الفصل 37

التّشكّل الخضري في النباتات

Vegetative Plant Development

مقدّمة

كيف تتطوّر البيضة المخصّبة إلى نبات كامل النضج؟ لأن الخلايا النباتية غير قادرة على الحركة، فإنّ توقيت كلّ انقسام خلوي واتجاهه يجب أنْ يُنَظَّمَ بعناية فائقة. تحتاج الخلايا إلى معلومات حول موقعها نسبة إلى الخلايا الأخرى. وبذلك فإنّ تخصصَ الخلايا عمليةٌ منظمةٌ. يكون الجنين المتّكون غضًّا، ولذلك تطورت مجموعة من التراكيب الواقية منذ أن بدأت حياة النباتات على اليابسة.

فعليًّا، يتكوّن جزء واحد من النّبات، عندما يظهر على سطح التربة، وتتشكّل الأجزاء الجديدة خلال مدة حياة النّبات.

موجز المفاهيم

37-1 تكوين الجنين

- *تتقسم خليّة واحدة لتكون خطة جسم النّبات ثلاثي الأبعاد.*
- *تنتج خطة جسم النّبات خلال عملية التّكوين الجنينيّ.*
- *تتشكّل المغذيات المخزونة خلال عملية التّكوين الجنينيّ.*

37-2 البذور

- *تحمي البذور الجنين.*
- *التكيفات الخاصة بالبذور تحسّن فرص الحياة.*

37-3 الثّمار

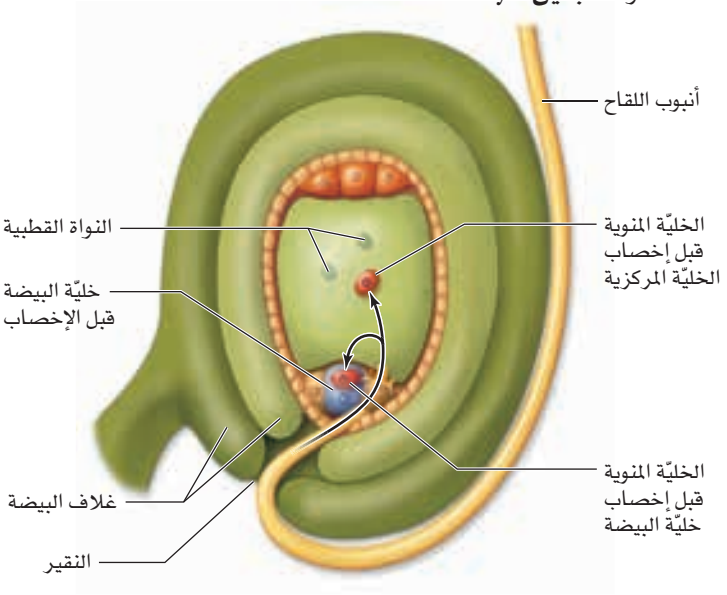
- *يبدي شكل الثّمرة التكيفات البيئيّة.*
- *تُمكن الثّمار النباتات الزّهريّة من الوجود في مناطق شاسعة.*

37-4 الإنبات

- *تحفّز إشارات وظروف خارجية عملية الإنبات.*
- *يدعم الغذاء المخزون حياة البادرة النامية.*
- *تأخذ النباتات الحديثة موقعها في البيئة، وتبدأ بعملية البناء الضّوئي.*

1-37 تكوين الجنين

يبدأ تطوّر الجنين بعد أنْ يتمّ إخصاب خليّة البيضة. وكما تم وصفه باختصار في (الفصل الـ 30)، يدخل أنبوب اللقاح خلال نموه إلى الكيس الْجنينيّ عبر واحدة من الخلايا المساعدة، حيث تخرج منه خليتان منويتان (الشكل 37-1). تخصب واحدة من الخلايا المنوية الخليّة المركزية بأنويتها القطبية، وتنقسم لتنتج تركيبًا غذائيًّا للجنين يُسمّى **الإندوسبرم Endosperm**. أما الخليّة المنوية الثانية فتخصب البيضة، وينتج **الزّيجوت Zygote** حيث ينقسم بعد ذلك مكونًا **الجنين Embryo**.



الشكل 37-1

الإخصاب يحفز التّكوين الْجنينيّ. تخصب خليّة البيضة داخل الكيس الْجنينيّ من إحدى الخلايا المنوية التي تخرج من أنبوب اللقاح، وتُخَصِّبُ الخليّةُ المنويةُ الثانيةُ الخليّةَ المركزيةَ لتكوين الإندوسبرم. يبين الشكل الخليّة المنوية قبل الإخصاب بقليل.

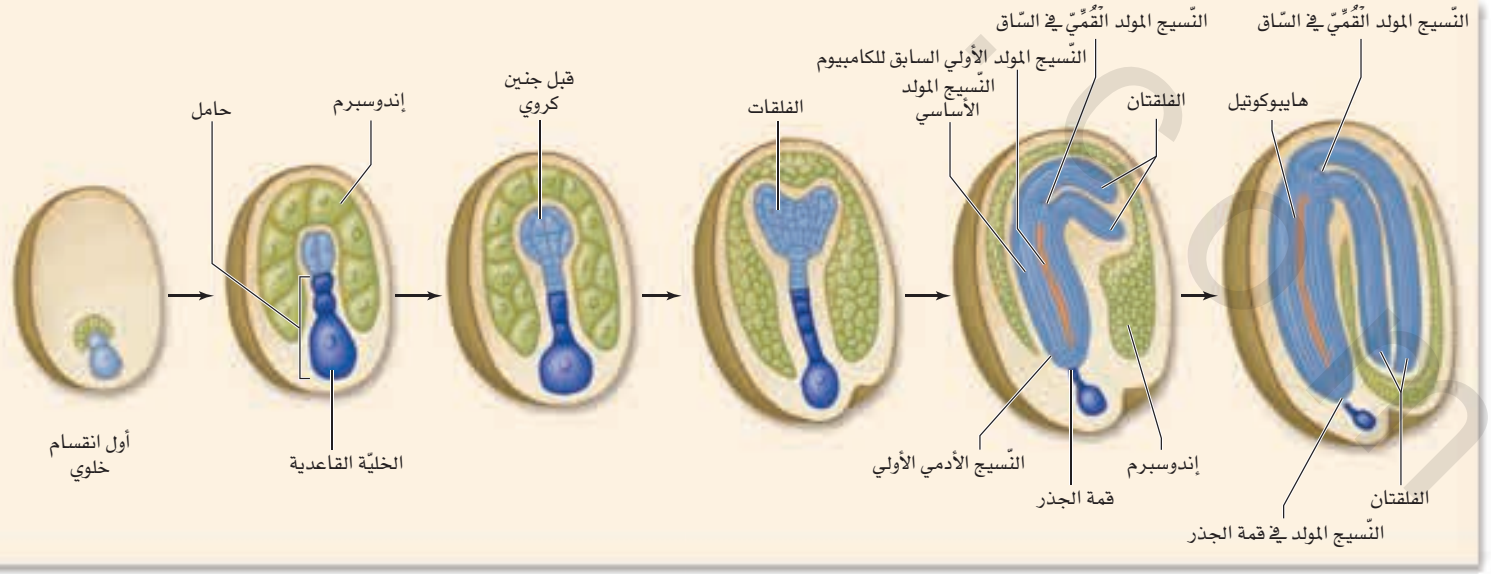
تنقسم خليّة واحدة لتكوّن خطة جسم النّبات ثلاثي الأبعاد

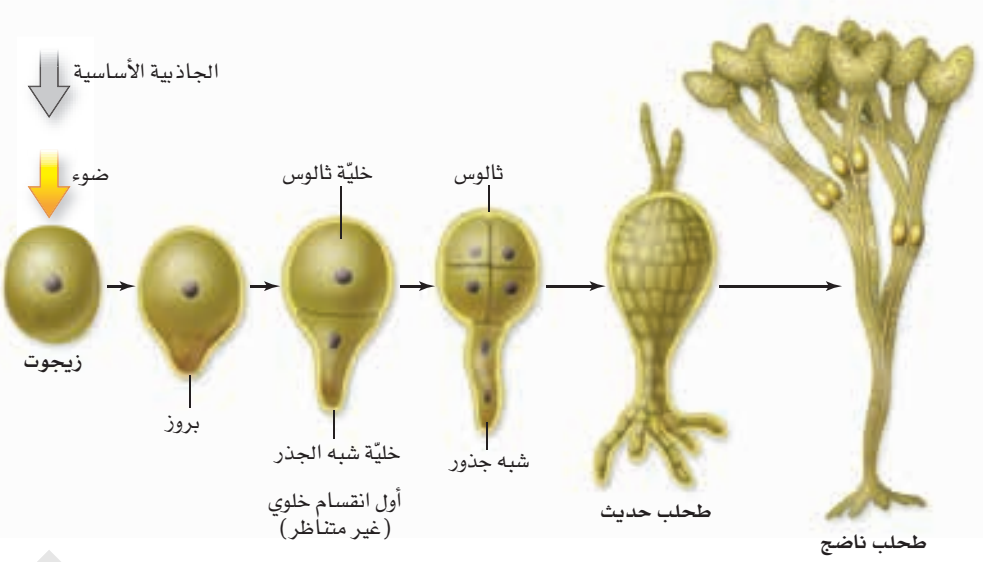
يكون الانقسام الأول للزيجوت (البويضة المخصبة) في النباتات الزّهريّة غير متناظر، ويُنتج خلايا ذات مصيرين مختلفين (الشكل 37-2). واحدةٌ من الخلايا الناتجة عن الانقسام صغيرةٌ، وذات سيتوبلازم كثيف. هذه الخليّة التي مصيرها موجه لتكوين الجنين تبدأ بالانقسام بشكل متكرر، وفي مستويات مختلفة مكوِّنة كرة من الخلايا. الخليّةُ الثانيةُ الناتجة عن الانقسام كبيرةُ الحجم، تدخل انقسامات متلاحقة مكوِّنة تركيبًا طويلًا يُسمّى **الحامل** (المعلِّق) **Suspensor** الذي يوصل الجنين بالنّسيج المغذي للبذرة. ويوفر الحامل كذلك مسارًا لانتقال الغذاء إلى الجنين خلال تكوينه. ويتكوّن محور الجذر والمجموع الخضري في هذا الوقت. تكون الخلايا المجاورة للحامل مهيأة لتكوين الجذر، في حين تشكّل الخلايا الموجودةُ في الطرف الآخر من المحور المجموعَ الخضريَّ في النهاية.

البحث في الآليات التي تشكّل عدم تناظر في الانقسامات خلال تكوين الجنين النباتي عملية صعبة؛ لأن الزّيجوت يكون منغرسًا في الطّور الجاميتي الأنثوي، ومحاطًا بأنسجة الطّور البوغي (البويضة وأنسجة الخباء أو الكربلة) (الفصل الـ 30). ولفهم بيولوجية الخليّة خلال الانقسام الأول غير المتناظر للزيجوت، درس علماء الأحياء الطحلب البني المسمى فيوكس *Fucus*. ويجب الحذر عند مطابقة النتائج التي يتمّ الحصول عليها من الطحالب البنية، مع تلك التي تحصل في النباتات الزّهريّة خلال الانقسام غير المتناظر؛ لأنّ الأسلافَ المشتركةَ الأخيرةَ للطحالب البنية والنباتات الزّهريّة مخلوقاتٌ وحيدةُ الخليّةِ. ومَعَ هذا، فإنّ الانقسامات غير المتناظرة تعود إلى مراحل قديمة جدًا في شجرة الحياة وحتى في البكتيريا.

تطوّر الزّيجوت في الفيوكس

تخرج البيضة في الطحلب البني فيوكس *Fucus* قبل الإخصاب. لذا، لا توجد أنسجة إضافية تحيط بالزّيجوت، ما يسهل ملاحظة تطوره. يؤسس البروز الذي يظهر على أحد أطراف الزّيجوت للمحور العمودي. عندما يحصل الانقسام الخلوي،





الشكل 37-3

الانقسام غير المتناظر في زيجوت الفيوكس. إنّ التّوزيع غير المتناظر للمواد في الزّيجوت يؤدي إلى ظهور بروز في الموقع الذي سيحصل فيه الانقسام الأول. يؤدي هذا الانقسام إلى تكوين خليّة صغيرة تنقسم، وتكون أشباه الجذور، في حين تكوّن الخليّةُ الكبيرةُ بعد انقسامها الثالوسَ أو الجسمَ الأساسيَّ للطحلب. يحدد موقع دخول الخليّة المنوية المكان الذي ستتشكّل فيه الخليّة الصغيرة المكونة لأشباه الجذور، ولكن يمكن لكلّ من الضّوء والجاذبية تعديل هذا المكان للتأكد من أنّ أشباه الجذور ستخرج نحو الأسفل لتثبت الطحلب البنيّ. تُحدِثُ تيارات كهربائية يدفعها الكالسيوم فرقًا في تركيز الجزيئات المشحونة التي تؤدي إلى إضعاف جدران الخليّة في الموقع الذي ستخرج منه أشباه الجذور. ويتمّ «خزن» مصير هاتين الخليّتين الناتجتين في ذاكرة مكونات الجدار الخلوي.

