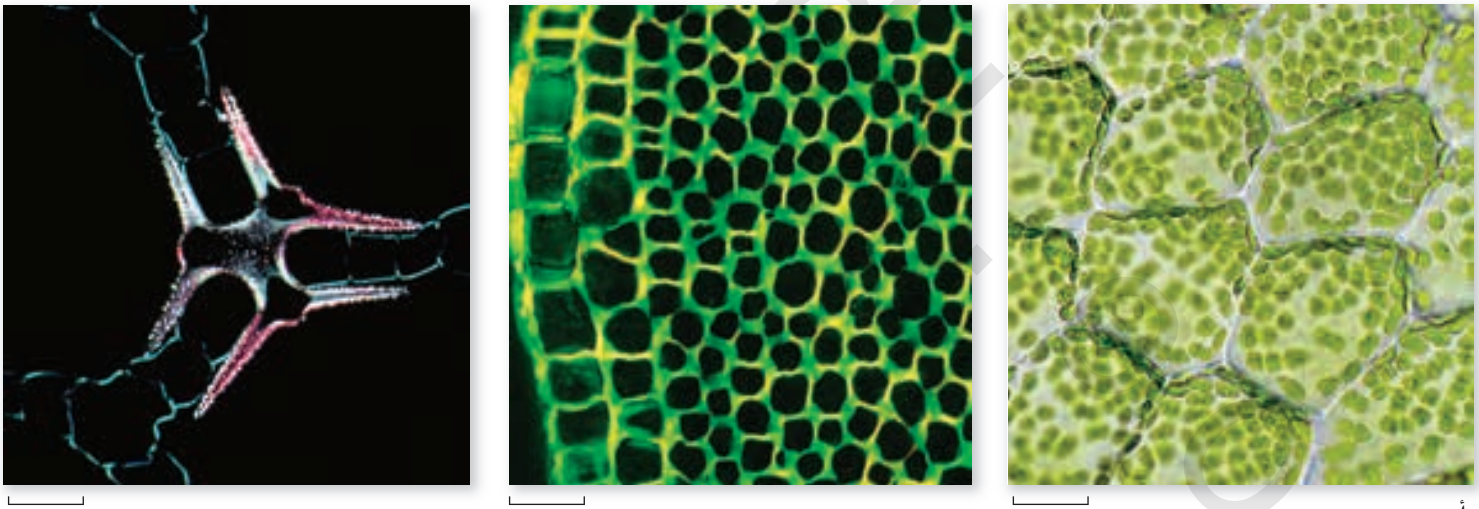
النسيج الكولنشيمي *Collenchyma*

إذا ما علقت ألياف الكرفس بين أسنانك يومًا ما، فسيكون مألوفًا لديك درجة قوة الخلايا الكولنشيمية ومرونتها. كما الحال في الخلايا البرنشيمية، تحوي الخلايا الكولنشيمية البروتوبلاست الحي، ويمكنها أن تعيش سنوات عدة. وهذه الخلايا، التي عادة ما يكون طولها أكبر من عرضها، ذات جدر تختلف في سمكها (شكل36-11ب). وتوفر الخلايا الكولنشيمية المرنة دعامة لأعضاء النبات، ما يتيح لها الانحناء دون أن تتكسر. وغالبًا ما تكوِّن أشرطة أو أسطوانات مستمرة تحت بشرة الساق أو حوامل الأوراق، وكذلك على طول العروق في الأوراق. وتوفر أشرطة الكولنشيما المزيد من الدعم للساق في جسم النبات الأولي.

النسيج السكلارنشيمي *Sclerenchyma*

تمتلك **الخلايا السكلارنشيمية** جدرًا متينة وسميكة، وبخلاف الخلايا الكولنشيمية والبرنشيمية، فليس فيها بروتوبلاست حي عند اكتمالها. وغالبًا ما تكون جدرها الخلوية الثانوية مشبعة بمادة **اللجنين Lignin**، وهي مادة عالية البلمرة والتشعب، ما يؤدي لجعل الجدار الخلوي أكثر متانة. فعلى سبيل المثال، نجد أن اللجنين مكون أساسي في الخشب، ويشار للجدر الخلوية المحتوية على اللجنين بأنها ملجننة. اللجنين ذو وجود عام في جدر الخلايا النباتية التي تقوم بوظيفة تركيبية أو ميكانيكية، ونجد بعض الخلايا تحوي اللجنين مخزونًا في الجدر الخلوية الأولية والثانوية أيضًا.

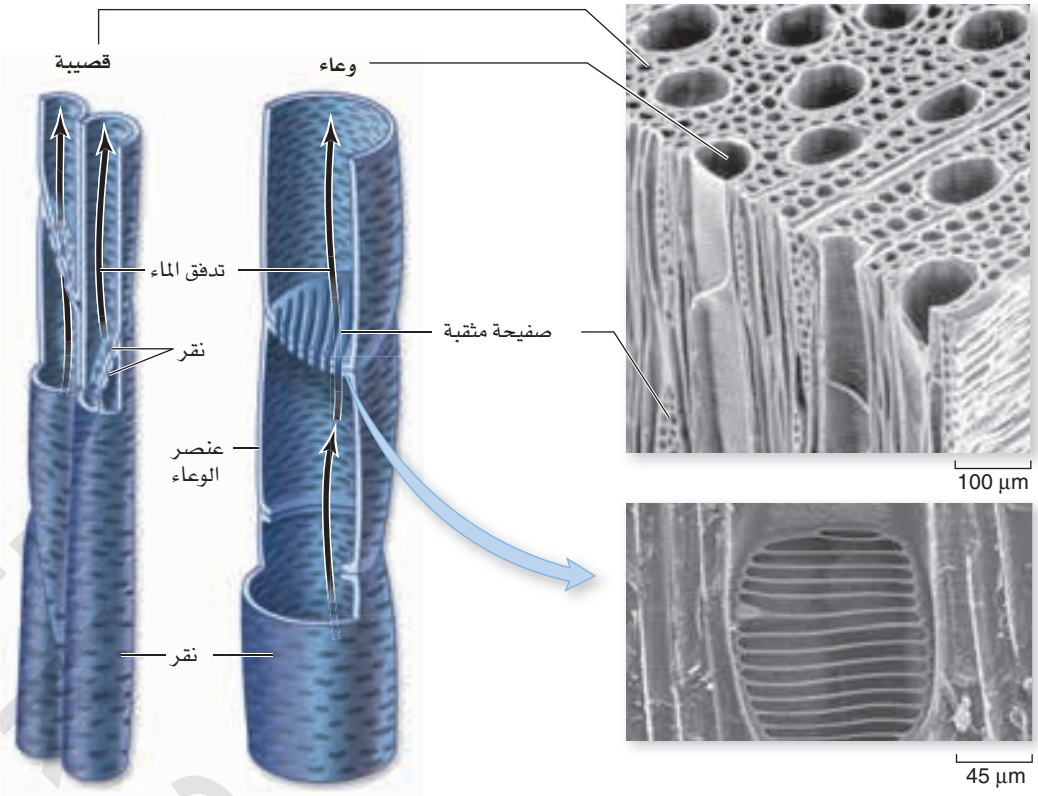
وتوجد السكلارنشيما على شكلين عامين، هما: الألياف *Fibers*، والخلايا الصخرية *Sclereids*؛ فالألياف خلايا طويلة مغزلية، تتجمع عادة على هيئة أشرطة. فالقماش مثلًا، يتم نسجه من خيوط من الألياف السكلارنشيمية الواقعة في اللحاء في نبات الكتان. *Linum spp*. أمّا الخلايا الصخرية فهي تتنوع في شكلها، إلا أنها غالبًا متفرعة. ويمكن أن تكون مفردة أو على شكل مجموعة؛ وهي ليست متطاولة،



أ. ب. جـ.

الشكل 36-11

الأنواع الثلاثة من النسيج الأساسي. أ. الخلايا البرنشيمية. تشاهد هنا فقط الجدر الابتدائية للخلايا في المقطع العرضي للخلايا البرنشيمية من نبات عشبي. ب. الخلايا الكولنشيمية. تشاهد الجدر الجانبية السميكة في مقطع عرضي لخلايا من ساق صغيرة من نبات البيلسان *Sambucus*. وفي الأنواع الأخرى من الخلايا الكولنشيمية نجد المناطق السميكة في زوايا الخلايا، أو في أنواع أخرى من الأشرطة. جـ. الخلايا الصخرية. في هذه العينة من لب الإجّاص، تم صبغ تجمعات من الخلايا الصخرية (الخلايا الحجرية) بالأحمر. وتبين الخلايا ذات الجدار الرقيق المصبوغة بالأخضر الخلايا البرنشيمية. وتعطي هذه التجمعات الإجّاص قوامه الحبيبي. والخلايا الصخرية هي نوع واحد من النسيج السكلارنشيمي الذي يضم الألياف أيضًا.



الشكل 36 – 12

مقارنة بين القصيبات وعناصر الأوعية. يمر الماء في القصيبات من خلية إلى أخرى عن طريق النقر. وفي عناصر الأوعية يمر الماء عن طريق قضبان الصفائح المثقبة لمادة الجدار (كماهو مبين في صورة المجهر الإلكتروني في الشكل). في خشب معراة البذور، تنقل القصيبات الماء وتوفر دعامة، وفي معظم أنواع مغطاة البذور تكون الأوعية موجودة إضافة للقصيبات. هذان النوعان من الخلايا ينقلان الماء، وتوفر الألياف دعامة إضافية. إن خشب القيقب الأحمر *Acer rubrum* يحوي قصيبات وأوعية، كما هو مبين في صورة المجهر الإلكتروني في هذا الشكل.

بل يمكن أن تتخذ أشكالًا عدة شاملة الشكل النجمي. يتسبب وجود هذه الخلايا الصخرية في القوام الحبيبي الخاص بالإجّاص، حيث تنتشر في الطبقة اللحمية الناعمة من الثمرة (الشكل 36-11جـ). وتقوم هذه الأنواع من الخلايا الصلبة، وذات الجدار الخلوي السميك بتقوية الأنسجة التي توجد فيها.

ينقل النسيج الوعائي الماء والمواد الغذائية عبر النبات

كما ذكرنا سابقًا، يحتوي النسيج الوعائي نوعين من الأنسجة الناقلة: الخشب *Xylem* الذي ينقل الماء والمعادن المذابة، واللحاء *Phloem* الذي ينقل محلول الكربوهيدرات، وبشكل رئيس السكروز المستعمل غذاءً من قِبل النبات. وينقل اللحاء الهرمونات والأحماض ومواد أخرى ضرورية لنمو النبات، ويختلف الخشب واللحاء في كلّ من التركيب والوظيفة.

الخشب Xylem

الخشب، وهو المكون الأساس الناقل للماء في الأنسجة النباتية، يحوي عادة خليطًا من الأوعية *Vessels*، هي عبارة عن أنابيب مكونة من خلايا أسطوانية جوفاء ميتة مرتبة على التوالي، ومن القصيبات *Tracheids* التي هي خلايا ميتة تستدق عند نهايتها، وتتجمع مع بعضها (الشكل 36-12). والخشب الأولي مشتق من الكمبيوم الأولي الذي ينتجه المرستيم القمي، وأما الخشب الثانوي فيكوّنه الكمبيوم الوعائي، وهو مرستيم جانبي. ويتكون ما يسمى الخشب بلغة العامة من الخشب الثانوي المتراكم.

في بعض النباتات (غير مغطاة البذور)، القصيبات هي الخلايا الوحيدة الناقلة للماء، حيث يمر الماء في جريان مستمر عبر الخشب من الجذور صاعدًا في السيقان، ومن ثم إلى الأوراق. عند وصول الماء الأوراق، فإن الكثير منه ينتشر على شكل بخار في الفراغات بين الخلايا، ثم يخرج من الأوراق إلى الهواء المحيط، وعبر الثغور بصورة رئيسة. ويسمى انتشار بخار الماء من النبات **عملية النتح Transpiration** (الفصل الـ 38). إضافة لنقل الماء والمعادن المذابة، والأيونات غير العضوية مثل النترات والفوسفات، يوفر الخشب دعامة لجسم النبات.

تكون عناصر الأوعية أقصر وأعرض من القصيبات. وعند ملاحظتها، باستعمال المجهر، نجدها تشبه علب المشروبات الغازية بعد إزالة نهاياتها. وتمتلك عناصر الأوعية والقصيبات جدرًا ثانوية سميكة وملجننة، وليس فيها بروتوبلاست حي عند اكتمالها. ويتم إنتاج اللجنين من الخلايا، ويفرز لتقوية الجدار الخلوي السيلولوزي قبل موت البروتوبلاست مخلفًا الجدار الخلوي فقط.

تحوي القصيبات نقرًا *Pits*، هي عبارة عن مساحات صغيرة إهليجية إلى دائرية، حيث لا يوجد أي ترسب لخشب ثانوي. تكون نقر الخلايا المتجاورة مواجهة لبعضها، ويمر تيار الماء المستمر عبر هذه النقر من قصيبة إلى أخرى. في المقابل، فإن عناصر الوعاء المتصلة عند نهاياتها يمكن أن تكون مفتوحة بالكامل تقريبًا، ويمكن أن يكون هناك قواطع أو قطع من مادة الجدار الخلوي عبر النهايات المفتوحة (انظر الشكل 36-12). ويبدو أن الأوعية تنقل الماء بفعالية أكثر من خطوط القصيبات المتراكبة. ونعرف ذلك جزئيًّا؛ لأن عناصر الأوعية قد تطورت من القصيبات بصورة مستقلة في كثير من المجموعات النباتية، ما يشير إلى تفضيلها بالانتخاب الطبيعي.

إضافة للخلايا الناقلة، يحتوي الخشب بصورة نموذجية أليافًا وخلايا برنشيمية (خلايا النسيج الأساسي)، ويحتمل أن بعض أنواع الألياف تطورت من القصيبات، وأصبحت متخصصة للتقوية، وليس للنقل. أما الخلايا البرنشيمية، التي تنتج من قبل طلائع الأشعة *Ray initials* في الكمبيوم الوعائي فتتشكل عادة على شكل صفوف أفقية تدعى الأشعة *Rays*، وتعمل على النقل الجانبي وخزن الغذاء. (وكلمة طلائع مصطلح آخر للخلية المرستيمية، حيث تنقسم لإنتاج طلائع أخرى وخلية قادرة على التمايز).

وفي مقطع عرضي للجذور والسيقان الخشبية، يمكن رؤية امتداد الأشعة من وسط الخشب، كما في أشعة العجلة. الألياف متوافرة بشكل كبير في بعض أنواع الخشب، كما في البلوط *Quercus spp.*، حيث يكون الخشب كثيفًا وثقيلًا. إن ترتيب هذه الخلايا وخلايا أخرى في الخشب يجعل من الممكن التعرف إلى معظم أجناس النبات.

قبل أكثر من 2000 سنة، كان الورق كما نعرفه الآن يصنع في الصين من خلال طحن نباتات عشبية في الماء، ومن ثم عزل طبقة رقيقة من أنسجة اللحاء على شاشة. ولم يتم التعرف إلى سر صناعة الورق خارج الصين قبل القرن الثالث. وفي هذه الأيام ولتزايد الطلب على الورق، تتم تلبية الاحتياجات من خلال استخلاص ألياف الخشب من أخشاب البيسية الطرية نسبيًّا والمحتوية على ألياف شعاعية بنسبة أقل من البلوط. ويُنتج الجدار الخلوي الغني باللجنين الورق البني الذي غالبًا ما يتم تبييضه. إضافة إلى ذلك، فإن نباتات أخرى متعددة تم تطويرها بوصفها مصادر للورق بما في ذلك التِّيل والقنّب. ويتكون ورق العملة الأمريكية من 75% من القطن و 25% من الكتان.

