شارح: هرمونات النبات

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نلخِّص وظائف الهرمونات المختلفة في النبات، ونَصِف التجارب البسيطة لدراستها.

أثناء سيرك في أحد المتنزَّهات خلال فصل الخريف، هل تساءلتَ عن سبب تغيُّر لون أوراق الشجر وتساقُطها؟ أو ربما رأيتَ الفاكهة تنضج وتساءلتَ، كيف يحدُث هذا؟ تلك بعضٌ من التغيُّرات المذهلة التي قد تمرُّ بها النباتات موسميًّا، فضلًا عن التغيُّرات التي قد تمرُّ بها في يوم واحد. تخضع هذه التغيُّرات لتحكُّم هرمونات النبات.

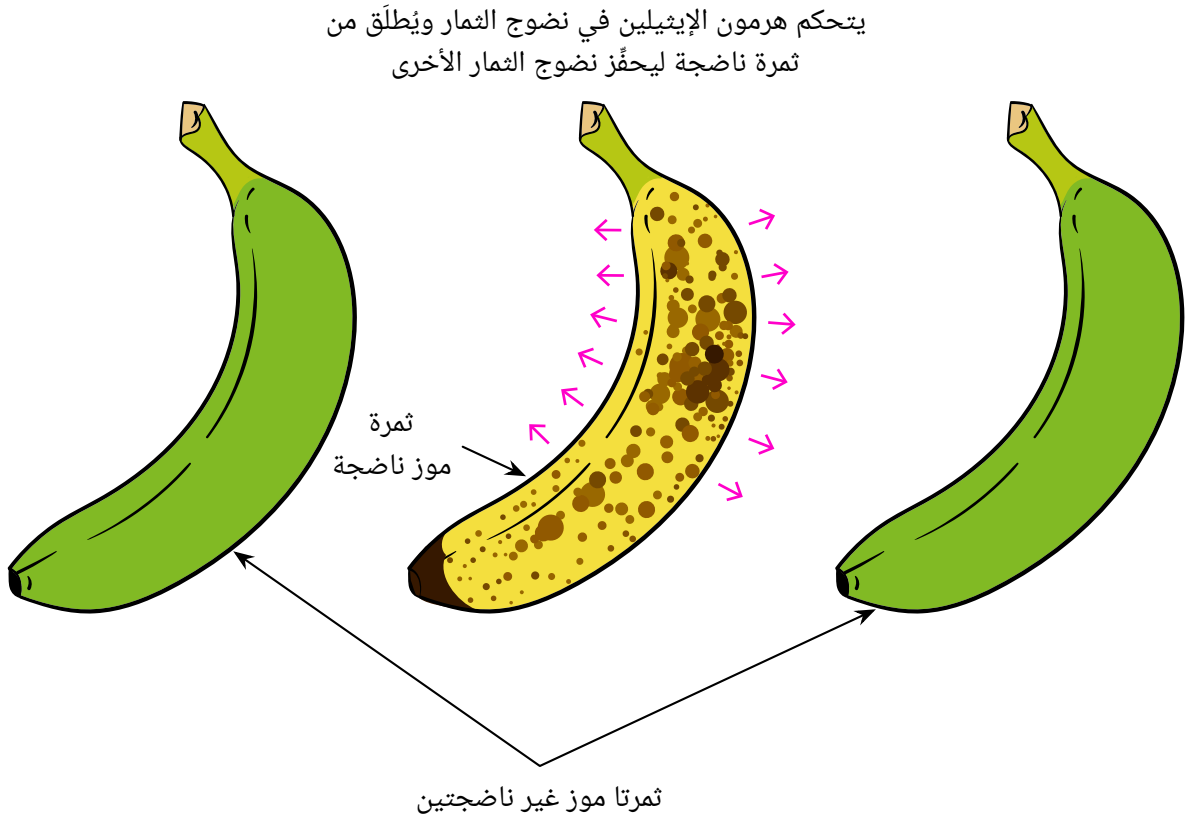
الهرمونات نواقل كيميائية تنتقل إلى جميع أجزاء النبات لمساعدته في الاستجابة إلى المثيرات. والمثيرات تغيُّرات تحدُث في بيئة الكائن الحي الداخلية والخارجية، ومن شأنها أن تُحدث تأثيرًا داخل الكائن الحي. فالهرمون الذي يتحكم في نضوج الثمار يُسمى الإيثيلين، وربما لاحظتَ حدوث ذلك عند نضوج مجموعة من ثمار الموز. يُطلَق الإيثيلين أيضًا في صورة غاز بتركيزات أكبر أثناء نضوج ثمار الموز. ويتسبَّب هذا الغاز في نضوج جميع الثمار الأخرى أيضًا، كما يمكنك أن ترى في الشكل 1. ولهذا السبب، إذا أردتَ أن تنضج ثمار الموز بسرعة، فكل ما عليك فعله هو إضافة ثمرة موز ناضجة إلى الوعاء، حتى يبدأ الإيثيلين المنبعث من الثمرة الناضجة في إنضاج بقية الثمار!

تعريف: الهرمون

الهرمونات نواقل كيميائية تنتقل في جميع أنحاء جسم الكائن الحي، عادةً من خلال الدم أو أيِّ وسط ناقل آخر.

مصطلح رئيسي: الإيثيلين (الإيثين)

الإيثيلين هرمون نباتي غازي يحفِّز نضوج الثمار.



الشكل ١: رسم يوضِّح كيف يتسبَّب هرمون الإيثيلين الذي يُطلَق بواسطة ثمرة موز ناضجة في نضوج ثمار الموز المجاورة غير الناضجة.

سنركِّز في هذا الشارح على بعض الهرمونات الرئيسية وهي الأوكسينات، والجبريلينات، وحمض الأبسيسيك. سنبدأ بتناول دور الأوكسينات في النباتات.

الأوكسينات اسم مجموعة من الهرمونات التي عادةً ما تنتجها الخلايا الموجودة في أطراف المجموع الخضري والمجموع الجذري للنبات. بمجرد إنتاجها، تنتشر الأوكسينات من خلية إلى أخرى لتتمكن من الوصول إلى مختلف أجزاء النبات. تؤدي الأوكسيناتُ العديدَ من الوظائف المختلفة في النبات. والوظيفتان اللتان سنتناولهما هما قدرة الأوكسينات على التحكم في استطالة الخلايا والانتحاء، وقدرتها على الحفاظ على السيادة القِمِّيَّة. كما يمكنها أيضًا أن تمنع السقوط المبكر للأوراق والثمار وتحفيز النبات على استخدام الإيثيلين لإنضاج الثمار.

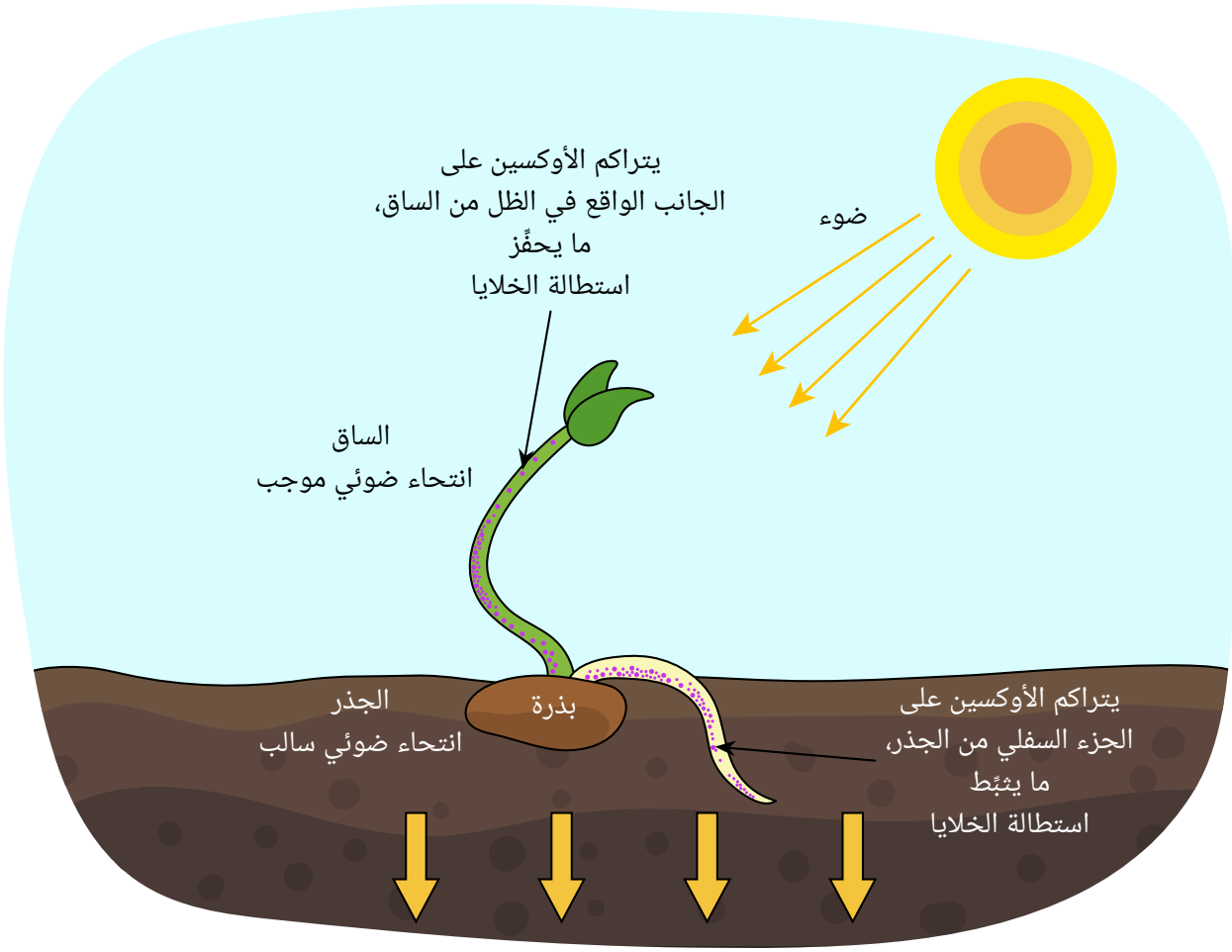
الانتحاء هو استجابة نمو اتجاهية نحو مثيرٍ ما أو بعيدًا عنه. من بين الأمثلة على الانتحاء، الانتحاء الضوئي؛ حيث تتحرك أجزاءٌ من النبات نحو الضوء أو بعيدًا عنه. من بين الأمثلة على الانتحاء الضوئي، التي ربما لاحظتَها، كيف تتحرك النباتات وتنحني ببطء لتتمكن من الوصول إلى المزيد من الضوء. يخضع الانتحاء الضوئي بشكل أساسي لتحكُّم الأوكسينات، وتعمل في المجموع الخضري بشكل يختلف عن عملها في المجموع الجذري كما يمكنك أن ترى في الشكل 2.