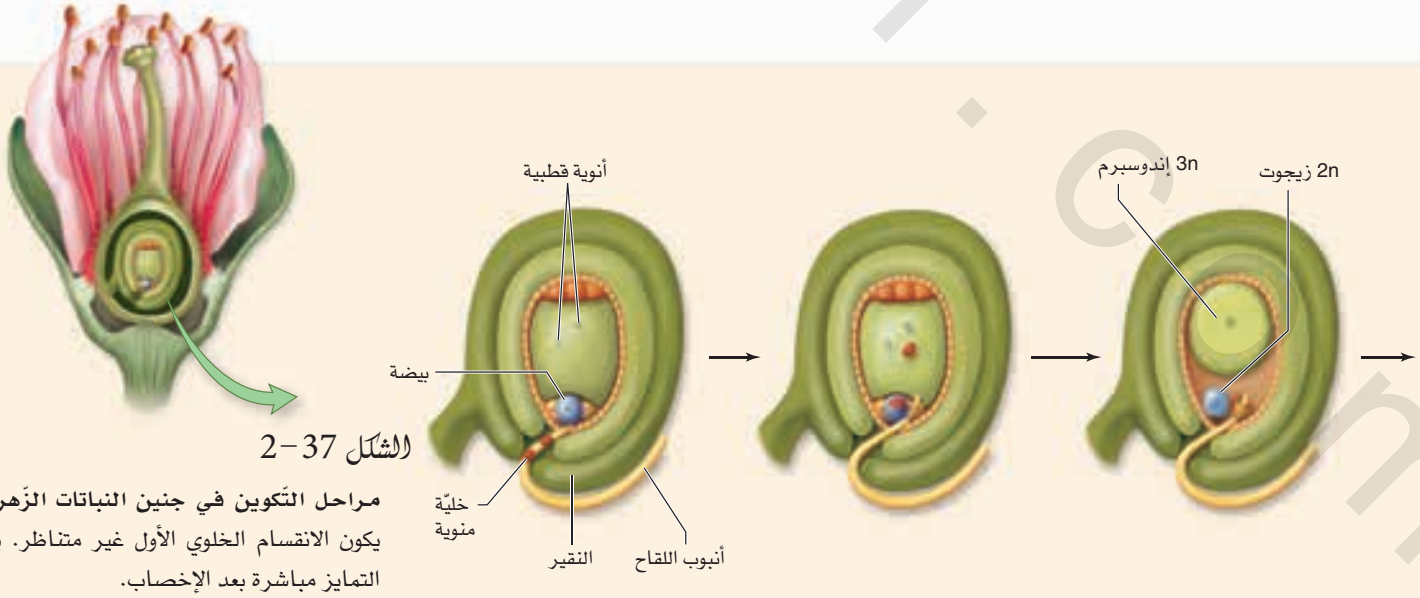
يصبح هذا البروز الخليّة الابنة الأصغر حجمًا. تتطوّر هذه الخليّة الصغيرة لتكوّن الزّوائد الْجذريّة التي تثبت الطحلب، في حين تشكّل الخليّةُ الكبيرة الجزءَ الأساسيّ في جسم الثالوس البوغي (الشكل 37-3).

يبدأ تكوّن هذا المحور في نقطة دخول الخليّة المنوية. ولكن يمكن تعديل هذا الموقع من خلال مؤثرات بيئية، وبشكل خاص الضّوء والجاذبية التي تضمن توجيه الزّوائد الْجذريّة (أشباه الجذور) نحو الأسفل والثالوس إلى الأعلى. إنّ تشكّل تدرجات تركيز داخلية مختلفة تؤدي إلى تحديد موقع تكوين أشباه الجذور استجابة للمؤثّرات الْبيئيّة.

تعتمد القدرة على «تذكر» مكان تكون أشباه الجذور على وجود جدار الخليّة. ففي بعض التجارب التي تمّت فيها إزالة أنزيمية لجدران خلايا فيوكس *Fucus* التي كان من المفروض أن تصبح إما أشباه جذور أو جسم النّبات، قامت هذه الخلايا بتكوين أيٍّ من هذه الأجزاء. يحتوي جدار الخلايا على أصناف مختلفة من السّكريّات والبروتينات المرتبطة بالتركيب الليفي للجدار. وقد أصبحت دراسة هوية المؤثرات التطورية في جدران الخلايا مجالًا مهمًّا في الأبحاث العلمية.

دراسة الطّفرات المتعلقة بالتّكوين الْجنينيّ

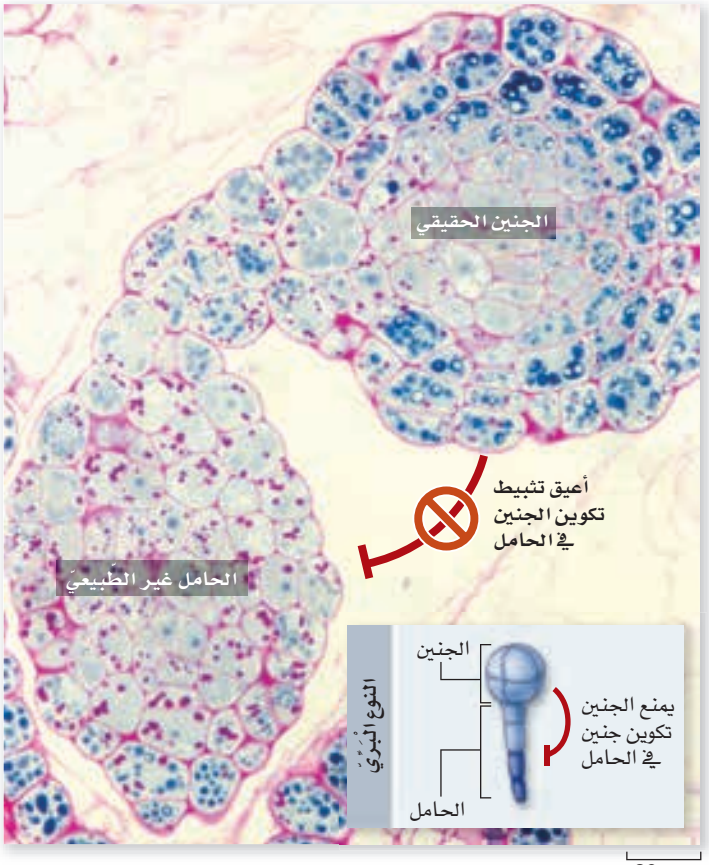
مكنت الأساليب الْوراثيّة من دراسة التطور غير المتناظر في النباتات الزّهريّة. فلقد أوضحت دراسةُ الطّفراتِ الأخطاءَ التي يمكن أنْ تحصل خلال التّكوين الْجنينيّ، التي تمكّن عادة من التّوصّل إلى آليات التّكوين الْجنينيّ الطّبيعيّ. فمثلًا الطّفرة في الحامل لنبات رشاد الجدران *Arabidopsis* تُحدِثُ خللًا في التّكوين الْجنينيّ، وحصول تكوين شبه جنيني في الحامل (الشكل 37-4). لقد أدى



الشكل 37-2

مراحل التّكوين في جنين النباتات الزّهريّة. يكون الانقسام الخلوي الأول غير متناظر. يبدأ التمايز مباشرة بعد الإخصاب.

obeikandi.com



الشكل 37-4

يمنع الجنين تكوين جنين آخر من الحامل. هذه الطّفرة في الحامل (*sus*) في نباتات رشاد الجدران *Arabidopsis* تُحْدِثُ خللًا خلال تكوين الجنين. إجهاض تكوين الجنين يؤدي إلى تكوين شبه جنين من الحامل. هناك حاجة إلى *SUS* لمنع تكوين الجنين من خلايا الحامل.

تحليل هذا النوع من الطّفرات إلى استنتاج أنّ وجود الجنين الطبيعي يمنع الحامل من تكوين جنين آخر.

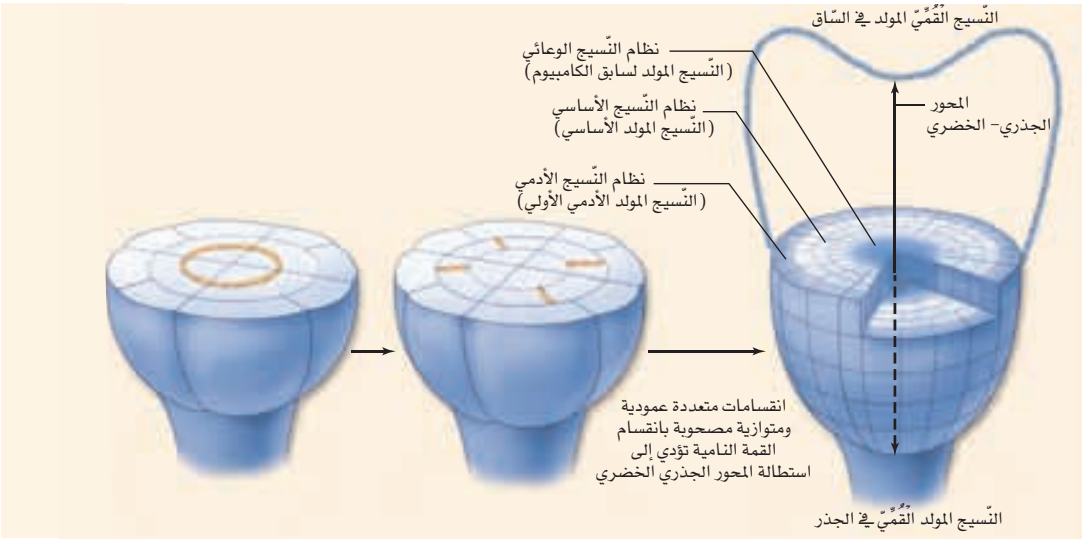
تنتج خطة جسم النبات خلال عملية التّكوين الْجنينيّ

يتكوّن الشكل والمظهر ثلاثي الأبعاد في النباتات من خلال تنظيم مستويات وأنماط الانقسام الخلوي. ولقد بينا قبل قليل كيف يظهر المحور العمودي (الجذري-الخضرى) خلال المراحل الأولى، وهذا ينطبق أيضًا على ظهور المحور القطري (المحور الداخلي - الخارجي) (الشكل 37-5). ومع أنّ الانقسام الأول يؤدى إلى تكوين صفّ واحد من الخلايا، إلا أنّ هذه الخلايا تبدأ بالانقسام في اتجاهات مختلفة منتجة جسمًا كرويًّا مصمتًا من الخلايا بأبعاد ثلاثية. ويزداد المحور الجذري- الخضري في الطول كلما انقسمت الخلايا مع تكوين جدران خلوية موازية للسطح.

ولتكوين المحور القطري؛ تتبادل الخلايا الانقسامات المتزامنة منتجة جدرانًا خلوية موازية ثم عمودية على سطح الجنين (الشكل 37-5). ويجب أنْ تنقسم الخلايا في اتجاهين في المستوى القطري لتحافظ على المحيط في بداية التّكوين. ويبدو مستوى الجسم المتكون كما هو موضح في (الشكل 37-6). ينتج النّسيج المولد الْقُمِّيّ المكون من الخلايا ذات الانقسام المتسارع والموجودة في قمم الجذور والسيقان المحور الجذري- الخضري في المرحلة الكروية والأنسجة الأساسية الثلاث: الأدمي *Dermal* والأساسي *Ground* والوعائي *Vascular*. (انظر الفصل الـ 36) وتترتب هذه الأنسجة قطريًّا حول المحور الجذري- الخضري.

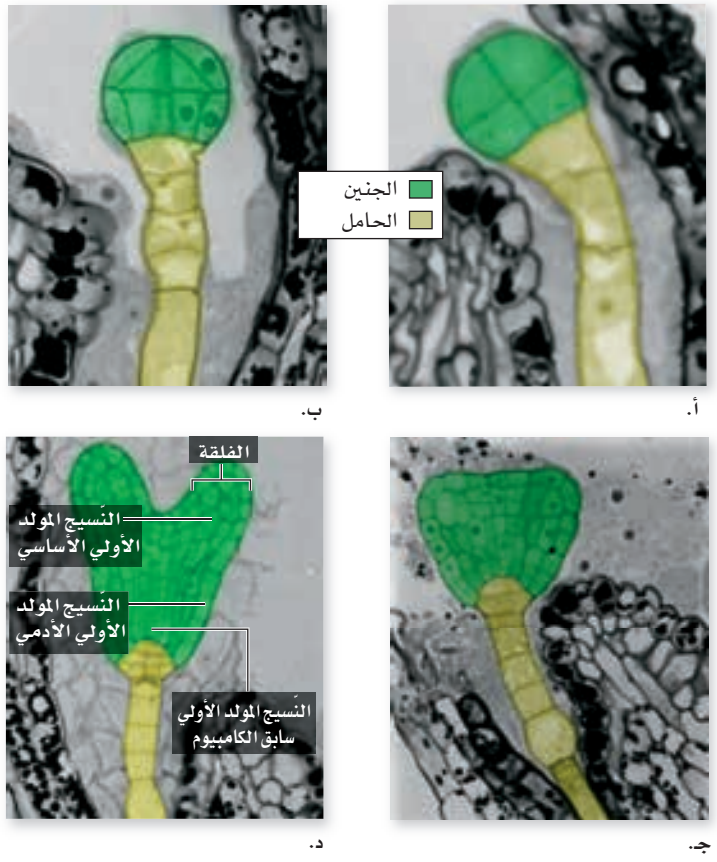
تكوين السّاق والجذور

كلّ من الأنسجة المولدة للجذر والسّاق عبارة عن نسيج مولد قمّيّ، ولكن التحكّم بهما يتمّ بشكل منفصل. ويدعم هذا الاستنتاج دراسة طفرة في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* غير المحتوي على النّسيج المولد للساق *Shootmeristemless (stm)* ويفشل في تكوين مجموع خضري حيّ، ولكنه ينتج مجموعًا جذريًّا (الشكل 37-7). لذا، فإنّ *STM* ضروريٌّ لتكوين النّسيج المولد للساق، ولا دور له في تشكيل النّسيج المولد للجذور.