اللحاء *Phloem*

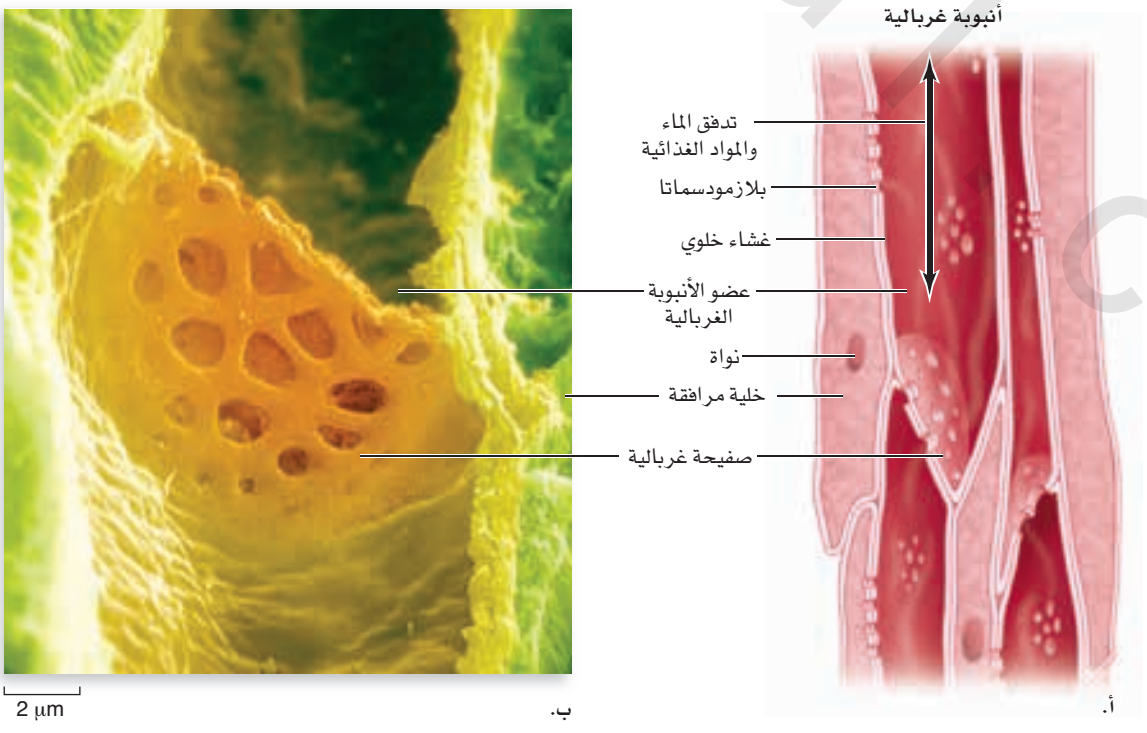
يشكل اللحاءُ، الواقع في الجزء الخارجي من الجذور والسيقان، النسيج الأساسي لنقل الغذاء في النباتات الوعائية. وإذا تمت إزالة حزام كبير من القلف (حلقة اللحاء) نزولًا إلى الكمبيوم الوعائي، فإن النبات سيموت حتمًا بسبب تجويع الجذور. تتم عملية نقل الغذاء في اللحاء من خلال نوعين من الخلايا المستطيلة؛ الخلايا الغربالية وأعضاء الأنبوبة الغربالية. تحوي النباتات الوعائية عديمة البذور، ومعراة البذور خلايا غربالية فقط؛ ومعظم مغطاة البذور تحوي أعضاء الأنابيب الغربالية. وكلا النوعين من الخلايا يحوي مجاميع من الثقوب تعرف بالمساحات الغربالية؛ لأن الجدر الخلوية تشبه الغرابيل. توجد المناطق الغربالية بوفرة في النهايات المتراكبة للخلايا، وهي تصل البروتوبلاست في الخلايا الغربالية المتجاورة وأعضاء الأنابيب الغربالية. هذه الأنواع من الخلايا جميعها حية، إلا أن معظم الخلايا الغربالية، وأفراد الأنابيب الغربالية تفتقر للنواة عند نضجها.

وفي أعضاء الأنابيب الغربالية، يلاحظ أن بعض المناطق الغربالية ذات ثقوب كبيرة، وتسمى الصفائح الغربالية (الشكل 36-13). وتترتب أفراد الأنابيب الغربالية طرفًا لطرف على التوالي، مكونة بذلك سلسلة طولية تسمى الأنابيب الغربالية. والخلايا الغربالية أقل تخصصًا من الأنابيب الغربالية، والثقوب في كل مساحاتها الغربالية ذات قطر متشابه تقريبًا. أما الأنابيب الغربالية فمتخصصة أكثر، ويفترض أنها أكثر فعالية من الخلايا الغربالية.

إن كل واحدة من الأنبوبة الغربالية مرتبطة بالخلية البرنشيمية المتخصصة المسماة الخلية المرافقة *Companion cell*. وتقوم الخلايا المرافقة على ما يبدو ببعض الوظيفة الأيضية اللازمة للحفاظ على الأنابيب الغربالية المرتبطة بها. ففي مغطاة البذور، تقوم خلية عادية بدائية بانقسام غير متناظر لإنتاج خلية أنبوبة غربالية وخليتها المرافقة. وتحتوي الخلية المرافقة كل مكونات الخلية البرنشيمية العادية، بما فيها الأنوية، والكثير من **البلازمودسماتا Plasmodesmata** (التي تشكل الاتصال السيتوبلازمي بين الخلايا المتجاورة) تصل السيتوبلازم بها بالخلايا الأنبوبية الغربالية المرتبطة بها.

تحوي الخلايا الغربالية في النباتات اللازهرية خلايا ألبومينية، تعمل عمل الخلايا المرافقة، ولكنها، بخلاف الخلية المرافقة، ليست بالضرورة مشتقة من الخلية الأم نفسها، التي تعطي الخلية الغربالية المرتبطة بها. ويلاحظ أن الألياف والخلايا البرنشيمية غالبًا ما تكون موجودة بكثرة في اللحاء.

تتكون أنظمة الأدمة، والنسيج الأساسي، والوعائي من كثير من أنواع الخلايا. وتوفر أنسجة الأدمة الوقاية، في حين أن الأنسجة الوعائية تحسن النقل عبر النبات. أما النسيج الأساسي فيقوم بوظائف أيضية وتركيبية، وفي عملية التخزين كذلك.



الشكل 36-13

الأنبوبة الغربالية. أ. خلايا الأنبوبة الغربالية مكدسة، حيث توفر الصفائح الغربالية الاتصال، وتشكل الخلية الضيقة ذات النواة على يمين الأنبوبة الغربالية الخلية المرافقة. تغذي هذه الخلية الأنابيب الغربالية التي لها غشاء بلازمي وتفتقر للنواة. ب. عند النظر من الأعلى للصفيحة الغربالية في لحاء القرع، يتبين وجود ثقوب يمر عبرها السكروز والهرمونات. الصور من الدكتور ريتشارد كسل والدكتورة جين شيه (المرئيات غير المحدودة).

3-36 الجـذور: تراكيب للتثبيت والامتصاص

للجذور نمط تنظيمي وتطوري أبسط من ذلك الذي للسيقان، وسوف ندرسها أولًا. ويجب أن نتذكر، مع ذلك، أن الجذور ظهرت بعد السيقان، وأنها تشكل ابتكارًا للعيش على اليابسة.

تتكيف الجذور للنمو تحت الأرض وامتصاص الماء والمواد المذابة

هناك أربع مناطق يمكن النظر إليها عمومًا عند دراسة الجذور النامية هي: قلنسوة الجذر، ومنطقة انقسام الخلايا، ومنطقة الاستطالة، ومنطقة النضج (الشكل 36-14). وتكون الحدود بين المناطق الثلاثة الأخيرة غير واضحة تمامًا.

وعند انقسام بادئات القمة، تشكل الخلايا الجديدة التي ستنتهي عند قمة الجذر خلايا قلنسوة الجذر. أما الخلايا التي ستبقى في الاتجاه المعاكس، فتمر عبر المناطق الثلاث الأخرى، قبل أن تنتهي من عملية التمايز. وعند النظر في هذه المناطق المختلفة، تخيل دائمًا أن قمة الجذر تتعمق في التربة نحو الأسفل، وتنمو بفعالية. إن هذا يعاكس الانطباع الثابت للجذر الذي تنقله لنا الصور والأشكال.

قلنسوة الجذر *Root cap*

ليس هناك في الساق ما يقابل قلنسوة الجذر. إنها مكونة من نوعين من الخلايا: الخلايا العمودية الداخلية *Columella cells* (التي تشبه الأعمدة)، والخارجية، وهي خلايا قلنسوة الجذر *Root cap cells* الجانبية، التي تستمر في التكون من المرستيم القمي للجذر. وفي بعض النباتات ذات الجذور الكبيرة، تبدو القلنسوة بوضوح، ووظيفتها الرئيسة حماية الأنسجة الطرية خلفها، عندما يؤدي النمو لامتداد الجذر عبر حبيبات التربة المحرشة غالبًا. تفرز أجسام جولجي الموجودة في الخلايا الخارجية للقلنسوة مادة مخاطية، وتطلقها عبر جدر الخلايا إلى الخارج. وتتجدد خلايا القلنسوة من الداخل؛ لأنّ معدل حياتها أقل من أسبوع، وتكون هذه العملية مصحوبة بتكون مادة مخاطية مقللة للاحتكاك، وتسهل تحرك الجذر في التربة. هذه المادة اللزجة، توفّر أيضًا وسطًا لنمو البكتيريا المفيدة والمثبتة للنيتروجين في جذور نباتات مثل البقوليات. وتتكون قلنسوة جذرية جديدة عندما تتم إزالة الموجودة قصدًا أو بصورة عارضة.

تعمل القلنسوة على إدراك الجاذبية. وتكون الخلايا العمودية عالية التخصص، وذات شبكة أندوبلازمية في الأطراف، وتكون النواة متموضعة في وسط الخلية أو أعلاها. وهي لا تحتوي فجوات كبيرة. تحتوي الخلايا العمودية البلاستيدات النشوية *Amyloplasts* (المحتوية على حبيبات النشا) التي تقوم بالتجمع على جوانب الخلايا التي تواجه فعل الجاذبية. وعند وضع نبات مزروع في وعاء على جانبه، تندفع البلاستيدات النشوية للأسفل في الاتجاه الأقرب لمصدر الجاذبية، وتنحني الجذور في ذلك الاتجاه.

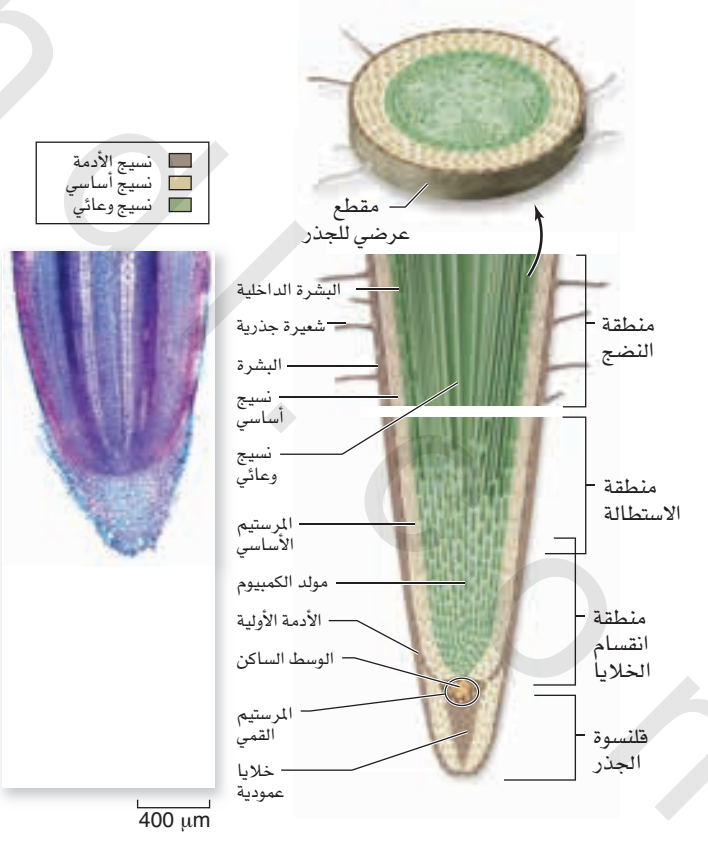
وقد استعمل الليزر لقتل خلايا عمودية منفردة في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis*. لقد وجد أن خليتين فقط كافيتان للإحساس بالجاذبية! إن طبيعة الاستجابة للجاذبية غير معروفة بالضبط، إلا أن بعض الأدلة تشير إلى أن أيونات الكالسيوم في البلاستيدات النشوية تؤثر في توزيع هرمونات النمو (الأكسين في هذه الحالة) في الخلايا. وقد توجد آليات ترميز عدة، حيث لوحظ أن انحناء الجذور يتم بغياب الأكسين. والفرضية الحالية تقول: إن إشارة كهربائية تتحرك من الخلايا العمودية في اتجاه الخلايا في منطقة الاستطالة (وهي المنطقة الأقرب لمنطقة الانقسام في الخلية).

منطقة انقسام الخلية

يقع المرستيم القمي في وسط قمة الجذر في المنطقة المحمية بالقلنسوة الجذرية. يحدث معظم النشاط في **منطقة انقسام الخلية Zone of cell division** هذه تجاه أطراف المرستيم، حيث تنقسم الخلايا كل 12-36 ساعة، وغالبًا بصورة دورية، حيث تصل أعلى درجة انقسام مرة أو مرتين في اليوم.

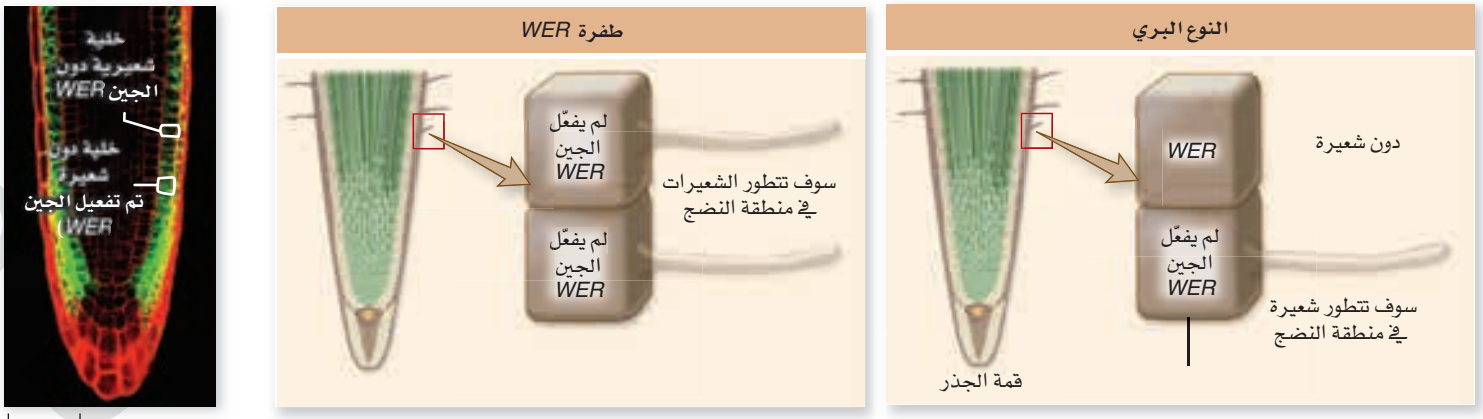
إن معظم هذه الخلايا مكعبة الشكل أساسًا، وبها فجوات صغيرة ونواة وسطية كبيرة نسبيًّا. والخلايا سريعة الانقسام هذه هي خلايا جديدة ناتجة عن المرستيم القمي. وهناك مجموعة من الخلايا في وسط مرستيم الجذر القمي، تسمى الوسط الساكن *Quiescent center*، إذ قليلًا ما تنقسم. إن وجود هذا الوسط الساكن مفهوم، إذا فكرنا في كرة صلبة تتمدد، حيث يترتب على السطح الخارجي أن يتمدد بسرعة أكبر من الوسط. تنقسم خلايا المرستيم القمي الجديدة دون تأخير، مكونة الأنسجة الأولية الثلاثة التي نوقشت سابقًا، وهي: الأدمة الأولية، والكمبيوم الأولي، والمرستيم الأساسي.