مصطلح رئيسي: الأوكسينات

الأوكسينات هرمونات نباتية تتحكم في استطالة الخلية بالإضافة إلى العديد من الوظائف الأخرى، من بينها الحفاظ على السيادة القِمِّيَّة واستجابات الانتحاء الضوئي.

تعريف: الانتحاء

الانتحاء نمو اتجاهي أو استجابة حركية، إما في اتجاهِ مثيرٍ ما وإما بعيدًا عنه.



الشكل ٢: رسم يوضِّح كيف يختلف عمل الأوكسينات في جذور بعض النباتات، لإحداث استجابات الانتحاء الضوئي السالب، عن عملها في الساق لأغلب النباتات، لإحداث استجابات الانتحاء الضوئي الموجب.

في سيقان أغلب النباتات، يتراكم الأوكسين على الجانب الواقع في الظل من الساق ويحفِّز استطالة الخلايا الواقعة في الظل. وبما أن الجانب المواجه للضوء لا يستطيل، يتسبَّب هذا النمو غير المتماثل في انحناء النبات نحو الضوء في عملية تُسمى الانتحاء الضوئي الموجب، والذي يمكنك أن تلاحظه في الشكل 2. وتفيد هذه الاستجابةُ النباتَ كثيرًا، حيث تعني زيادةُ الضوء الداخل إلى المجموع الخضري زيادةَ حدوث عملية البناء الضوئي.
أما في جذور بعض النباتات، فيتراكم الأوكسين على الجزء السفلي من الجذر بعيدًا عن الضوء، كما يمكنك أن ترى في الشكل 2. في جذور بعض النباتات، يمكن أن تحفِّز التركيزات المنخفضة من الأوكسين نموًّا بسيطًا للجذر، بينما تثبِّط التركيزات العالية من الأوكسين استطالة الخلايا الموجودة في الجزء السفلي من الجذر حيث يتراكم. تنمو الخلايا عند قمة الجذر بشكل طبيعي، ويعني هذا النموُّ غيرُ المتماثل أن الجذر ينحني بعيدًا عن الضوء الساقط فوقه، أيْ يتحرك لأسفل نحو عمق أكبر في التربة، في عملية تُسمى الانتحاء الضوئي السالب.
خلايا الجذر تكون مدفونة تحت الأرض، وعليه، فهي لا تقوم بعملية البناء الضوئي، لذا فهي لا تستفيد من النمو نحو مصدر الضوء. تتمثَّل الوظيفة الرئيسية للجذر في امتصاص الماء وأيونات المعادل، وقد يساعد الانتحاء الضوئي السالب الجذور في تحقيق ذلك عن طريق جعْلها تتحرك نحو أعماقٍ أكبر في التربة، حيث تزداد احتمالية العثور على المزيد من الماء.

ولكن، من المحتمل أيضًا أن ترجع هذه الاستجابة جزئيًا إلى قوة الجاذبية الأرضية نحو الأسفل، وهي عملية تُسمى الانتحاء الأرضي الموجب.
ولكن، من المثير للاهتمام أن الدراسات أثبتت أن جذور النباتات يمكن أن تستجيب للضوء بطرق مختلفة وفقًا لنوع النبات. على سبيل المثال، على الرغم من أن جذور نبات العنكبوت «*Chlorophytum comosum*» لها انتحاء ضوئي سالب، فإن جذور العديد من النباتات لا تُظهر أيَّ استجابات انتحاء ضوئي على الإطلاق.

مثال ١: تحديد منطقة إنتاج الأوكسين

في أيِّ جزء من النبات توجد أعلى تركيزات الأوكسينات؟

أ. في جدار نسيج الخشب
ب. في طرف الساق
ج. في الخلايا الحارسة للثغور
د. في حبوب اللقاح في الأزهار

الحل

الأوكسينات اسم يُطلق على مجموعة من الهرمونات التي تُنتَج في أطراف المجموعات الخضرية والجذرية. وبمجرد إنتاجها، تنتشر الأوكسينات عادةً من خلية إلى أخرى لتتمكن من الوصول إلى مختلف أجزاء النبات. تؤدي الأوكسيناتُ العديدَ من الوظائف في النبات. وتتمثَّل وظيفة الأوكسينات الرئيسية في التحكُّم في استطالة الخلايا خلال الاستجابات الانتحائية، مثل الانتحاء الضوئي نحو الضوء في الساق والانتحاء الأرضي في الجذور.

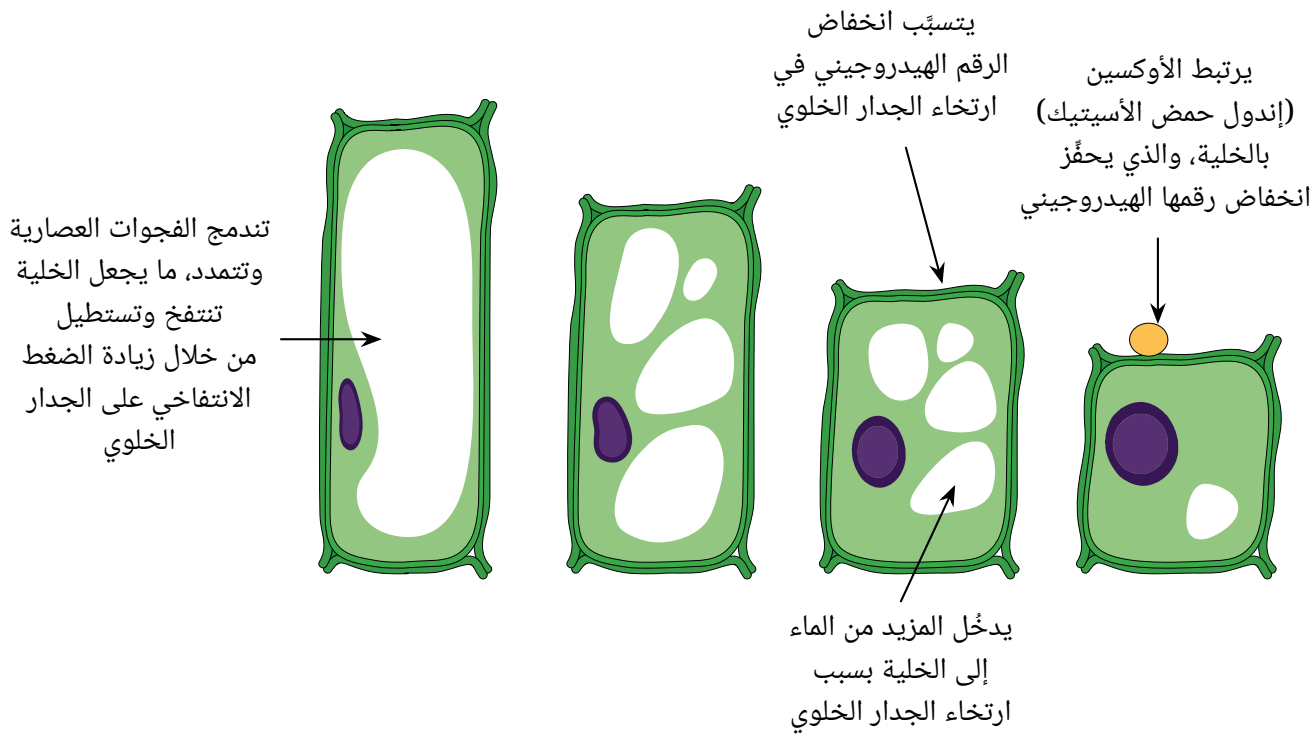
تحدُث أغلب استطالات الخلايا في ساق النبات عند قمة الساق النامية. وهذا لأن هذا الجزء من النبات هو الذي سيسعى للحصول على الضوء لأداء عملية البناء الضوئي. أما نسيج الخشب فهو عبارة عن تراكيب ميتة، ولن تحتاج إلى الكثير من الأوكسينات بمجرد تكوُّنها.

على الرغم من أن الأوكسين هرمون مهم يوجد في أغلب الخلايا الحية، فإن بعض الخلايا تحتاج إلى وجود تركيزات من الأوكسين أقل من غيرها.