الشكل 37-5

تَشَكُّلُ محورين خلال التّكوين الْجنينيّ. يكونُ المحورُ الجذريّ - الخضريّ عموديًّا. ويُكوّن المحور القطري مستويين موازيين لسطح التربة. تصبح نهاياتُ المحور الجذري - الخضري الأنسجةَ المولدةَ للجذور والقمة النامية. تتكون ثلاثة أنظمة نسيجية حول المحور الجذري - الخضري العمودي. يُشكّل الجنين حلقات متحدة المركز من الخلايا حول المحور الجذري - الخضري من خلال تنظيم مستوى الانقسام في الخليّة. تتبادل الخلايا في مراحل التّكوين الْجنينيّ المبكرة بين انقسامات منسقة تنتج جدرانًا خلوية جديدة موازية لسطح الجنين، وانقسامات خلوية تنتج جدرانًا خلوية عمودية على سطح الجنين. يوضح الخطّ البرتقاليّ الجدران الجديدة المتشكلة. ويبين الشكل مستوى واحدًا من الخلايا الموازية للسطح. تضيف عملية الانقسام الخلوي مجموعة من الخلايا أسفل هذا المستوى وفوقه كلما ازداد طول المحور الجذري - الخضري.

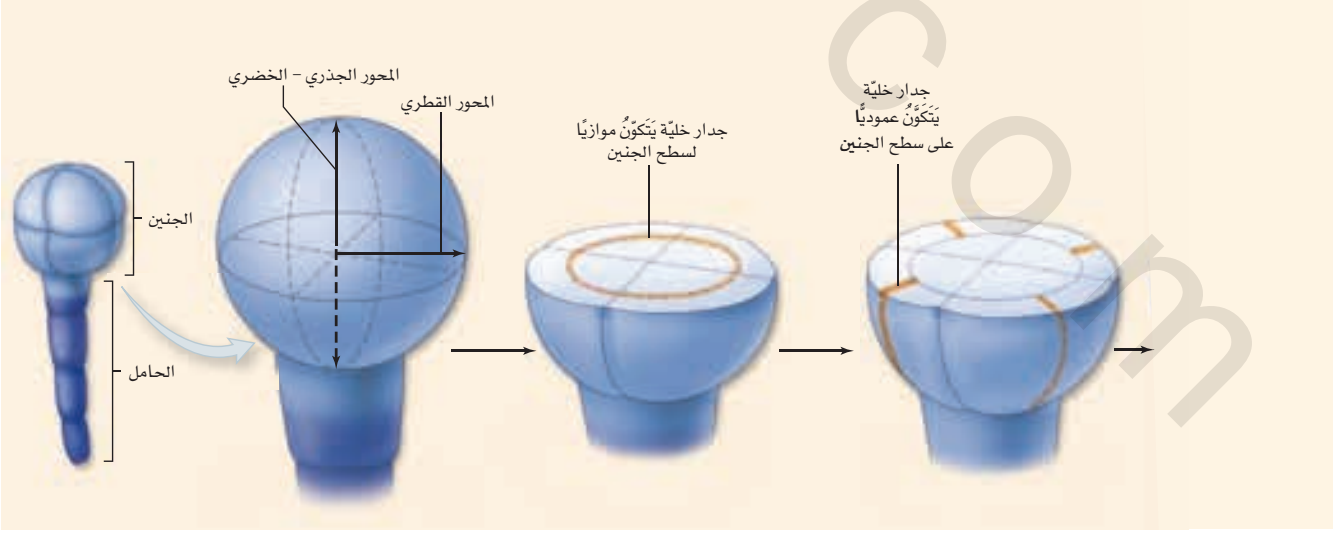


الشكل 37–6

المراحل الأولى في تكوين نبات رشاد الجدران *Arabidopsis thaliana*. أ . تنتج مراحل الانقسام الأولى الجنين والحامل. ب. تُنْتَجُ المرحلةُ الكرويةُ من انقسامات في المحور الجذريّ– الخضريّ والمحور القطريّ. يحدث تمايز الخلايا مع تكوين النّسيج القمي المولد للجذور والسّاق، خلال هذه المرحلة جـ، د. مرحلة شكل القلب: تبدو الفلقات (أوراق البذرة) الآن واضحة، وتستمر أنظمة الأنسجة الثلاث في التمايز.

الشكل 37–7

الطّفرات عديمة النَسيج المولد للساق ضرورية لتكوين السّاق. هناك جينات خاصة بالمجموع الخضري تحدد تكوين النّسيج المولد الْقُمِّيّ في السّاق، ولكنها ليست ضرورية لتكوين الجذور. الطّفرة *stm* لنبات رشاد الجدران *Arabidopsis* (موضح في الأعلى) له نسيج مولد للجذر، ولكنه يفشل في تكوين النّسيج المولد للساق بين الفلقتين. النوع الْبَرِّيّ *STM* مبين أسفل الطّفرة *stm* للمقارنة.



obeikandi.com

تحدد جينات *STM* إنتاج عامل استنساخ ضمن جينات تسمى الصّندوق الذّاتيّ Homeobox وبذا تشترك في الأساس التطوري للجينات *Hox* المهمة في تكوين خطة الجسم في الحيوانات (انظر الفصلين الـ 19 و 25). ولكن، وبالمقارنة مع الحيوانات، فإنّ الجينات المشابهة لـ *Hox* لها دور محدود في تنظيم مستوى جسم النّبات. هناك عائلات أخرى من الجينات المنتجة لعوامل الاستنساخ تمّ التعرف إليها التي لها دور أساسي في تحديد الأنماط في النباتات.

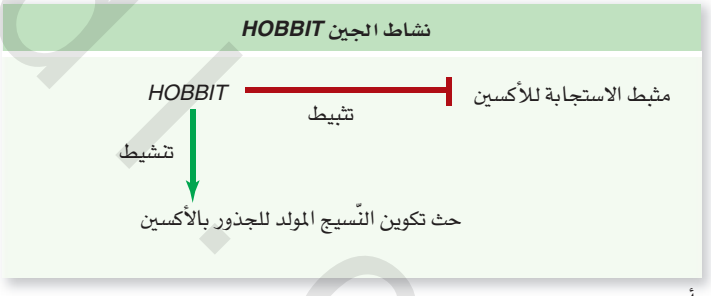
وبعكس *STM*، فإنّ *HOBBIT* ضروريٌّ لتكوين النّسيج المولّد للجذر، وليس للساق في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* (الشكل 37-7). الانقسام الخلوي في جنين النّبات hobbit يحدث في الاتجاه الخطأ، وبذلك لا يَتَكَوَّنُ نسيجٌ مولدٌ للجذر. يتراكم في النباتات نوع طفرة *hobbit* مثبط بيوكيميائي يمنع نشاط الجينات التي يحفزها الأكسين (أحد الهرمونات النباتية). وبالاعتماد على شكل النباتات

الشكل 37-8

التنظيم الْجينيّ لتكوين المجموع الجذري الْجينيّ في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis*. أ . HOBBIT ينشط تكوين الجذور المستحث عن طريق الأكسين، ويمنع تثبيط الاستجابة للأكسين. ب. لا يستطيع MONOPTEROS العمل كأحد عوامل الاستنساخ عند ارتباطه بالمثبط. يقوم الأكسين بإزاحة المثبط من Monopteros وبذلك تنشط الجينات المسؤولة عن تكوين الجذور. الآلية المتعلقة بإزالة المثبط من Monopteros والمرتبط بالأكسين هي آلية معقدة وللتفاصيل (انظر الشكل 41-23). جـ. البادرة، من النوع الْبَرِّيّ، تعتمد على الجينات التي تنشطها الأكسينات لتكوين الجذور الطبيعية خلال التّكوين الْجينيّ. د . بادرات النوع *hobbit* لديها جُذامة (عقب أبتر) بدلًا من الجذور لأن الانقسامات غير الطبيعية تمنع تكوين النّسيج المولد للجذور. هـ. بادرات النوع *Monopteros* لديها مثبت سفلي، ولا جذور لها.

استقصاء

بالرجوع إلى (هـ)، اشرح سبب عدم قدرة هذه الطّفرة على إنتاج جذور خلال التّكوين الْجينيّ.

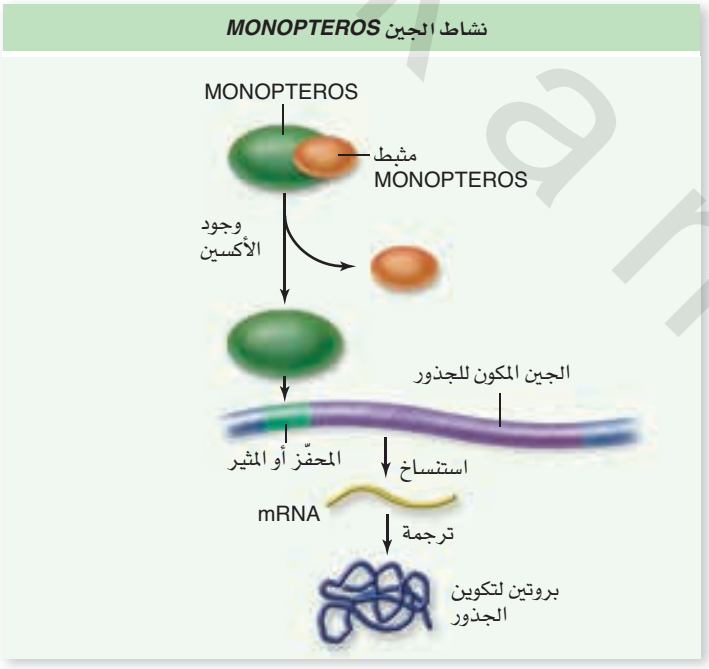


أ.

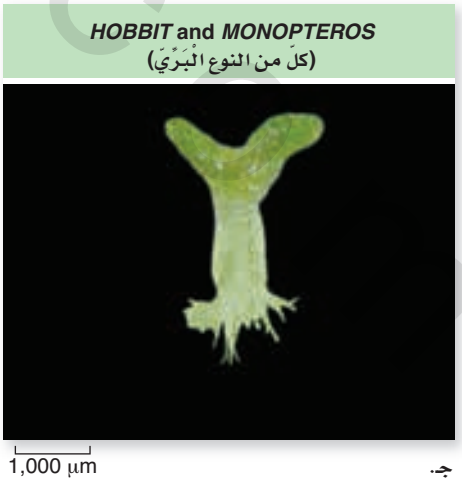
الطافرة، فإنّ دور *HOBBIT* يبدو مانعًا لتكوين المثبط للجينات التي تحفزها الأكسينات، أو بشكل أبسط بروتينات *HOBBIT* تمكن الأكسين من تحفيز، أو التعبير عن جين، أو مجموعة من الجينات الضرورية لحصول الانقسام الخلوي الصحيح لتكوين النّسيج المولد للجذور (الأكسيناتُ صنفٌ من سبعة أصناف من الهرمونات التي تنظم الوظيفة والتّكوين الْجينيّ في النباتات، وسوف نوضح هذه المجموعة من الهرمونات النباتية في الفصل الـ 41). إنّ واحدة من الطرق التي يحثّ فيها الأكسين تعبير الجينات هي من خلال تنشيط عوامل الاستنساخ. يحدد الجين إنتاج عامل استنساخ مرتبط بالأكسين (انظر الشكل 37-8). وكما هو الحال في *HOBBIT* فإنه ضروري لتكوين الجذور فقط، وليس لتكوين المجموع الخضري في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* وعند تنشيطه، يرتبط بروتين *MP* بالمحفز لجين آخر مؤديًا إلى استنساخ أحد الجينات، أو مجموعة من الجينات الضرورية لتكوين النّسيج المولد للجذور.

استقصاء

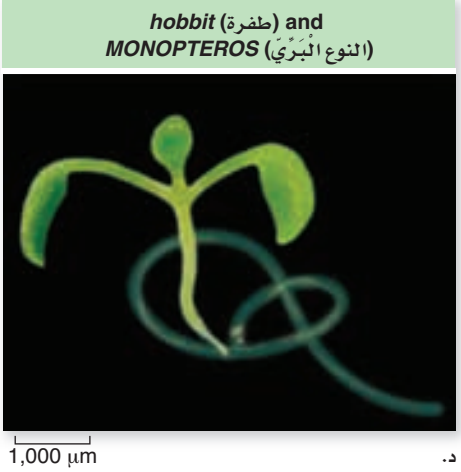
توقع مظهر النّبات الذي يوجد به طفرة في الجين MP التي تنتج بروتين MP غير القادر على الارتباط بالمثبط.