وقد تم التعرف إلى جينات في الجذور البسيطة لنبات رشاد الجدران مسؤولة عن تنظيم أنماط هذه الأجهزة النسيجية. ويبدأ تحديد أنماط هذه الخلايا في هذه المنطقة، إلا أن التعبير التشريحي والشكلي الخارجي لهذه الأنماط لا يتم الإفصاح عنه إلا عند وصول الخلايا منطقة النضج.



الشكل 36-14

تركيب الجذر. قمة الجذر في الذرة *Zea mays*.



الشكل 36 – 15

تفعيل (التعبير عن) الجين النسيجي المتخصص. أ . يتم تفعيل جين *WEREWOLF* في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* في بعض خلايا البشرة، وليس في كلها، فيمنع تكون الشعيرة الجذرية، وتكوّن طفرة *wer* مغطاة بالشعيرات الجذرية. ب. يرتبط مثير *wer* بعملية تشفير الجين المسؤول عن بروتين أخضر متوهج، ويستعمل لإنتاج نباتات عابرة جينيًّا. ويبين التوهج الأخضر خلايا البشرة غير الشعيرية، حيث يُفعّل الجين. ويبين اللون الأحمر حدود الخلايا.

فعلى سبيل المثال، نجد أن الجين *WEREWOLF (WER)* ضروري لتنميط نوعي خلايا بشرة الجذر، تلك الحاملة للشعيرات الجذرية، والأخرى الفاقدة لها (الشكل 36-15). وتحمل النباتات الحاملة للطفرة *wer* المزيد من الشعيرات الجذرية؛ لأن *WER* ضروري لمنع تكون الشعيرة الجذرية في النباتات الفاقدة لهذه الشعيرات في خلايا البشرة. وبالصورة نفسها، فإن جين *SCARECROW (SCR)* ضروري في تمايز الخلايا الأساسية (الشكل 36-16). تخضع خلية مرستيمية أساسية لانقسام غير متناظر، يؤدي لظهور أسطوانتين من الخلايا من واحدة، إذا وُجد جين *SCR*. وتصبح طبقة الخلايا الخارجية النسيج الأساسي، وتعمل على وظيفة التخزين. أما الطبقة الخلوية الداخلية فتكوّن البشرة الداخلية التي تنظم حركة الماء والمواد المذابة عبر المحور الوعائي للجذر (انظر الشكل 36-5). تكوّن الطفرة *scr* في المقابل طبقة واحدة من الخلايا، التي تحوي صفات خلايا البشرة الداخلية والخلايا الأساسية.

ويوضح *SCR* أهمية توجه انقسام الخلية. وإذا تغيّر مكان الخلية بسبب خطأ في انقسامها أو قتل خلية أخرى، فإن الخلية تتشكل اعتمادًا على موضعها الجديد.

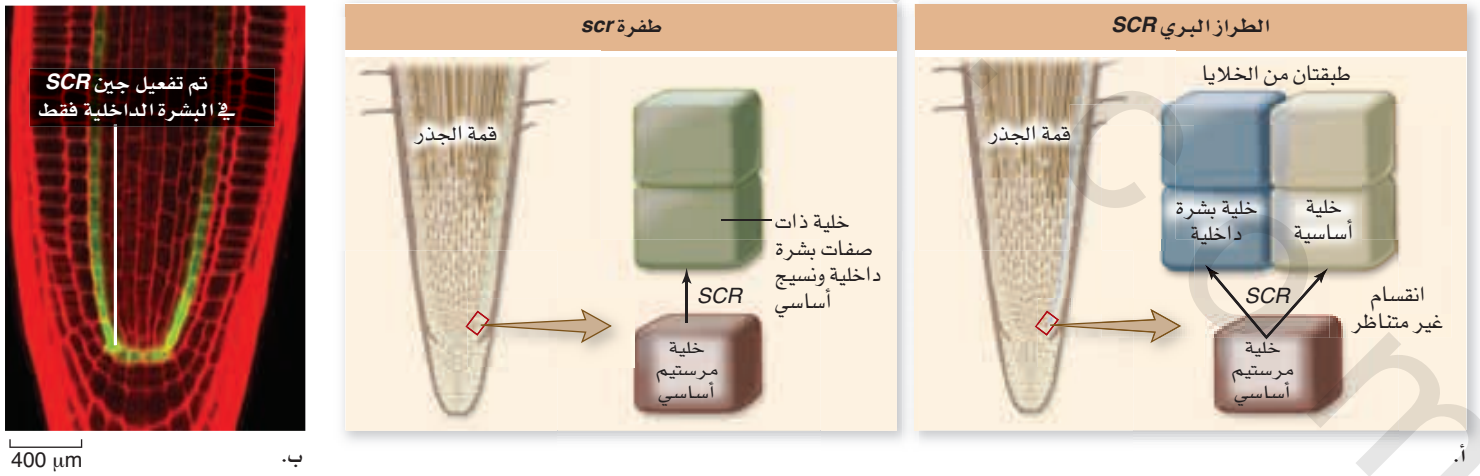
ويتحدد مصير معظم الخلايا النباتية من خلال مكانها نسبة إلى الخلايا الأخرى.

منطقة الاستطالة *Zone of elongation*

تستطيل الجذور في منطقة الاستطالة؛ لأن طول الخلايا الناتجة عن المرستيم الأولي يصبح أكبر مرات عدة من عرضها، ويزداد عرضها قليلًا كذلك. وتتحد الفجوات الصغيرة، وتنمو لتشكل 90% أو أكثر من حجم كل خلية. ولا تحدث بعدها أي زيادة في حجم الخلايا فوق منطقة الاستطالة. وتبقى الأجزاء المكتملة الناضجة ساكنة طوال حياة النبات باستثناء زيادة في القطر.

منطقة النضج *Zone of maturation*

تتمايز الخلايا التي تمت استطالتها في منطقة الاستطالة، لتصبح أنواع خلايا متخصصة في منطقة النضج (الشكل 36-14). وتنضج خلايا أسطوانة سطح الجذر لتعطي خلايا البشرة، التي تحتوي على كيوتيكل رقيق جدًا، وتشمل خلايا شعيرات جذرية وأخرى دون شعيرات. ومع أن الشعيرات الجذرية غير مرئية حتى



الشكل 36–16

ينظّم جين SCARECROW انقسام الخلية غير المتناظر. أ. هناك حاجة لجين *SCR* لإتمام الانقسام الخلوي غير المتناظر المؤدي لتمايز الخلايا الجديدة، إلى خلايا بشرة داخلية وخلايا أساسية. ب. تم إلحاق محفز الجين *SCR* لجين مسؤول عن بروتين أخضر متوهج. فُعِّلَ الجين *SCR* فقط في خلايا البشرة الداخلية، وليس في الخلايا الأساسية.

هذه المرحلة من التكون، فإن مصيرها قد تحدد من قبل كما رأيت في أنماط تفعيل *WER* (انظر الشكل 36-15).

ويمكن أن تغطي الشعيرات الجذرية أكثر من 37,000 سم مربع من سطح الجذر، وتصل بلايين عدة للنبات الواحد. وهي تؤدي لزيادة كبيرة في المساحة السطحية للجذر، ما يؤدي لزيادة القدرة الامتصاصية له. وتدخل البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوي إلى النبات من خلال الشعيرات الجذرية، محولة النيتروجين لنوع قابل للاستعمال من قبل البقوليات. وعند دخول هذه البكتيريا للنبات، فإنها توجهه لبناء عقد حولها لتثبيت النيتروجين (انظر الفصل الـ 39).

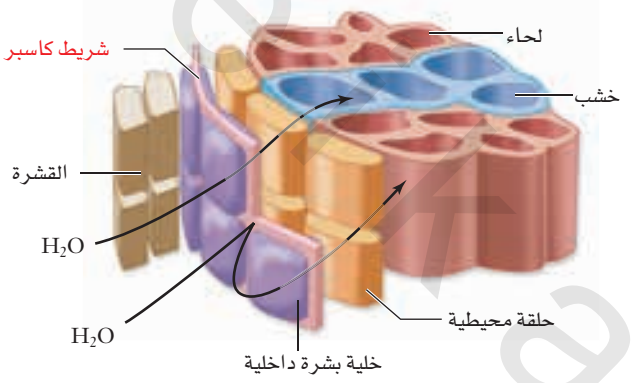
تُنتج الخلايا البرنشيمية عن طريق المرستيم الأساسي الواقع مباشرة في داخل البشرة. يسمى هذا النسيج **القشرة Cortex**، ويمكن أن يكون عرضه طبقات عدة من الخلايا التي تعمل على تخزين الغذاء. وكما تم وصفه، فإن الحد الداخلي للقشرة يتمايز مكونًا أسطوانة من طبقة واحدة من **البشرة الداخلية Endodermis**، بعد عملية انقسام غير متناظرة، تم تنظيمها عن طريق جين *SCR* (الشكل 36-16 والشكل 36 – 17).

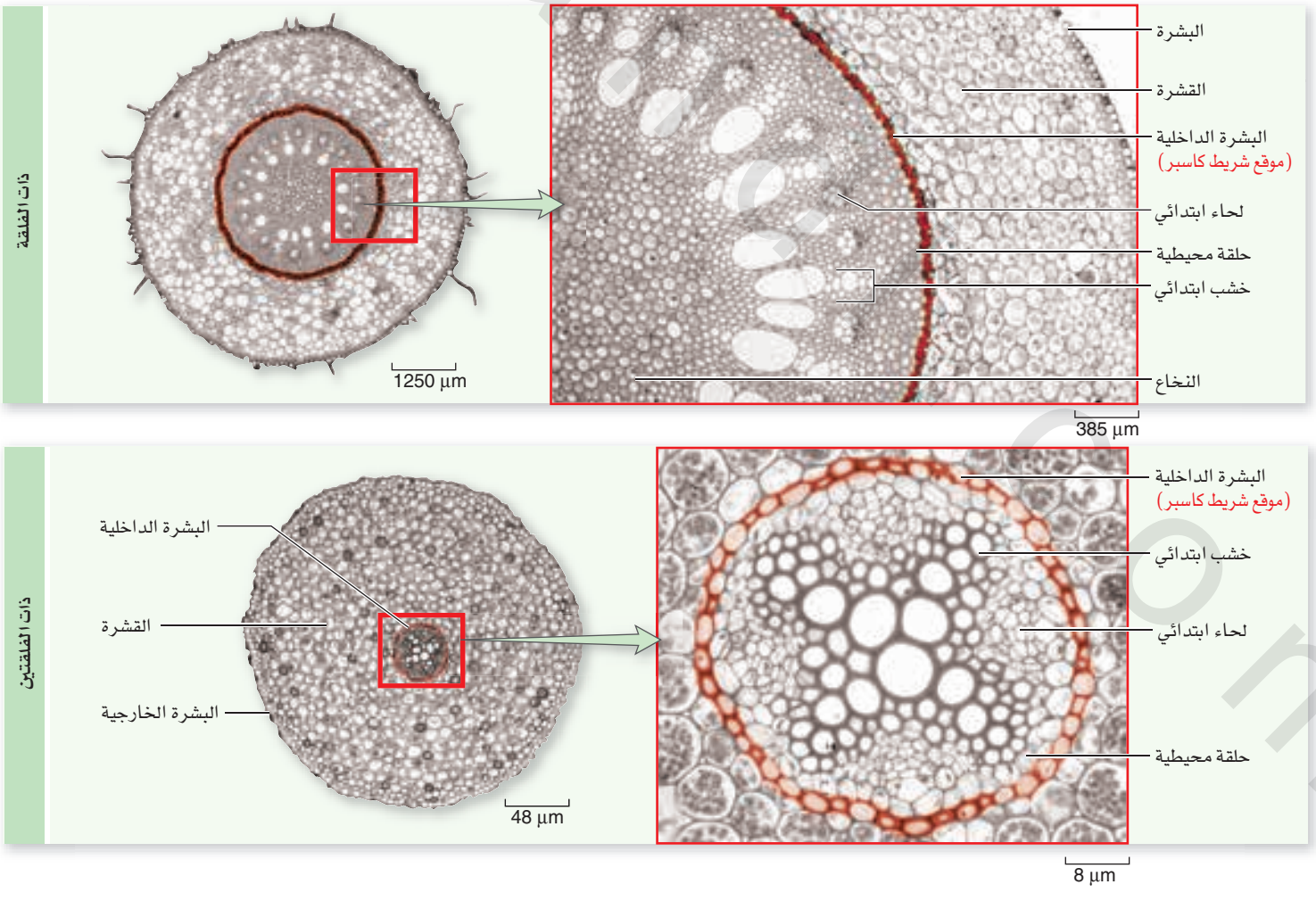
ويتم ترصيع (تشبيع) الجدر الأولية للبشرة بمادة سوبرين *Suberin*، وهي مادة دهنية غير نفاذة للماء. ويتم إنتاج هذا السوبرين على شكل حلقات، تسمى **شريط كاسبر Casparian strip**، الذي يحيط كل جدار خلية بشرة مجاورة بشكل عمودي على سطح الجذر (انظر الشكل 36-17). وتمنع هذه الخطوط عملية النقل بين الخلايا، ويكون السطحان الموازيان لسطح الجذر الطريقَ الوحيد نحو النسيج الوعائي للجذر، حيث يسيطر الغشاء الخلوي على كل ما يمر خلاله.

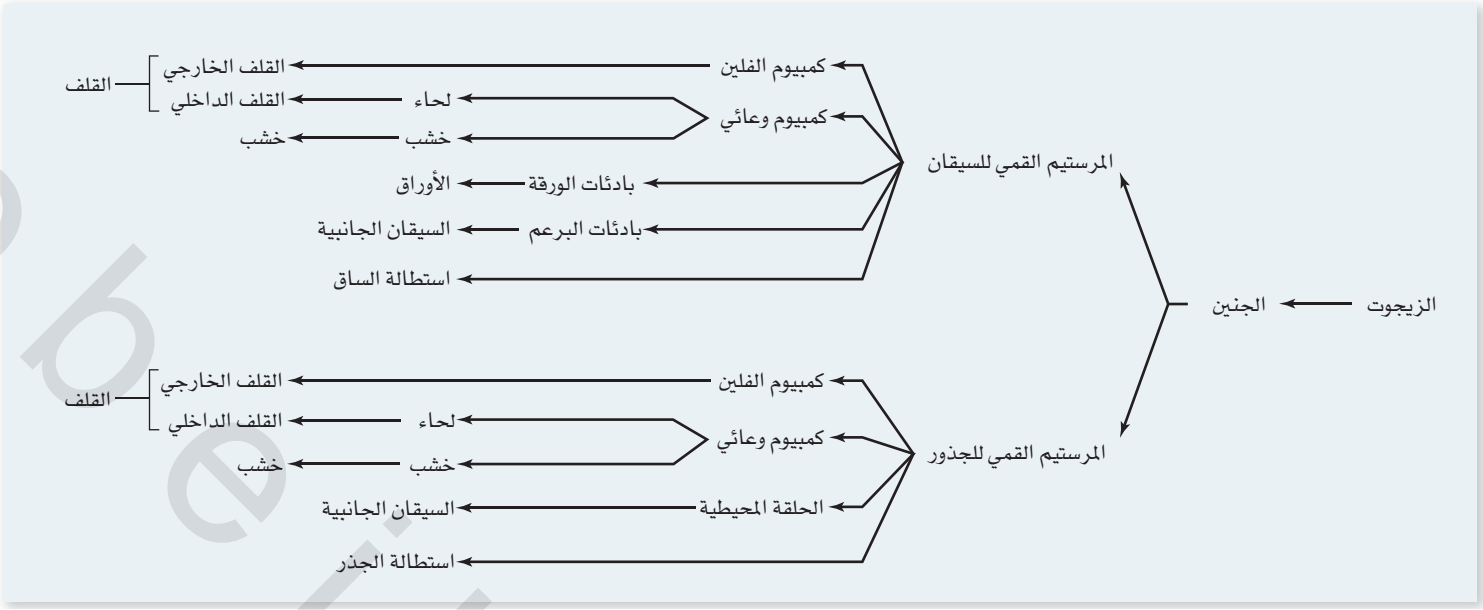
ويُشار إلى كل الأنسجة الموجودة داخل البشرة الداخلية عمومًا **بالأسطوانة Stele**. نجد بجانب البشرة الداخلية مباشرة، وإلى الداخل منها أسطوانة من الخلايا

الشكل 36-17

مقطع عرضي في منطقة النضج في الجذر. تحوي ذوات الفلقة وذوات الفلقتين أشرطة كاسبر، كما هو مبين في المقطع العرضي لنبات البرياز الأخضر (العليق) *Smilax* وحيد الفلقة ونبات الحوذان *Ranunculus* ثنائي الفلقة. شريط كاسبر هو حلقة مقاومة للماء، تجبر الماء والمعادن على العبور عبر الأغشية البلازمية، وليس عبر الفراغات في الجدر الخلوية.