تحتوي الخلايا الحارسة المحيطة بالثغور على كمية من الأوكسين، لكن ثمة هرمونًا آخر يُسمى حمض الأبسيسيك يتواجد في الخلايا الحارسة بتركيزات أكبر من الأوكسين، حيث يتحكَّم حمض الأبسيسيك في إغلاق الثغور.

ويعتمد تطوُّر حبوب اللقاح أيضًا بشكل جزئي على عدم انخفاض تركيزات الأوكسين بصورة مفرطة، حيث وُجد أن هذا يتسبَّب في نقص إنتاج حبوب اللقاح. لكن حبوب اللقاح مسئولة عن تخصيب الجاميتات الأنثوية عند التلقيح، ولا تلعب دورًا كبيرًا في استطالة الخلايا. وعليه، مقارنةً بخلايا مثل الخلايا الموجودة عند طرف الساق، تحتوي حبوب اللقاح على تركيزات منخفضة نسبيًا من الأوكسين.

إذن، الموقع الصحيح الذي يحتوي على التركيز الأعلى من الأوكسين في النبات هو طرف الساق.
من بين الأمثلة على الأوكسينات إندول-3-حمض الأسيتيك. تُنتَج هذه الهرمونات غالبًا بواسطة خلايا الأوراق النامية والبرعم العلوي للنبات، والذي يُطلق عليه البرعم القِمِّي. وهي مسئولة عن تحفيز انقسام الخلايا والتحكم في استطالة الخلايا. تحدُث استطالة الخلايا عندما يحتاج النبات إلى النمو. وقد ينمو النبات أو يتحرك استجابةً لمثيرٍ ما مثل الضوء.

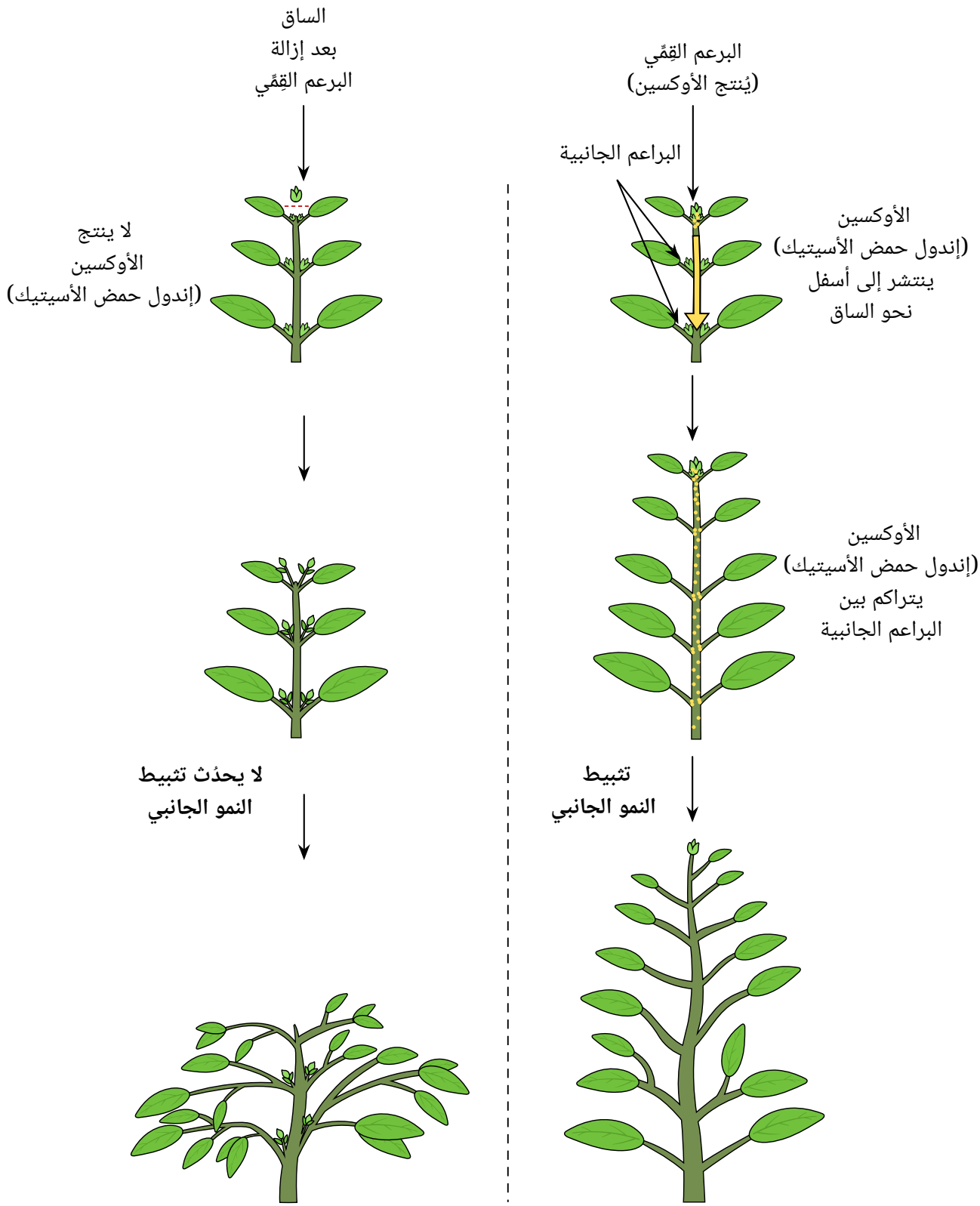


الشكل ٣: رسم يوضِّح نظرة عامة على عملية استطالة الخلايا التي يحفِّزها إندول حمض الأسيتيك.

دعونا نتناول كيف يمكن تحفيز استطالة الخلايا عند قمة الساق بواسطة الأوكسينات (إندول حمض الأسيتيك). يُنتَج إندول حمض الأسيتيك بواسطة خلايا البرعم القِمِّي، وينتشر إلى أجزاء أخرى من النبات. يرتبط إندول حمض الأسيتيك بمستقبلات على الخلايا، ويحفِّز انخفاض الرقم الهيدروجيني للخلية. تؤدي زيادة حامضية الخلية إلى ارتخاء الجدار الخلوي. ويعني ارتخاءُ الجدار الخلوي دخولَ المزيد من الماء إلى الخلية، حيث يُخزَّن في الفجوات العصارية التي يزداد حجمها وعددها. تؤدي زيادة حجم الماء إلى زيادة الضغط الانتفاخي على الجدار المرتخي؛ ما يتسبَّب في تمدُّد الخلية واستطالتها. يوضِّح الشكل 3 كيفية حدوث هذه العملية.

مصطلح رئيسي: إندول حمض الأسيتيك

إندول-3-حمض الأسيتيك هو مثال لأحد الأوكسينات ينتج في خلايا الأوراق النامية للنبات، ويحفِّز انقسام الخلايا واستطالتها.
الأوكسين (إندول حمض الأسيتيك) مسئول أيضًا عن الحفاظ على السيادة القِمِّيَّة. تعني السيادة القِمِّيَّة أن البرعم القِمِّي (ويُطلَق عليه في بعض الأحيان الطرفي) الموجود عند قمة الساق ينمو رأسيًا نحو الأعلى، في حين يثبِّط نمو البراعم الجانبية (ويُطلَق عليها في بعض الأحيان الإبطية) على جوانب الساق بصورة غير مباشرة.
ويُعتقد أن السيادة القِمِّيَّة مفيدة للنباتات التي تتنافس على الوصول إلى أشعة الشمس، خاصةً عندما تعيش النباتات في تربة غنية بالمغذيات. ففي هذه الظروف، تتنافس النباتات على أقصى امتصاص للضوء بدلًا من أقصى امتصاص للمغذيات، حيث تكون المغذيات عالية التركيز في التربة. وعليه، فإن زيادة طولها مقارنةً بالنباتات المحيطة بها من خلال السيادة القِمِّيَّة، وبالتالي الحصول على أكبر قدر من أشعة الشمس لإجراء عملية البناء الضوئي، يمكن أن يكون مفيدًا لاستمرار بقائها ونموها.



الشكل ٤: يوضِّح هذا الشكل نظرية تأثير الأوكسينات (إندول حمض الأسيتيك) على السيادة القِمّيَّة. النبات على اليمين سليم تمامًا ويُظهر سيادة قِمّيَّة دون نمو أيّ من البراعم الجانبية. أما على اليسار، فقد أُزيل البرعم القِمّي ونَمَت البراعم الجانبية.

تحقِّق الأوكسيناتُ، مثل إندول حمض الأسيتيك، التي تُنتَج بواسطة البرعم القِمِّي أو الطرفي، السيادةَ القِمِّيَّةَ من خلال التراكم في العقد بين البراعم الجانبية، كما يمكنك أن تلاحظ في الشكل 4. ويؤدي تراكم الأوكسينات إلى تحفيز خمول البراعم الجانبية من خلال تحويل السكريات بعيدًا عن البراعم الجانبية حتى لا تتمكن من النمو. يعني هذا أن أغلب السكريات تُحوَّل إلى البرعم القِمِّي من أجل النمو الرأسي، ما ينتُج عنه السيادة القِمِّيَّة.