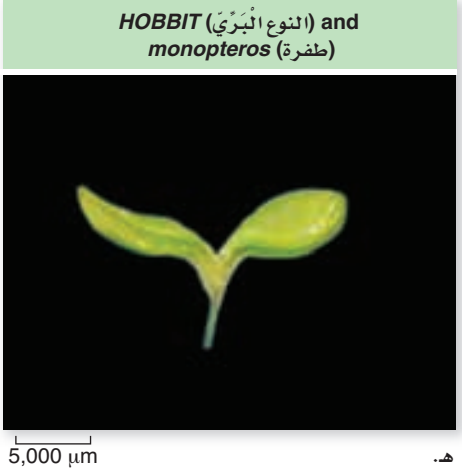
ب.



جـ.



د.



هـ.

تكوين أنظمة الأنسجة الثلاث

تتمايز ثلاثة أنسجة أساسية تسمى الأنسجة المولدة الأولية *Primary meristems* خلال المدة التي يكون الجنين فيها بشكل كرة من الخلايا (تسمى المرحلة الكروية؛ انظر الشكل 37-6). النّسيج **الأدمي الأولي Protoderm** يتكوّن من الخلايا الخارجية لجنين النّبات، ويتشكل منه النّسيج الأدمي *Dermal tissue* (انظر الفصل الـ 36). تنقسم هذه الخلايا دائمًا بشكل تكون فيه الصفيحة الخلوية عمودية على مستوى سطح الجسم. يحمي النّسيجُ الأدمي النّباتَ من الجفاف، ويكوّن هذا النّسيجُ الثقوبَ التي تُسَهِّلُ عملية تبادل الغازات، وتقلل من خسارة الماء. أما النّسيج **المولد الأساسي Ground Meristem** فيكوّن معظم الأجزاء الداخلية للنبات، وتقوم الخلايا الناتجة عن النّسيج الأساسي *Ground tissue* بوظيفة خزن الماء والغذاء. وأخيرًا النّسيج الأولي سابق **الكامبيوم Procambium** ويوجد هذا النّسيج في لبّ الجنين، وتكوّن خلاياه النّسيجَ الوعائيَّ للنبات *Vascular tissue* التي تنقل الماء والغذاء.

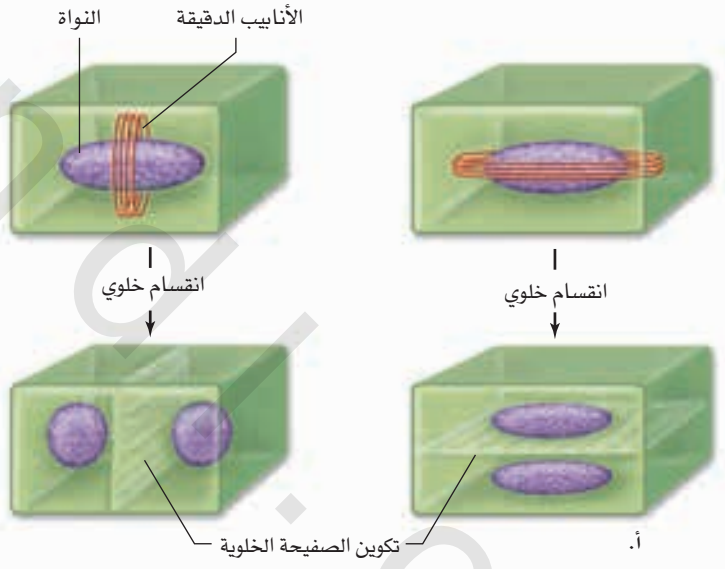
خلال دراستك للتطور الْجنينيّ، ستلاحظ أنّ كثيرًا من أنماط التمايز المتشابهة يمكن مشاهدتها في الأنسجة المولدة القمية خلال الإنبات. وقد تمّ وصفها في الفصل الـ 36. ويكون مصير الخلايا محدودًا بشكل أكبر بعد انتهاء التّكوين الْجنينيّ، مع أنّ عددًا من الجينات الخاصة بالجنين لا يتمّ التعبير عنها. فمثلًا، جين *LEAFY COTYLEDON* في نبات رشاد الجدران *Arabidopsis* ينشط بداية التّكوين الْجنينيّ ونهايته، وقد يكون مسؤولًا عن المحافظة على البيئة الجنينية، ويمكن تنشيط هذا الجين في مراحل التّكوين المتأخرة باستخدام تقنية إعادة خلط DNA التي وُصِفَتْ في الفصل الـ 16. وعندما ينشط هذا الجين، يبدأ الجنين بتكوين الأوراق.

التّشكّل

تعطى المرحلة الكروية الجنين قلبي الشكل. في بعض النباتات الزّهريّة، يكون للجنين بروزان (كما في ذوات الفلقتين الحقيقية مثل رشاد الجدران *A. thaliana* كما في الشكل 37-6 ج، د) وتركيبٌ كرويٌّ ذو بروز على جانب واحد في مجموعة أخرى (ذوات الفلقة الواحدة) ويُسمّى هذا البروزُ **الفلقات Cotyledons** (الورقة الأولية) التي تنتجها الخلايا الجنينية، وليس النّسيج المولد القُمِّيّ للساق الذي يبدأ التّشكّل في المرحلة الكروية. تحصل **عملية التّشكّل Morphogenesis** (تكوين الشكل) من تغيرات في مستوى الانقسام الخلوي ومعدّله (انظر الشكل 37-5).

ولأنّ الخلايا النباتية غير متحركة، فإنّ شكل النّبات يعتمد بشكل أساسي على مستوى انقسام الخلايا. ويتحكم فيه التغير في شكل الخلايا بعد تمددها نتيجة لدخول الماء فيها بالخاصية الأسموزية (الشكل 37-9). إنّ موقع الصفيحة الخلوية يحدد اتجاه الانقسام، ولكلّ من الأنابيب الدقيقة والآكتين دورٌ في تحديد موقع الصحيفة الخلوية. للهرمونات النباتية وعوامل أخرى تأثيرٌ في ترتيب حزم الأنابيب الدقيقة على السطح الداخلي للغشاء البلازمي؛ إذ تقوم هذه الأنابيب الدقيقة بتوجيه ترسب السليولوز في أثناء تكوين جدار الخليّة حول الخلايا الحديثة وخارجها (انظر الشكل 36-2) حيث تقوّى أربعة من الجوانب الستة للجدار بالسليولوز بشكل أكبر، وتصبح الخليّة قادرة على النمو والزيادة في الحجم في اتجاه الجانبين الأقل دعمًا وتقوية (الشكل 37-9 ب).

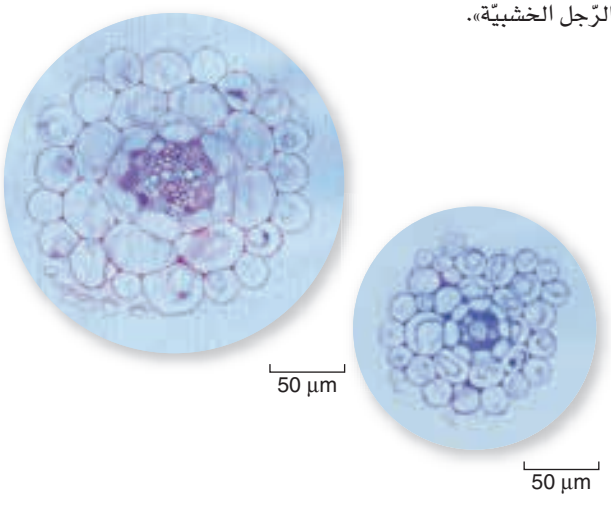
لقد تمّ الحصول على معلومات حول عملية التّشكّل على مستوى الخليّة من خلال نباتات طافرة قادرة على الانقسام، ولكن دون القدرة على التحكم في اتجاه أو مستوى التمدد في الخليّة. إنّ عدم تكوين النّسيج المولد للجذور في الطّفرة *hobbit* هو أحد الأمثلة على هذا. عندما يبدأ النّسيج الأولي سابق الكامبيوم في التمايز إلى الجذور ينظم الجين *WOODEN LEG*، (*WOL* الشكل 37-10)انقسامًا حرجًا موازيًا لسطح الجذر. ودون هذا الانقسام، فإنّ أسطوانة الخلايا المتكونة التي يُفْتَرَضُ أنْ تكون اللحاء تكون مفقودة، ويتكوّن الخشب فقط، ما يعطي الجذر اسم «الرّجل الخشبيّة».



الشكل 37-9

الانقسام والتمدد الخلوي

أ. يُحَدِّدُ ترتيب الأنابيب الدقيقة مستوى تكوين الصفيحة الخلوية، وكذلك جدار الخليّة الحديث. ب. لا تحتوي جوانب الخليّة النباتية جميعها كميات متساوية من التقوية السليولوزية. عند امتصاص الماء، تتمدد الخليّة في الاتجاه الذي يحتوي على أقل مستوى من تقوية الجدار.



الشكل 37-10

الجين WOODEN LEG ضروريّ لتكوين اللّحاء. يحتوي النّبات نوع طفرة *wol* (على اليمين) كمية أقل من النّسيج الوعائي من النّبات الْبَرِّيّ لرشاد الجدران *Arabidopsis* (على اليسار) الذي يتكوّن من الخشب فقط.

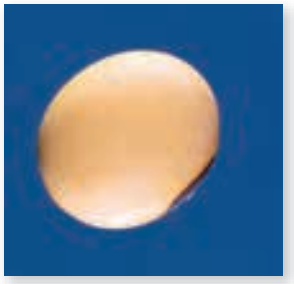
في بداية مراحل التّكوين الْجنينيّ، يمكن لمعظم الخلايا أن تشكّل أنواعًا كثيرة من الخلايا والأعضاء بما فيها الأوراق. عند استمرار عملية التّكوين، تتركز الخلايا ذات القدرات المتعددة في مناطق الخلايا المولدة. تتشكّل أنواع عدة من الأنسجة المولدة في الوقت الذي تكتمل فيه عملية التّكوين الْجنينيّ، وتدخل البذرة مرحلة السكون. بعد الإنبات، يستمر النّسيج المولد الْقُمِّيّ بإضافة الخلايا للجذور النامية وقمم المجموع الخضرى. مثلًا، تنقسم الخلايا المولدة القمية في نبات الذرة كلّ 12 ساعة، منتجة ½ مليون خليّة كلّ يوم في نبات الذرة النامي. ويمكن للأنسجة المولدة الجانبية أنْ تؤدي إلى زيادة سُمك بعض النباتات، ولكن الأنسجة المولدة بين العقدية في سيقان الأعشاب تؤدي إلى زيادة في الطول.

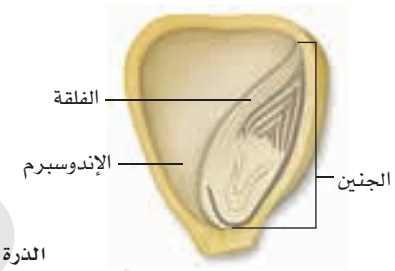
تتشكّل المغذيات المخزونة خلال عملية التّكوين الْجنينيّ

تحدث ثلاث خطوات رئيسة خلال التّكوين الْجنينيّ في النباتات الزّهريّة: الخطوة الأولى هي تكوين مصدر غذائي يوفر للجنين مصدرًا للطاقة خلال الإنبات، إلى أنْ يمتلك القدرة على القيام بالبناء الضّوئي. في النباتات الزّهريّة، يُنتج الإخصاب المزدوج الإندوسبرم للتغذية، وفي النباتات معراة البذور يكون الطّور الجاميتي الأنثوي مصدرًا للغذاء (انظر الفصل الـ 30). الخطوة الرئيسة الثانية هي تمايز أنسجة البويضة (من الطّور البوغي الأم) ليكوّن غلافًا صلبًا يوفر الحماية للجنين. تدخل البذرة عندئذ مرحلة السكون معلنة بذلك انتهاء عملية التّكوين الْجنينيّ. أما الخطوة الثالثة المهمة في النباتات الزّهريّة فهي تَحَوُّلُ جدار الخباء أو الكربلة إلى ثمرة، التي كثيرًا ما تصاحب التّكوين الْجنينيّ. وسوف يتمّ التطرق إلى كلّ من عمليات تكوين البذرة والإنبات إضافة إلى تكوين الثّمار في نهاية هذا الفصل، في حين سنركز في هذا الجزء على الغذاء المخزون.

يتمّ بناء النشا والدهون والبروتينات خلال مراحل التّكوين الْجنينيّ. توجد بروتينات التخزين في البذرة بكميات كبيرة؛ لأنّ الجينات المسؤولة عن تكوينها كانت الأولى التي قام علماء البيولوجيا الجزئية باستنساخها. إنّ توفير مصادر غذائية هو أحد التطورات التي ترفع من قدرة الجنين على البقاء والعيش.