الشكل 36 – 18

مراحل التمايز في الأنسجة النباتية

البرنشيمية التي تعرف **بالحلقة المحيطية** (البريسيكل) **Pericycle**. وتنقسم خلايا الحلقة المحيطية حتى بعد نضجها، ويمكنها أن تعطي جذورًا جانبية، وفي ذوات الفلقتين، المرستيمين الجانبيين، أي الكمبيوم الوعائي وكمبيوم الفلين.

تتمايز الخلايا الناقلة للماء في الخشب الأولي، لتكون محورًا صلبًا في وسط جذور ذوات الفلقتين الصغيرة. وفي مقطع عرضي لجذر ذوات الفلقتين الحقيقية، يشكل المحور الوسطي للخشب الابتدائي غالبًا شكلًا نجميًّا، وله ما بين ذراعين إلى أذرع عدة شعاعية، تشير في اتجاه الحلقة المحيطية (انظر الشكل 36-17). وأمّا في جذور ذوات الفلقة الواحدة، وبعض ثنائية الفلقة، فتلاحظ الخشب الابتدائي في حزم وعائية محددة، تترتب على شكل حلقة تحيط بالخلايا البرنشيمية التي تسمى النخاع *Pith* في وسط الجذر تمامًا (انظر الشكل 36 – 17). ويتكون اللحاء الابتدائي من خلايا منشغلة في نقل الغذاء، وتتمايز في مجموعات من الخلايا مجاورة للخشب في جذور ذوات الفلقة وذوات الفلقتين.

وفي ذوات الفلقتين الحقيقية، ونباتات أخرى ذات نمو ثانوي، يصبح جزء من الحلقة المحيطية والخلايا البرنشيمية بين اللحاء والخشب الكمبيوم الوعائي للجذر الذي يبدأ إنتاج الخشب الثانوي إلى الداخل واللحاء الثانوي إلى الخارج. وفي النهاية، نجد أن الأنسجة الثانوية تتخذ شكل أسطوانات متحدة المركز، ويتحطم اللحاء الابتدائي والقشرة والبشرة، ويتم التخلص منها بإضافة الأنسجة الثانوية الجديدة.

وفي الحلقة المحيطية في النباتات الخشبية، يسهم كمبيوم الفلين في تكوين القلف الخارجي، حيث سيتم بحث ذلك بالتفصيل عند النظر إلى السيقان. وفي حالة النمو الثانوي في ذوات الفلقتين الحقيقية، فإن كل شيء خارج الأسطوانة يتم فقده، والاستعاضة عنه بالقلف. ويلخص (الشكل 36-18) عملية التمايز التي تحدث في نسيج نباتي.

الشكل 36–19

خمسة أنواع من الجذور المتحورة. أ. الجذور الإسنادية للذرة التي تنشأ من الساق، وتحفظ النبات قائمًا. **ب.** ترتبط السحلبيات الهوائية بالأشجار بعيدًا عن التربة الاستوائية. وجذورها متكيفة للحصول على الماء من الهواء، وليس من التربة. **جـ.** الحوامل التنفسية هي نموات خارجية إسفنجية تنمو من الجذر السفلي. **د.** جذر خازن للماء يزن أكثر من 25 كجم. **هـ.** الجذور الدعامية لشجرة التين الاستوائي.

أ.

ب.

obeikandl.com

تقوم الجذور المتحورة بوظائف متخصصة

تُنتج معظم النباتات إما مجموعًا جذريًّا رئيسًا يتميز بجذر كبير منفرد مع جذور فرعية صغيرة، أو مجموعًا جذريًّا ليفيًّا مكونًا من كثير من الجذور الصغيرة ذات الأقطار المتشابهة. ومع ذلك، فإن بعض النباتات تحمل جذورًا متحورة لأداء وظائف متخصصة، إضافة إلى تلك الوظيفة المتعلقة بعملية التثبيت والامتصاص.

ولا تتكون كل الجذور من جذور موجودة أصلًا. فكل جذر يظهر على طول الساق أو في مكان غير مكان جذر النبات، يطلق عليه **الجذر العرضي Adventitious**. فعلى سبيل المثال، نجد النباتات المتسلقة، مثل اللبلاب، تنتج جذورًا من سيقانها، ما يمكنها من تثبيت السيقان على الجذوع أو الجدران. ويعتمد تكوين الجذور العرضية في نبات اللبلاب على المرحلة التطورية للسيقان، فعند دخول السيقان مرحلة النضج التطوري، لا تعود قادرة على إنشاء هذه الجذور، وسنبحث فيما يأتي وظائف الجذور المتحورة.

الجذور الإسنادية Prop Roots تنتج بعض وحيدة الفلقة مثل الذرة جذورًا عرضية من الأجزاء السفلى في الساق، وهذه الجذور الدعامية تنمو في اتجاه التربة، وتساعد النبات على مقاومة الرياح (الشكل 36-19أ).

الجذور الهوائية Arial Roots السحلبيات الهوائية التي تتعلق على أغصان الأشجار، وتنمو غير متصلة مع التربة (إلا أنها غير طفيلية)، لها جذور تمتد في الهواء (الشكل 36-19ب)، وتحمل بعض هذه الجذور الهوائية بشرة سميكة مكونة من طبقات عدة من الخلايا، وهذا تكيف لتقليل فقدان الماء. ويمكن لهذه الجذور أن تكون خضراء وقادرة على القيام بعملية البناء الضوئي، كما هي الحال في نبات الفانيلا *Vanilla planifolia*.

الجذور التنفسية Pneumatophores يمكن لبعض النباتات التي تنمو في المستنقعات والأماكن الرطبة الأخرى أن تنتج من جذورها المغمورة تحت الماء نموات إسفنجية خارجية تسمى الحوامل التنفسية *Pneumatophores*. وتمتد هذه الأجسام عادة سنتمترات عدة فوق سطح الماء، ما يساعد على توفير الأكسجين للجذور تحتها (الشكل 36-19جـ).

الجذور الانقباضية Contractile Roots إن الجذور في أبصال الزنابق، وفي كثير من النباتات الأخرى مثل الهندباء تنقبض من خلال اتخاذ شكل الحلزون؛ لشد النبات لعمق أكثر في التربة كل عام إلى أن تصل إلى منطقة ذات حرارة ثابتة. ويمكن للجذور الانقباض بما يعادل طولها الأصلي من خلال تحلزنها كبرغي، نتيجة لزيادة سمك الخلايا وانقباضها.

الجذور المتطفلة Parasitic Roots تنتج سيقان بعض النباتات المفتقرة للكلوروفيل، كما في نبات الهالوك *Cusscuta* spp جذورًا تشبه الأوتاد، تسمى الماصات *Haustoria*، وتخترق النبات العائل الذي تلتف حوله. وتقيم الماصات اتصالًا بالأنسجة الناقلة للعائل، وتتطفل عليه فعليًّا.

الجذور الخازنة للغذاء Food Storage Roots يُنتج الخشب في الجذور المتفرعة للبطاطا الحلوة والنباتات المشابهة، وعلى فترات، كثيرًا من الخلايا البرنشيمية الإضافية التي تخزن كميات كبيرة من النشويات. وتحوي نباتات مثل: الجزر، والبنجر، والفجل، والقرع، والجزر الأبيض تشكيلات من السيقان والجذور التي تقوم بوظيفة خزن الغذاء أيضًا. وتبين قطاعات عرضية في هذه الجذور تعدد حلقات النمو الثانوي.

جذور خزن الماء Water Storage Roots يقوم بعض أفراد العائلة القرعية (القثائية)، خصوصًا تلك التي تنمو في المناطق الجافة بإنتاج جذور لخزن الماء، يصل وزنها إلى 50 كجم أو أكثر (الشكل 36-19د).

الجذور الدعامية Buttress Roots يلاحظ في بعض أنواع التين والنباتات الاستوائية الأخرى إنتاج جذور دعامية ضخمة عند قاعدة الجذع، وتوفر هذه درجة عالية من الثبات (الشكل 36-19هـ).

يتكون النظام الجذري من المرستيم القمي المحمي بقلنسوة الجذر، وتقوم الجذور الجانبية والشعيرات الجذرية بزيادة كمية الماء والمعادن التي يمكن نقلها عبر الأنسجة الوعائية لبقية أجزاء النبات. وتحسّن الجذور المتحورة واحدة أو أكثر من الصفات الرئيسة للنظام الجذري.

جـ.

د.

هـ.

Open Knowledge

4-36 السيقان: دعامات للأعضاء فوق سطح الأرض

تتشكل التراكيب الداعمة للنظام الخضري في النباتات الوعائية من كتلة السيقان الممتدة من النظام الجذري تحت سطح التربة إلى الهواء، حيث تصل أحيانًا إلى ارتفاعات كبيرة. ومعروف أن السيقان الصلبة القادرة على الارتفاع عكس الجاذبية تشكل تكيفًا قديمًا مكّن هذه النباتات من الانتقال إلى الأنظمة البيئية اليابسة.

تحمل السيقان الأوراق والأزهار وتدعم وزن النبات

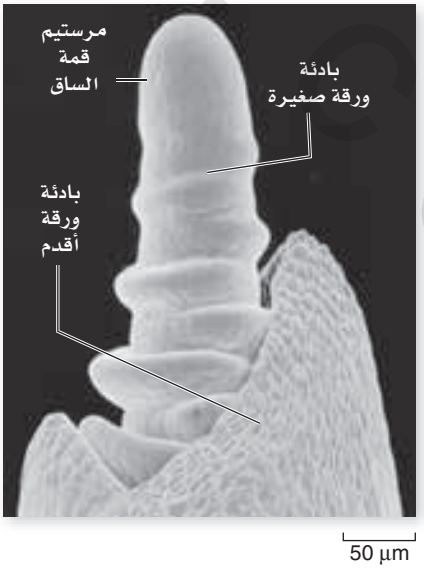
كما هي الحال في الجذور، تحوي السيقان ثلاثة أنواع من الأنسجة النباتية. وتخضع السيقان أيضًا للنمو الناتج عن انقسام الخلايا في المرستيم الجانبي والقمي. ويمكن النظر للساق، على أنه المحور الذي تنمو منه السيقان أو الأعضاء الأخرى. وتكون المرستيمات القمية للساق قادرة على إنتاج هذه السيقان والأعضاء الجديدة.

التركيب الخارجي للساق

ينشئ المرستيم القمي الخضري أنسجة الساق، وينتج بصورة مستمرة انتفاخات (البادئات) قادرة على التشكل لتعطي الأوراق وسيقانًا أخرى أو حتى زهورًا (الشكل 36-2). ويمكن أن تترتب الأوراق على شكل حلزون حول المحور، أو أن تتكون في أزواج متقابلة، أو متبادلة مع بعضها، وقد توجد على شكل دوائر من ثلاث أو أكثر (الشكل 36-21). الترتيب الحلزوني هو الأكثر شيوعًا، فلأسباب غير مفهومة، يميل تسلسل الأوراق إلى التموضع على زوايا 137.5 فيما بينها.

وهذه الزاوية ترتبط بالوسيط الذهبي، وهي نسبة رياضية موجودة في الطبيعة. فهي زاوية التفاف الأصداف في بعض الرخويات. وقد تم استعمال الوسيط الذهبي هذا في فن العمارة التقليدي اليوناني (كما هي الحال في أبعاد جدران هيكل الآلهة في اليونان)، وكذلك في الفن الحديث (على سبيل المثال في لوحات موندريان). في النباتات، يمكن أن يوفر هذا النمط لترتيب الأوراق، المسمى **تصنيف ترتيب الأوراق Phyllotaxy**، الوضع الأمثل لتعرض الأوراق لضوء الشمس.

إن منطقة ارتباط الورقة بالساق تسمى **العقدة Node** ومنطقة الجذر بين عقدتين تسمى **السلامية Internode**. وعادة ما يكون للورقة نصل منبسط، وأحيانًا عنق، والزاوية بين العنق أو النصل والساق تسمى **الإبط Axil**. وينتج



الشكل 36-20

قمة الساق. صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للمرستيم القمي للقمح *Triticum*.

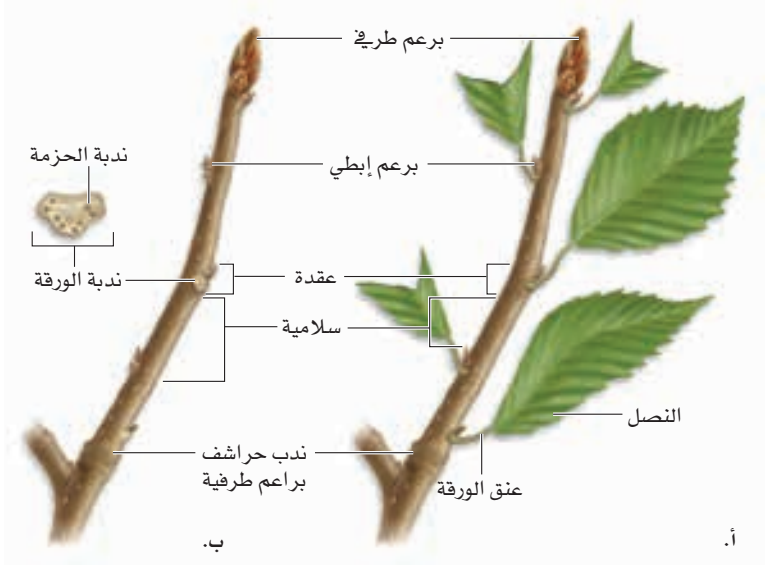
الشكل 36-21

أنواع ترتيب الأوراق. الأنواع العامة الثلاث لترتيب الأوراق، هي المتبادلة والمتقابلة والحلقية.

كل إبط **برعمًا إبطيًا Axillary Bud**. وهذا البرعم هو نتاج المرستيم القمي الخضري الابتدائي، وهو نفسه مرستيم قمي خضري. وغالبًا ما تتشكل البراعم الإبطية لتكوّن أغصانًا تحمل الأوراق أو قد تكوّن الزهور.

لا تنتج سيقان ذوات الفلقة الواحدة ولا ذوات الفلقتين العشبية الكمبيوم الفليني. فالساق في هذه النباتات عادة ما تكون خضراء وقادرة على البناء الضوئي، على الأقل في الخلايا الخارجية للقشرة المحتوية على البلاستيدات الخضراء. وفي العادة، فإن السيقان العشبية تحوي الثغور، ومن المحتمل أن تحوي كثيرًا من أنواع الشعيرات.