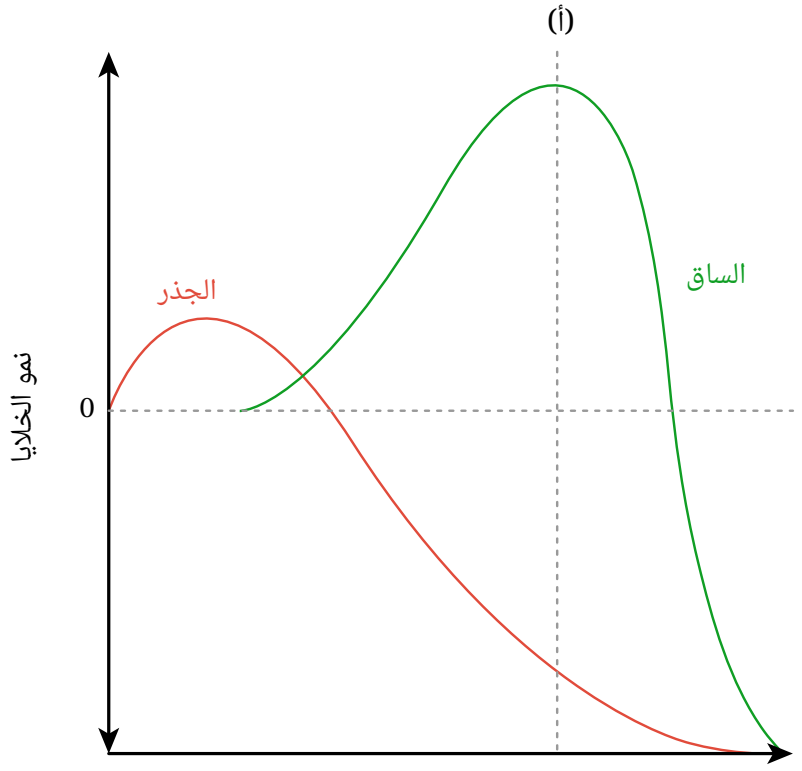
يمكننا القول إن البرعم القِمِّي هو المسئول عن إنتاج إندول حمض الأسيتيك: فعند إزالة البرعم القِمِّي، لا يُنتَج إندول حمض الأسيتيك وتبدأ البراعم الجانبية في النمو، كما يظهر في الجانب الأيسر من الشكل 4. وإذا وضعنا إندول حمض الأسيتيك على الساق المقطوعة، فسيثبَّط نمو البراعم الجانبية مرة أخرى. وهذا يوضِّح أن الأوكسينات مثل إندول حمض الأسيتيك هي المسئولة عن السيادة القِمِّيَّة.

بالإضافة إلى وظائفها العديدة التي تتعلق بالسيادة القِمِّيَّة، واستطالة الخلايا، والتحكم في استجابات الانتحاء الضوئي في النبات، تؤدي الأوكسينات دورًا أيضًا يتعلق بنمو الثمار!

مثال ٢: شرح تثبيط إندول حمض الأسيتيك لنمو الخلايا

يوضِّح التمثيل البياني كيف يتغيَّر تحفيز أو تثبيط نمو الخلايا في جذور وسيقان النبات بزيادة تركيز إندول حمض الأسيتيك.

ما الذي يحدُث في جذر النبات عند النقطة (أ)؟



تركيز إندول حمض الأسيتيك

الحل

يُعد إندول حمض الأسيتيك أحد الأمثلة على الأوكسينات. ينتُج هذا الهرمون غالبًا في الأوراق النامية والبرعم العلوي للنبات، والذي يُطلَق عليه البرعم القِمّي. وهو مسئول عن تحفيز انقسام الخلايا والتحكم في استطالة الخلايا. عادةً ما تحدُث استطالة الخلايا عندما يحتاج النبات إلى النمو أو الانحناء استجابةً لأحد المثيرات مثل الضوء. تختلف طريقة عمل إندول حمض الأسيتيك في المجموع الجذري عنها في المجموع الخضري، ويعتمد ذلك أيضًا على التركيز الموجود في كل جزء من النبات كما يمكنك أن ترى بوضوح في التمثيل البياني.

في جذور بعض النباتات، يتراكم إندول حمض الأسيتيك على الجزء السفلي من الجذر بتركيزات كبيرة ويثبِّط استطالة الخلايا. وعليه، تستطيل الخلايا عند قمة الجذر، ويعني هذا النموُّ غيرُ المتماثل أن الجذر ينحني بعيدًا عن الضوء الذي يسقط فوقه، ويتحرك لأسفل نحو أعماقٍ أكبر في التربة، في عملية تُسمى الانتحاء الضوئي السالب. وتُعَدُّ هذه العملية مفيدة للنبات، حيث تلعب دورًا في الجذور التي لا تحتاج إلى الضوء لأنها لا تُجري عملية البناء الضوئي؛ مما يجعلها قادرة على التحرك نحو أعماق أكبر في التربة للوصول إلى المزيد من الماء. فالوظيفة الرئيسية للجذور هي الحصول على الماء والأيونات المعدنية، وتساعدها عملية الانتحاء الضوئي السالب على أداء هذه الوظيفة.

في التمثيل البياني، يمكنك ملاحظة أن التركيزات المنخفضة من إندول حمض الأسيتيك تحفِّز نمو خلايا الجذر؛ ما يفيد في تحفيز النمو في البداية. ولكن، مع زيادة تركيزات إندول حمض الأسيتيك، فإنها تثبِّط نمو الجذر عند النقطة (أ).

وعليه، عند النقطة (أ)، يثبِّط إندول حمض الأسيتيك نموَّ الخلايا في الجذر.
تتكيف البذور جيدًا لكي تتمكن من البقاء خلال الجفاف والطقس البارد، ويحافظ هرمون يُسمى حمض الأبسيسيك على خمول البذور. ويحقِّق ذلك من خلال التحكم في امتصاص الماء في الأنسجة الجنينية في البذور. وعندما تنتهي الظروف القاسية، تقل تركيزات حمض الأبسيسيك في البذرة ويزداد تركيز الجبريلين، وهو هرمون نباتي آخر مسئول عن الإنبات.
يحدُث الإنبات عادةً عندما تتَّسم الظروف المحيطة بالبذرة بالدفء، والرطوبة، وتوفُّر الأكسجين. ويعني انخفاض تركيز حمض الأبسيسيك أن الماء لم يعُد ممنوعًا عن الدخول إلى الورقة، وعليه يصبح الإنباتُ، أيْ بدءُ نمو النبات من بذرة إلى نبات بالغ، ممكنَ الحدوثِ.
يكسر هرمونُ الجبريلين، أو حمض الجبريليك، خمولَ البذرة ويحفِّز الإنبات. وتتمثَّل إحدى وظائف هرمون الجبريلين في تكسير مخازن الغذاء النشوي في إندوسبرم البذرة إلى سكريات بسيطة وأحماض أمينية. وتوفِّر السكرياتُ لِجَنين النبات الموادَ اللازمة ليبدأ عملية التنفس وإنتاج الطاقة. وتمكِّن الأحماضُ الأمينية الجنينَ من إنتاج البروتينات. وتسمح كلٌّ من هذه المواد ببدء نمو الساق والجذور. وعندما تبلغ الساق طولًا كافيًا لتصبح فوق سطح التربة وتمتص الضوء، يبدأ النبات بإجراء عملية البناء الضوئي ليحصل على الغذاء. ويستمر دور هرمون الجبريلين خلال حياة النبات بأكملها، حيث يحفِّز استطالة الخلايا وانقسامها لكي يصبح النبات أكثر طولًا.
يُطلق على بعض النباتات اسم النباتات القزمة لأنها تُنتِج كميات ضئيلة من هرمون الجبريلين بسبب طفرات جينية في التتابعات المسئولة عن إشارات إنتاج هرمون الجبريلين أو تخليقه حيويًا. وينتُج عن انخفاض تركيزات هرمون الجبريلين نباتات أقصر طولًا. ولكن، إذا عولجت هذه النباتات بهرمون الجبريلين الاصطناعي، تنمو لتصل إلى الطول النموذجي. ولكن، في بعض الحالات، يمكن أن يتسبَّب استخدام هرمون الجبريلين الاصطناعي في نمو النبات لطولٍ يتخطى الطول الطبيعي!

مصطلح رئيسي: هرمون الجبريلين.

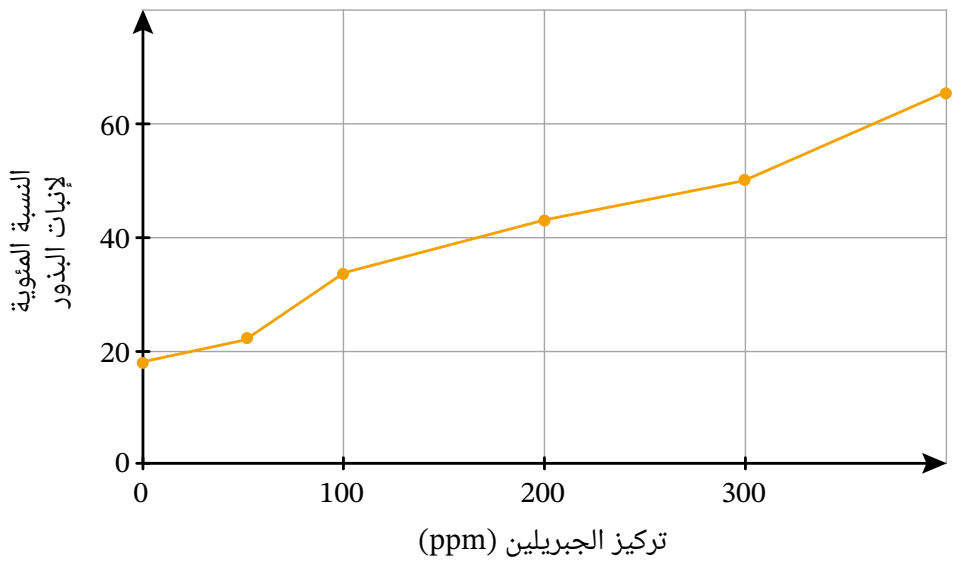
الجبريلينات هرمونات نباتية تحفِّز حركة مخازن الكربوهيدرات الغذائية لتسمح بإنبات البذور، كما تلعب دورًا في استطالة الساق.