ينقل الطّورُ البوغي في النباتات الزّهريّة الغذاءَ عبر الحامل. (في النباتات معراة البذرة، يقوم الحامل فقط بدفع الجنين إلى موقع قريب من الطّور الجاميتي الكبير الأنثوي الذي يُعَدُّ المصدر الغذائي) يحدث هذا بالتزامن مع تكوين الإندوسبرم الذي يوجد في النباتات الزّهريّة فقط (لوحظ وجود الإخصاب المزدوج في نوع من النباتات معراة البذور هو *Ephedra*). ويكون تكوين الإندوسبرم موسعًا أو ضَيِّقًا.





الشكل 37-11

الإندوسبرم في بذور الذّرة والفول. تحتوي بذور الذرة على إندوسبرم يبقى عند نضج البذرة إلا أن الإندوسبرم يختفي في بذور الفول، وتقوم فلقات الجنين بوظائف تخزين الغذاء.

في نبات جوز الهند، يكون الإندوسبرم (الحليب) سائلًا، وفي الذرة صلبًا، وفي الذرة البيضاء يتمدد بالحرارة ليكون جزءًا أبيض قابلًا للأكل. في الفول والبازيلاء، يستخدم الإندوسبرم خلال تكوين الجنين، ويتمّ خزن الغذاء في الفلقات الطّريّة والسّميكة (الشكل 37-11). ولأن آلية البناء الضّوئي مُصَمّمة للاستجابة للضّوء فإنّ من الضروري قيام البذرة بخزن المواد الغذائية؛ لمساعدتها على الإنبات والنمو، إلى الوقت الذي يصبح فيه النّبات البوغي النامي قادرًا على القيام بعملية البناء الضّوئي. تستخدم البذور المغمورة في التربة بأعماق كبيرة غذاءها المخزون كلّه في عملية التّنفّس قبل الوصول إلى السّطح والضّوء القادم من الشّمس.

يتشكل المجموع الجذري - الخضري والمحور القطري خلال عملية التّكوين الْجنينيّ. الجنين الناضج له خطة جسم بسيطة، وله القدرة على بناء المجموع الجذري والخضري من الأنسجة المولدة القمية بعد الإنبات. إضافة إلى ذلك يخزّن الإندوسبرم أو الفلقات الغذاء.

2-37 البذور

تحصل أحداث ذات أهمية كبيرة خلال المراحل الأولى لتكوين الجنين في النباتات الزّهريّة:

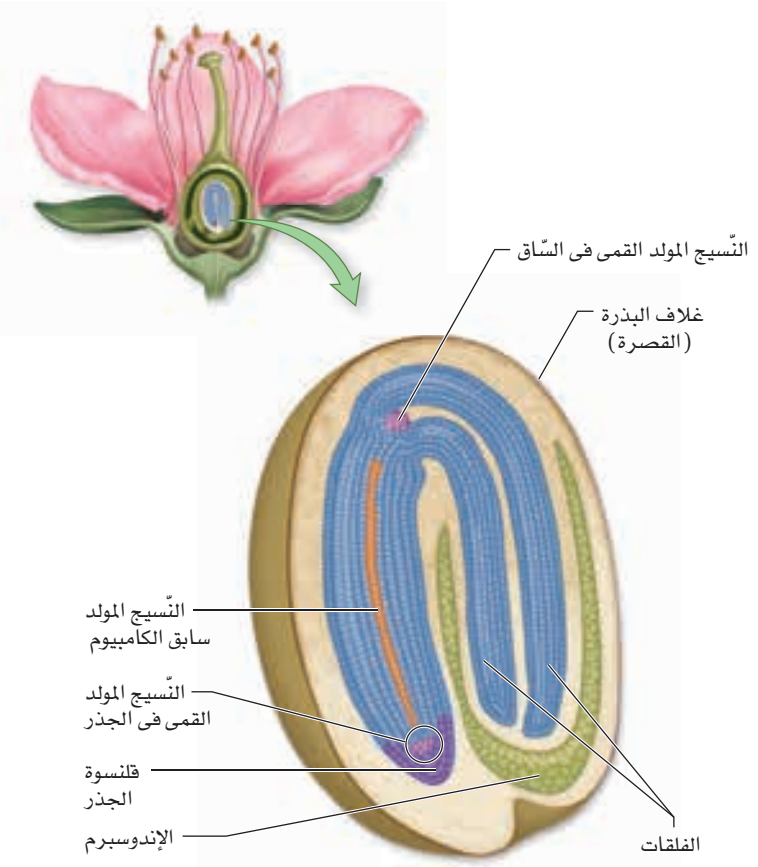
توقف التّكوين الْجنينيّ: في كثير من النباتات، تتوقف مراحل التّكوين الْجنينيّ مباشرة بعد تمايز الأنسجة المولدة والفلقات. الغلاف الخارجي - طبقات الخلايا الخارجية للبويضة - تشكّل **غلاف البذرة أو القصرة Seed Coat** غير المنفذ نسبيًّا الذي يحيط بالبذرة ذات الجنين الساكن والغذاء المخزون (الشكل 37-12).

تحمي البذورُ الجنينَ

تُعَدّ البذرةُ وسيلةً لانتشار الجنين إلى مناطق بعيدة. ونظرًا لكونها محاطة بطبقات واقية، فإنّ البذرة تمكّن الجنين النباتي من العيش في بيئات يمكن أنْ تميت النّبات الناضج.

وتُعدّ البذرة تطورًا مهمًّا لأربعة أسباب على الأقل، هي:

1. تحافظ البذرة على مرحلة السّكون خلال الظروف غير الملائمة، وتؤجل تكوّن النّبات ونموّه إلى المدة التي تتوافر فيها ظروف أفضل. وإذا كانت الظروف متوسطة، فإن النباتات تستطيع أنْ تجازف في السّماح لبعض البذور بالإنبات والإبقاء على بعضها الآخر في مراحل السّكون.
2. توفّر البذرةُ الحمايةَ القصوى للنبات الصّغير في مرحلة تكوينه الأكثر حساسية.
3. تحتوي البذور على الغذاء المخزون الذي يُمَكِّنُ النّبات اليانع من النّموّ والتّشكّل قبل أنْ يبدأ نشاط عملية البناء الضّوئي.
4. وربما قد يكون الأكثر أهمية هو أن البذور تطورت لتلائم الانتشار، وبذلك تُسَهِّلُ هجرة الطّرز الجينية النباتية إلى مواطن جديدة.



الشكل 37-12

تكوين البذرة. غُلِّفُ البويضة الناضجة هذه في النّبات الزهري تكوِّنُ غلافَ البذرة. لاحظ نمو الفلقتين بشكل منحنٍ لتلائم الحجم المحدد للبذرة بصورة جيدة. في بعض الأجنة، يكون النّسيج الْقُمِّيّ المولد للمجموع الخضري قد بدأ تكوين بعض بادئات الأوراق.

استقصاء

هل هذا جنين لذات الفلقة أم لذات الفلقتين؟

أ.

ب.

الشكل 37-13

تساعد الحرائق على تحرر البذور في بعض أنواع الصنوبر. تستطيع الحرائق القضاء على نبات الصنوبر البالغ، ولكنها تشجع نموّ الجيل اللاّحق. أ. مخاريط نبات الصّنوبر محكمة الإغلاق، ولا تستطيع البذورُ التي تحميها الحراشف الانفصال والتّحرّر. ب. تؤدي الحرارة العالية إلى تحرّر البذور.

حال تشكّل غلاف البذرة، تتوقف معظم الأنشطة الحيوية في الجنين. وتحتوي البذرة الناضجة على ما يقارب 5-20% ماء. في هذه الظروف، تكون البذرة والنّبات الصغير داخلها على درجة عالية من الاستقرار. والسببُ في توقف نمّوها بشكل أساسي هو الجفافُ المتزايد والحادُّ في الجنين، والانخفاضُ المصاحبُ في الأنشطة الحيويّة. لا يمكن للإنبات أنْ يحدث إلاّ بعد وصول الماء والأكسجين إلى الجنين؛ في هذه الأثناء، يمكن أنْ يتشقق غلاف البذرة بالخدش، أو بالتجميد والتذويب المتعاقِبَيْن. والمعروف أنّ البذور في بعض النباتات تبقى حية مئات السنين، وفي بعض الحالات النادرة، آلاف السنوات.

التكيفات الخاصة بالبذور تحسن فرص الحياة

كثيرًا ما تساعد تحورات خاصة في ضمان إنبات البذور فقط تحت ظروف ملائمة. ففى بعض الأحيان، توجد البذور داخل مخاريط صلبة لا تنفتح إلا إذا تعرضت لحرارة النيران (الشكل 37-13). تؤدي هذه الخاصيّة إلى إنبات البذور في مناطق مفتوحة دمرت الحرائق نباتاتها، وأصبحت المواد الغذائية متوافرة بكميات كبيرة، بعد أن خرجت البذور من النباتات التي حُرِقَتْ.

تنبت بذور نباتات أخرى فقط عند غسل أحد المثبطات الكيميائية من غلاف البذرة وإزالته، وبذلك تضمن إنباتها فقط عند توافر كميات كافية من الماء. إضافة إلى أن بذورًا أخرى لا تنبت إلا بعد مرورها في أمعاء الطيور أو الثدييات أو بعد تقيئها، حيث يضعف غلاف البذرة، ويُضمن انتشار البذور. وفى بعض الحالات، يمكن أنْ تنبت بذور النباتات المنقرضة في بعض المناطق تحت ظروف بيئية أفضل، وبذلك تعود النّبات إلى تلك المنطقة.

تُمكّن البذورُ الأجنةَ من البقاء ساكنة مددًا طويلة من الزمن، بحيث تكون محفوظة من الظروف البيئيّة الصعبة. وتزداد القدرة على انتشار الجنين بسبب البذور.

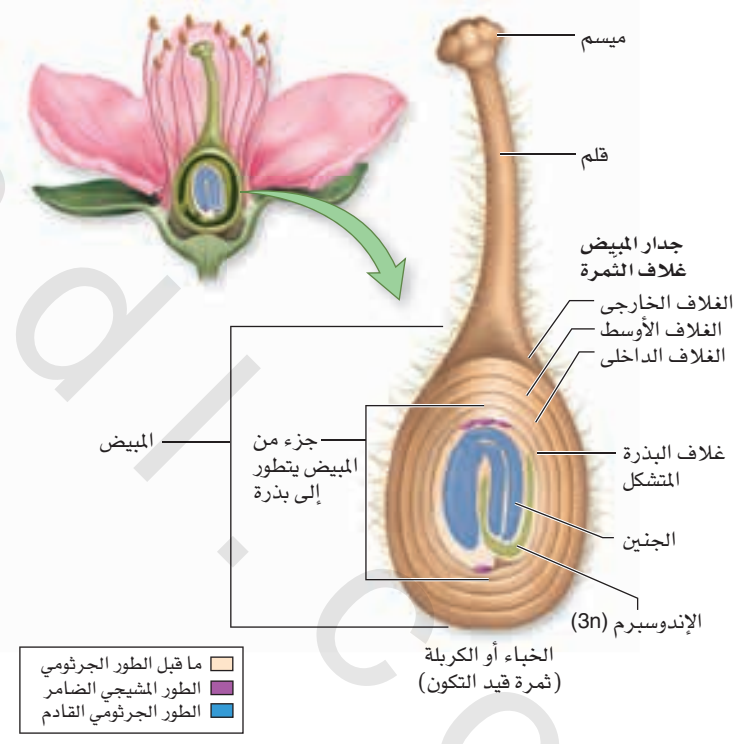
3-37 الثّمار

يعتمد بقاء أجنة النباتات الزّهريّة على قيد الحياة على تكوين الثّمرة، وتكوين البذرة أيضًا.

ببساطة، تعرف **الثّمار Fruits** بأنها مبايض (خباء أو كرابل) ناضجة. يبدأ مبيض الزهرة بالتحول إلى ثمرة خلال تكوين البذرة (الشكل 37-14). وفي بعض الحالات، يُسَبِّبُ وقوعُ حبوب اللقاح على الميسم بدءَ عمليات تكوين الثّمرة، ولكن على الأغلب، يتمّ تناسق فى تكوين كلّ من الثّمرة، وغلاف البذرة، والجنين، والإندوسبرم بعد حصول عملية التّلقيح. ويمكن أحيانًا أن تتكون الثّمار دون تكوين البذور. ففي نبات الموز، على سبيل المثال، يحصل إجهاض للبذرة، ولكنها تنتج مبايض ناضجة صالحة للأكل. ولذلك، فإنّ الموز يتكاثر لاجنسيًّا؛ لأنه لا يُكَوِّنُ أجنَّةً.

يبدي شكل الثّمرة التكيفات البيئية

تتكون الثّمرة بطرق متعددة، وتظهر فيها أشكال عدة من التحورات الملائمة للانتشار. إن وجود ثلاث طبقات في غلاف المبيض الذي يُسمّى غلاف الثّمرة *Pericarp*، يمكن أن يؤدي إلى تكوين أشكال نهائية محددة مسؤولة عن التنوع في الثّمار؛ طريّ وجافّ وصلب. يوضح (الشكل 37-15) بعض الفروق بين أنواع من الثّمار.