ويمكن للسيقان الخشبية الاستمرار عددًا من السنين، وتطور علامات مميزة، إضافة إلى الأعضاء الأصلية المتكونة (الشكل 36-22). وعادة ما تسبب البراعم الجانبية استطالة النظام الخضري خلال موسم النمو. إن بعض البراعم مثل تلك التي



الشكل 36 - 22

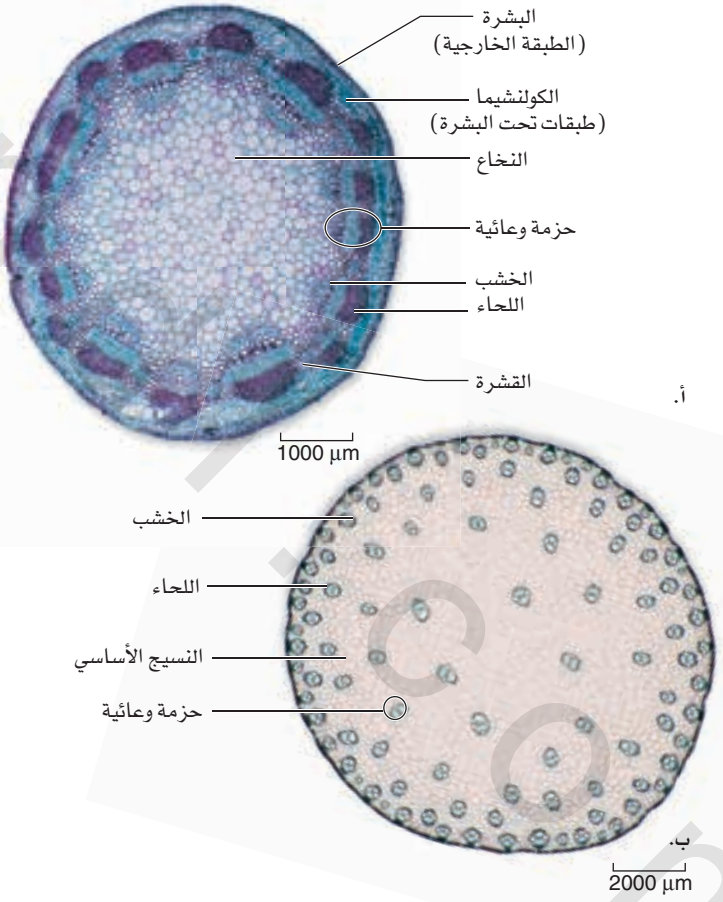
غصن نبات خشبي. أ. في الصيف. ب. في الشتاء.

في الجيرانيوم (إبرة الراعي) غير محمية، إلا أن معظم براعم النباتات الخشبية (غير العشبية) محمية بحراشف البرعم الشتوي التي تسقط تاركة ندبًا صغيرة لحراشف البراعم في أثناء تمدد البراعم وقت النمو.

تحمل بعض الأغصان الصغيرة ندبًا صغيرة ذات أصول مختلفة. يتطور زوج من الزوائد الشبيهة بالفراشة، والمسماة الأذينات *Stipules*، عند قاعدة بعض الأوراق. ويمكن لهذه الأذينات أن تسقط تاركة ندب الأذينات. وعند تساقط أوراق النبات في الخريف، فإنها تترك ندبًا ورقية مع ندب حزم صغيرة، مشيرة إلى مكان الارتباط الوعائي. ويمكن الاعتماد على الشكل، والحجم، وبعض الصفات الأخرى لندب الأوراق للتعرف إلى أنواع النباتات متساقطة الأوراق عند تعريتها (انظر الشكل 36-22).

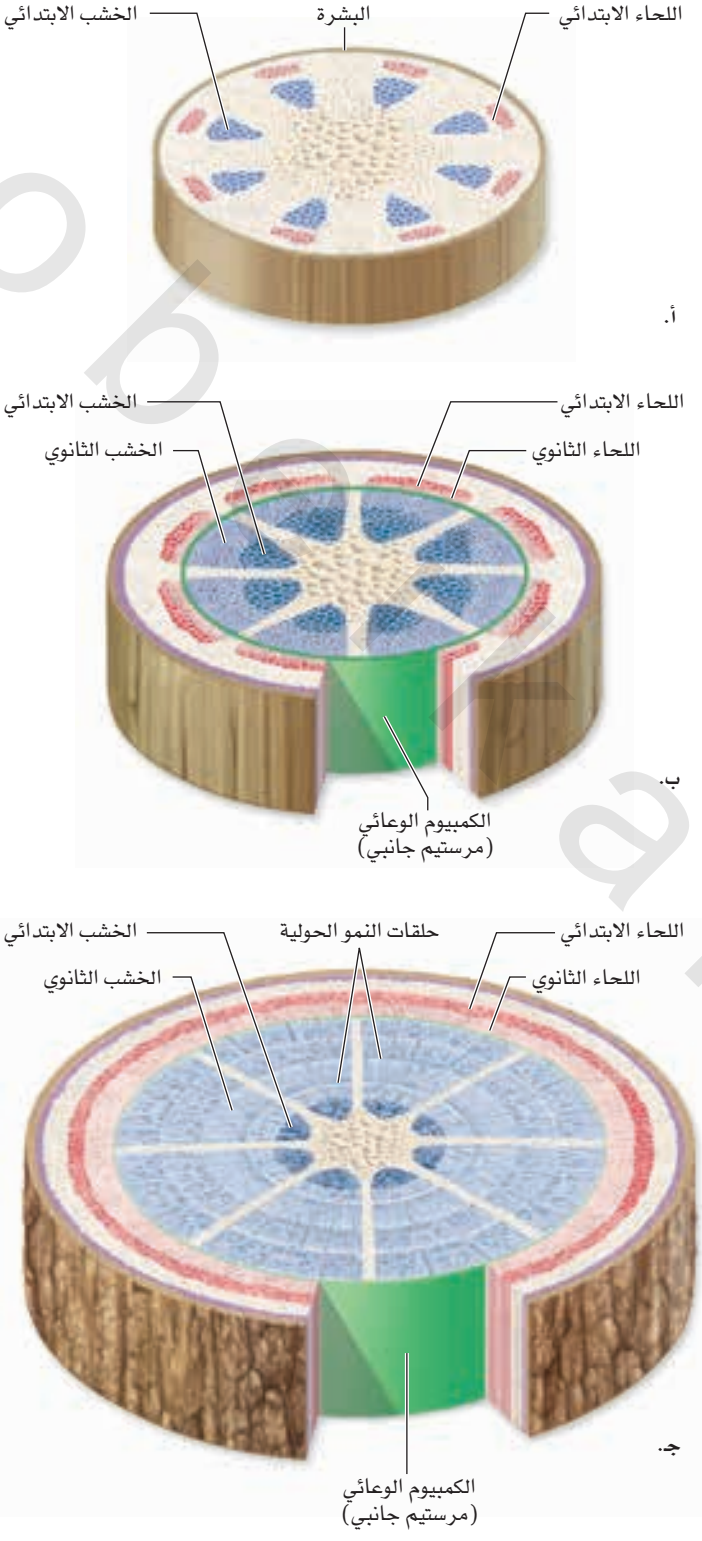
التركيب الداخلي للساق

الصفة الرئيسة المميزة لساق ذوات الفلقة وذوات الفلقتين الحقيقية هي ترتيب نظام النسيج الوعائي (الشكل 36-23). معظم الحزم الوعائية في ذوات الفلقة متناثرة عبر النظام النسيجي الأساسي، في حين أن النسيج الوعائي في ذوات الفلقتين الحقيقية يكون مرتبًا في حلقة ذات نسيج أساسي داخلي (النخاع)، ونسيج أساسي خارجي (القشرة). ويرتبط ترتيب النسيج الوعائي مباشرة بقدرة الساق على النمو الثانوي. ففي ذوات الفلقتين الحقيقية، يتكون الكمبيوم الوعائي بين الخشب الابتدائي واللحاء الابتدائي (الشكل 36-24).



الشكل 36 – 23

السيقان. مقطع عرضي لساقٍ صغيرة في (أ) ثنائي الفلقة حقيقي، نبات دوار الشمس المعروف *Helianthus annus*، حيث تترتب الحزم الوعائية حول الجزء الخارجي من الساق. ب. وحيد الفلقة *Zea mays*، الذرة، حيث تتبعثر الحزم الوعائية.

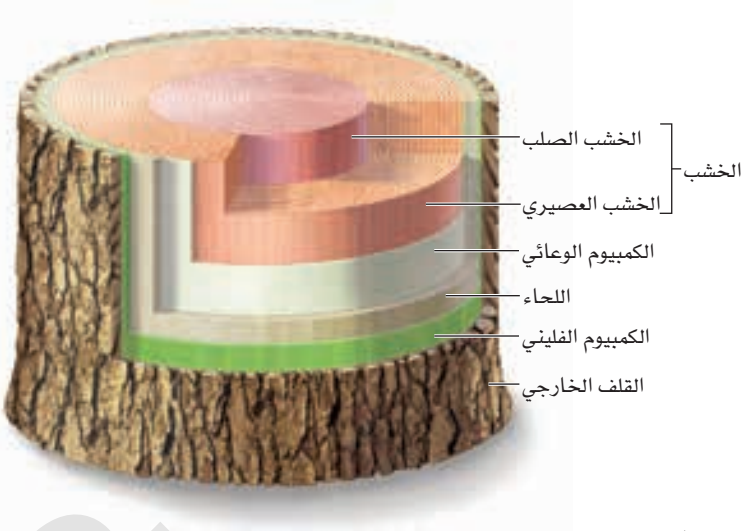


الشكل 36 – 24

النمو الثانوي. أ. يستمر النسيج الابتدائي في الاستطالة في ذوات الفلقتين، قبل بدء النمو الثانوي، لينتج المرستيم القمي نموًّا ابتدائيًّا. ب. عند ابتداء النمو الثانوي، ينتج الكمبيوم الوعائي أنسجة ثانوية، ويزداد قطر الساق. ج. في هذه الساق ذات الأربع سنوات عمرًا، تستمر الأنسجة الثانوية في النمو العرضي، ويزداد الجذع سمكًا وتخشبًا. لاحظ أن الكمبيوم الوعائي يكون أسطوانة، تمتد محوريًّا (أعلى وأسفل) في الجذور والسيقان التي تحويها.

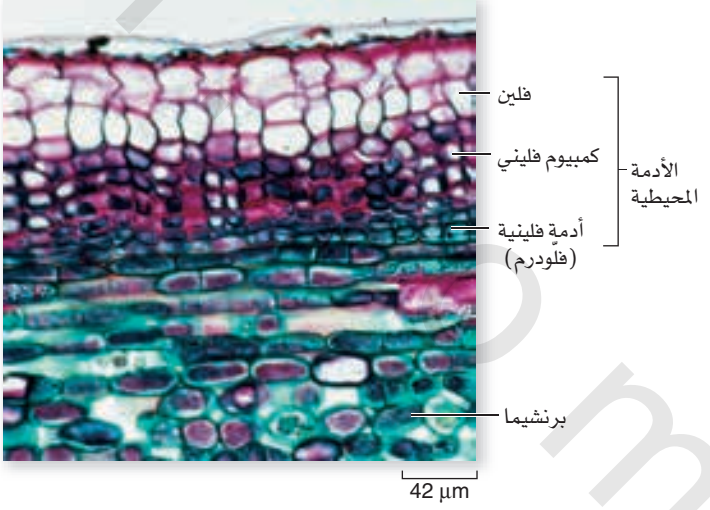
في الكثير من الحالات تشبه هذه لعبة وصل النقاط، حيث إن الكمبيوم الوعائي يربط حلقة الحزم الوعائية الابتدائية. ليس هناك طريقة منطقية لربط النسيج الوعائي الابتدائي لذوات الفلقة بصورة تسمح بزيادة موحدة في نموها المحيطي. وبافتقار ذوات الفلقة للكمبيوم الوعائي، فلا يتم بها نمو ثانوي.

وتدلل الحلقات في جذع الشجرة على أنماط النمو الحولي في الكمبيوم الوعائي؛ حيث يتغير حجم الخلايا اعتمادًا على ظروف النمو (الشكل 36-25). تتكون الخلايا الكبيرة تحت ظروف نمو جيدة مناسبة، كما في أشهر الصيف في المناطق المعتدلة. وتشير الحلقات ذات الخلايا الصغيرة للفصول ذات النمو المحدود. وفي ذوات الفلقتين الخشبية ومغطاة البذور، يظهر كمبيوم ثانٍ، وهو كمبيوم الفلين في القشرة الخارجية (أحيانًا في البشرة أو اللحاء)؛ وينتج خلايا فلينية صندوقية للخارج، ويمكنها إنتاج خلايا الفلّودرم التي تشبه الخلايا البرنشيمية نحو الداخل (الشكل 36-26).



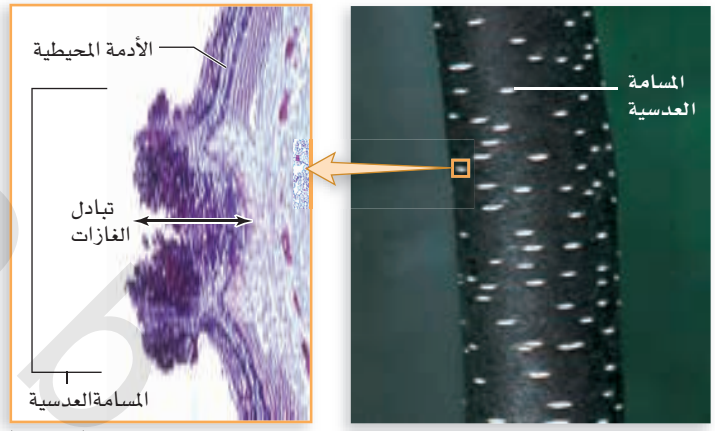
الشكل 36 – 25

ساق شجرة. يكوّن الكمبيوم الوعائي حلقات من الخشب (الخشب العصيري، والخشب الصلب غير الناقل) واللحاء، في حين ينتج كمبيوم الفلين الفلين.



الشكل 36 – 26

مقطع من الأدمة المحيطية. مرحلة مبكرة في تطور الأدمة المحيطية في الحور القطني *Populus* sp.



الشكل 36 – 27

المسامات العدسية أ. المسامات العدسية، وهي المناطق المتعددة الصغيرة الباهتة اللون والمرتفعة، مبينة هنا على قلف شجرة الكرز *Prunus cerasifera*، وهي تسمح بتبادل الغاز بين الجو المحيط، والنسيج الحي مباشرة تحت القلف في النباتات الخشبية. ب. مقطع عرضي في العديسة في ساق نبات البيلسان *Sambucus canadensis*.