مصطلح رئيسي: إنبات البذور

يحدُث إنبات البذور عندما تبدأ البذور في النمو استجابةً للظروف الملائمة مثل الدفء، ووفرة الأكسجين، وتوفُّر الماء في البادرة.

مثال ٣: وصْف تمثيل بياني لتأثير تركيز الجبريلين على الإنبات

يوضِّح التمثيل البياني المُعطى نتائج زراعة بذور في تركيزات مختلفة من الجبريلين. أيٌّ من الآتي يَصِف المنحنى الموضَّح؟



أ. عندما يزيد تركيز الجبريلين، تزيد النسبة المئوية للبذور التي تنبُت.

ب. عندما يزيد تركيز الجبريلين، تنخفض النسبة المئوية للبذور التي تنبُت.

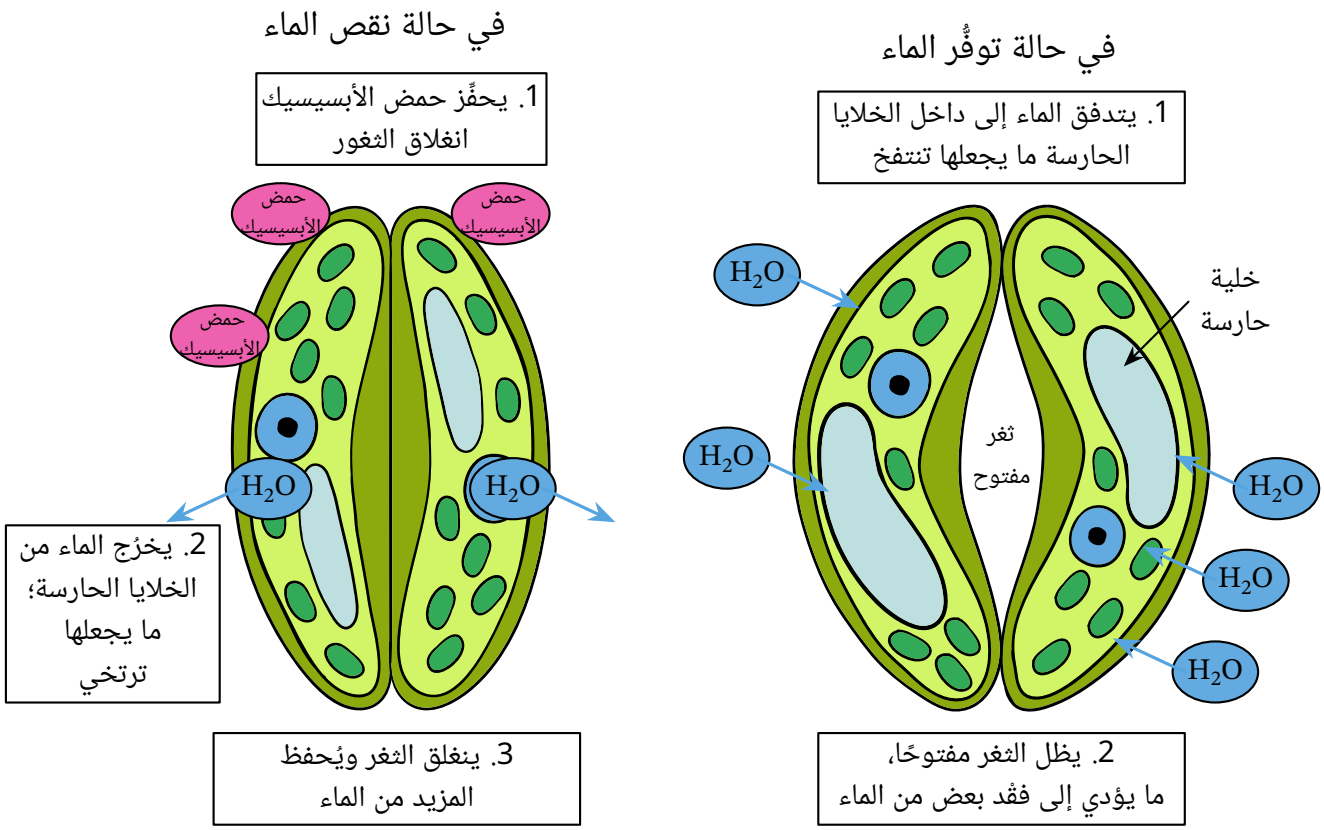
جـ. عندما يزيد تركيز الجبريلين، لا يُوجَد تأثير كبير على النسبة المئوية لإنبات البذور.

الحل

هرمون الجبريلين هرمون نباتي مسئول عن تحفيز إنبات البذور وتحفيز استطالة الخلايا وانقسامها. يُنتَج هرمون الجبريلين في البداية بواسطة البذور عندما تصبح الظروف ملائمة للنمو: الدفء، والرطوبة، ووفرة الأكسجين. يمكن لهرمون الجبريلين أن يكسر خمول البذور ويحفِّز الإنبات. وتتمثَّل إحدى وظائف هرمون الجبريلين في تحفيز إنتاج الإنزيمات التي تكسر مخازن الغذاء النشوي في البذور إلى سكريات بسيطة وأحماض أمينية. تمكِّن هذه السكرياتُ خلايا جنين النبات من البدء في عملية التنفس، وتمكِّنها الأحماضُ الأمينية من إنتاج البروتينات؛ ما يؤدي إلى نمو الساق والجذور. وعندما تبلغ الساق طولًا كافيًا لتصبح فوق سطح التربة وتمتص الضوء، يبدأ النبات بإجراء عملية البناء الضوئي ليحصل على الغذاء.

في هذا التمثيل البياني، يمكنك أن تلاحظ أنه عندما يزداد تركيز الجبريلين من 0 إلى 400 ppm، تزداد أيضًا النسبة المئوية لإنبات البذور من 18% إلى 65% تقريبًا. وهذا يوضِّح أنه كلما زاد تركيز الجبريلين، زادت النسبة المئوية لإنبات البذور.

وعليه، الإجابة الصحيحة هي الخيار (أ): عندما يزيد تركيز الجبريلين، تزيد النسبة المئوية للبذور التي تنبُت.
الثغور (مفردها ثَغْر) عبارة عن مسام صغيرة توجد عادةً على السطح السفلي من الأوراق، وصُممت لتسمح بتبادل الغازات من أجل عملية البناء الضوئي. وتُحاط الثغور بخلايا حارسة من كل جانب يمكنها أن تفتح الثغور وتغلقها كما هو موضَّح في الشكل 5. تُعد تلك العملية ضرورية للغاية، حيث يُمكن أن يُفقَد بخار الماء بسهولة عبر الثغور، ويحتاج النبات إلى الاحتفاظ بأكبر كمية ممكنة من الماء لإجراء عملية البناء الضوئي. وعليه، يتعيَّن على الخلايا الحارسة أن تنظِّم بدقةٍ متى يجب فتح الثغور ومتى يجب أن تُغلق لحفظ الماء. تنفتح الخلايا الحارسة وتنغلق بحسب انتفاخها. فعندما تكون منتفخة، أيْ مليئة بالماء، ينفتح الثغر. وعندما تكون مرتخية، أيْ ليست مليئة بالماء، ينغلق الثغر.



الشكل ٥: رسم يوضِّح فتْح وغلْق الثغور الناتجَين عن اختلاف تركيزات حمض الأبسيسيك في حالتَي توفُّر الماء ونقْصه.

يمكن تحفيز انغلاق الثغور بواسطة هرمون يُسمى حمض الأبسيسيك، كما هو موضَّح في الشكل 5. ففي حالة توفُّر الماء، تمتلئ الخلايا الحارسة بالماء وتنتفخ، ومن ثم تنفتح الثغور لإجراء تبادُل الغازات ويُفقد بعض الماء عبرها. وفي حالة نقص الماء، يرتبط حمض الأبسيسيك بالمستقبلات الموجودة في الخلايا الحارسة، كما هو موضَّح في المخطط على اليسار في الشكل 5. يتسبَّب هذا في خروج الماء من الخلايا الحارسة؛ ما يجعلها ترتخي وتغلق الثغور. وهذا يعني فقدان كمية أقل من الماء من خلال النتح، والاحتفاظ بمزيد من الماء في النبات.

مصطلح رئيسي: حمض الأبسيسيك

حمض الأبسيسيك هرمون نباتي مسئول عن تنظيم نمو النبات واستجابات الإجهاد البيئي، مثل تحفيز غلق المسام لمنع فقدان الماء.

مصطلح رئيسي: إغلاق الثغور

إغلاق الثغور هو استجابة النبات لنقص الماء، فمن خلال إغلاق الثغور، تقل احتمالية فقدان الماء عبر النتح ويُحفظ الماء في النبات.

مثال ٤: التعرف على هرمونات النباتات من مواصفاتها

اذكر الهرمون النباتي الموصوف، بِناءً على المواصفات الموضَّحة.