الشكل 37-14

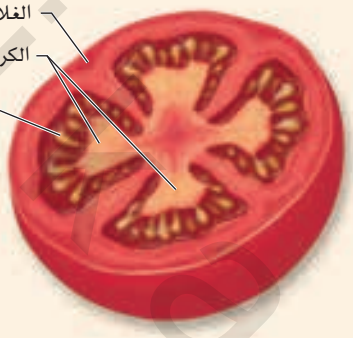
تكوين الثّمرة. غلاف الخباء أو الكربلة (المبيض) يتكوّن من ثلاث طبقات: الخارجية، والوسطى، والداخلية. وتدخل في تكوين الثّمرة في الأصناف النباتية المختلفة طبقةٌ واحدةٌ، أو هذه الطبقات جميعها.

استقصاء

يبين الشكل ثلاثة أجيال. اكتب مستوى العدد الكروموسومي للأنسجة في هذه الأجيال.

الثّمرة العنبية الحقيقية

أجزاء غلاف الثّمرة جميعها طرية، مع أنه قد توجد طبقة جلدية رقيقة. تحتوى الثّمرة العنبية على عدد مضاعف من البذور فى واحد أو أكثر من المبايض. تحتوى زهرة البندورة على أربع كرابل مندمجة، وتحتوى كل كربلة على عدد من البويضات التى تتحول إلى بذور.



ثمرة بقولية

تنفتح على طول حافتي الكربلة مع وجود بذور مرتبطة بالحواف. الفول والبازيلاء، بعكس الثّمار الطرية، الطبقات الثلاث للمبيض لا تتغلظ بشكل كثيف. غلاف الثّمرة جاف بشكل تام عند النضج.

الشكل 37-15

أمثلة على بعض أنواع الثّمار. يبين الشكل الخصائص المميزة لكلّ نوع من أنواع الثّمار أسفل الصورة. الثّمار الجافة: تمثل البقوليات والسمارا ثمارًا جافة. تفتح البقوليات، وتخرج منها البذور، ولكن هذا لا يحصل في ثمار السمارا. الثّمار الطرية، الحسلة البسيطة، العنبية الحقيقية: تنشأ من زهرة واحدة ومبيض واحد مكون من واحد أو أكثر من الكرابل. الثّمارُ المتجمعةُ والثّمارُ المتضاعفةُ ثمارٌ مركبةٌ طريةٌ تنشأ من أزهار تحتوي على أكثر من مبيض، أو من مجموعة من الأزهار.

الثّمار البسيطة الطرية الحسلية

تحتوي على بذرة واحدة داخل جزء صلب: مثل الخوخ، والكرز. كلّ طبقة فى غلاف الثّمرة مختلفة فى التركيب والوظيفة، ويكوّن الغلافُ الداخليُّ الجزءَ الصّلب.

الثّمار المتجمعة

تتكون من مجموعة من المبايض لزهرة واحدة. مثل الفراولة، والتوت الأسود. بخلاف البندورة، لا تكون المبايض ملتحمة، ولا تغطى بغلاف متصل.

السمارة (ثمرة مجنحة)

غير متفتحة، لها أجنحة تتكون من الأنسجة الخارجية مثل ثمار القيقب.

الثّمار المضاعفة

تكون كلّ زهرة ثمرة حول ساق واحدة. تلتحم الثمار كما يحصل فى الأناناس.

أ.

ب.

جـ.

د.

الشكل 37-16

الثّمار التي تنشرها الحيوانات. أ. الثّمار العنبية الحمراء اللامعة لنبات صريمة الجَدّي *Lonicera hispidula* شديدة الجذب للطيور. عندما تأكلها الطيور، قد تحملها إلى مسافات بعيدة، أما بداخلها أو ملتصقة بأرجلها أو أجزاء أخرى من الجسم، لأن لبّ الثّمار يحتوي موادّ لزجة. ب. سوف تعرف أنك اقتربت من ثمار نبات *Cenchrus incertus*، فأشواكها تمكنها من الالتصاق مع جسم أيّ من الحيوانات التي قد تمر بالقرب منها. جـ. يمتلك نبات الهندباء الكاذب *Pyrrhopappus carolinianus* مظلة تجعلها قابلة للانتشار عن طريق الرّياح. د . تنبت ثمرة نبات نخل جوز الهند *Cocos nucifera* على الشواطئ الرّمليّة. تُعَدُّ ثمرة جوز الهند من أهم الثّمار للإنسان في المناطق الاستوائية، وقد انتشرت وتوطنت في كثير من الجزر من خلال جرفها مع أمواج الماء.

من ناحية التّكوين الْجنينيّ، تُعَدُّ الثّمارُ أعضاء مثيرةً للاهتمام؛ لأنها تحتوي على ثلاثة أطوار جنينية في عبوة واحدة. فغلاف البذرة والثّمرة تعود للطور البوغي السابق. وما يتبقى من الطّور الجاميتي الذي ينتج البيضة يوجد في البذرة المتشكلة، ويمثل الجنين الطّور البوغي اللاّحق.

تُمكن الثّمار النباتات الزّهريّة من الوجود في مناطق شاسعة

إضافة إلى الطرق المختلفة التي تتكون فيها الثّمار، فإنها تمتلك وسائل متخصصة للانتشار. الثّمار الطرية غالبًا ما تكون ذات ألوان كالأسود، والأزرق، والأحمر اللامع، وتنتشر هذه الثّمار في العادة عن طريق الطيور أو الفقريات الأخرى (الشكل 37-16أ). وتمامًا كما في الأزهار الحمراء، فإنّ الثّمار الحمراء تشير إلى وجود كميات كبيرة من الغذاء. وعندما تأكل الطيور أو الحيوانات الأخرى هذه الثّمار، فإنها تحمل بذورها من منطقة إلى أخرى، وبذلك تنقل النباتات من بيئة إلى أخرى. عادة، تحتاج مثل هذه البذور إلى وجود غلاف صلب مقاوم لأحماض المعدة والأنزيمات الهاضمة.

الثّمارُ ذات الأشواك والخطافات كما في نبات البَر الشوكي Burrs (الشكل 37-16ب) ممثلةٌ لأصناف كثيرة من النباتات الموجودة في الغابات الشمالية ذات الأوراق المتساقطة. مثل هذه الثّمار غالبًا ما تنتشر عن طريق الثدييات كالإنسان عندما تلتصق بالفرو أو الملابس. يقوم السنجاب وغيره من الثدييات المشابهة بنشر الثّمار وطمرها مثل البلوط والمكسرات الأخرى، وينبت بعضُها عند توافر الظروف الملائمة، مثل المدة التي تعقب ذوبان الثلج في الرّبيع.

الثّمار الأخرى مثل القيقب والدردار والمُران، لها أجنحة تساعدها على الانتشار عن طريق الرياح. أما السّحلبيّات فلها بذور صغيرة جدًا كجزيئات الغبار يمكن لها أن تنتشر عن طريق الرياح. ويُعَدُّ نبات الهندباء مثالًا آخر لنباتات تنتشر ثمارها عن طريق الرياح (الشكل 37-16جـ)، وتنتشر نباتات أخرى مثل عشبة الحليب، والصفصاف، وخشب القطن بالطريقة نفسها. وهناك تحورات تمكن من الانتشار عن طريق الماء منها وجود فراغات هوائية محاطة بأغشية غير منفذة، تمنع نفاذ الماء. ينتشر جوز الهند وغيره من النباتات التي توجد على الشواطئ بصورة منتظمة بطفوها على سطح الماء (الشكل 37-16د). ويعد هذا النوع من الانتشار مهمًّا في وجود النباتات وتوطنها في الجزر البعيدة، مثل جزر هاواي.

لقد تمّ التوصل حسابيًّا إلى أن بذور 175 نوعًا من النباتات الزّهريّة قد وصل إلى جزيرة هاواي، وقد كان ثلث هذا العدد تقريبًا من أمريكا الشمالية. ومن ثمّ تمّ تطورها إلى نحو 970 نوعًا من الأنواع النباتية الموجودة هناك اليوم. بعض هذه البذور انتقل عن طريق الرّياح، وبعضها الآخر نُقِلَ عن طريق ريش الطيور وأمعائها، إضافة إلى أنواع أخرى وصل طافيًا عبر مياه المحيط الهادي. ويُعَدّ الانتشار مهمًّا حتى لنباتات الأراضي الأمريكية وهاواي، وهذه الأهمية تخص النباتات ذات البيئة المتقطعة، مثل أعالي الجبال، والمناطق المغمورة بالماء أو الصخور ذات الاتجاه الشمالي.

الثّمارُ ابتكارٌ في النباتات الزّهريّة؛ تتكون من جدار الخباء أو الكربلة لحماية البذور والمساهمة بشكل كبير في انتشار الأجنة.

4-37 الإنبات

عندما تكون الظروفُ مناسبةً يخرجُ الجنينُ من حالة الجفاف التي كان فيها، ويبدأ باستغلال الغذاء المخزون لينمو. تتضمن عملية **الإنبات Germination** عدة مراحل. ويميزها عادة **خروج الجذير Radicle** (الجذر الأولي) عبر غلاف البذرة.

تُحَفِّزُ إشارات وظروف خارجية عملية الإنبات

تبدأ عملية الإنبات عندما تمتص البذرةُ الماءَ، وتستأنف فيها عمليات الأيض. تستطيع البذرة امتصاص كميات كبيرة من الماء. ويؤدي الضغط الأسموزي المتولد داخل البذرة، والذي يكون كبيرًا، إلى تحطيم غلافها. فى هذه الأثناء، يُعَدُّ توافر الأكسجين ضروريا للجنين النامي. فالنباتات كالحيوانات تمامًا؛ تحتاج إلى الأكسجين للقيام بعملية التنفس الخلوي. إلا أن عددا قليلًا من النباتات لها بذور قادرة على الإنبات بنجاح تحت مستوى سطح الماء، فنبات الأرُزِ مثلا طوّرَ قدرة على تحمل الظروف اللاهوائية.

ومع أن البذور الساكنة قد تمتص كمية كافية من الماء، وتقوم بعملية التنفس، وتصنع البروتينات و RNA، ويبدو أنها تقوم بأيض طبيعى، إلا أنها لا تستطيع الإنبات دون وجود إشارات إضافية من البيئة. هذه الإشارات قد تكون ضوءا بطول موجة معينة، وبشدة مناسبة، أو مجموعة من الأيام ذات الحرارة المنخفضة، أو ببساطة مرور فترة أيام ذات حرارة ملائمة للإنبات.

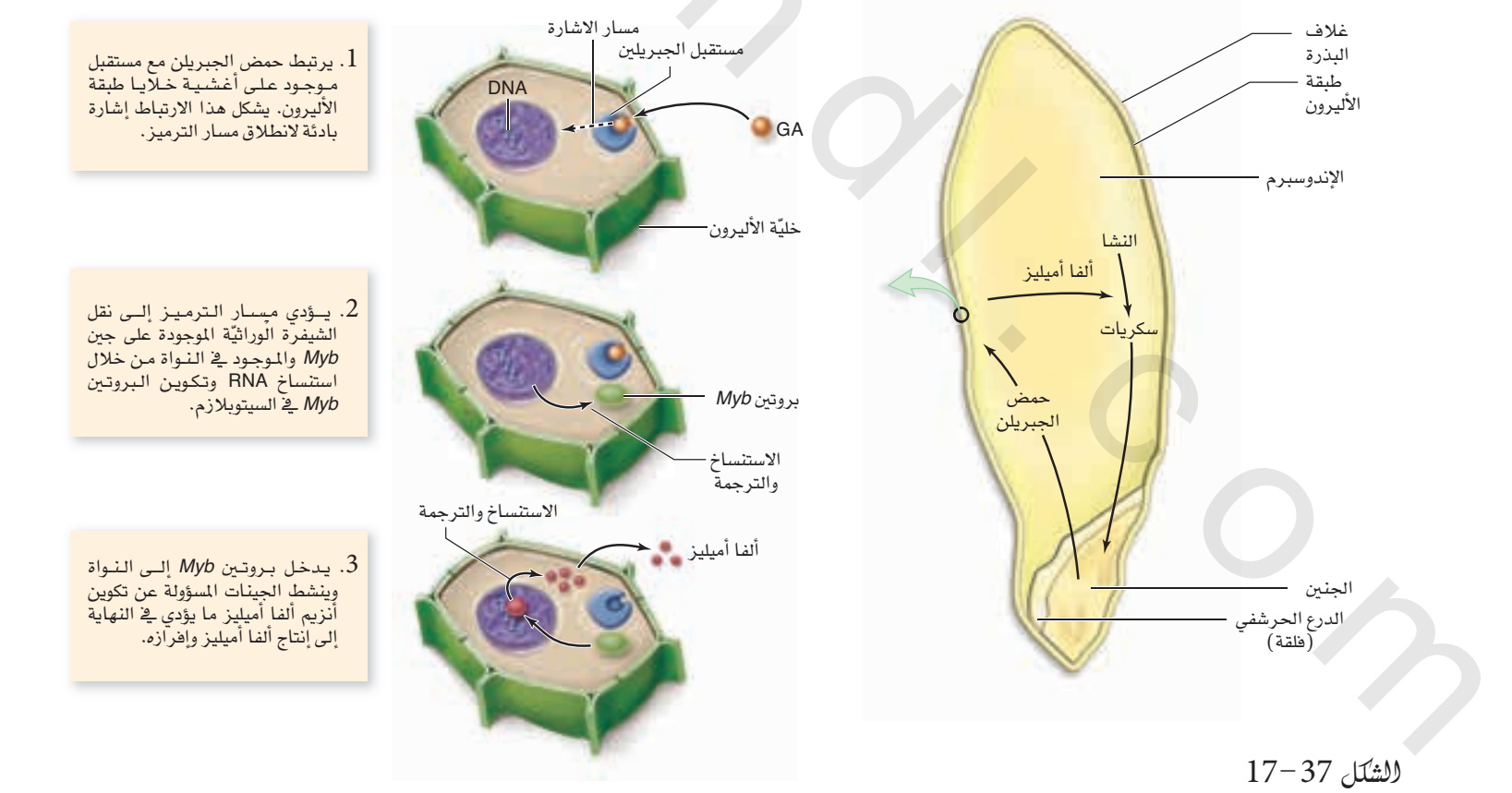
لا تنبت بذور عدة نباتات إلا إذا تمّ **ارتباعها Stratified**؛ أي بقاؤها لفترة زمنية معينة تحت درجات حرارة منخفضة. تمنع هذه الظاهرة نموَّ بذور النباتات التي توجد في المناطق ذات الفصول الباردة من الإنبات، حتى انتهاء فترة الشتاء، وبذلك تحمي النباتات اليانعة من ظروف البرودة القاسية.