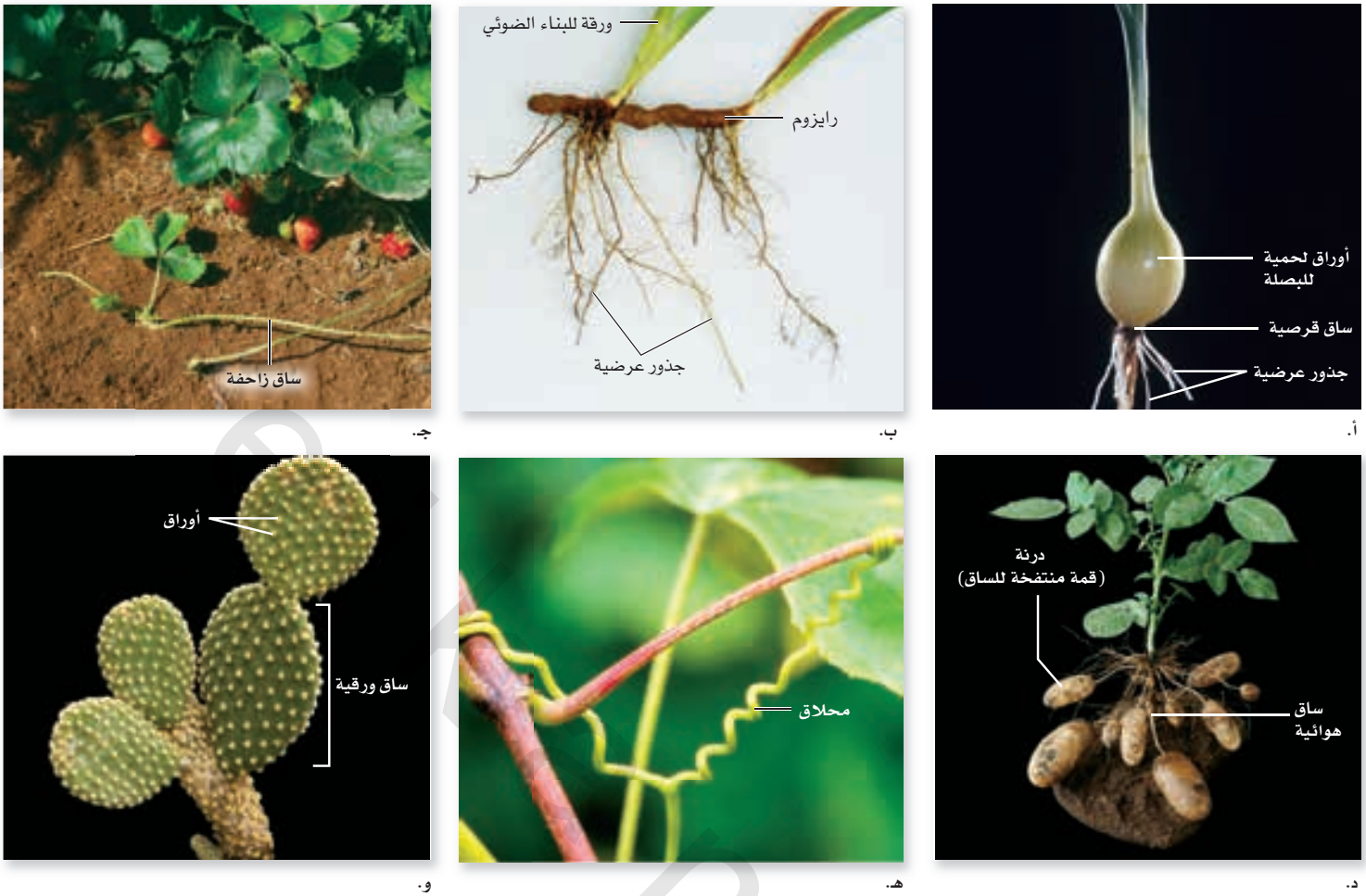
ويشار بشكل عام لكل من الكمبيوم الفليني، والفلين، والأدمة الفلينية بالأدمة المحيطية *Periderm* (انظر الشكل 36-26). ويشكل النسيج الفليني، الذي ترصعت خلاياه بمادة طاردة للماء وهي السوبرين، القلف الخارجي *Outer bark*. ونسيج الفلين يمنع الماء والغذاء عن البشرة، حيث تموت وتنفصل. في السيقان الصغيرة، يتم تبادل الغازات بين أنسجة الساق والهواء خلال الثغور إلا أنه مع إنتاج كمبيوم الفلين، فإنه ينتج أيضًا كميات من الخلايا التي تفتقر للسوبرين تحت الثغور. تسمح هذه الخلايا المفتقرة للسوبرين باستمرار تبادل الغازات، ويطلق عليها المسامات العدسية *Lenticels* (الشكل 36-27).

تقوم السيقان المتحورة بالتكاثر الخضري، وتخزين المواد الغذائية

مع أن معظم السيقان تنمو قائمة، إلا أن بعضها يتحور لخدمة أغراض خاصة، تشمل التكاثر الخضري الطبيعي. وفي الحقيقة، فإن الانتشار الواسع لعمليات التكثير التجاري والخاص للنباتات، غالبًا ما يتضمن قطع سيقان متحورة إلى قطع صغيرة، حيث تتم بعدها زراعتها لتنتج نباتات جديدة. وعندما تصبح السيقان المتحورة اللاحقة مألوفة لديك، فعليك أن تتذكر أن السيقان عليها أوراق عند العقد مع سلاميات بينها، وبراعم على إبط الأوراق، في حين أن الجذور ليس لها أوراق أو براعم إبطية.

الأبصال Bulbs للأبصال والزنابق سيقان منتفخة تحت الأرض، وهي في الحقيقة براعم كبيرة ذات جذور عرضيّة في قواعدها (شكل36-28أ). ويتكون معظم البصلة من أوراق لحمية مرتبطة بساق صغيرة. وفي نبات البصل، تكون الأوراق اللحمية محاطة بأوراق حرشفية رقيقة، وتشكل قواعد للأوراق الطويلة الخضراء فوق سطح التربة.

الكورمات (السيقان الكعبية) Corms تُنتج نباتات مثل الزعفران، والجلاديولا، ونباتات الحديقة العشبية الأخرى الكورمات التي تشبه الأبصال. عند قطع الكورمة هذه إلى نصفين، فإنها لا تحمل أوراقًا لحمية، وبدلًا من ذلك، فإن غالبية الكورمات تتكون من الساق مع القليل من الأوراق البنية غير الفاعلة، على الخارج، وتحتها بعض الجذور العرضية.



الشكل 36-28

أنواع السيقان المتحورة.

الرايزومات Rhizomes تنتج النباتات المعمرة، والخنشارية، والسوسن الملتحي، وكثير من النباتات الأخرى الرايزومات، التي هي سيقان أفقية تنمو تحت الأرض، وغالبًا قريبة من السطح (الشكل 36 - 28ب). ولكل عقدة ورقة حرشفية صغيرة جدًا مع برعم إبطي؛ وهناك أوراق أكبر قادرة على البناء الضوئي يمكن إنتاجها عند قمة الرايزوم. تنتج الجذور العرضية على طول هذه الساق العرضية، وبصورة رئيسة على السطح السفلي.

السيقان الزاحفة والهوائية Runners and Stolons تنتج نباتات الفراولة سيقانًا أفقية، ذات سلاميات طويلة، التي لا تشبه الرايزومات في أنها تنمو على سطح الأرض، وليس تحتها. ويمكن لزاحفات عدة أن تتوزع خارجة من نبات واحد (الشكل 36-28جـ). ويستعمل بعض علماء الحياة كلمة الساق الهوائية Stolon ملازمة للزاحفات Runner، وبعضها الآخر يستخدم السيقان الهوائية لوصف سيقان ذات سلاميات طويلة (لكن دون جذور) تنمو تحت الأرض، كما في البطاطا *Solanum sp.*، مع أن البطاطا نفسها نوع آخر من السيقان المتحورة، وهي الدرنات.

الدرنات Tubers يمكن أن تتجمع النشويات في نبات البطاطا في قمم الرايزومات التي تنتفخ مكونة الدرنات، وتموت الرايزومات بعد نضج الدرنات (الشكل 36-28د). وعيون البطاطا هي براعم إبطية، تتكون في إبط الأوراق الحرشفية. وأمّا الأوراق الحرشفية الموجودة عند بدء تكون البطاطا فتسقط في الحال، تاركة ندبًا ورقية مجاورة لكل عين بطاطا ناضجة.

المحاليق (اللوالب) Tendrils تنتج كثير من النباتات المتسلقة مثل العنب واللبلاب الإنجليزي سيقانًا تعرف بالمحاليق، تلتف على الدعامات، وتساعد على التسلق (الشكل 36-28هـ). وإن بعض المحاليق الأخرى مثل تلك التي في البازيلاء والقرع، هي في الحقيقة أوراق أو وريقات متحورة.

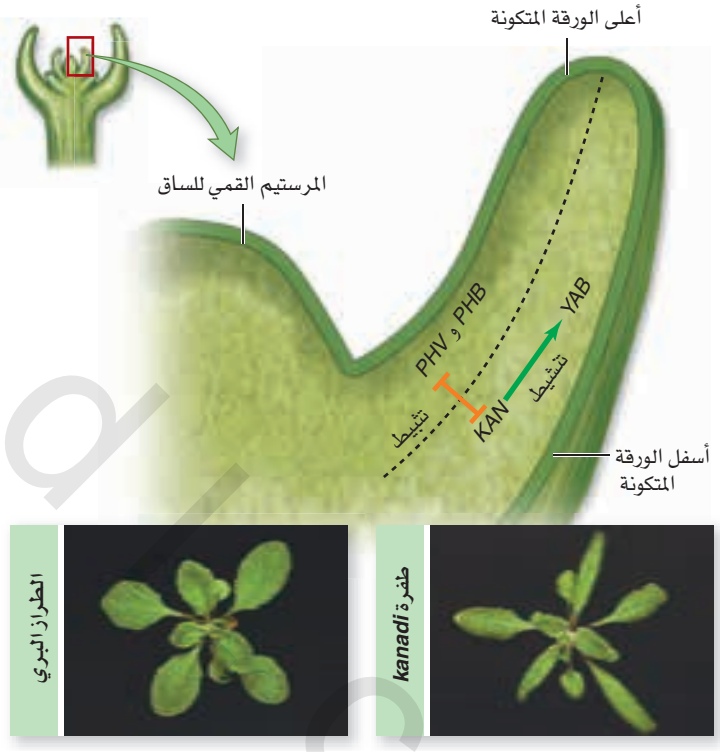
السيقان الورقية Cladophylls تنتج الصباريات وكثير من النباتات الأخرى سيقانًا منبسطة قادرة على البناء الضوئي تسمى السيقان الورقية، وهي تشبه الأوراق (شكل36- 28و). وفي الصباريات تكون الأوراق الحقيقية أشواكًا متحورة (انظر القسم الآتي).

يوسع نظام الساق (النظام الخضري) الجسم الابتدائي والثانوي للنبات بإنتاج سيقان إبطية وأعضاء تشمل الأوراق والمحاليق والأزهار. ويمكن للسيقان المتحورة أن تزيد القدرة التخزينية والبناء الضوئي.

5-36 الأوراق: أعضاء البناء الضوئي

إن الأوراق التي تبدأ على شكل بادئات بالمرستيم القمي (انظر الشكل 36-20) أساسية للحياة، كما نعرفها؛ لأنها المركز الأساسي لعملية البناء الضوئي على اليابسة، موفرة بذلك أساسًا للسلسلة الغذائية. وتنتشر الأوراق بتوسع الخلية وانقسامها. وكما هي الأذرع والأرجل في الإنسان، فالأوراق تراكيب محددة، وهذا يعني أن نموها يتوقف بعد النضج. وحيث إن الأوراق ذات أهمية للنبات، فإن صفات مثل كيفية ترتيبها، وشكلها، وحجمها، وتركيبها الداخلي تُعدّ ذات أهمية عالية، ويمكن أن تختلف كثيرًا. إن الأنماط المختلفة لها القيم التكيفية نفسها في البيئات المختلفة.

والأوراق هي امتدادات للمرستيم القمي للسيقان ولتطور الساق. وعند ظهورها أولًا على شكل بادئات، تكون غير ملتزمة بتكوين الأوراق. فقد بينت تجارب مخبرية صحة ذلك، حيث تم عزل بادئات أوراق صغيرة من الخنشار ونباتات أخرى، وتم تنميتها نسيجيًّا. فإذا كانت البادئات صغيرة جدًا، فإنها سوف تكون ساقًا كاملة بدلًا من الورقة. ويحدث تموضع بادئات الأوراق وانقسام الخلايا الأولي، قبل أن تصبح هذه الخلايا ملتزمة بمسلك التكوين الجنيني للورقة.



الشكل 36 – 29

تكون الجزأين العلوي والسفلي في الأوراق. إن كثيرًا من الجينات تشكل ورقة نبات رشاد الجدران ذات السطحين العلوي والسفلي المتميزين. هذه الجينات تشمل *PHAVOLUTA (PHV)* , *KANDI (KAN)* , *YABBY (YAB)* , *PHABULOSA (PHB)*. إن *RNA* لكل من *PHB* و *YAB* محدِّد للجزء العلوي من الورقة، في حين أن *KAN* و *YAB* يتم تفعيلها في خلايا الجزء الأسفل من الورقة. وتوجد علاقة تضادية بين *PHB* و *KAN*، ما يؤدي لتحديد تفعيل كل واحد منهما لمنطقة منفصلة من الورقة. يؤدي *KAN* لتفعيل *YABBY* ولتطور الجزء السفلي من الورقة. ودون وجود *KAN*، فإن كلًّا من سطحي الورقة سيتطور ليعطي الجزء العلوي منها.

تمثل التراكيب الخارجية للورقة المظهر الوعائي الخارجي

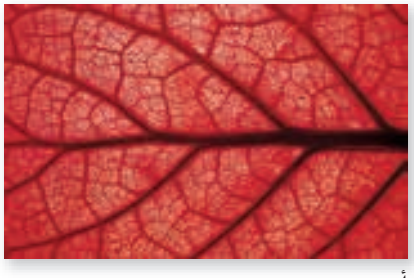
تقع الأوراق في مجموعتين مختلفتين في المظهر الخارجي، ما يمكن أن يعكس فروقًا في الأصل التطوري. **فالورقة الدقيقة Microphyll** هي ورقة بعرق واحد، يتفرع من الأسطوانة الوعائية للساق، ولا يمتد على طول الورقة. الأوراق الدقيقة غالبًا ما تكون صغيرة ومرتبطة مبدئيًّا مع اللحاء (انظر الشكل 30)، ومعظم النباتات لها أوراق تسمى **الأوراق الكبيرة Megaphylls** التي تمتلك كثيرًا من العروق.

لغالبية أوراق ذوات الفلقتين الحقيقية نجد نصلًا *Blade* مسطحًا، وعنقًا رفيعة *Petiole*. ويعكس تسطح النصل انتقالًا من التماثل الشعاعي إلى التماثل الظهري–البطني (القمة–القاعدة). ويؤدي تسطح الورقة لزيادة سطح منطقة البناء الضوئي، ويبدو أن علماء الحياة على وشك بداية فهم كيفية هذا الانتقال من خلال دراسة طفرات، تفتقر للقمة والقاعدة المميزتين، وتحليل هذه الطفرات (الشكل 36-29).

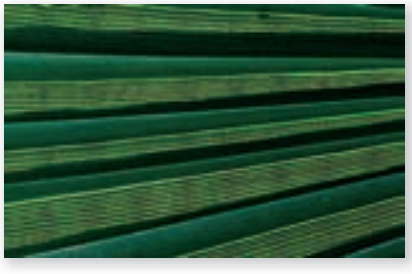
إضافة إلى ذلك، فإن زوجًا من الأذينات يمكن وجوده عند قاعدة العنق، وهذه الأذينات يمكن أن تكون شبيهة بالورقة، أو على هيئة شويكات متحورة (كما في الجراد الأسود *Robinia pseudo-aracia*) أو غدد كما في شجرة الخوخ ذات الأوراق الأرجوانية *Prunus cerasifera*، وتختلف كثيرًا في حجمها من المجهرية إلى ما يوازي نصف حجم نصل الورقة.

تفتقر الأعشاب وذات الفلقة الواحدة عادة للعنق، وتميل هذه الأوراق لتغليف الساق في اتجاه القاعدة. وتتكون العروق (مصطلح يستعمل لوصف الحزم الوعائية في الأوراق) من كل من الخشب واللحاء، وتتوزع في كل نصل الورقة. إن العروق الرئيسة متوازية في معظم ذوات الفلقة، في حين أن عروق ذوات الفلقتين تكوِّن شبكة منظمة دقيقة على الأغلب (الشكل 36-30).