١. تستحث الهرمونات التي تنتمي إلى هذه المجموعة تكسير مخازن الغذاء في البذرة لتستحث الإنبات.
٢. تتحكَّم الهرمونات التي تنتمي إلى هذه المجموعة في استطالة الخلايا استجابةً لمثير ضوئي.
٣. يحفِّز هذا الهرمون غلق الثغور.

الحل

الهرمونات نواقل كيميائية تنتقل إلى جميع أجزاء النبات من أجل مساعدته في الاستجابة للمثيرات، وهي التغيُّرات في بيئته الداخلية والخارجية.

الجزء الأول

الجبريلين هرمون نباتي مسئول عن تحفيز إنبات البذور وتحفيز استطالة الخلايا وانقسامها. يُنتَج هرمون الجبريلين في البداية بواسطة البذور عندما تصبح الظروف ملائمة للنمو: الدفء، والرطوبة، ووفرة الأكسجين. يحفِّز هرمون الجبريلين تكسير مخازن الغذاء النشوي في البذور إلى سكريات بسيطة لبدء عملية التنفس في جنين النبات ونمو الساق والجذور. وعندما تبلغ الساق طولًا كافيًا لتصبح فوق سطح التربة وتمتص الضوء، يبدأ النبات بإجراء عملية البناء الضوئي ليحصل على الغذاء.

وعليه، فإن الهرمون الذي يحفِّز بدء تكسير مخازن الغذاء في البذور لبدء الإنبات هو هرمون الجبريلين.

الجزء الثاني

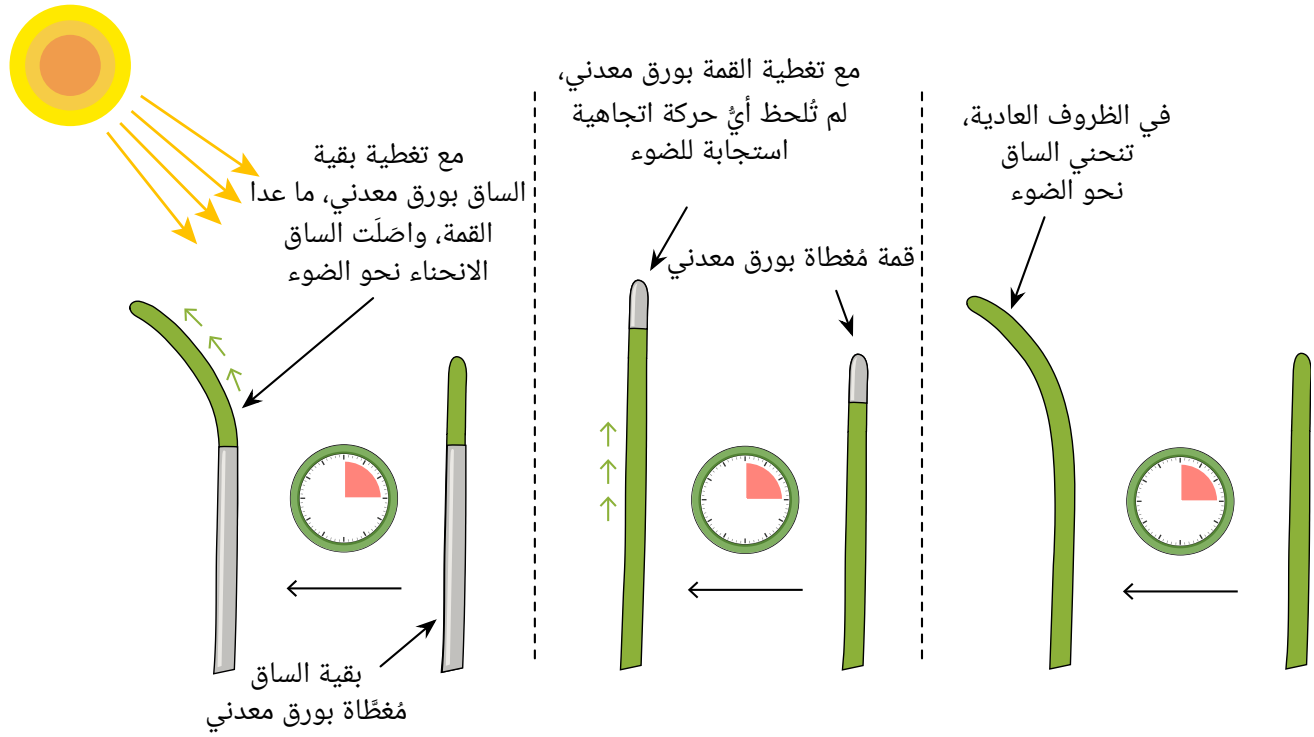
الأوكسين هو الاسم الذي يُطلق على مجموعة من الهرمونات التي تنتجها أطراف المجموع الخضري والمجموع الجذري للنبات. بمجرد إنتاج هذه الهرمونات، تنتشر الأوكسينات عادةً من خلية إلى أخرى لتصل إلى أجزاء مختلفة من النبات. تؤدي الأوكسيناتُ العديدَ من الوظائف المتنوعة في النبات. وتتمثَّل وظيفتها الأساسية في التحكم في استطالة الخلايا خلال الاستجابات الانتحائية والحفاظ على السيادة القِمِّيَّة. الاستجابة الانتحائية هي حركة النبات استجابة لمثيرٍ ما مثل الضوء. لساق النبات انتحاء ضوئي موجب، أيْ تنمو في اتجاه الضوء، بينما المجموع الجذري للنبات له انتحاء ضوئي سالب، أيْ ينمو في اتجاه بعيد عن الضوء. يتحكم تركيز وموقع الأوكسينات في هذا النمو الاتجاهي من خلال استطالة الخلايا استجابةً لمثيرٍ ما.

وعليه، فإن الهرمونات التي تتحكم في استطالة الخلايا استجابةً لمثير الضوء هي الأوكسينات.

الجزء الثالث

يتم التحكم في فتح وغلق ثغور النبات بواسطة هرمون يُسمى حمض الأبسيسيك. في حالة نقص الماء، يرتبط حمض الأبسيسيك بمستقبلات الخلايا الحارسة. وهو ما يحفِّز خروج الماء من الخلايا الحارسة؛ ما يجعلها ترتخي وتغلق الثغور. وهذا يعني فقدان كمية أقل من الماء من خلال النتح، وحفظ المزيد من الماء في النبات.

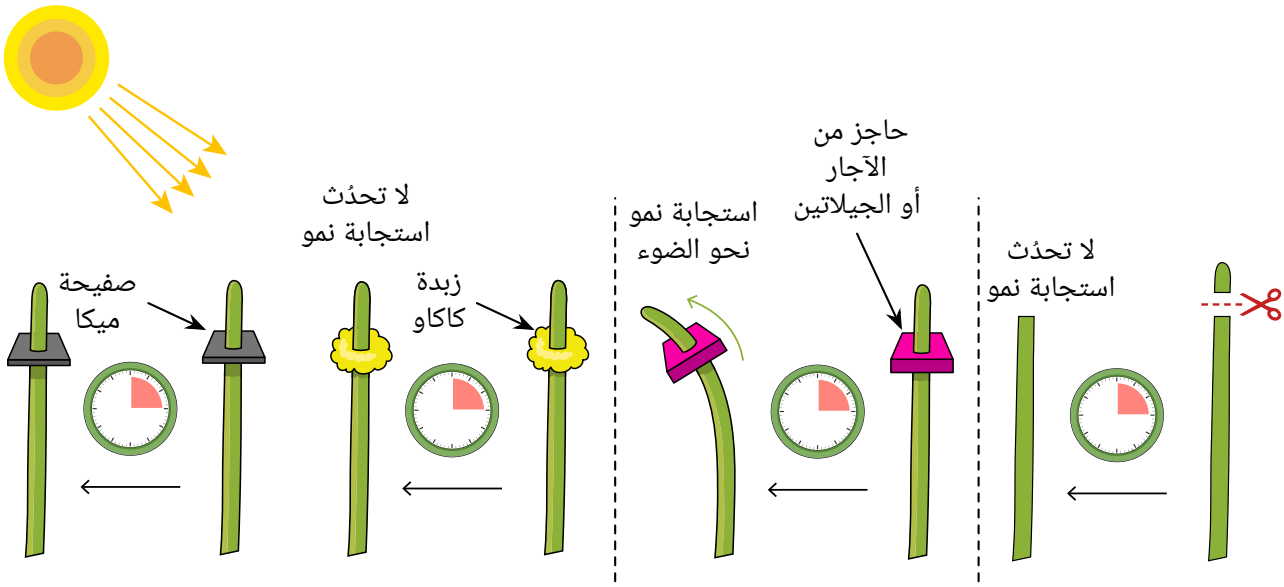
وعليه، فإن الهرمون الذي يحفِّز إغلاق ثغور النبات هو حمض الأبسيسيك.
أُجريت الكثير من التجارب لاكتشاف تأثيرات الهرمونات على استجابات النبات. ولا تزال التجارب العملية، التي أجراها تشارلز داروين وابنه فرانسيس داروين، والتي بنى على أساسها بويسن-جنسن وَوينت أعمالهما، هي ما يعتمد عليه فهْمُنا لهرمونات النبات حتى يومنا هذا. وهي بسيطة بما يكفي لأن تجريها بنفسك!
يوضِّح الشكل 6 تجارب داروين الأب والابن على الانتحاء الضوئي في الغلاف الورقي، وهو الغلاف الذي يحمي قمة الساق الصغيرة في نبات عشبي. حيث وجدَا أنه عند تعريض الساق للضوء من اتجاه واحد فقط، فإنها تنحني نحو الضوء. عندما قطعا القمة، لم تُظهِر الساق نموًّا اتجاهيًّا. ولكن، عندما غَطَّيَا القمة بِوَرق معدني، لم تَستجِبْ الساق للضوء. وعندما غَطَّيَا بقية أجزاء النبات بالورق المعدني ما عدا القمة، واصَلَ النبات نُموَّه في اتجاه الضوء. وهذا يوضِّح أن قمة الغلاف الورقي تتحكم في هذه الحركة الاتجاهية استجابةً لمثيرٍ ما؛ الضوء في هذه الحالة.



الشكل ٦: رسم يوضِّح تجارب داروين الأب والابن على الانتحاء الضوئي.

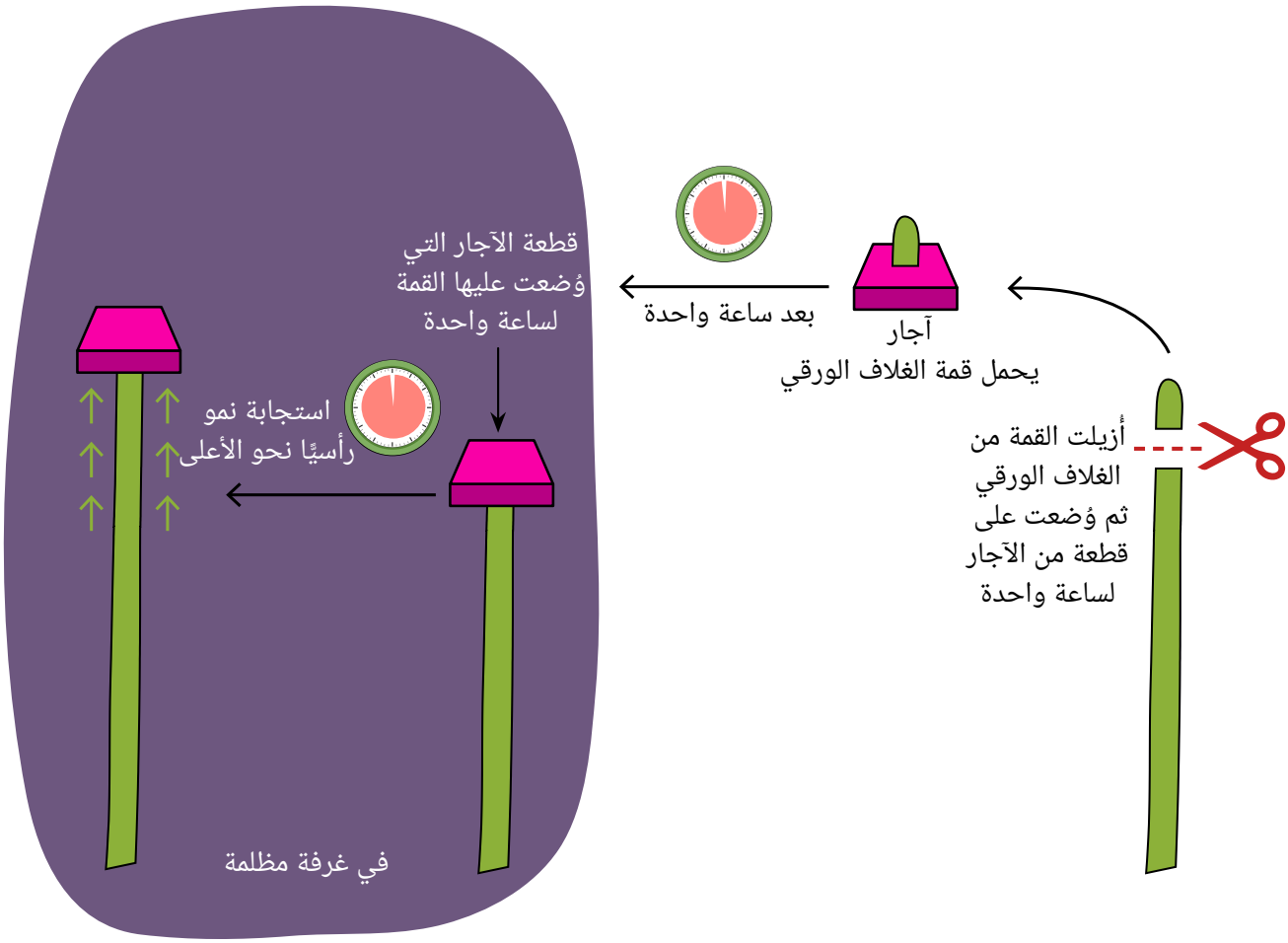
استخدم بويسن-جنسن استنتاجات داروين الأب والابن في إجراء المزيد من الأبحاث على استجابات النبات، كما هو موضَّح في الشكل 7. فعندما قَطَعَ قمة الغلاف الورقي، لم يُلاحظ أيَّ نمو للنبات. الأمر الذي وضَّح له أن القمة هي ما يتحكم في النمو.

بعد ذلك، أزال القمة واستبدل بها قطعةً رفيعةً من الآجار أو الجيلاتين، بين القمة وبقية الساق، وكرَّر الأمر نفسه مع مجموع خضري آخر باستخدام زبدة الكاكاو. الآجار والجيلاتين مادتان يمكن للمواد الكيميائية القابلة للذوبان في الماء أن تنفذ عبرهما، بينما لا يمكن إلا للمواد الكيميائية القابلة للذوبان في الليبيدات أن تنفذ عبر زبدة الكاكاو. لاحظ بويسن-جنسن أنه في حالة حاجز الآجار أو الجيلاتين، واصَلَ النباتُ النموَّ نحو مصدر الضوء، ولكنه لم يلاحظ أيَّ استجابة في حالة حاجز زبدة الكاكاو.
واستنتج أن القمة تُنتِج شيئًا ما قابلًا للذوبان في الماء، وعليه تَمكَّن من الذوبان والانتشار عبر الآجار، ولكنه لم ينتشر عبر زبدة الكاكاو؛ وفي حالة وضع صفيحة من الميكا غير المنفذة أو حتى صفيحة من البلاتين بين القمة وبقية النبات، لوحظ أيضًا توقُّف الانتحاء الضوئي.



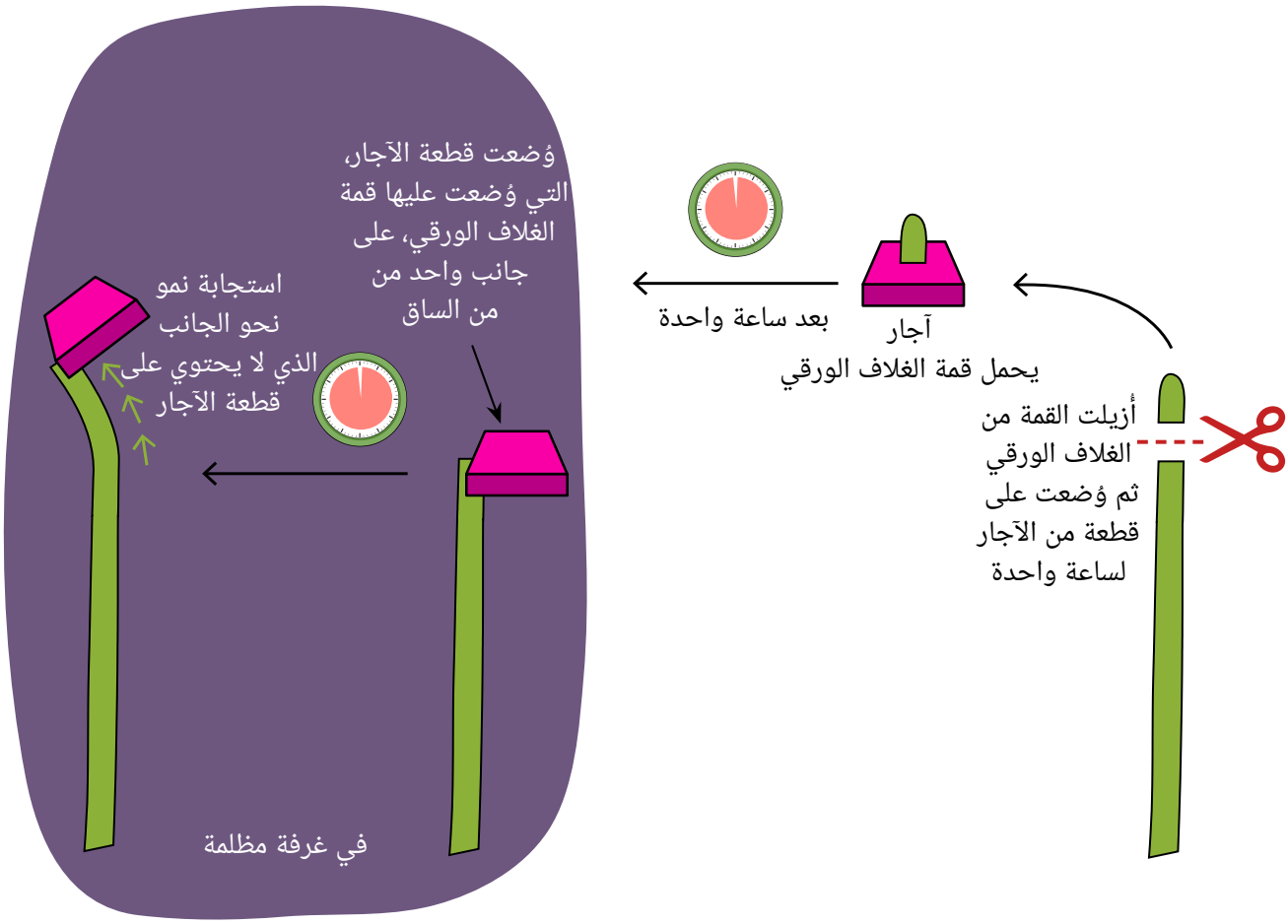
الشكل ٧: رسم يوضِّح بعضًا من تجارب بويسن-جنسن على الانتحاء الضوئي.

أضاف وينت خطوات إضافية إلى هذه التجارب، وتجربتُه الأولى موضَّحة في الشكل 8. وَضَعَ وينت قمة مقطوعة من غلاف ورقي في الآجار أو الجيلاتين وتَرَكَه لمدة ساعة. بعد ذلك، وَضَعَ الآجار أو الجيلاتين فوق الساق مكان القمة في غرفة مظلمة. ولوحظ أن هذه الساق واصَلَت النمو رأسيًا نحو الأعلى، ما وضَّح أن شيئًا ما ينتقل من الآجار أو الجيلاتين إلى ساق للنبات ويؤدي إلى نموها.
لم يتسبَّب الآجار أو الجيلاتين الذي لم يوضع أسفل القمة المقطوعة في تحفيز أيِّ استجابة خلال التجربة نفسها. وهذا أوْضَحَ أن ثمة شيئًا ما في القمة المقطوعة انتشر إلى الآجار أو الجيلاتين، وأن هذا ليس تأثير الآجار أو الجيلاتين نفسه. يمكنك رؤية ذلك في الجزء السفلي الأيسر من الشكل 8.



الشكل ٨: رسم يوضِّح واحدة من تجارب وينت على هرمونات النبات. عندما أُخذت قطعة آجار، بعد وضْعها تحت قمة غلاف ورقي مقطوعة، ووُضعت فوق ساق مقطوعة، لوحظت استجابة نمو اتجاهي رأسي.

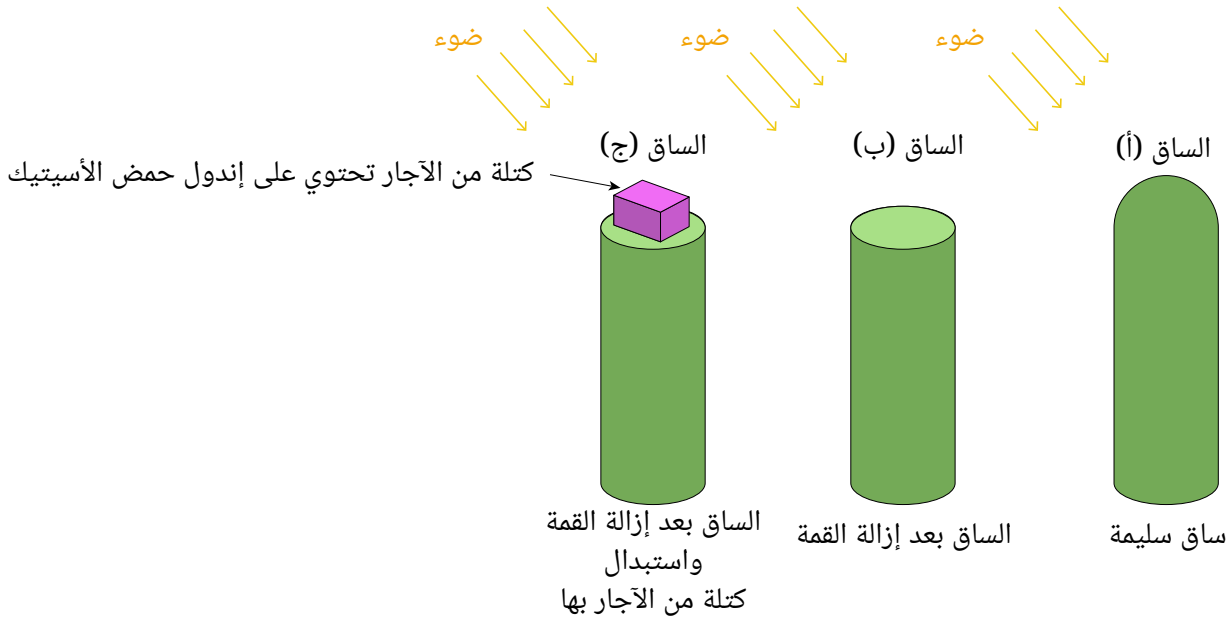
اختار وينت بعد ذلك قطعة أخرى من الآجار انتشرت بها هذه المادة الكيميائية الغامضة. ثم وَضَعَها بحيث لا تغطي إلا جانب الساق المقطوع، كما يمكنك أن ترى في الشكل 9. ولاحظ أن النبات ينحني بعيدًا عن الجانب الذي وُضعت عليه قطعة الآجار، على الرغم من عدم وجود ضوء! وهذا يعني أن المادة الكيميائية تتسبَّب في استجابة نمو بعيدًا عن الموضع الذي يحتوي على تركيز عالٍ منها. سُميت هذه المادة الكيميائية الأوكسين، من كلمة إغريقية تعني «ينمو».



الشكل ٩: يوضِّح هذا الشكل واحدة من تجارب وينت على هرمونات النبات. عندما أُخذت قطعة آجار، بعد وضْعها تحت قمة الغلاف الورقي المقطوعة، ووُضعت على أحد جانبي الساق المقطوعة، لوحظت استجابة نمو نحو الجانب المعاكس.

مثال ٥: توقُّع نتائج تجارب على إندول حمض الأسيتيك

يوضِّح الشكل الآتي تجربة بسيطة أُجرِيَت لدراسة تأثير إندول حمض الأسيتيك على نمو السيقان. وُضِعَت السيقان كما هو موضَّح في الشكل، ثم تُرِكَت لمدة 7 أيام مع إمدادها بالماء والمغذيات. ما النتيجة المُتوقَّعة للساق (ب)؟



الحل

يُعد إندول حمض الأسيتيك أحد الأمثلة على الأوكسينات. والأوكسينات هرمونات نبات تُسهِم في التحكم في استطالة الخلايا خلال الاستجابات الانتحائية والحفاظ على السيادة القِمِّيَّة. ويمكنها أيضًا أن تمنع السقوط المبكر للأوراق وأن تحفِّز نمو الثمار. الاستجابة الانتحائية هي حركة النبات استجابة لمثيرٍ ما مثل الضوء. لسيقان النباتات انتحاء ضوئي موجب، أيْ إنها تنمو في اتجاه الضوء، بينما لجذور النباتات انتحاء ضوئي سالب، أيْ إنها تنمو بعيدًا عن الضوء. يتحكم تركيز وموضع الأوكسينات في هذه الحركة الاتجاهية من خلال استطالة الخلايا استجابةً لمثيرٍ ما.

توضِّح الساق (أ) ساقًا سليمة، ما يعني أن إندول حمض الأسيتيك سينتُج في قمة الساق وينتشر إلى أسفل من خلية إلى أخرى. وبما أن الضوء يسقط من ناحية اليسار، فسيتراكم إندول حمض الأسيتيك على الجانب الأيمن المظلَّل من الساق. وهذا سيزيد من استطالة هذه الخلايا أكثر من الخلايا الموجودة على الجانب الأيسر؛ ما يجعل الساق تنمو وتنحني نحو مصدر الضوء القادم من ناحية اليسار.

توضِّح الساق (ج) ساقًا أُزيلت قمتها واستُبدل بها قطعةٌ من الآجار تحتوي على إندول حمض الأسيتيك. تعوِّض قطعةُ الآجار هذه مصدرَ إندول حمض الأسيتيك، الذي يُنتَج عادةً في الخلايا المرستيمية في قمة الساق. وعليه، يواصل إندول حمض الأسيتيك الانتشار نحو الأسفل في الساق، ويتراكم على الجانب الأيمن ويتسبَّب في حدوث استطالة غير متماثلة للخلايا مثل الساق (أ). وهذا يعني أن الساق (ج) ستنمو أيضًا وتنحني نحو مصدر الضوء الساقط من ناحية اليسار.

توضِّح الساق (ب) ساقًا أُزيلت قمتها. وبما أن إندول حمض الأسيتيك يُخلَّق في قمة الساق، فلن ينتُج إندول حمض الأسيتيك في الساق (ب)، ولن ينتشر لأسفل في الساق. وهذا يعني أن الساق (ب) لن تحدُث بها أيُّ استطالة أو انقسام للخلايا، وعليه لن تنمو الساق.

إذن، النتيجة المتوقَّعة للساق (ب) أنها ستتوقف عن النمو.
دعونا نلخص بعض النقاط الأساسية التي تناولناها في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- الأوكسينات، مثل إندول حمض الأسيتيك، هرمونات نباتية تُسهِم في استطالة الخلايا والحفاظ على السيادة القِمِّيَّة.
- الجبريلين هرمون نباتي يُسهِم في إنبات البذور واستطالة الخلايا.
- حمض الأبسيسيك هرمون نباتي يُسهِم في إغلاق الثغور في حالة نقص الماء.
- ثمة تجارب بسيطة يمكن إجراؤها لتوضيح دور الأوكسينات في استطالة الخلايا والاستجابات الانتحائية التي قد تُسبِّبها.