تحدث عملية الإنبات تحت درجات حرارة تمتد من 5° إلى 30° س مع أن بعض الأصناف النباتية والبيئات لها مدى حراري أقل لحصول الإنبات. لا تنبت بعض أنواع البذور حتى تحت أفضل الظروف، وفى بعض الأنواع تبقى نسبة كبيرة من البذور ساكنة مدة غير محدودة من الزمن موفرة بذلك مستودعًا جينيًّا له أهمية تطورية كبيرة للمجموعات النباتية القادمة. وتسمى البذور، غير النابتة فى التربة في منطقة معينة **بنكَ البذورِ Seed bank**.

يدعم الغذاء المخزون حياة البادرة النامية

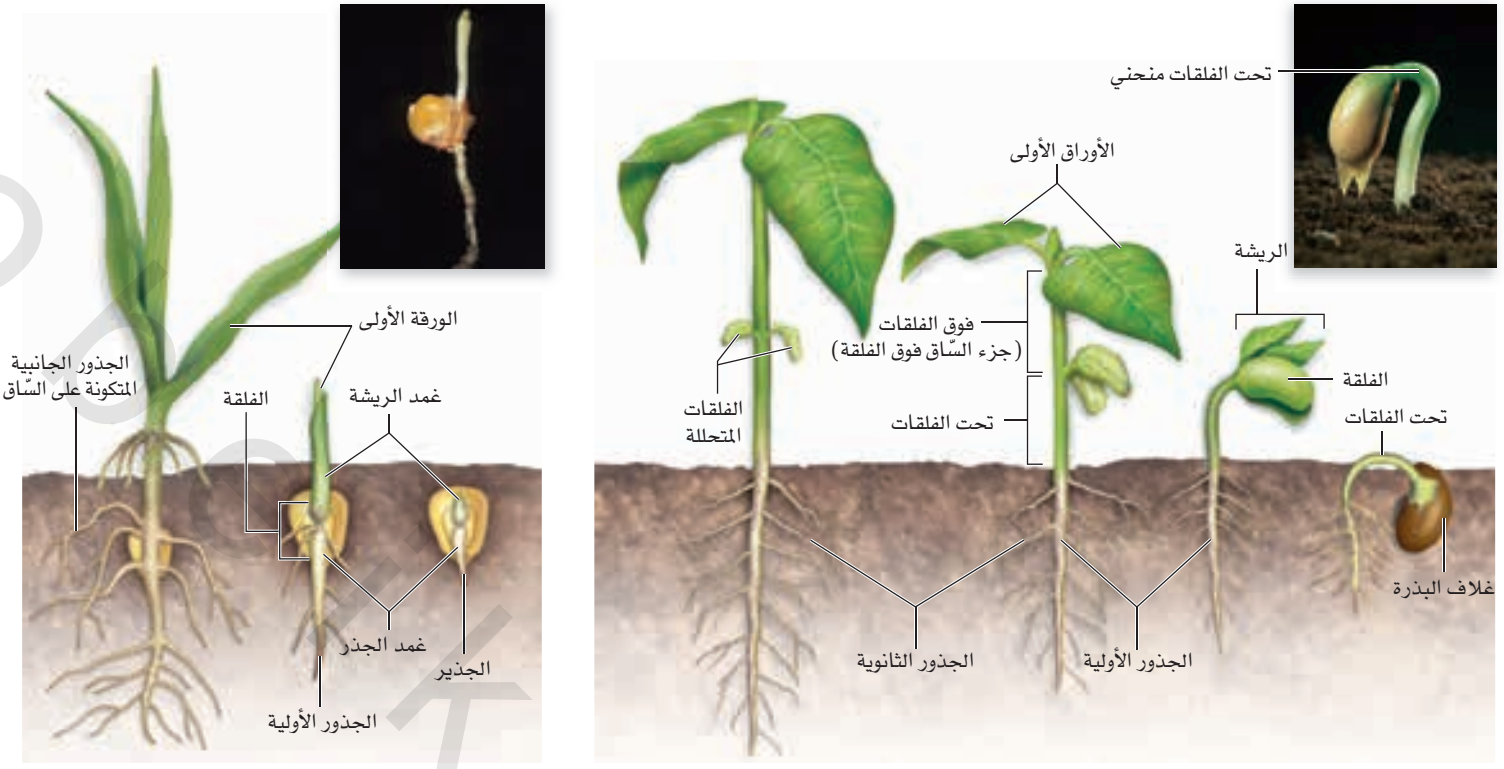
يحصل الإنبات عندما تصبح الظروف الداخلية والخارجية جميعها ملائمة. تحتاج عملية الإنبات وبداية تكون النبات إلى استهلاك الطاقة المخزونة في حبيبات النشا الموجودة داخل البلاستيدات **المخزنة للنشا** (بلاستيدات غير ملونة تخزّن النشا) **Amyloplasts**، وفي أجسام بروتينية. تُعَدُّ الزيوت والدهون غذاء مخزونًا في بعض أنواع البذور. خلال عملية الإنبات، يتمّ تبسيط هذه المواد وتحليلها لإنتاج كلّ من الجليسرول والأحماض الدهنية التي تستخدم لإنتاج الطاقة عبر عملية التنفس الخلوي، ويمكن تحويلها إلى سكر الجلوكوز. واعتمادًا على نوع النّبات، فإنّ أيًّا من هذه الأشكال من الغذاء المخزون يمكن أنْ يُخَزنَ في الجنين أو في الإندوسبرم.

في بذور الحبوب، تتحور الفلقة الأحادية إلى تركيب كبير يُسمّى **الدرعَ الحرشفيَّ Scutellum** (الشكل 37-17). يُستخدم الغذاء المخزون بكميات كبيرة في



الشكل 37-17

التنظيم الهرموني لنمو البادرات



الشكل 37-18 الإنبات.

المراحل المبينة هي: أ. نبات ثنائي الفلقة – الفاصوليا *Phaseolus vulgaris* و ب. نبات أحادي الفلقة – الذرة *Zea mays*. لاحظ أنّ انحناءَ تركيب يدعى تحت الفلقات (الجزء الموجودة أسفل الفلقات) يحمي القمة النامية الغضة في ساق نبات الفاصوليا خلال خروجها من التربة. تتمّ حماية جذير الذرة من خلال طبقة واقية تسمى غمدَ الجذر، إضافة إلى قلنسوة الجذر الموجودة في كلّ من الفاصوليا والذرة. يوفّرُ غلافٌ مكوّنٌ من مجموعة من الخلايا، ويدعى غمدَ الريشة بدلًا من تحت الفلقات الحمايةَ لقمة السّاق النابتة في الذّرة.

هذا التركيب في بداية عملية الإنبات. ويوفر الدرع الحرشفي لاحقًا خلال تكوين البادرة تركيبًا ناقلًا للغذاء من الإندوسبرم إلى أجزاء الجنين المختلفة.

يُعَدُّ استهلاك النشا المخزون خلال إنبات البذور من أفضل الأمثلة على كيفية عمل الهرمونات خلال التّكوين الْجنينيّ للنبات (الشكل 37-17). يقوم الجنين بإنتاج حمض الجبريلين – وهو هرمون يشكل إشارة للخلايا المشكلة للطبقة الخارجية من الإندوسبرم والمسماة **طبقة الأليرون Aleurone** لتبدأ بإنتاج الأنزيم ألفا أميليز. هذا الأنزيم مسؤول عن تحلل النشا الموجود في الإندوسبرم بشكل يدعى أميلوز إلى سكريات بسيطة تمر عبر الدرع الحرشفي إلى الجنين.

يستطيع حمض الأبسيسيك، وهو هرمون آخر مهم في إحداث السكون في البذور، أن يمنع تحلل النشا. وتنخفض مستويات هذا الحمض عندما تبدأ البذرة امتصاص الماء (عمل الهرمونات النباتية تمّ تغطيته في الفصل الـ 41).

تأخذ النباتات الحديثة موقعها في البيئة، وتبدأ بعملية البناء الضّوئي

خلال اندفاع الطّور البوغي عبر غلاف البذرة، توجه نفسها استجابة للبيئة، بحيث تنمو جذورها نحو الأسفل، وساقها نحو الأعلى. تتكون النموات الحديثة عن طريق أنسجة مولدة حساسة يتمّ حمايتها من أخطار البيئة إلى أنْ يصبح المجموع الخضري قادرًا على القيام بعملية البناء الضّوئي، ويبدأ تشكّل المراحل بعد الجنينية ونموّها. يوضح (الشكل 37-18) عملية الإنبات، وما يتبعها من عمليات تكوين جنيني لجسم النّبات في ثنائية الفلقات وأحادية الفلقة. تتمّ حماية السيقان والجذور المتكونة في النباتات والجذور المتكونة في النباتات أحادية الفلقة عن طريق طبقات نسيجية إضافية تُدعى غمد الرّيشة *Coleoptile* التي تحيط بالسويقة، وغمد الجذر *Coleorhiza* الذي يحيط بالجذير. إستراتيجيات أخرى تتمثل في وجود جزء منحنٍ من السّاق المتكون ليحمي السّاق خلال اندفاعها نحو سطح التربة، وبذلك فإنّ الأنسجة ذات الجدران القوية تساعد الاندفاع خلال التربة.

إنّ طريقة خروج الجذير والسويقة من البذرة خلال عمليات الإنبات تختلف من نبات إلى آخر؛ ففي معظم النباتات، يخرج الجذير قبل السويقة، ويقوم بتثبيت النّبات المتكون (البادرة) في التربة (انظر الشكل 37-18). في نباتات مثل البازيلاء والذرة، تبقى الفلقات تحت سطح التربة، وفي نباتات أخرى، مثل الفاصوليا، والفجل والأبصال، ترتفع الفلقات فوق سطح التربة. وفي هذه الحالة، قد تصبح الفلقات خضراء تساعد على عملية البناء الضّوئي، وتغذية النّبات المتكون، وقد تجفّ، وتتساقط بسرعة في حالات أخرى. وتعدّ المدة الزمنية من بداية عملية الإنبات إلى تكوين النّبات الحديث حرجةً لبقاء النّبات؛ لأنّ النّبات الحديث يتّصف بحساسية كبيرة للأمراض والجفاف.

تشترك عوامل داخلية وخارجية في تنظيم انطلاق عملية الإنبات، حيث يتبع ذلك انتقال الغذاء إلى الجنين لتغذيته إلى أن يتكوّن المجموع الخضري، وتتمكن النباتات من القيام بعملية البناء الضّوئي.

مراجعة المفاهيم

37-1 تكوين الجنين

تبدأ عمليات التّكوين الْجنينيّ في النباتات الزّهريّة عندما يتمّ إخصاب خليّة البويضة وانقسام الزّيجوت الناتج. الإخصاب الثنائي ينتج مصدرًا للغذاء – الإندوسبرم. (الشكل 37-1).

- الانقسام الأول في الزّيجوت غير متناظر، وينتج خليتين: إحداهما صغيرة والأخرى كبيرة، حيث تستمر كلاهما في الانقسام.
- تؤدي انقسامات الخليّة الكبيرة إلى تكوين الحامل الطويل الذي ينقل الغذاء إلى الجنين المتكون (الشكل 37-2).
- الانقسامات الأولى في الخليّة الصغيرة تؤدي إلى تكوين تركيب كروي يشكّل محور الجنين (الشكل 37-5).
- يعتمد محور الجذر – المجموع الخضري على موقع الخلايا نسبة إلى الحامل. فالخلايا القريبة من الحامل تصبح النّسيج الْقُمِّيّ النامي للجذر، في حين تكوِّن الخلايا في الطرف الآخر النّسيجَ الْقُمِّيّ النامي للسويقة، ويتمّ تنظيم تكوين هذه الأنسجة بشكل منفصل.
- يتكوّن المحور القطري من الخلايا التي تنقسم لاحقًا بشكل موازٍ وعمودي على سطح الجنين.
- تتشكّل ثلاثة أنواع من الأنسجة بشكل قطري حول محور الجذر – المجموع الخضري، هي: النّسيج المولد للحزم الوعائية، والنّسيج المولد الأساسي، والنّسيج المولد الأدمي.
- يكوّن النّسيجُ الداخليُّ المولِّدُ للحزم الوعائيّة النّسيجَ الوعائيَّ لينقلَ الماء والغذاء.
- يكوّن النّسيجُ المولِّدُ الأساسيُّ معظمَ الأنسجة الجنينية التي تخزِّنُ الماء والغذاء.
- يكوّن النّسيجُ المولِّدُ الأدميُّ نسيجَ البشرة الذي يحمي النّبات من الجفاف، والثّغور التي تُنَظِّمُ تبادل الغازات، وتقلل من خسارة الماء.
- يتشكل الجنين النباتي نتيجة للاختلاف في مستوى ومعدل الانقسامات الخلوية وَتشَكُّل الخلايا.
- يتجدد شكل النّبات من خلال المستوى الذي تنقسم فيه خلاياه.
- تكوّن المرحلةُ الكرويةُ بروزاتٍ تسمى الفلقات، ويكون عددُها واحدةً (أحادية الفلقة) أو اثنتين (ثنائية الفلقة).
- يتشكل النّسيج المولد الْقُمِّيّ بنهاية عملية التّكوين الْجنينيّ، وتصبح البذور ساكنة.
- خلال التّكوين الْجنينيّ، تقوم النباتات الزّهريّة بثلاث خطوات مهمة وحرجة: أ- خزن الغذاء في الفلقات أو الإندوسبرم. ب- تمايز خلايا البويضة وأنسجتها لتكوين غلاف البذرة. جـ- تميز أنسجة الخباء أو الكربلة (المبيض) لتكوين الثّمار.

37-2 البذور (الشكل 37-12)

يحمي غلافُ البذرةِ غير المنفذ الجنينَ الساكنَ، ويمنعُ حصول الإنبات حتى يحين الوقت الذي تصبح فيه الظروف الْبيئيّة ملائمة.

- تُعدّ البذور تكيفية من خلال أربعة طرق، هي:
  1. تبقى ساكنة خلال الظروف غير الملائمة.
  2. تحمي النّبات المتكون عندما يكون شديد الحساسية.
  3. توفر الغذاء للجنين، حتى يحين الوقت الذي يصبح فيه قادرًا على إنتاج غذائه بنفسه.
  4. تسهل الانتشار.
- يتطلب الإنبات أن يصبح غلاف البذرة منفذًا لتمكين الماء والأكسجين من الوصول إلى الجنين.
- تضمن تحورات خاصة أن يتمّ الإنبات فقط عندما تصبح الظروف ملائمة. يمكن أن يصبح غلاف البذرة ضعيفًا من خلال الحرائق، أو عند مرور البذرة في الجهاز الهضمي لبعض الحيوانات، أو التجميد والتذويب المتتابعين.
- يحصل الإنبات في بعض النباتات فقط عند توافر كميات كافية من الماء لغسل بعض المواد الكيميائية المانعة لعملية الإنبات في غلاف البذرة.

37-3 الثّمار (الشكل 37-14)

يعتمد بقاء أجنة النباتات الزّهريّة على نضج البذور داخل الثّمار المتكونة.

- الثّمارُ مبايض ناضجة، ويتوافق تكوينها مع تطوّر كلّ من الجنين والإندوسبرم وغلاف البذرة.
- يعتمد نوع الثّمار على مصير غلاف الثّمرة (جدار الكربلة). فالثّمار قد تكون طرية أو صلبة، وقد تكون بسيطة (أحادية الكربلة)، أو متجمعة (مجموعة كرابل)، أو مضاعفة (أكثر من زهرة).
- الثّمار فريدة؛ لأنها تحتوي على أنسجة مثل غلاف البذرة المتشكل من الطّور البوغي السابق وبقايا الطّور الجاميتي المكون للبيضة والجنين، الذي يشكل الطّور البوغي القادم.
- تمتلك الثّمار آليات عدة تمكنها من الانتشار. فقد تؤكل وتنتقل عن طريق الحيوانات، وقد تُدْفَنُ في أماكن مختلفة عن طريق الحيوانات الآكلة للأعشاب. ويمكن أنْ تلتصق على بعض الحيوانات عن طريق الأشواك أو الخطافات، وبذلك تنتقل إلى مسافات طويلة. ويمكن أن تحملها الرّياح، أو تنتقل طافية على سطح الماء.

37-4 الإنبات

تحفز ظروف داخلية وخارجية عملية الإنبات التي يحددها ظهور الجذير أو الجذر الأولي عبر غلاف البذرة، حيث يقوم بتثبيت النّبات المتكون في التربة.

- تبدأ عملية الإنبات بعد امتصاص البذرة للماء والأكسجين اللازم للأنشطة الحيوية المختلفة.
- في كثير من الأحيان، تحتاج عملية الإنبات إلى إشارات بيئية مثل ضوء بطول موجات محددة، ودرجات حرارة ملائمة للإنبات، أو ارتباع (فترة من درجات الحرارة المنخفضة).
- تحتاج عملية الإنبات إلى مصدر للطاقة، مثل النشا المُخَزَّن في البلاستيدات المخزنة، أو البروتينات والدّهون والزّيوت.
- تبدأ عمليات أيض النشا من خلال نشاط هرمون حمض الجبريلين الذي يعطي الإشارة للطبقة الخارجية من الإندوسبرم، أي طبقة الأليرون لإنتاج أنزيم ألفا أميليز. ويمكن أنْ يُثَبَّطَ أيضُ النشا عن طريق حمض الأبسيسيك.
- تُحمى الجذور والسيقان المتكونة عن طريق أنسجة إضافية في النباتات أحادية الفلقة. وفي ثنائية الفلقة الحقيقية، يُمكن حمايتها عن طريق الجزء المنحنى من السّاق الذي يخرج أولًا قبل القمة النامية (الشكل 37-18).
- يمكن للفلقات الوجود تحت مستوى سطح التربة أو فوقه، ويمكن أنْ تصبح قادرة على القيام بعملية البناء الضّوئي. أو ببساطة، يمكن أن تجف، وتتساقط عند انتهاء محتوياتها من الغذاء المخزون.
- عندما يصبح المجموع الخضري قادرًا على القيام بعملية البناء الضّوئي، يدخل النّباتُ الغضُّ فترة التّكوين والنمو بعد الْجنينيّ.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. الطّفرة التي تفقد وظيفة الجين المشكل للحامل في نبات رشاد الجدران تؤدي إلى تكوين جنينين في الذرة. بعض دراسة التعبير عن هذا الجين في الأجنة البرية المبكرة تجد كمياتٍ كبيرةً من mRNA المستنسخ من جين الحامل في خلايا الحامل قيد التطور. الوظيفة المحتملة لبروتين الحامل هي:
   أ. حثّ تكوين النّسيج الْجنينيّ.
   ب. حثّ تكوين نسيج الحامل.
   جـ. تثبيط التّكوين الْجنينيّ للحامل.
   د. تثبيط تكوين الحامل في الجنين.
2. يمكن للتكوين الْجنينيّ النباتي أن يتغير إذا عُكس عمل الجينات *SHOOTMERISTEMLESS (STM)*، و*MONOPTEROUS (MP)* بالصورة:
   أ. المحور الْجنينيّ – الحامل سوف يُعكس.
   ب. المحور الْجنينيّ – الحامل سوف يتضاعف.
   جـ. المحور الْجنينيّ – المجموع الخضري سوف ينعكس.
   د. المحور الْجنينيّ – المجموع الخضري سوف يتضاعف.
3. الفرق الأكثر وضوحًا وخصوصًا بين التكوينين الجنينيين: النباتي والحيواني هو:
   أ. تتكون النباتات من بيضة غير مخصبة، في حين تتكون الحيوانات من بيضة مخصبة.
   ب. بينما تحافظ الخلايا النباتية على موقعها بشكل نسبي بعد انقسامها، تتشكّل الحيوانات بطريقة تتضمن حركة الخلايا في الجنين.
   جـ. أجنة النباتات تحتوي على مصدر غذائي، في حين أنّ على الأجنة الحيوانية الحصول على الغذاء منذ بداية تكوينها.
   د. تنتج الأجنة النباتية غذاءها من خلال عملية البناء الضّوئي.
4. الشيء الذي لا يظهر واضحًا عند النظر إلى الجنين النباتي هو:
   أ. القول: إنّ النّبات أحادي أو ثنائي الفلقات.
   ب. التنبؤ بالموقع الذي ستكون فيه السّاق.
   جـ. التنبؤ بالموقع الذي سيكون فيه الجذر.
   د. معرفة الوقت الذي ستنبت فيه البذرة.
5. الشيء غير الصحيح بالنسبة إلى بذور النباتات الزّهريّة بعد نضجها هو:
   أ. يوجد الغذاء المخزون في الفلقات أو في الإندوسبرم.
   ب. كلّ من القمة النامية المولدة للساق والجذر موجودة.
   جـ. تكون الأنسجة الناضجة متصلة مع الحامل.
   د. بقاء الجنين متصلا مع الحامل.
6. أطول مدة يمكن أن تبقى فيها البذرة ساكنة هي:
   أ. أيام. ب. أسابيع.
   جـ. أشهر. د. سنوات.
7. الثّمار أعضاء معقدة مختصة في نشر البذور. النّسيج الذي لا يشارك في تكوين الثّمرة الناضجة هو النسيج:
   أ. البوغي من الطّور السابق. ب. الجاميتي من الطّور السابق.
   جـ. البوغي من الطّور اللاحق. د. الجاميتي من الطّور اللاحق.
8. إذا أردت التأكد من أنّ البذرة ستفشل في الإنبات، فإنّ الطريقة الأكثر نجاحًا في هذا المجال هي:
   أ. منع تشرب الماء وامتصاصه. ب. منع الجفاف.
   جـ. منع الإخصاب. د. منع الانتشار.
9. يؤثر فقدان الجين المسؤول عن تكوين أنزيم ألفا أميليز في إنبات البذور في أنه:
   أ. سوف يمنع تشرب البذور للماء.
   ب. سوف يصاب الجنين بالمجاعة.
   جـ. لن يتشقق غلاف البذرة.
   د. سوف تنبت البذور قبل أوانها أو بشكل ناقص.
10. العبارة الخطأ في عملية التّكوين الْجنينيّ هي:
   أ. تؤدي الهرمونات دورًا بسيطًا في عملية التّكوين الْجنينيّ التامة.
   ب. كثير من خطوات التّكوين الْجنينيّ تحددها الجينات.
   جـ. تتطوّر بادئات الجذور والسيقان خلال التّكوين الْجنينيّ.
   د. لا شيء مما ذكر.
11. العامل الذي يُعَدّ ضروريًّا لعملية الإنبات هو:
   أ. الأكسجين. ب. ثاني أكسيد الكربون.
   جـ. الضّوء. د. أ + ب.
12. الفلقات:
   أ. تنشأ من القمة النامية للساق.
   ب. تبقى نشطة مدة طويلة خلال حياة النّبات.
   جـ. توجد على شكل أزواج في ثنائية الفلقة وواحدة في أحادية الفلقة.
   د. لا شيء مما ذكر.
13. إذا كان النّبات لا يحتوي على جين *WOODEN LEG* فإنه:
   أ. لن يكون قادرًا على نقل الماء إلى الأوراق.
   ب. سيكون خاليًا من اللحاء والخشب.
   جـ. سيكون غير قادر على نقل الغذاء العضوي المتكون خلال عملية البناء الضّوئي.
   د. كلّ ما ذكر.
14. إذا كانت البذرة النابتة لا تحتوي على حامل، فمن المحتمل أنها:
   أ. لن تتطور لعدم نقل الغذاء من الإندوسبرم إلى الجنين.
   ب. سوف تقوم بعملية البناء الضّوئي حالًا.
   جـ. سوف تنمو بسرعة لتصعد فوق سطح التربة.
   د. سوف تتكون بشكل صحيح.

أسئلة تحدٍّ

1. إذا كنتَ تقومُ بكتابة سيناريو فيلم خيال علمي عن أفضل طريقة حياة لحيوان ونبات يمكن أنْ تُستخدمَ لعمل نوع خارق من المخلوقات. اشرح أسس التّكوين النباتي التي ستدخلها في تكوين هذا النوع.
2. وُجِدَتْ أقدمُ البذور التي يمكن أن تنبت بنجاح في منطقة Yukon في المنطقة القطبية الكندية عام 1950. استخدام طريقة تحديد العمر بالكربون المشع يثبت أن عمر البذور نحو 10,000 سنة. اشرح الطرق أو الآليات التي استخدمَتْها هذه البذور لتبقى ساكنة هذه المدة الطويلة من الزمن.
3. كيف يمكن أن تكون نجاحات التكاثر في النباتات الزّهريّة قد تغيرت فيما لو تكونت البذور دون ثمار؟

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™

Open Learning