يكون نصل الورقة على أشكال عدة؛ تتباين من البيضوي إلى المفصص بعمق، بحيث تظهر بوصفها وريقات منفصلة. ففي **الأوراق البسيطة Simple Leaves** (الشكل 36-31أ) كتلك التي في البنفسج، أو شجرة البتولا يكون النصل غير مقسم، إلا أن الأوراق البسيطة يمكن أن تكون مسننة، ومبعجة، أو مفصصة



أ.



ب.

الشكل 36 – 30

أوراق ذات الفلقتين الحقيقية وذات الفلقة الواحدة. أ. لأوراق ذات الفلقتين الحقيقية، مثل البنفسج الإفريقي من سريلانكا عروق شبكية. ب. لأوراق ذات الفلقة الواحدة مثل البلّميط (ضرب من النخل) عروق متوازية. ورقة ذات الفلقتين عوملت بالكيماويات؛ لجعلها شفافة، ثم صبغت بصبغة حمراء لتوضيح العروق بشكل تام.

أ. ب. جـ.

الشكل 36-31

الأوراق البسيطة والمركبة. أ. ورقة بسيطة، حافتها مفصصة بشكل كبير، مأخوذة من شجرة بلوط *Quercus robur*. ب. ورقة مركبة ريشية مأخوذة من نبات السدر الجبلي *Sorbus sp*. الورقة المركبة ترتبط مع برعم جانبي واحد موجود، حيث يتصل عنق الورقة مع الساق. جـ. أوراق مركبة راحية لمتسلق فرجينيا *Parthenocissus quinquefolia*.

بأحجام مختلفة، كما في شجر البلوط والقيقب.

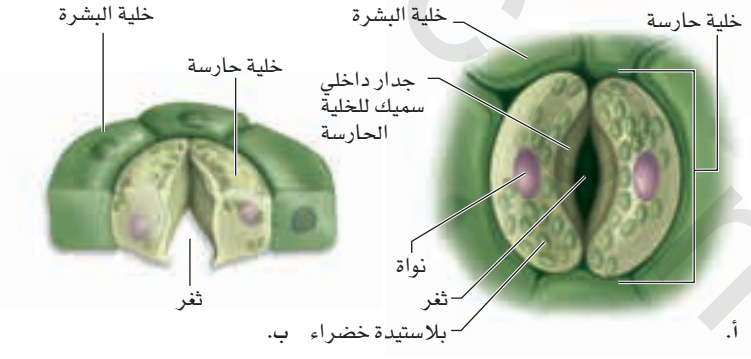
وفي **الأوراق المركبة Compound Leaves** (شكل36-31ب، جـ) كما في السدر، أو البيلسان الصندوقي، والجوز، فإن النصل مقسّم إلى وريقات، وتبقى العلاقة بين تطور الورقة المركبة والبسيطة سؤالًا مفتوحًا. لقد تمت مناقشة تفسيرين: الأول أن الورقة المركبة هي ورقة بسيطة عالية التفصص، أما الثاني فهو أن الورقة المركبة تستخدم برنامجًا تطوريًّا للسيقان، وكل وريقة كانت في مرحلة ما ورقة. ولمعالجة هذا السؤال، يستعمل الباحثون طفرات منفردة معروفًا عنها القدرة على تحويل الأوراق المركبة إلى أوراق بسيطة.

فإذا تم ترتيب الوريقات في أزواج على طول محور مركزي عام، فإن الورقة تبدو مركبة ريشية (الشكل 36 - 31 ب). أما إذا خرجت الوريقات من نقطة مشتركة عند نهاية النصل في العنق، فتكون الورقة مركبة راحية (شكل36-31جـ). وتوجد الأوراق الراحية المركبة في كستناء الحصان *Aesculus spp.* وفي متسلق فيرجينيا *Parthenocissus quinquefolia*. ويمكن أن يحمل نصل الورقة نفسها ترتيبات لعروقها مشابهة لترتيب النصل، وتسمى عندها معرّقة راحية أو ريشية.

تنظيم التراكيب الداخلية للورقة التبادل الغازي والتبخر

تغطي مجمل سطح الورقة بشرة شفافة، ولا تحوي معظم هذه الخلايا أي بلاستيدات خضراء. كما تم وصفه سابقًا، فإن للبشرة كيوتيكلًا شمعيًّا، ويمكن وجود أنواع مختلفة من الغدد والشعيرات. كذلك تحوي البشرة السفلى (وأحيانًا البشرة العليا) في معظم الأوراق كثيرًا من الشقوق أو الثغور الشبيهة بالفم، والمحاطة بالخلايا الحارسة (الشكل 36-32).

يسمى النسيج بين البشرتين العليا والسفلى **النسيج المتوسط Mesophyll**.



الشكل 36-32

ثغر. أ. منظر سطحي ب. منظر في مقطع عرضي.

وينتشر في هذا النسيج المتوسط كثير من العروق ذات الأحجام المختلفة. تحتوي معظم أوراق ذوات الفلقتين الحقيقية نوعين مميزين من النسيج المتوسط. بالقرب من البشرة العليا، نجد صفًّا واحدًا إلى صفوف عدة (اثنين في العادة) من الخلايا الكلورنشيمية (برانشيما بها بلاستيدات)، ذات شكل أسطواني متراصة بشدة، التي تكون النسيج المتوسط العمادي (الشكل 36-33). وتحوي بعض النباتات، مثل الأوكاليبتوس، أوراقًا تتدلى إلى الأسفل بدلًا من امتدادها أفقيًّا، ولها نسيج متوسط عمادي على جانبي الورقة؛ فليس هناك سطح علوي، في الواقع.

تقريبًا، نجد أن كل أوراق ذوات الفلقتين لها خلايا نسيج متوسط إسفنجي بين النسيج الوسطي العمادي والبشرة السفلى، وبوجود كثير من الفراغات البينية في كل النسيج. وتقوم الثغور والفراغات بين الخلوية المتصلة بعملية التبادل الغازي ومرور بخار الماء من الخلايا.

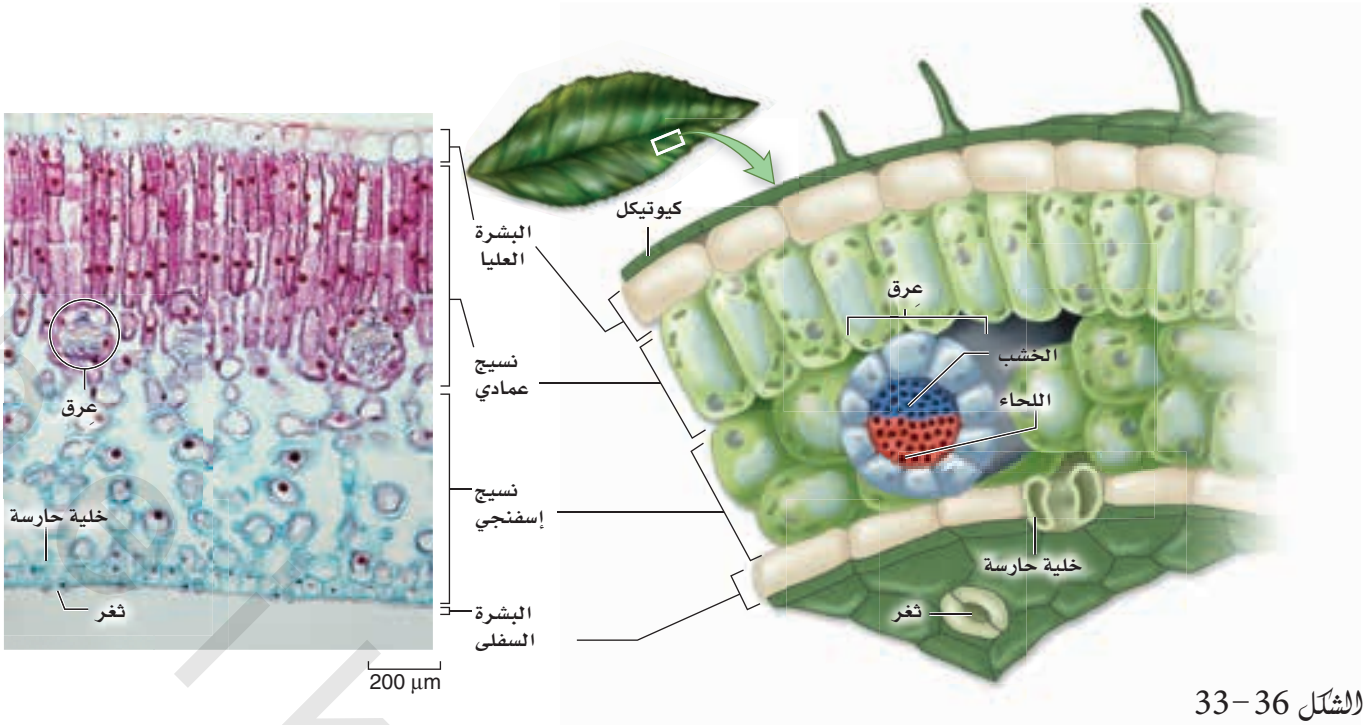
أما النسيج الوسطي في ذوات الفلقة الواحدة، فيكون غير متطور إلى نسيج وسطي عمادي وإسفنجي غالبًا. وهنا نجد القليل من التمييز بين البشرتين العليا والسفلى. بدلًا من ذلك، نجد أن الخلايا المحيطة بالنسيج الوعائي مميزة، وهي مركز تثبيت الكربون. وهذا الفرق التشريحي يتفق مع عملية بناء ضوئي معدَّلة كثيرًا، وهو البناء الضوئي رباعي الكربون، الذي يعمل على تعظيم كمية ثاني أكسيد الكربون إلى حدّها الأعلى، نسبةً إلى الأكسجين لتقليل فقدان الطاقة في أثناء التنفس الضوئي (انظر الفصل الـ 8). يرتبط تشريح الورقة مباشرة بدورها المتأرجح، للموازنة بين فقدان الماء والتبادل الغازي، ونقل منتجات عملية البناء الضوئي لمختلف أجزاء النبات.

الأوراق المتحورة أجزاء متعددة الاستعمالات

استعمرت النباتات كثيرًا من أنواع البيئات من الصحاري إلى البحيرات إلى الغابات المطيرة، وقد ظهرت تحورات الأعضاء النباتية؛ كي يتكيف كل نبات مع بيئته الخاصة. والأوراق بشكل خاص، طوّرت تكيفات مذهلة، وسنبحث فيما يأتي بعض هذه التحورات:

الأوراق الزهرية (القنابات). تحمل نباتات مثل البونسيته، والقرانيا أزهارًا صغيرة خضراء مصفرة نسبيًّا. إلا أن كلا النباتين يُنتج أوراقًا متحورة كبيرة تسمى القنابة *Bract* تكون غالبًا حمراء في البونسيته وبيضاء في القرانيا. تحيط هذه القنابات الزهرة الحقيقية، وتقوم بعمل البتلات الزُّخرفية نفسه. وفي نباتات أخرى، نجد أن هذه القنابات صغيرة جدًا وغير واضحة.

الأشواك المحورية. تتحور أوراق كثير من نباتات الصبار والباربري، ونباتات أخرى على شكل أشواك *Spines* (انظر الشكل 36-28و). ففي الصباريات يؤدي صغر مساحة الأوراق إلى تقليل فقدان الماء، وتعمل الأشواك الحادة على ردع المفترسات. ويجب عدم الخلط بين هذه الأشواك الصغيرة والأشواك *Thorns* الموجودة في نبات جراد العسل *Gleditsia triacanthos*، التي هي سيقان متحورة، أو الإبر الثاقبة الموجودة في توت العليق، وهي



الشكل 36–33

الورقة في مقطع عرضي. مقطع عبر الورقة، يبين ترتيب النسيج المتوسط العمادي، والإسفنجي، والحزمة الوعائية، أو العرق والبشرة مع أزواج خلايا حارسة تحيط بجانبي الثغر.

ببساطة نتوءات من البشرة أو القشرة الواقعة تحتها.

الأوراق التكاثرية. ينتج كثير من النباتات، وبالذات نبات الكلانشو، أوراقًا صغيرة، إلا أنها ممتدة على طول أطرافها. عند فصل كل واحد من هذه النباتات الصغيرة عن الورقة يتمكن هذا النبات من النمو والاستقلال ليصل إلى حجم نبتة كاملة. وتنتج نبتة الخنشار المتحرك *Asplenium rhizophyllum* نباتات صغيرة جديدة في أعلى سعفاتها. ومع أن كثيرًا من الأنواع قادرة على إعادة بناء نبات بالكامل من أنسجة أوراقها، إلا أن هذا التجديد يوجد في أنواع قليلة فقط.

أوراق النافذة. ينتج كثير من الأنواع النباتية التي تنمو في المناطق الجافة أوراقًا عصارية مخروطية، وذات قمم شفافة. تصبح هذه الأوراق مطمورة غالبًا في الرمل الذي تذروه الرياح، إلا أن أطرافها الشفافة ذات البشرة والجُليد السميكين تسمح بمرور الضوء للفراغات الداخلية. وتوفر هذه الخاصّيّة إتمام عملية البناء الضوئي تحت سطح الأرض.

أوراق الظل. تميل الأوراق المتكونة في الظل التي تتعرض للقليل من ضوء الشمس لأن تكون مساحتها السطحية كبيرة، وأقل سمكًا، وذات نسيج متوسط أقل من الأوراق على الشجرة نفسها التي تتعرض لضوء مباشر أكثر. ويلاحظ أن هذه المرونة في التكيف مذهلة، حيث يمكن أن تؤدي المؤشرات البيئية دورًا رئيسًا في التطور.

الأوراق آكلة الحشرات. من المعروف أن هناك ما يقارب 200 نوع من النباتات الزهرية، لها القدرة على امتلاك أوراقٍ صائدة للحشرات، وبعضها يهضم الأجزاء الطرية منها. وتنمو النباتات ذات الأوراق الصائدة للحشرات غالبًا في المستنقعات التي تفتقر للعناصر التي يحتاج إليها النبات، أو أنها تحوي القليل من هذه العناصر، يضعف هذا الأمر قدرة النبات على استكمال عملياته الأيضية اللازمة للنمو والتكاثر. لذا، فهو يستكمل احتياجاته من خلال عمليات امتصاص المواد الغذائية الإضافية القادمة من المملكة الحيوانية.

نباتات الدورق (مثل سراسينيا *Sarracenia* ودارلنجتونيا *Darlingtonia* ونيبنثس *Nepenthes*) ذات أوراق مخروطية، يتجمع فيها ماء المطر. يكون الجزء الداخلي من هذه الأوراق أملس جدًا وقويًّا، ولكن توجد على جوانب هذه الأوراق شعيرات صلبة متجهة للأسفل. وعند سقوط حشرة ما داخل هذه الأوراق ستجد صعوبة في الخروج والنجاة، ومن ثم تسقط داخلها، تمتصّ الورقة المواد الغذائية الناتجة عن تحليل الحشرة عن طريق أنزيمات النبات نفسه، وبفعل البكتيريا أيضًا. ولبعض النباتات، كما في نبات ندى الشمس *Drosera* غدد تفرز مادة مخاطية لزجة تعمل على اصطياد الحشرات التي تُهضم فيما بعد عن طريق الأنزيمات.

إن مصيدة حشرات فينوس *Dionaea muscipula* تنتج أوراقًا تبدو منفصلة عند العرق الوسطي، بحيث إذا استثيرت شعيرات صغيرة على نصل الورقة عن طريق حشرة متحركة، فإن نصفي الورقة ينطبقان على الحشرة، وتقوم الأنزيمات بتحليل الأجزاء الطرية إلى مواد غذائية يمكن امتصاصها عبر سطح الورقة.

يُعَدُّ النيتروجين أكثر العناصر المطلوبة، ومن المدهش أن مصيدة حشرات فينوس لا يمكنها العيش في بيئة غنية بالنيتروجين. وربما يعزى هذا إلى مادّة كيميائية معقدة تكونت في أثناء عملية التطور أدت إلى قدرتها على اصطياد الحشرات وهضمها.

للأوراق أشكال عدة؛ لتعظيم القدرة على البناء الضوئي، وفي بعض الحالات لتوفير الحماية، أو للحصول على بعض المواد الغذائية. ولا بد من توازن دقيق في الأوراق بين التبادل الغازي لعملية البناء الضوئي وفقدان الماء من الثغور. في هذا الفصل، ركّزنا على تركيب جسم النبات شاملًا الشكل الخارجي بمجمله، والتركيب النسيجي. في الفصول اللاحقة سوف نقدم وظائف النبات بالتفصيل، حيث نبدأ في تطور النبات الخضري في الفصل المقبل.

36-1 تنظيم جسم النبات: نظرة عامة (شكل 36-1)

تمتلك النباتات الوعائية الحديثة كثيرًا من التراكيب المتخصصة التي هي تكيفات للحياة في بيئة اليابسة.

- تتكون النباتات الوعائية من نظامي الجذر والساق.
  - يقع النظام الجذري تحت سطح الأرض، وهو يثبت النبات، ويحصل له على الماء والمواد الغذائية.
  - يقع نظام الساق فوق سطح الأرض، ويتكون من سيقان للدعامة، وأوراق قادرة على البناء الضوئي، وأزهار للتكاثر.
- تحوي الجذور والسيقان والأوراق ثلاثة أنسجة أساسية، هي: الأدمة، والنسيج الأساسي، والنسيج الوعائي (سيتم بحثه في الجزء المقبل).
- يحوي المرستيم خلايا جذعية تعمل مثل الخلايا الجذعية الحيوانية، حيث تبقى إحدى الخلايا مرستيمية عند انقسامها، وتتمايز الأخرى إلى نسيج معين.
  - المرستيم القمي يوجد في أطراف الساق وبالقرب من أطراف الجذر، ويعطي ثلاثة أنسجة مرستيمية ابتدائية: الأدمة الابتدائية، والكمبيوم الابتدائي، والمرستيم الأساسي.
  - توجد المرستيمات الجانبية في النباتات القادرة على النمو الثانوي، وتعطي الكمبيوم الوعائي والكمبيوم الفليني، ما يؤدي لزيادة سمك الساق.

36-2 الأنسجة النباتية

تحتوي النباتات على ثلاثة أنظمة أساسية من الأنسجة، هي: الأدمة، والنسيج الأساسي، والنسيج الوعائي.

- يتكون نسيج الأدمة عادة من طبقة واحدة من الخلايا، ويكوّن البشرة الواقية المغطاة بالكيوتيكل (الجُليد) الدهني لمقاومة فقد الماء. وتشمل الخلايا المتخصصة في البشرة مايأتي:
  - الخلايا الحارسة المحيطة بالثغور، وتنظم مرور الماء والغازات.
  - الشعيرات، وهي نموات من بشرة الساق تشبه الشعرة وتحافظ على برودة الأوراق وتقلل التبخر، وبعضها غدي، ويفرز مادة تمنع التغذي على النباتات.
  - الشعيرات الجذرية، وهي امتدادات للبشرة الجذرية، وتؤدي لزيادة المساحة السطحية، وفعالية الامتصاص.
- تقوم الأنسجة الأساسية بوظائف متعددة مثل الدعم، والخزن، والبناء الضوئي.
- تتكون الأنسجة الوعائية من الخشب، واللحاء، وكلاهما ينقل المواد للنبات.
  - الخلايا الخشبية ميتة، وهي الناقل الرئيس للماء والمعادن في النبات.
  - خلايا اللحاء حية، وهي النسيج الناقل الأساس للغذاء في النباتات الوعائية (الشكل 36-13).

36-3 الجذور: تراكيب للتثبيت والامتصاص

تشكل الجذور التكيف الرئيس للحياة على البيئة اليابسة، وتقوم بتثبيت النبات وامتصاص المواد الغذائية والماء (الشكل 36-14).

- تحوي الجذور النامية أربع مناطق، هي: قلنسوة الجذر، ومنطقة انقسام الخلايا، ومنطقة الاستطالة، ومنطقة النضج.
- ينتج المرستيم الأساسي داخل البشرة الخلايا البرنشيمية لخزن الغذاء، ويكوّن البشرة الداخلية المشبعة بالسوبرين، أو بشريط كاسبر.
- كل الأنسجة الواقعة داخل البشرة الداخلية تدعى الأسطوانة الوعائية.
- يوجد بين البشرة الداخلية واللحاء أسطوانة من الخلايا المسماة الحلقة المحيطية، التي تكوّن الجذور الجانبية في ذوات الفلقة الواحدة أو الكمبيوم الوعائي والكمبيوم الفليني في ذوات الفلقتين الحقيقية.
- غالبًا، تمتلك نباتات ذات الفلقتين جذرًا وسطيًّا وتديًّا، يمتد عميقًا في التربة، في حين أن ذوات الفلقة الواحدة لها نظام جذري ليفي ضحل.
- غالبًا، تتكون الجذور العرضية من الساق، وليس من الجذر، وتساعد على تثبيت النبات.
- الجذور عالية التحور تكون للدعم والتثبيت، أو للحصول على الأكسجين، أو لخزن الماء والغذاء، أو للتطفل على نبات عائل.

36-4 السيقان: دعامات للأعضاء فوق سطح الأرض

تمتد السيقان في الهواء فوق سطح الأرض، وتدعّم الكتلة النباتية ضد الجاذبية.

- يُنتج المرستيم القمي للساق أنسجة الساق، وبادئات الأوراق، وبادئات البراعم التي تتطور مكونة الأوراق، والسيقان، والأزهار.
- ترتبط الأوراق بالسيقان عند العقد، وتسمى المسافات بين العقد السلاميات.
- الإبط هو المنطقة بين عنق الورقة والساق، ويتكون البرعم الإبطي في إبط ذوات الفلقتين.
- تحتوي ذوات الفلقة وذوات الفلقتين العشبية بلاستيدات خضراء وثغورًا، ويمكن أن توجد شعيرات، ولكنها لا تنتج الفلين.
- تحتوي السيقان الخشبية براعم جانبية على طولها، أما الأشجار متساقطة الأوراق، فتتكون لها أذينات عند فقدان الأوراق في الخريف.
- تتناثر الحزم الوعائية لذوات الفلقة الواحدة عشوائيًّا خلال النسيج الأساسي، في حين أنها في ذوات الفلقتين تترتب في حلقة، حيث يتكون الكمبيوم الوعائي بين الخشب الداخلي واللحاء الخارجي، ما يمكن من النمو الثانوي.
- يشير النخاع إلى الخلايا البرنشيمية الواقعة في مركز الساق.
- تحوي الأدمة المحيطية الكمبيوم الفليني، والفلين المشبع بمادة السوبرين الطاردة للماء.
- ينتج الكمبيوم الفليني المسامات العدسية وفيها خلايا لا تحوي السوبرين، وتسمح بتبادل الغازات.
- السيقان المتحورة تشمل: الأبصال، والكورمات، والرايزومات، والسيقان الزاحفة والهوائية، والدرنات، والمحاليق، والسيقان الورقية. تتكاثر هذه السيقان خضريًّا، وتخزن المواد الغذائية.

36-5 الأوراق: أعضاء البناء الضوئي

تشكل الأوراق المواقع الأساسية للبناء الضوئي، وتتضمن كثيرًا من التكيفات المختلفة في الشكل الخارجي (الشكل 36-33).

- هناك نوعان أساسيان من الأوراق: صغيرة وكبيرة.
- العروق والحزم الوعائية متوازية في ذوات الفلقة، وتشكل شبكة في ذات الفلقتين.
- تحوي أوراق معظم ذوات الفلقتين نصلًا مسطحًا وعنقًا رفيعًا، في حين أن ذوات الفلقة عادة لا تحوي عنقًا، بل تغلف الساق.
- يمكن أن يكون نصل الورقة بسيطًا غير مقسم، أو يكون مقسمًا إلى وريقات مرتبة في أنماط مختلفة.
- يشمل نسيج الورقة البشرة، وخلايا حارسة تحوي الكلوروفيل، والنسيج الوعائي وطبقتين من الخلايا الكلورنشيمية (النسيج المتوسط العمادي والإسفنجي) وتقعان بين البشرتين: العليا والسفلى.
- تكيفت الأوراق بصورة مدهشة للقيام بكثير من الوظائف: القنابات الزهرية، والأشواك، والوحدات التكاثرية، والوقائية، وصائدة الحشرات.

original.com

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. قبل خمس عشرة سنة علّق والداك أرجوحة بساق منخفضة على شجرة كبيرة في ساحة منزلك. عندما تذهب للجلوس فيها اليوم، فإنك تحس بالارتفاع نفسه عن الأرض تمامًا كما كانت عندما جلست عليها أول مرة منذ خمس عشرة سنة. السبب في أن الأرجوحة ليست أعلى مما كانت عليه على الرغم من نمو الشجرة يعود إلى:
   أ. أن جذع الشجرة يبين فقط النمو الثانوي.
   ب. أن جذع الشجرة جزء من نظام النمو الابتدائي للنبات، ولا تحدث أي استطالة في ذلك الجزء من الشجرة.
   جـ. أن الشجرة تفتقر للمرستيم القمي، وبذلك لا تنمو طولًا.
   د. أنك تهذي؛ لأنه من المستحيل أن تبقى الأرجوحة في مكانها، ولا ترتفع عن الأرض مع نمو الشجرة.
2. من ميزات النباتات النمو غير المحدود، وهذا النمو غير المحدود ممكن؛ لأن:
   أ. المنطقة المرستيمية للنمو الابتدائي تنتشر عبر كل جسم النبات.
   ب. كل أنواع الخلايا في النبات تعطي أنسجة مرستيمية على الأغلب.
   جـ. الخلايا المرستيمية تحل محل بعضها بصورة مستمرة.
   د. كل الخلايا في النبات تستمر في الانقسام بصورة لانهائية.
3. لو أتيح لك وضع الحلقة المحيطية لجذر نبات في مكان طبقة البشرة، فإن أثر ذلك في نمو الجذر هو:
   أ. لن يحدث نمو ثانوي في المنطقة المكتملة النضج من الجذر.
   ب. سيقوم المرستيم القمي للجذر بإنتاج نسيج وعائي بدلًا من نسيج البشرة.
   جـ. لا شيء يتغير؛ لأن الحلقة المحيطية توجد عادة بالقرب من طبقة البشرة في الجذر.
   د. سوف تنمو جذور جانبية من المنطقة الخارجية للجذر، وتفشل في الارتباط مع النسيج الوعائي.
4. الفرق الوحيد بين نظامي الجذور والسيقان في النباتات الوعائية هو:
   أ. لا يتمكن النظام الجذري من النمو الثانوي.
   ب. ينمو النظام الجذري نموًّا ثانويًّا، إلا أنه لا يكوّن القلف.
   جـ. تحوي الأنظمة الجذرية مناطق مهمة لاستطالة الخلايا، في حين أن السيقان لا تحوي ذلك.
   د. يمكن للأنظمة الجذرية خزن احتياطات الغذاء، في حين أن السيقان لا تقوم بذلك.
5. عند تقشير البطاطا للعشاء، فإنك تزيل معظم:
   أ. نسيج البشرة. ب. النسيج الوعائي.
   جـ. النسيج الأساسي. د. أ + ب.
6. يمكنك تحديد عمر شجرة البلوط من خلال عدِّ الحلقات السنوية لـ _____ والمكونة عن طريق _____
   أ. الخشب الابتدائي/المرستيم القمي.
   ب. اللحاء الثانوي / الكمبيوم الوعائي.
   جـ. نسيج البشرة / الكمبيوم الوعائي.
   د. الخشب الثانوي / الكمبيوم الوعائي.
7. يمكن الآن تنمية كثير من الخضروات بالزراعة المائية، حيث توجد جذور النبات مبدئيًّا في وسط مائي. واحد من التراكيب الجذرية الآتية لم يعد ذا فائدة في الزراعة المائية:
   أ. البشرة. ب. الخشب.
   جـ. قلنسوة الجذر. د. الشعيرات.
8. تتشابه الشعيرات الجذرية والجذور الجانبية في الصفات كلها ما عدا:
   أ. كليهما يزيد المساحة السطحية الامتصاصية للجذر.
   ب. كليهما معمر عادة.
   جـ. كليهما متعدد الخلايا.
   د. ب و جـ.
9. واحد مما يأتي غير صحيح فيما يتعلق بسيقان النباتات الوعائية:
   أ. تتكون السيقان من قطع متكررة تحوي العقد والسلاميات.
   ب. يحدث النمو الابتدائي فقط في المرستيم القمي للسيقان.
   جـ. يمكن أن تترتب الأنسجة الوعائية خارج الساق أو تنتشر خلاله.
   د. يمكن للسيقان أن تحوي ثغورًا.
10. تتكون أعضاء النبات من خلال:
   أ. انقسام الخلية في النسيج الجاميتي.
   ب. انقسام الخلية في النسيج المرستيمي.
   جـ. هجرة الخلية إلى الموقع المناسب من النسيج.
   د. ترتيب المادة الوراثية في الخلايا المولدة، بحيث يتم تنشيط الجينات المتخصصة في ذلك العضو.
11. واحد من أنواع الخلايا النباتية الآتية في غير موقعه من حيث الوظيفة:
   أ. الخشب ونقل المواد الغذائية المعدنية.
   ب. اللحاء، حيث يعمل بوصفه جزءًا من القلف.
   جـ. الشعيرات تقلل التبخر.
   د. الكولنشيما تقوم بعملية البناء الضوئي.
12. عند النظر لأنواع الخلايا في شجرة بلوط، حيث نبدأ من وسط الشجرة متجهين إلى الخارج، التسلسل الصحيح هو:
   أ. النخاع، الخشب الثانوي، الخشب الابتدائي، الكمبيوم الوعائي، اللحاء الابتدائي، اللحاء الثانوي، كمبيوم الفلين، الفلين.
   ب. النخاع، الخشب الابتدائي، الخشب الثانوي، الكمبيوم الوعائي، اللحاء الثانوي، اللحاء الابتدائي، الكمبيوم الفليني، الفلين.
   جـ. النخاع، الخشب الابتدائي، الخشب الثانوي، الكمبيوم الوعائي، اللحاء الثانوي، اللحاء الابتدائي، الفلين، الكمبيوم الفليني.
   د. النخاع، اللحاء الابتدائي، اللحاء الثانوي، الكمبيوم الوعائي، الخشب الثانوي، الخشب الابتدائي، الكمبيوم الفليني، الفلين.
13. قمتَ بشراء منزل مطل بشكل رائع على الجبال، ولكن جارك قام بغرس مجموعة من الأشجار تحجب عنك هذا المنظر. وفي محاولة لإزالة الأشجار دون أن تكون مسؤولًا عن العمل، بدأت بتدريب عدد من حيوانات النيص للدخول إلى الساحة في الليل للقيام بعملية سرية، ولكي تكون عملية قتل الأشجار فعالة جدًا، فعليك بتدريب هذه الحيوانات للقيام بالإزالة الكلية لـ:
   أ. الكمبيوم الوعائي. ب. الكمبيوم الفليني.
   جـ. الفلين. د. اللحاء الابتدائي.

أسئلة تحدٍّ

1. تقوم النباتات بكثير من التحورات للتعامل مع التحديات البيئية، عرّف الجذر والساق والورقة المحورة المحببة لديك، وابنِ قضية للدفاع عن أيها أحسن مثالًا لعضو نبات متحور.
2. لقد عرفت طفرة من نبات الذرة التي لا تتمكن من تمايز الخلايا الوعائية، كيف سيؤثر هذا في قيام النبات بوظائفه؟
3. إن الزيادة السكانية على كوكبنا تؤثر في قدرتنا على إنتاج الغذاء اللازم لهؤلاء، ولو كان بإمكانك هندسة نبات يتضمن مجموعة من المحاصيل، فما الصفات التي يمكن أن تدخلها إليه؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS™