الفصل 39

التّغذية النّباتيّة والتّربة

Plant Nutrition and Soils

مقدّمة

يحتاج بناء النبات إلى كمية كبيرة من الطّاقة. في هذا الفصل، سنتعرّف إلى المواد التي يحتاج إليها النبات إضافة إلى الطّاقة الشّمسيّة حتى يعيش. تحتاج النّباتات، كالحيوانات، إلى عدد من المُغذِّيات حتى تبقى بصحة جيدة. إذ يمكن أنْ يبطئَ عدمُ وجود أحد العناصر الأساسية نموَّ النّباتات، ويمكن أنْ يجعل النبات أكثر عرضة للأمراض، وقد يميتها. تحصل النّباتات على المُغذِّيات بشكل أساسي من عملية البناء الضّوئيّ ومن التّربة. وإضافة إلى تزويد النّباتات بالمغذيات، فإن التّربة تحتوي على بعض أنواع البكتيريا والأعفان التي تساعد النّباتات في الحصول على غذائها بشكل مناسب. ويؤدِّي الحصولُ على كميات كافية من النيتروجين بشكل خاص إلى مشكلةٍ؛ لأنّ النّباتات لا تستطيع تحويل النيتروجين الجوي إلى أحماض أمينية. بعض النّباتات يمكنها اصطياد الحيوانات وإفراز عصارات هاضمة لتوفير النيتروجين للامتصاص.

موجز المفاهيم

39-1 التّربة: الوسط الذي تعتمد عليه النّباتات

- *تتكوّن التّربة من معادن، ومواد عضوية، وماء، وهواء ومخلوقات حيّة.*
- *يعتمد توافر الماء والمعادن على خصائص التّربة.*
- *يمكن أن تؤدي زراعة النّباتات إلى خسارة التّربة ونقص المعادن.*
- *يؤثّر كلّ من pH والملوحة في توافر المعادن.*

39-2 المُغذِّيات النّباتيّة

- *تحتاج النّباتات إلى 9 مغذيات كبيرة و7 مغذيات صغيرة.*
- *الأمن الغذائيّ مرتبط بإنتاجية المحاصيل ومستوى المُغذِّيات.*

39-3 إستراتيجيات التّغذية الخاصة

- *يمكن أن توفّر البكتيريا التي تعيش بارتباط مع الجذور النيتروجين.*
- *الفطريّات الجذريّة تساعد عددًا كبيرًا من نباتات اليابسة.*
- *تصطاد النّباتاتُ الآكلةُ للحيواناتِ وتهضمها لاستخلاص مغذِّيات إضافية.*
- *تستغل النباتات المتطفلة موارد نباتات أخرى.*

39-4 توازن الكربون – النيتروجين والتّغيّر الكوني

- *يمكن أنْ تغيّر زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون عملية البناء الضّوئيّ ومستويات الكربون في النبات.*
- *يمكن أنْ تؤثر زيادة درجة الحرارة في عملية التّنفّس، ومستويات الكربون في النبات.*

39-5 إزالة الملوِّثات عن طريق النّباتات

- *يمكن إزالة ثلاثي كلور الإيثيلين عن طريق نبات الحَوْر.*
- *يمكن إزالة كميات محدودة من مادة ثلاثي نيتروتولوين.*
- *يمكن إزالة المعادن الثقيلة بنجاح وبتكلفة منخفضة.*

openkan.com

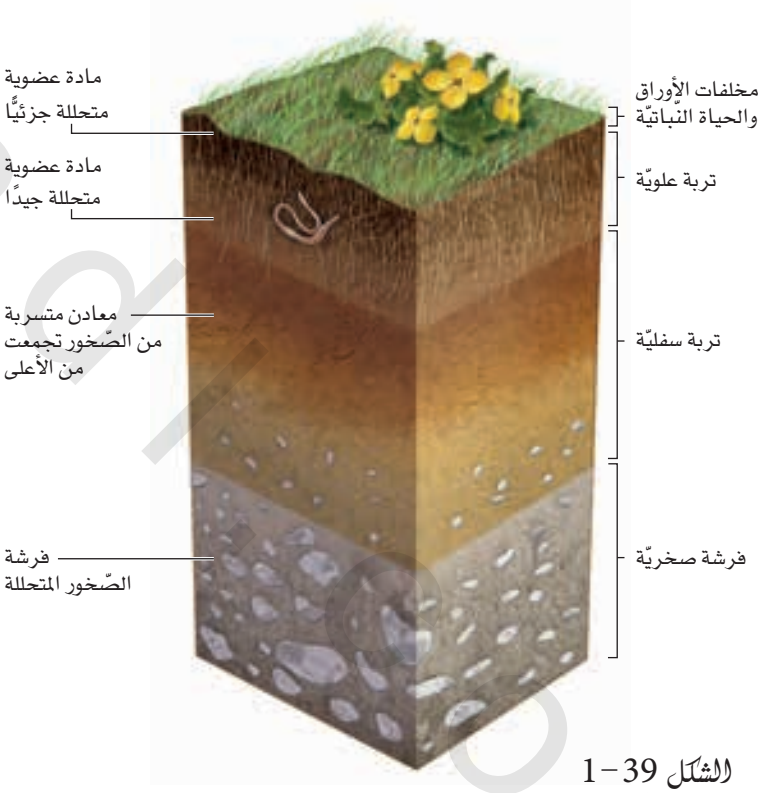
1-39 التّربة: الوسط الذي تعتمد عليه النّباتات

كثيرٌ من الأنشطة تدعم حياة النّباتات بخفاء في التّربة. التّربة **Soil** هي الجزء الخارجي من القشرة الأرضية المتحللة. تتكون التّربة من مكونات مختلطة تشمل كلًّا من الرمل، والصخور بأحجام مختلفة، والطّين، والطّمي، والدّبال، وأنواع مختلفة من المعادن والمواد الْعضويَّة. وتوجد بين هذه المكونات ثقوبٌ وفراغات تحتوي على الماء والهواء.

تتكوّن التّربة من معادن، ومواد عضويَّة، وماء، وهواء ومخلوقات حيّة

يختلف الجزء المعدني من التّربة باختلاف تركيب الصّخور. وتحتوي التّربة على قرابة 92 عنصرًا طبيعيًّا (الفصل الـ 2). معظم هذه العناصر موجود بشكل لاعضوي، تسمى عناصر معدنية *Minerals*. وتتكون معظم الصخور من أنواع مختلفة من العناصر المعدنية.

تحتوي التّربة كذلك على أعداد كبيرة من المخلوقات الدقيقة التي تحلل المواد، وتؤدي إلى دوران المخلفات الْعضويَّة. فمثلًا، يرتبط نحو 5 أطنان من الكربون بالمخلوقات الموجودة في هكتار من التّربة المزروعة بالقمح في إنجلترا. وتساوي هذه الكمية وزن 100 طن من الضأن.



الشكل 39-1

معظم الجذور تنمو في التّربة العلويّة. تغطي بقايا الأوراق والحيوانات الطبقةَ العلويّةَ للتربة المسماة التّربة العلوية. تحتوي التّربة العلويّة على مواد عضوية مثل الجذور، والحيوانات الصغيرة، والدّبال، والجزيئات المعدنية بأحجام مختلفة. تقع التّربة السفليّة أسفل التّربة العلوية، وتحتوي على جزيئات معدنية كبيرة، وكمية قليلة من المواد الْعضويَّة. تحت هذه الطبقة، توجد طبقات فرشة الصّخور، وهي التي تشكّل المادة الخام التي يتشكّل منها التراب عن طريق عملية طويلة من تفكّك الصخور وتحللها.

توجد معظم الجذور في الطبقة العلوية من **التّربة Topsoil** (الشكل 39-1)، التي هي خليط من الجزيئات المعدنية ذات الأحجام المختلفة (قطر معظمها أقل من 2 مم)، والمخلوقات الحية، **والدّبال Humus** الذي يتكوّن من مادة عضوية متحللة. تتميز التّربة العلوية بالكميات النسبية لمحتوياتها من الرّمل، والطّمي، والطّين. إن تركيب التّربة هو الذي يحدد مستوى ارتباط الماء والمعادن بجزيئات التّربة. فالرّمل يربط أقل مستوى من هذه الجزيئات، ولكن الطّين يربط الماء والمعادن بقوة كبيرة.

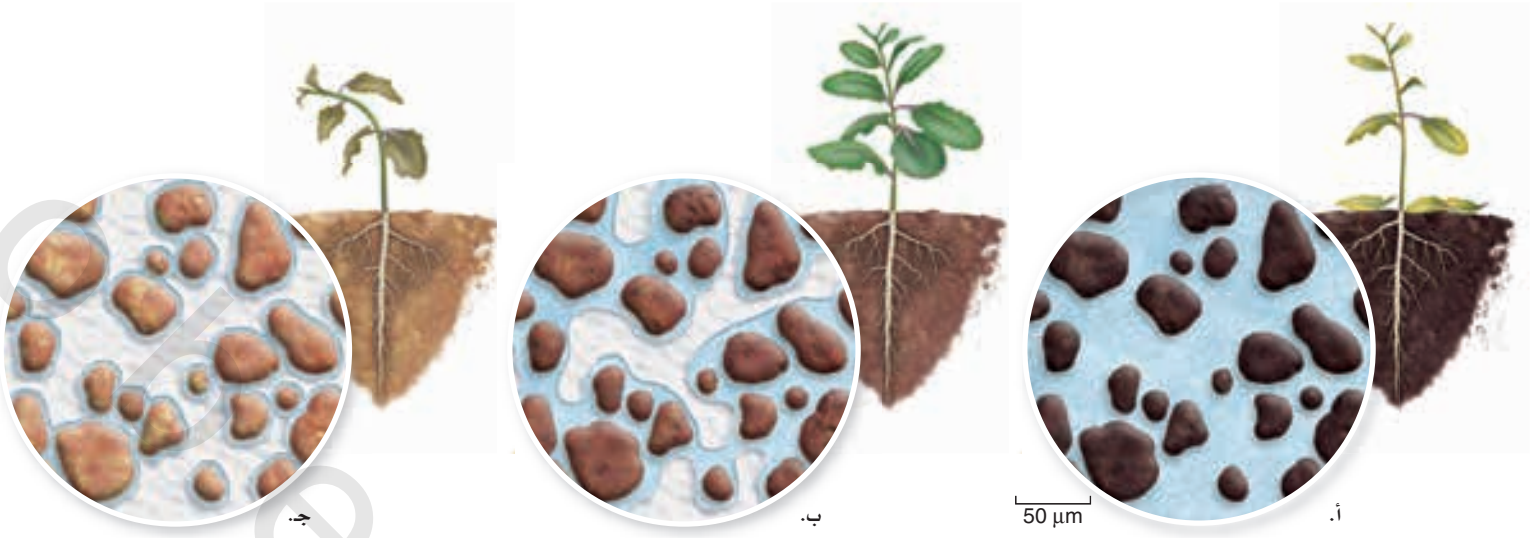
يعتمد توافر الماء والمعادن على خصائص التّربة

إن المعادن المذابة في الماء فقط، والموجودة في الفراغات، أو الثقوب الموجودة بين جزيئات التّربة، هي المتوافرة للامتصاص عبر الجذور. يحتوي سطح المعادن وجزيئات التّربة الْعضويَّة على شحناتٍ سالبة. الأيونات ذات الشّحنة السّالبة تبقى في المحلول، مكوّنة فرقًا في الشّحنة بين محلول التّربة وخلايا الجذور. وعليه، فإنّ الأيونات ذات الشّحنة الموجبة يكون لديها القابلية للخروج من الخلايا. تنقل مضخاتُ البروتون البروتوناتِ خارج الجذور لتكون فرقًا في القدرة الكهربائيّة للغشاء (−160 مليفولت). ويؤدي الفرق الكبير في كهروكيميائية الغشاء إلى دخول أيونات البوتاسيوم، وغيرها من الأيونات عبر قنوات. بعض الأيونات، وخاصة الأيونات ذات الشّحنة السّالبة تستخدم عملية النقل المترافق (الشكل 39-2). تؤثر القدرةُ الكهربائيّة للغشاء التي تحافظ عليها الجذور، والفرقُ في القدرة المائية داخل الجذور وخارجها على النّقل في الجذر (تم وصف القدرة المائيّة في الفصل الـ 38)

تشكل الثقوب نحو نصف حجم التّربة الكلّي، وقد تكون مملوءة بالماء أو الهواء، وذلك بحسب الوضع المائي. (الشكل 39-3). بعض الماء الموجود في التّربة لا يكون متوافرًا للنبات. وجزء من الماء الذي يصل إلى التّربة يمرّ من خلالها بسرعة نظرًا لقوى الجاذبيّة الأرضيّة. إن الماء الذي يصرف في الترب الرملية يشكّل كمية كبيرة. الجزء الآخر من الماء في التّربة يوجد في الثقوب الصغيرة التي غالبًا لا يقل قطرها عن 50 ميكرومترًا. يُشكل هذا الماء الجزء المتوافر للنبات. عندما

الشكل 39-2

دور شحنات التّربة في النقل. النقل النشط ضروري لحركة الأيونات ذات الشّحنة الموجبة إلى الشّعيرات الْجذريّة.



الشكل 39–3

يملأ الماء والهواء الفراغات بين جزيئات التّربة. أ. لا تستطيع الجذور التّنفّس دون وجود بعض الفراغات في التّربة من أجل التهوية. ب. التوازنُ بين الماء والهواء في التّربة ضروريٌّ لنموّ الجذور. جـ. تؤدي كمية قليلة من الماء إلى خفض القدرة المائية للتربة، وتمنع النّتح في النّباتات.

يتناقص هذا الماء من خلال التبخر أو الامتصاص عن طريق الجذور، يصاب النبات بالذبول، ويموت لاحقًا، إلا إذا أُضيف الماء إلى التّربة. وكلما نضبت كمية الماء في المنطقة القريبة من الجذور؛ فإنّ القدرة المائية تقل، وهذا يساعد على حركة الماء نحو الجذور؛ لأنّ الماء في المنطقة البعيدة له قدرة مائية أكبر.

تركيبُ الأتربة متنوعٌ، وكلّ نوع من التّربة يوفر مجموعة من الْمغذِّيات النّباتيّة قد تكون كثيرة أو قليلة. إضافة إلى أنّ درجة الأحماضة والملوحة التي وُصفت سابقًا يمكن أنْ تؤثّر في توافر الماء والْمغذِّيات.

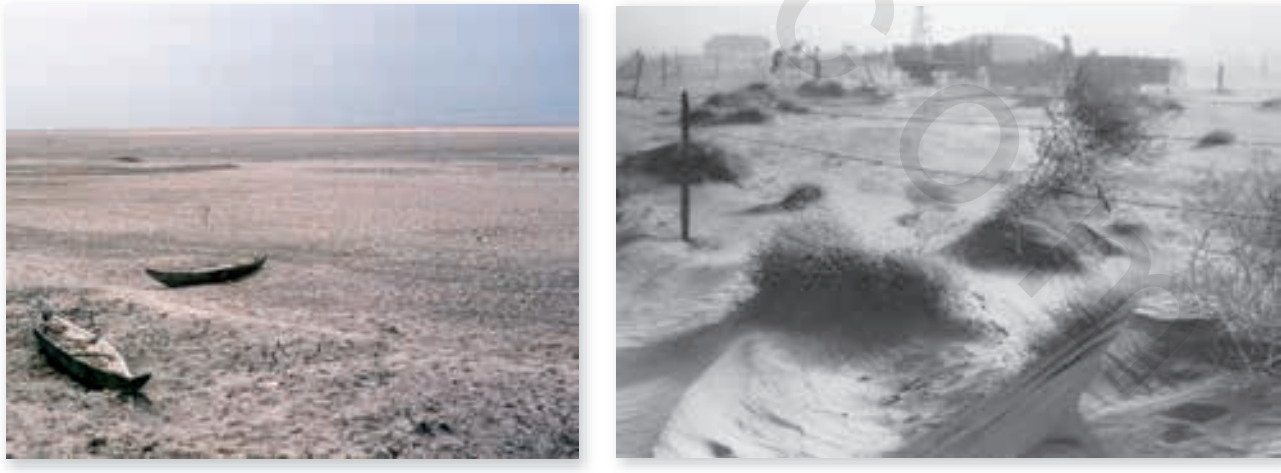
يمكن أن تؤدي زراعة النباتات إلى خسارة التّربة ونقص المعادن

عند فقدان التّربة العلوية بسبب التّعرية، أو نتيجة لهندسة التّربة، فإنّ قدرة الحمل المائي والعلاقات الغذائية في التّربة تتأثر بشكل سلبي. لقد تم فقدان 50 مليار طن تقريبًا من التّربة العلوية من الحقول في الولايات المتحدة خلال سنة واحدة.

عند تغيّر الغطاء النباتي للتربة من خلال الحراثة والحصاد، فإنّ تعرية التّربة بالماء والرياح تزداد، وفي بعض الأحيان، بشكل كبير كما حصل في ثلاثينيات القرن الماضي في السهول الكبرى الشرقيّة الجنوبيّة للولايات المتحدة، حيث أصبحت هذه المنطقة تعرف بصحن الغبار. فقد أدى اجتماع الطّرق السيئة في الزّراعة، وعدد من سنوات الجفاف إلى زيادة في حساسية التّربة للتعرية بالرّياح (الشكل 39 - 4أ).

تركز أساليب الزّراعة الحديثة على الحدِّ من خسارة التّربة من خلال اتِّباع الدّورة الزّراعيّة، وتنوع المحاصيل في الحقل، والحراثة المحافظة، وعدم حراثة محاصيل الخريف. تتضمن الحراثة المحافظة أقل درجة من الحراثة، بل عدم الحراثة أحيانًا؛ لمنع تعرية التربة.

إن الزيادة في استخدام الأسمدة في الزّراعة وفي الحدائق قد تؤدي إلى تلوّث كبير في المياه، وهذا مرتبط بنتائج سلبية مثل النّموّ الكثيف للطحالب في البحيرات (الفصلان الـ 56 و 57). إنّ المحافظة على مستوى الْمغذِّيات في التّربة ومنع انتقالها إلى البحيرات والجداول والأنهار يمكن أن يؤدي إلى زيادة في نموّ المحاصيل، ويقلل من تدمير الأنظمة البيئية.



الشكل 39–4

تلف التّربة. أ. أدى الجفاف وأساليب الزّراعة السيئة إلى التّعري عن طريق الهواء في حقول السهول الكبيرة في جنوب شرق الولايات المتحدة في ثلاثينيات القرن الماضي. ب. صرف المناطق المالحة في العراق أدّى إلى تكوين صحارى مالحة.

إحدى المقاربات، وهي الزّراعة الخاصة في الموقع، تستخدم مستويات متنوعة من الأسمدة، يتم حسابها باستخدام الحاسوب، ونظام تحديد الموقع العالمي (GPS). يعتمد التطبيق متباين المعدل على معلومات تستند إلى تحليل عينات من التّربة حول مستوى المعادن في التّربة المحلية. من الطرق الأخرى، إدارة التّغذية المتكاملة التي ترفع مستوى إضافة الْمغذِّيات باستخدام السماد الأخضر (مثل نبات الفصّة الذي يُطْمَرُ في التّربة) وروث الحيوانات والأسمدة اللاعضوية. السّماد الأخضر وروث الحيوانات يمتازان بتحرر الْمغذِّيات بشكل بطيء حال تبسيطها بالمخلوقات المحللة، وبذلك يتم استخدام الْمغذِّيات قبل غسلها بعيدًا. ويمكن استخدام طرق المحافظة هذه كلّها مجتمعة.

يؤثّر كلّ من pH والملوحة في توافر المعادن

أيُّ شيء يؤدي إلى تغيير الفرق في الضغط المائي، أو تغيّر توازن التركيز الأيوني بين الجذور والتّربة، يمكن أنْ يؤثّر في قدرة النبات على امتصاص الماء والمعادن. التّربة الحمضية (لها درجة أحماضة منخفضة) والتّربة المالحة (تركيز أملاح مرتفع) تشكل بيئات شديدة التّحدّي.

التّربة الحمضيّة

تؤثّر درجة حموضة التّربة في تحرّر المعادن من الصخور المفتتة. فمثلًا، يتحرّر الألمنيوم في درجة الأحماضة المنخفضة من الصّخور، وهذا العنصر سامّ لعدد من النّباتات. إضافة إلى ذلك، فإنّ الألمنيوم يرتبط مع معادن أخرى، ويجعلها غير مفيدة للنباتات.

تنمو معظم النّباتات بأفضل درجة على درجة الأحماضة المتعادلة. ولكن 26% من أراضي العالم الزراعية حمضية. في أمريكا الاستوائية، 68% من الأراضي حمضية. إنّ سمِّيَّة الألمنيوم قد تؤدي إلى انخفاض إنتاج محصول الذرة بمقدار أربعة أضعاف في الحقول الكولومبيّة.

أدت محاولات تهجين النّباتات في كولومبيا إلى إنتاج نباتات تقاوم سميّة الألمنيوم، فازدادت إنتاجية المحاصيل بنسبة 33%. وفي تجارب حقلية، كانت الزيادة مرتفعة، ووصلت إلى 70% مقارنة بالنّباتات التي لا تستطيع مقاومة سميّة الألمنيوم. إن قدرة النّباتات على امتصاص المعادن السامة يمكن أنْ تستخدم لتنظيف التّربة الملوثة. وسنتناول هذا الموضوع في نهاية هذا الفصل.

الملوحة

يُغَيِّرُ تراكمُ الأملاح والأيونات خاصة Na^+ و Cl^- في التّربة القدرةَ المائيةَ، ما يؤدي إلى خسارة النبات للماء. ما يقارب 23% من الأراضي الزراعية في العالم لها مستويات ملوحة عالية تقلل من نموّ النّباتات. تنتشر التّربة المالحة في المناطق الجافة، حيث يتم زيادة تركيز الأملاح في أثناء الرّي الذي يؤدي إلى تراكم هذه الأملاح في التّربة.

أحد الأمثلة الواضحة على ملوحة التّربة هو مهد الحضارات المسماة حضارة ما بين النهرين، التي سميت يومًا ما الهلال الخصيب لكثرة نباتاتها، هي الآن في الغالب صحراء. حصل التّصحّر على مدى قصير من الزّمن في جنوب العراق، حيث قام صدام حسين بتجفيف معظم الـ 20,000 كم^2 من المنطقة المغمورة- الأهوار، وذلك بتحويل مسار المياه، فتحولت المناطق المغمورة (الأهوار) إلى صحراء مالحة. ومع سقوط صدام حسين، تم تحطيم السدود، وأعيد الماء إلى منطقة الأهوار. عودة منطقة الأهوار إلى ما كانت عليه ليس مضمونًا، ولكن المنطقة التي دخلتها المياه وقلت نسبة الملوحة فيها يمكن أنْ تعود إلى ما كانت عليه.

تعتمد النّباتات على الْمغذِّيات الموجودة في التّربة لحياتها. إن تركيب التّربة، ودرجة الأحماضة، والماء، والملوحة تحدد مدى توافر هذه الْمغذِّيات للنبات.

2-39 المغذيات النباتية

المصدر الأساسي لتغذية النبات هو تثبيت ثاني أكسيد الكربون الهوائي، وتحويله إلى سكريّات بسيطة باستخدام طاقة الشّمس. يدخل ثاني أكسيد الكربون عبر الثغور. الأكسجين، وهو أحد نواتج عملية البناء الضّوئيّ الثانوية، وواحد من مكونات الهواء يُنقل عبر الثغور. يتم استخدام الأكسجين في التّنفّس الخلوي ليدفع عمليات النّموّ والحفاظ على حياة النّباتات.

لا يكفي ثاني أكسيد الكربون والطّاقة الضوئية لبناء جميع الجزيئات التي يحتاج إليها النبات جميعها، فإضافة إلى ذلك، تحتاج النّباتات إلى عددٍ من الْمغذِّيات اللاعضوية. بعض هذه الْمغذِّيات هي **الْمغذِّيات الكبيرة Macronutrients** التي يحتاج إليها النبات بكميات كبيرة، والأخرى هي **الْمغذِّيات الصغيرة Micronutrients** التي يحتاج إليها النبات بكميات قليلة جدًا. (الجدول 39-1).

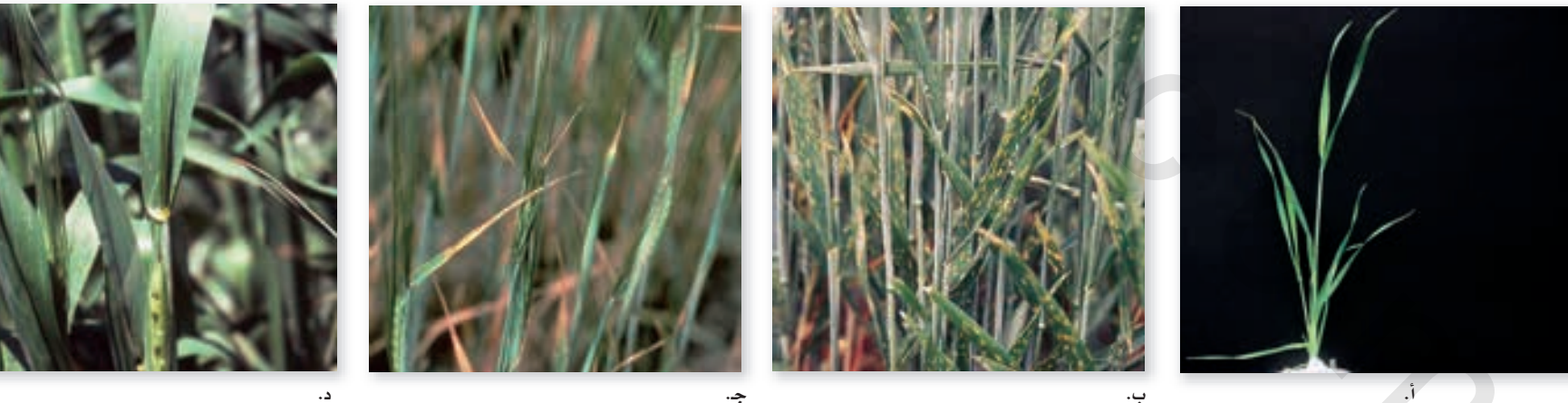
تحتاج النّباتات إلى 9 مغذيات كبيرة و7 مغذيات صغيرة

الْمغذِّيات الكبيرة التسعة، هي: الكربون، والأكسجين، والهيدروجين، وهي ثلاثة عناصر توجد في المواد الْعضويَّة جميعها، إضافة إلى النيتروجين (ضروري لتكوين الأحماض الأمينية) والبوتاسيوم، والكالسيوم، والماغنسيوم (مركز جزيء الكلوروفيل) والفوسفور والكبريت. كلّ من هذه الْمغذِّيات يكوّن نحو 1% من وزن النبات الجاف أو قد يزيد كثيرًا على 1%، كما هو في حالة الكربون.

أما الْمغذِّيات الصغيرة السبعة فهي: الكلور، والحديد، والمنجنيز، والزنك، والبورون، والنحاس، والمولبيدينم – تشكل من أقل من 1 إلى مئات عدة من الجزء في المليون في معظم النّباتات. النقص في أيّ من هذه العناصر يمكن أنْ يكون له أثر حاد في نموّ النّباتات (الشكل 39-5). تم اكتشاف الْمغذِّيات الكبيرة في القرن الماضي، ولكن العناصر الصغيرة تم اكتشافها حديثًا، حيث تطورت الطرق التي أدت إلى تعريفها، والعمل على اكتشافها بهذه الكميات الصغيرة جدًا.

ويمكن تحديد احتياجات النبات الغذائية بزراعة النّباتات في وسط سائل محدد التركيب، بحيث تكون الجذور مغمورة في الماء ذي التهوية العالية، والمحتوي على الْمغذِّيات. ولغرض الدراسة، يحتوي المحلول على العناصر الأساسية جميعها وبتركيز مناسب، ما عدا العنصر المراد دراسته. تترك النّباتات في هذا المحلول لتنمو، ويتم متابعة الأعراض التي قد تظهر على النّباتات، والتي قد تبين الحاجة إلى العنصر غير الموجود في المحلول (الشكل 39-6).

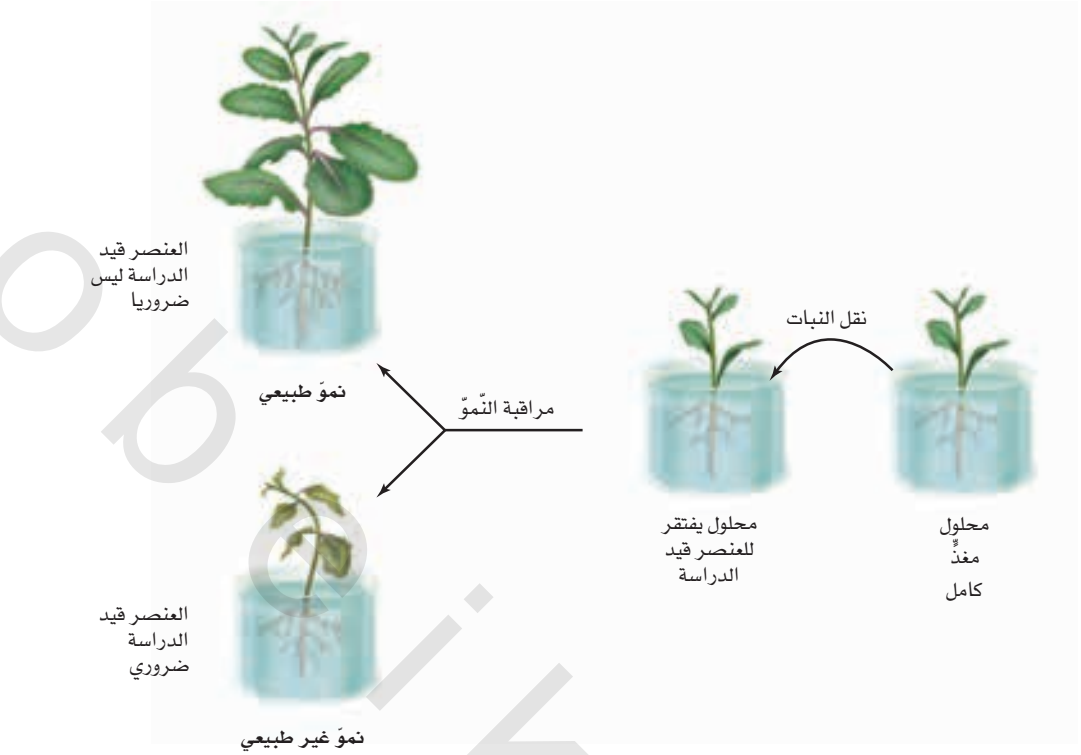
الجدول 39-1 المغذيات الأساسية للنباتات			
العنصر	**الشكل الرئيس الذي يتم امتصاصه**	**النسبة التقريبية في الوزن الجاف**	**مثال على الوظائف المهمة**
المُغذِّيات الكبيرة			
الكربون	ثاني أكسيد الكربون	44	مكوِّن أساسي للمواد العُضويَّة
الأكسجين	O_2, H_2O	44	مكوِّن أساسي للمواد العُضويَّة
الهيدروجين	H_2O	6	مكوِّن أساسي للمواد العُضويَّة
النيتروجين	NO_3^-, NH_4^+	4 – 1	مكوِّن للأحماض الأمينية، والبروتينات والنيوكليوتايدات والأحماض النّوويّة، والكلوروفيل
البوتاسيوم	K^+	6 – 0.5	بناء البروتين وعمل الثغور
الكالسيوم	Ca^{2+}	3.5 – 0.2	مكوِّن للجدار الخلوي، يحافظ على تركيب الغشاء الخلوي، منشِّط لبعض الأنزيمات
الماغنسيوم	Mg^{2+}	0.8 – 0.1	الغشاء الخلوي، منشِّط لبعض الأنزيمات مكوِّن للكلوروفيل، منشِّط لبعض الأنزيمات.
الفوسفور	$H_2PO_4^-$, HPO_4^-	0.8 – 0.1	مكوِّن ADP وATP، أحماض نووية، الدهون المفسفرة وبعض مرافقات الأنزيمات.
الكبريت	SO_4^{2-}	1 – 0.05	مكوّن لبعض الأحماض الأمينية، والبروتين ومرافق الأنزيم أ
المُغذِّيات الصغيرة (التركيز / جزيء في المليون)			
الكلور	Cl^-	10.000 – 100	الأسموزية والتوازن الأيوني
الحديد	Fe^{2+}, Fe^{3+}	300 – 25	تكوين الكلوروفيل، السيتوكروم وأنزيم النيتروجينيز
المنجنيز	MN^{2+}	800 – 15	منشّط لبعض الأنزيمات
الزنك	ZN^{2+}	100 – 15	منشّط لبعض الأنزيمات، له دور في تكوين الكلوروفيل
البورون	BO_3^-, $B_4O_7^-$, or $H_2BO_3^-$	75 – 5	له دور في نقل السّكّريّات، وبناء الأحماض النّوويّة
النحاس	Cu^2 or Cu^+	30 – 4	منشّط، أو مكون لبعض الأنزيمات
الموليدنم	MoO_4^-	5 – 0.1	تثبيت النيتروجين واختزال النيترات



أ. ب. جـ. د.

الشكل 39-5

نقص المعادن في النّباتات. أ. أوراق لنباتات القمح الطبيعية. ب. نقص الكلور في النّباتات مع تَبَرْقُش الأوراق (أوراق فيها بعض المناطق الميتة). جـ. نباتات تعاني نقص النحاس، مع قمم أوراق جافة ومعوجّة. د. نباتات فيها نقص للزنك، مع تقزم النّموّ واصفرار (فقدان الكلوروفيل) في بعض المناطق على الأوراق. النتائج الزراعية لمثل هذا النقص واضحة، ويمكن لمُشاهِدٍ مُدَرَّبٍ أنْ يقرّر نقص العنصر الذي يؤثّر في النبات بمجرد فحصه.



الشكل 39–6

التّعرّف إلى حاجة النّباتات الغذائية. يُزرع النبات أولًا في محلول كامل المُغذِّيات. يُنقل النبات بعد ذلك إلى محلول ينقصه أحد العناصر تحت الدراسة الذي يُعتقد أنه أساسي. يُتابعُ نموّ النّباتات وملاحظة أيّ أعراض غير طبيعية، مثل زوال لون الأوراق، أو النّموّ المتقزم. إذا كان نموّ النّباتات طبيعيًّا، فيستنتج أنَّ العنصر الناقص ليس ضروريًّا، أما إذا كان نموّ النبات غير طبيعي فيكون العنصر الناقص ضروريًّا لنمو النبات.

ولتوضيح كم من الصِّغَرِ تكون الحاجة إلى المُغذِّيات الصغيرة، فإنَّ الجرعةَ المثالية للموليبدينم التي تضاف إلى التّربة التي ينقصها هذا العنصر بشكل حاد في أستراليا تبلغ 34 جم (نحو قبضة اليد) لكلّ هكتار (مربع بطول ضلع = 100 م) مرة كلّ عشر سنوات. تنمو معظم النّباتات بشكل مناسب في الزراعات الهيدروبونية (أي في المحاليل المائية) إذا تمت تهوية الجذور بشكل جيد. ومع أن الطريقة مكلفة، إلا أنها تُستخدم بعض الأحيان لأغراض اقتصادية (الشكل 39–7). لقد جعلت الكيمياء التحليلية إمكانية تحليل العينات النّباتيّة أكثر سهولة على مستوى الجزيئات المختلفة.

الأمن الغذائيّ مرتبط بإنتاجية المحاصيل ومستوى المُغذِّيات

يُعَدُّ مستوى المُغذِّيات وإنتاج المحاصيل من الاهتمامات الكبيرة للإنسان. **الأمن الغذائيّ Food security** والابتعاد عن المجاعة هو مسعى عالمي. فزيادة القيمة الغذائية للمحاصيل الزراعية خاصة في الدول النامية يمكن أن يكون له فوائد جمّة على صحة الإنسان.

إن تحصين الغذاء وتدعيمه يشكل أحد مسارات الأبحاث الفعالة التي تركز على الطّرق التي يمكن من خلالها زيادة امتصاص المعادن وخزنها في الجذور والسيقان للاستهلاك البشري لاحقًا. فيمكن زيادة امتصاص الفوسفات، مثلًا، إذا كان ذوبانه في التّربة عاليًا. تم تعديل بعض النّباتات وراثيًّا لتقوم بإفراز حمض الستريك (الليمون) وهو حمض عضوي يذيب الفوسفات. وفائدة إضافية، فإنّ حمض الستريك يرتبط بالألمنيوم، وهو عنصر سام للنباتات والحيوانات، فيمنع النبات من امتصاصها.

أما المُغذِّيات الأخرى، مثل: الحديد، والمنجنيز، والزنك، فالغشاء الخلوي للخلايا يحتوي على نواقل تحدد امتصاصها. وقد تم استنسال الجينات التي تكوّن هذه النواقل في مخلوقات أخرى، وتم نقلها إلى بعض نباتات المحاصيل.

ولهذا، يمكن في النهاية أن تكون حبوب الإفطار مركزة بالمعادن الإضافية في أثناء نموّ الحبوب في الحقل، وذلك بالمقارنة مع ما يتم عند معالجتها في المصانع، حيث تُضاف المعادن في المصنع.

تحتاج النّباتات إلى مغذيات كبيرة وصغيرة، وهذه تتراكم غالبًا في الجذور عن طريق النقل النشط. يمكن أن يرفع التغيير الجيني في النّباتات - لزيادة قدرتها على امتصاص المُغذِّيات - من قيمة النبات الغذائية للاستهلاك البشري.

الشكل 39–7

الزّراعة المائية (الهيدروبونية). توفِّر التّربة المُغذِّيات والدعامة، ولكن يمكن لهاتين الوظيفتين أنْ تُستَبْدَلا في المزارع المائية. هنا تم وضع نباتات البندورة في الهواء، وتدور جذورها في حمام من المحلول المغذي.

3-39 إستراتيجيات التّغذية الخاصة

يمكن أن توفّر البكتيريا التي تعيش بارتباط مع الجذور النيتروجين

تحتاج النّباتات إلى الأمونيا (NH_3) أو النيترات لبناء الأحماض الأمينية. لكن معظم النيتروجين الهوائي على شكل غاز (N_2)، ولا تمتلك النّباتات المسارات الكيميائية (بما فيها أنزيم النيتروجينيز) الضرورية لتحويله إلى أمونيا. ولكن بعض البكتيريا لها القدرة على ذلك. وقد تطورت علاقة تعايشية بين بعض النّباتات وهذه البكتيريا. تعيش بعض البكتيريا بجوار الجذور، وبعضها الآخر تسكن داخل أنسجة خاصة يكوّنها النبات. لهذا؛ تسمى **العقد الْجذريّة Nodules** (الشكل 39-8).

تستطيع البقوليّات وبعض أصناف النّباتات الأخرى أنْ تكوّن عقدًا جذرية. يكلف إسكان هذه البكتيريا النبات الطّاقة، ولكنها ذات فائدة كبيرة، خاصة عندما تكون التّربة قليلة النيتروجين. للحفاظ على الطّاقة، لا تستجيب الشعيرات الْجذريّة في البقوليات للمؤثّرات البكتيرية عندما يكون النيتروجين متوافرًا في التّربة بمستويات عالية.

تُعدُّ عملية تثبيت النيتروجين الجوي من أكثر العمليات المستهلكة للطاقة، التي تحدث في أيّ خلية. أين تكمن الصعوبة في إضافة H_2 إلى N_2؟ الإجابة عن ذلك تكمن في قوة الروابط الثلاث في N_2.

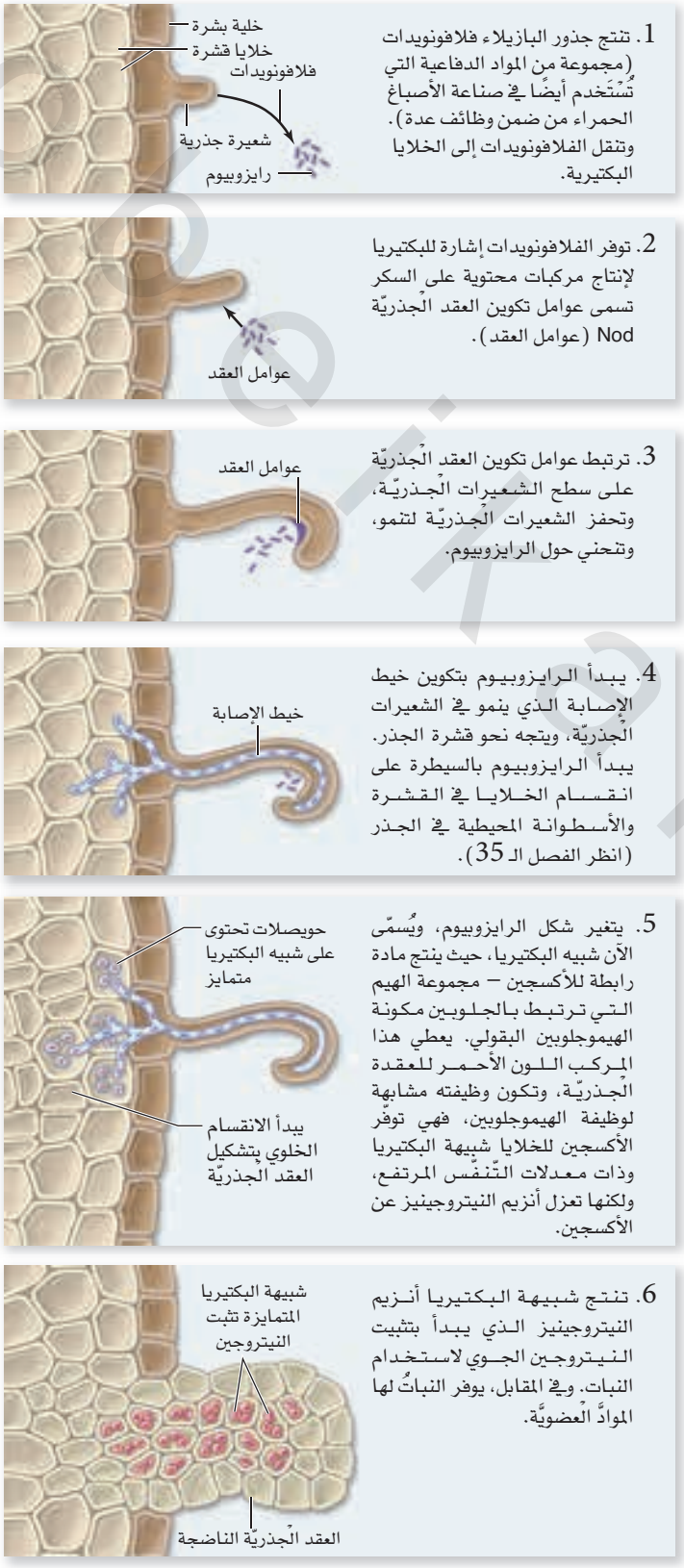
يحتاج أنزيم النيتروجينيز إلى 16 ATP لبناء جزيئين من NH_3. إن تصنيع NH_3 دون هذا الأنزيم يحتاج إلى أجهزة خاصة على حرارة $450^\circ - 500^\circ$ س و500 ضغط جوي، وهو أعلى بكثير مما يستطيع النبات تحمله للبقاء.

تحتاج بكتيريا الرايزوبيوم *Rhizobium* إلى الأكسجين والسّكّريّات لتوفير الطّاقة العالية اللازمة لحياتها بوصفها مثبتات للنيتروجين. يتم توفير السّكّريّات عبر الأنسجة الوعائية للنبات؛ ويتم تصنيع مادة الهيموجلوبين البقولية التي تشبه الهيموجلوبين الحيواني في النبات لتنظيم توفير الأكسجين للبكتيريا. تموت البكتيريا بسبب عدم توافر الأكسجين؛ ولكن أنزيم النيتروجينيز الموجود في هذه البكتيريا يجب أنْ يكون بعيدًا عن الأكسجين؛ لأنه يوقف نشاطه. يرتبط الهيموجلوبين البقولي بالأكسجين، وينظم مستوياته داخل العقد الْجذريّة ليوفر بيئة ملائمة لعمل أنزيم النيتروجينيز والتّنفّس الخلوي.

لكن كيف تلتقي بكتيريا الرايزوبيوم المثبتة للنيتروجين مع النبات البقولي (الشكل 39-9)؟ يتم انتقال إشارات كثيفة بين البكتيريا والنبات البقولي ليس فقط

الشكل 39-8

العقد الْجذريّة المثبتة للنيتروجين. شعيرة جذرية لنبات الفصّة تستضيف الرايزوبيوم، أي البكتيريا التي تثبت النيتروجين مقابل السّكّريّات.



1. تنتج جذور البازيلاء فلافونويدات (مجموعة من المواد الدفاعية التي تُستَخدم أيضًا في صناعة الأصباغ الحمراء من ضمن وظائف عدة). وتنقل الفلافونويدات إلى الخلايا البكتيرية.

2. توفر الفلافونويدات إشارة للبكتيريا لإنتاج مركبات محتوية على السكر تسمى عوامل تكوين العقد الْجذريّة Nod (عوامل العقد).

3. ترتبط عوامل تكوين العقد الْجذريّة على سطح الشعيرات الْجذريّة، وتحفز الشعيرات الْجذريّة لتنمو، وتنحني حول الرايزوبيوم.

4. يبدأ الرايزوبيوم بتكوين خيط الإصابة الذي ينمو في الشعيرات الْجذريّة، ويتجه نحو قشرة الجذر. يبدأ الرايزوبيوم بالسيطرة على انقسام الخلايا في القشرة والأسطوانة المحيطية في الجذر (انظر الفصل الـ 35).

5. يتغير شكل الرايزوبيوم، ويُسمّى الآن شبيه البكتيريا، حيث ينتج مادة رابطة للأكسجين – مجموعة الهيم التي ترتبط بالجلوبين مكونة الهيموجلوبين البقولي. يعطي هذا المركب اللون الأحمر للعقدة الْجذريّة، وتكون وظيفته مشابهة لوظيفة الهيموجلوبين، فهي توفّر الأكسجين للخلايا شبيهة البكتيريا وذات معدلات التّنفّس المرتفع، ولكنها تعزل أنزيم النيتروجينيز عن الأكسجين.

6. تنتج شبيهة البكتيريا أنزيم النيتروجينيز الذي يبدأ بتثبيت النيتروجين الجوي لاستخدام النبات. وفي المقابل، يوفر النباتُ لها الموادَّ العضويَّة.

الشكل 39-9

تكوين العقد الْجذريّة للرايزوبيوم.

الشكل 39-10

التكيفات الغذائية. أ. نبات عشبة الإبريق الآسيوي، *Nepenthes*. تدخل الحشرات هذا النبات، حيث يتمّ اصطيادها وهضمها. تجمع معقد من الحيوانات اللافقارية والطلائعيات يقطن هذا الدورق. ب. مصيدة الذباب فينوس. *Dionaea*. إذا لمست الحشرة شعيرتين من الشعيرات الموجودة على الورقة المتحورة، فإنَّ المصيدةَ تُغْلَق خلال مدة قصيرة من الزمن. يقوم النبات بإفراز الأنزيمات الهاضمة التي تطلق المواد النيتروجينية من الحشرة، حيث يقوم النبات بامتصاصها. جـ. نبات ندى الشّمس *Drosera*. تصطاد الحشرات عن طريق إفرازات لاصقة، وتقوم باستخدام الأنزيمات الهاضمة للحصول على الْمغذِّيات من جسم الحشرات. د. دولاب الماء *Aldrovanda*. هذا النبات القريب جدًا من مصيدة الذباب فينوس، ينطبق ليغلق، ويمسك بالحيوانات المائية الصغيرة، ويقوم بهضمها. أصول هذا النبات المائي كانت نباتات تعيش على اليابسة.

للتعارف ومعرفة وجود الآخر، بل لمعرفة ما إذا كانت البكتيريا هي النوع المناسب والخاص بالنبات البقولي. ترتكز هذه العلاقة التعايشية المتطورة جدًا على التوافق الدقيق بين الأصناف. كلٌّ من فول الصويا والبازيلاء الخضراء نباتات بقولية. ولكن، كلٌّ منها يتعامل مع نوع خاص من بكتيريا الرايزوبيوم لتكوين العلاقة التعايشية.

الْفطريّات الْجذريّة تساعد عددًا كبيرًا من نباتات اليابسة

لا يشكّل النيتروجين العنصر الوحيد الذي يصعب على النبات الحصول عليه دون مساعدة، ومع أنّ العلاقة التعايشية مع البكتيريا المثبتة للنيتروجين قليلة الحدوث، فإنّ العلاقة التعايشية مع أعفان الْفطريّات الْجذريّة توجد في 90% من النّباتات الوعائية تقريبًا. لقد تَمَّ وصف هذه الأعفان بالتفصيل في الفصل الـ 31. وفيما يخصّ التّغذية النّباتيّة، فإنّ الْفطريّات الْجذريّة تؤدي دورًا مهمًّا في زيادة امتصاص الفوسفات ونقله إلى النبات، إضافة إلى تسهيل امتصاص بعض الْمغذِّيات الصّغيرة الأخرى. تقوم الْفطريّات الْجذريّة بوظيفة مهمة هي زيادة مساحة السّطح الماص للمغذيات بشكل كبير.

ويبدو أنّ الأعفان قد ساعدت النّباتات الأولية عديمة الجذور على العيش على اليابسة. وتشير الدلائل الآن إلى أنّ مسار الترميز الذي أدى إلى تكوين العلاقة التعايشية بين النّباتات وبعض أنواع الْفطريّات الْجذريّة تمّ استغلاله لتكوين العلاقة التعايشية بين الرايزوبيوم والنّباتات البقولية التي تكونت لاحقًا.

تصطاد النّباتاتُ الآكلة للحيوانات الحيواناتِ وتهضمها لاستخلاص مغذيات إضافية

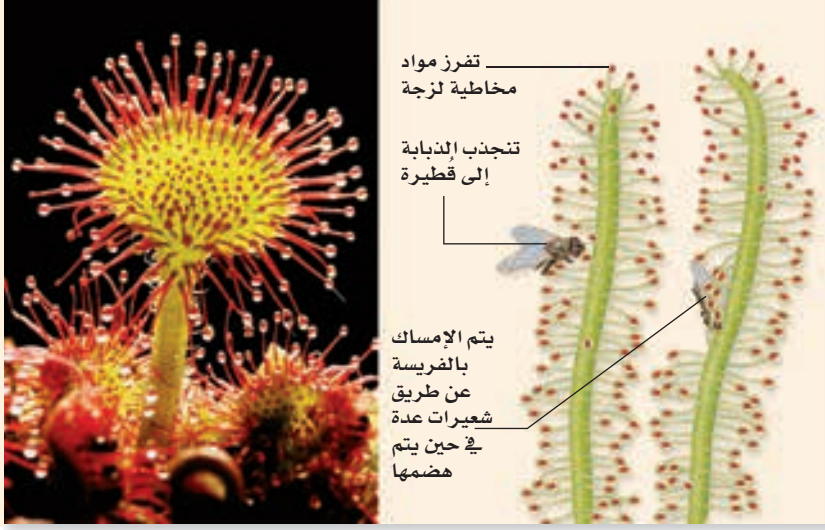
تستطيع بعض النّباتات الحصول على النيتروجين مباشرة من مخلوقات أخرى، كما يحصل في الحيوانات. تعيش معظم النّباتات آكلة الحيوانات في التّربة الحمضية الفقيرة بالنيتروجين العضوي. تتمكن النّباتات من خلال اصطياد الحيوانات الصغيرة وهضمها، وخاصة الحشرات، من الحصول على مورد نيتروجيني يمكنها من النّموّ في البيئات غير الملائمة. تمتلك النّباتات آكلة الحيوانات أوراقًا متحورة تلائم الإمساك بالفريسة. عادة، تهضم هذه النّباتات الفريسة عن طريق أنزيمات تفرزها غدد خاصة.

يجذب نبات الإبريق (أنواع *Nepenthes*) الحشرات عن طريق الألوان البراقة لتراكيب تشبه الزهرة ضمن تركيب الورقة المجوف الذي يشبه الجرّة، عن طريق رائحة خاصة، إضافة إلى إفرازات غنية بالسكريات (الشكل 39-10 أ). عند دخول الحشرة إلى الجرّة، تنزلق إلى الداخل، حيث تصل إلى تجويف الورقة المملوء بالماء والأنزيمات الهاضمة. توفر هذه الطريقة البسيطة لنبات الإبريق مصدرًا ثابتًا للنيتروجين.

نبات مصيدة الذباب فينوس (*Dionaea muscipula*) الذي يعيش في مستنقعات شواطئ كارولينا الشمالية والجنوبية، له ثلاث شعيرات حساسة على كلّ حافة من حواف الورقة، وعند لمسها، فإنها تدفع نصفي الورقة إلى الإطباق بسرعة 100 مليثانية تقريبًا (الشكل 39-10ب). لقد أدهشت السرعة التي تغلق فيها المصيدة العلماء منذ عهد داروين. يمكن أنْ يكون السبب في هذه الحركة التّغيّر في الضغط المائي الداخلي؛ أما السرعة فتعود للشكل الهندسي المنحني للورقة، الذي يمكن أن ينطبق بين شكل محدب ومقعر.

عندما تطبق مصيدة الذباب فينوس على الفريسة داخل الورقة، تفرز الأنزيمات من سطح الورقة لتهضم الفريسة، وتستخدم مصيدة الذباب آلية نموّ خاصة للإغلاق، وليس فقط بمجرد حدوث انخفاض في الضغط المائي الداخلي. ولهذا السبب، فإنها تستطيع أن تفتح وتغلق مرات محدودة فقط. في أنواع نباتات *Drosera*، وهي مجموعة أخرى من النّباتات آكلة الحيوانات، تفرز شعيرات غُدية مادة لزجة مخاطية تمسك بالحيوانات الصغيرة، وتفرز أنزيمات هاضمة، وهي لا تغلق بشكل سريع (الشكل 39-10جـ). مصيدة الذباب فينوس وندى الشّمس يتشاطران سلفًا مشتركًا يفتقر إلى آلية الإطباق الخاصة بمجموعة النّباتات التي تصيد الحشرات (الشكل 39-11).

دولاب الماء الذي يعيش في البيئة المائية (*Aldrovanda vesicular*) هو أحد أقرب الأقرباء لمصايد الذباب. هذا النبات عديم الجذور، ويستخدم شعيرات محركة، وآلية إطباق تشبه مصيدة الذباب فينوس لإمساك الحيوانات الصغيرة وهضمها (الشكل 39 - 10 د). لقد بينت الدراسات النشوئية الجزيئية أنّ مصايد الذباب فينوس هي أنواع شقيقة لندى الشّمس، وتُكوّن سلالة أخوية. ويظهر



جـ.

د.

أنّ آلية الإطباق قد تطورت مرة واحدة فقط من أسلاف ندى الشّمس. ولهذا، فإنّ الأصل المشترك لنبات دولاب الماء كان نباتًا يعيش على اليابسة، ثُمَّ انتقل للعيش على الماء.

نباتات مثل حشيشة المثانة *Utricularia* هي نباتات مائية، ولكن يبدو أنّ لها أصلًا مختلفًا عن دولاب الماء، وآلية مختلفة في اصطياد المخلوقات. يتمّ دفع الحيوانات الصغيرة إلى الأوراق المشابهة للمثانة عن طريق حركة سريعة لغطاء يشبه الزنبرك، وبعدها تقوم الأوراق بهضم هذه الحيوانات.

تستغل النّباتات المتطفلة موارد نباتات أخرى

تتكون النّباتات المتطفلة من مجموعات تقوم بالبناء الضّوئيّ، وأخرى لا تقوم بها. هناك ما مجموعه 3000 نوع من النّباتات التي تحصل على مصدر غذائها من نباتات أخرى. تشمل تحورات هذه النّباتات تراكيب تدخل في الأنسجة الوعائية للنبات العائل، بحيث يتم سحب المُغذِّيات نحو النبات المتطفل. أحد الأمثلة هو نبات (*Cuscuta*. spp) الذي يبدو مثل خيط ثنائي بني اللون ملتف حول عائلهِ. ولا يحتوي هذا النبات على الكلوروفيل، ويعتمد كليًّا في احتياجاته الغذائية على العائل.

يدخل نبات المزمار الهندي *Hypopitys uniflora* في الشجرة العائل من خلال خيوط العفن المكونة للفطريات الْجذريّة في العائل (الشكل 39-12). ويتكوّن الجزء الموجود فوق سطح الأرض من النبات من سيقان مزهرة.

يمكّن ابتكارُ الإستراتيجيات الغذائية بعضَ النّباتات من تجميع النيتروجين من البكتيريا والفوسفات من الأعفان. بعض الإستراتيجيات الغريبة تشمل اصطياد الحيوانات وهضمها. في حين تُدخل نباتات أخرى أجزاءها في مصدر الغذاء لنباتات عائل.

الشكل 39-11

العلاقات النشوئية بين النّباتات آكلة الحيوانات. تم اكتساب آلية الإطباق من خلال أصول نباتية مشتركة لمصيدة الذباب فينوس، والنبات المائي دولاب الماء. نبات الإبريق ليس له علاقة بهذه المجموعة.

الشكل 39-12

المزمار الهندي *Hypopitys uniflora*. يفتقر هذا النبات إلى الكلوروفيل، ويعتمد كليًّا على انتقال الغذاء من خلال دخول الْفطريّات الْجذريّة والجذور المرتبطة مع النّباتات الأخرى. يوجد المزمار الهندي بشكل كبير في غابات المناطق الشّماليّة الشّرقيّة للولايات المتحدة.

4-39 توازن الكربون – النيتروجين والتّغيّر الكونيّ

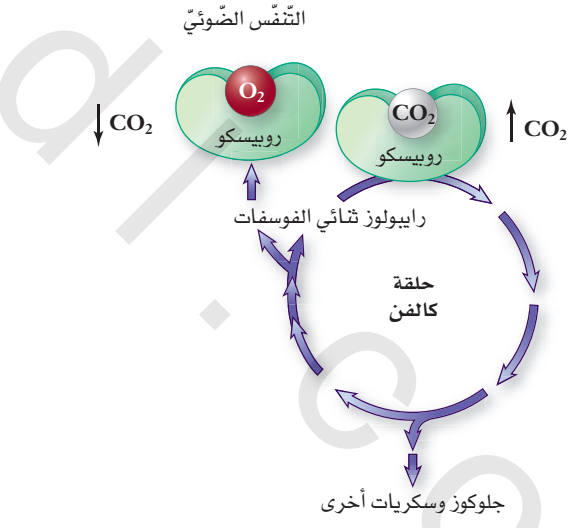
توصلت الهيئة الدولية للتّغير المُناخي (IPCC) التي أسستها الأمم المتحدة، ومنظمة المناخ العالمية إلى أنّ مستويات ثاني أكسيد الكربون قد وصلت إلى أعلى مستوى لها في 20 مليون سنة على الأقل. فقط في الـ 250 سنة الأخيرة، زادت كمية ثاني أكسيد الكربون في الجوّ بنسبة 31%، وهذا يتناسب مع الزيادة في أنشطة الإنسان بما فيها حرق الوقود الحجري.

إنّ التأثيرَ بعيد المدى لزيادة ثاني أكسيد الكربون معقدٌ، وليس مفهومًا تمامًا، ولكنه مرتبط بازدياد درجة الحرارة. توقعت هيئة (IPCC) أنّ درجة الحرارة السّطحية في العالم سوف تستمر في الارتفاع ما بين 1.4° – 5.8°س بحلول عام 2100، فوق مستوياته عام 1990. ويوضح الفصل الـ 57 الارتباط بين الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون والانحباس الحراري العالمي. نبين هنا كيف تؤثّر زيادة ثاني أكسيد الكربون في التّوازن الغذائيّ في النّباتات، وبالتحديد توازن الكربون والنيتروجين.

تُعَدُّ نسبة الكربون إلى النيتروجين في النّباتات مهمة لصحة النبات، وصحة النّباتات آكلة الحيوانات. ويمكن أنْ يغير تباين هذه النسبة التفاعل بين الحشرات والنّباتات، ويمكن كذلك أنْ يكون له تأثير مهم في تغذية الإنسان.

يمكن أن تغير زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون عملية البناء الضّوئيّ ومستويات الكربون في النّبات

سنبحث أولًا العلاقة بين البناء الضّوئيّ ومستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو. السؤالان اللذان يتمّ طرحهما في هذا الجزء هما: (1) هل تؤدي الزيادة في ثاني أكسيد الكربون إلى زيادة معدل البناء الضّوئيّ؟ (2) هل تؤدي الزيادة في ثاني أكسيد الكربون إلى تغيّر نسبة الكربوهيدرات والبروتينات في النّباتات؟



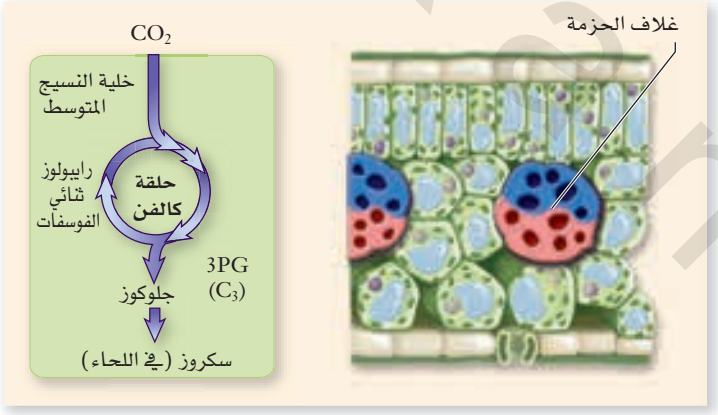
الشكل 39–13

التّنفّس الضّوئيّ. كلٌّ من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين يتنافسان على الموقع النشط للأنزيم نفسه الذي يسهل التفاعل الأول في دورة كالفن. إذا ارتبط ثاني أكسيد الكربون، يتمّ إنتاج سكر ثلاثي الكربون يمكن أنْ يُستخدم لبناء الجلوكوز والسّكروز. أما إذا ارتبط الأكسجين فيحدث التّنفّس الضّوئيّ، وتستهلك الطّاقة لتحليل سكر خماسي الكربون دون إنتاج أيّ شيء مفيد. وكلما ازدادت نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى الأكسجين، فإنّ تفاعلات دورة كالفن تنتج السّكّريّات بكميات أكبر.

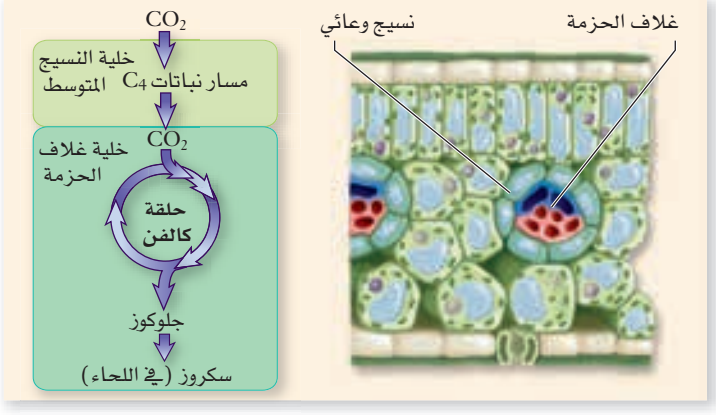
معدل البناء الضّوئيّ

تثبت **دورة كالفن Calvin cycle** ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء إلى سكر (الفصل الـ 8). الخطوة الأولى في دورة كالفن يسيرها أكثر البروتينات انتشارًا على سطح الأرض، وهو الأنزيم روبيسكو (نازع كاربوكسيل ومؤكسد رايبولوز 1، 5 ثنائي الفوسفات، الذي أشرنا إليهِ في الفصل الـ 8). يمكن أنْ يربط الموقع النشط في هذا الأنزيم كلًّا من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين، ويحفز إضافة أيّ من هذه الجزيئات إلى المركب خماسي الكربون رايبولوز 1، 5، ثنائي الفوسفات (الشكل 39–13). يستخدم ثاني أكسيد الكربون لإنتاج سكر ثلاثي الكربون يمكن استخدامه لتصنيع سكري الجلوكوز والسكروز. في المقابل، يستخدم الأكسجين في عملية التّنفّس الضّوئيّ الذي لا يؤدي إلى خزن الطّاقة أو الغذاء. ولهذا، فإنّ عمليةَ التّنفّس الضّوئيّ غيرُ مفيدة.

قد تذكر أنّ نباتات C_4 طورت تركيبًا داخليًّا ومسارًا كيميائيًّا فريدًا لخفض عملية التّنفّس الضّوئيّ (الشكل 39–14). لا يدخل ثاني أكسيد الكربون في تفاعلات دورة كالفن إلا بعد نقله عن طريق تفاعلات أخرى إلى الخلايا المحيطة بالحزمة الوعائية. في هذه الخلايا، يتزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون نسبة إلى تركيز الأكسجين، وبذلك فإنّ ثاني أكسيد الكربون لا يكون له منافس قوي للارتباط مع الموقع النشط لأنزيم روبيسكو.



أ. مسار نباتات C_3



ب. مسار نباتات C_4

الشكل 39–14

تقلل نباتات C_4 من التّنفّس الضّوئيّ بتقييد حصول دورة كالفن في الخلايا المحيطة بالنسيج الوعائي فقط، حيث يكون مستوى الأكسجين منخفضًا.

أ. يحصل البناء الضّوئيّ في نباتات C_3 في خلايا النسيج المتوسط. ب. يستخدم البناء الضّوئيّ في نباتات C_4 تفاعلات إضافية لتحويل مسار الكربون إلى أعماق الورقة.

تصبح دورة كالفن في نباتات C_4 أكثر فعالية كلما زادت كميات ثاني أكسيد الكربون. لذا، من المنطق الافتراض أنّ الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون العالمية سوف تؤدي إلى زيادة في عملية البناء الضّوئيّ، ونموّ النّباتات. وبافتراض أنّ توافر المُغذِّيات في التّربة يبقى بمستويات ثابتة، فإنّ النّباتات التي تنمو بشكل سريع سوف تحتوي على كميات قليلة من المركبات النتروجينية، مثل البروتينات، ومستويات منخفضة من المعادن التي تمّ الحصول عليها من التّربة، وبذلك فإنّ نسبة الكربون إلى النيتروجين سوف تزداد.

الطريقةُ المُثلى لمعرفة كيف يؤثّر تركيز ثاني أكسيد الكربون في التّغذية النّباتيّة هي زراعةُ النّباتات في بيئة يكون فيها تركيز ثاني أكسيد الكربون تحت السّيطرة. التجارب باستخدام نباتات مزروعة في أوعية داخل حاضنات نموّ هي إحدى الطرق، ولكن يمكن الحصول على كمية أكبر من المعلومات من خلال زراعة النّباتات في المناطق الطبيعية التي يتم زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون فيها. فمثلًا، تحتوي غابة ديوك للتجارب على حلقات من الأبراج التي تطلق ثاني أكسيد الكربون نحو مركز الدورة (الشكل 39-15). تمتد هذه الحلقات 30 متر في قطرها، وتمكن إجراء الدراسة على مستوى النظام البيئي. مثل هذه الإمكانيات تمكن دراسات على المدى البعيد لفهم تأثير التّغيّر في الظروف الجوية على الأنظمة البيئية.

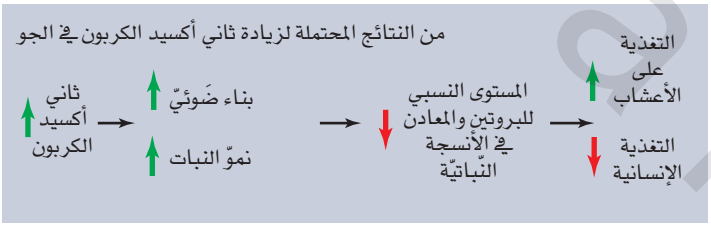
تؤدي هذه الدراسات إلى نتائج معقدة. فمثلًا، ازدادت مستويات البناء الضوئي بنسبة 40% في البطاطا التي زرعت في أوروبا بهذا الأسلوب، عند مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون. أما النّباتات المزروعة في أوعية، فغالبًا ما يزداد فيها معدل البناء الضّوئيّ في البداية، ولكنه ينخفض بعد ذلك مع الزمن، مرتبطًا بانخفاض مستويات إنتاج أنزيم روبيسكو. تأثرت الأنواع المختلفة من النّباتات في نظام البلوط- العشب في فلوريدا، بشكل مختلف عند زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون. ولكن خلال مدة ثلاث سنوات في غابة ديوك للأبحاث أنتجت النّباتات كمية أكبر من المادة الصلبة في الأجواء المغلفة بثاني أكسيد الكربون نسبة إلى النّباتات غير المغلفة به، إذا كانت التّربة تحتوي على كميات كافية من النيتروجين تناسب الزيادة في النّموّ. وبشكل عام، فإنّ الزيادة في ثاني أكسيد الكربون تؤدي إلى زيادة في المادة الصلبة، وأيضًا إلى زيادة في نسبة الكربون إلى النيتروجين.

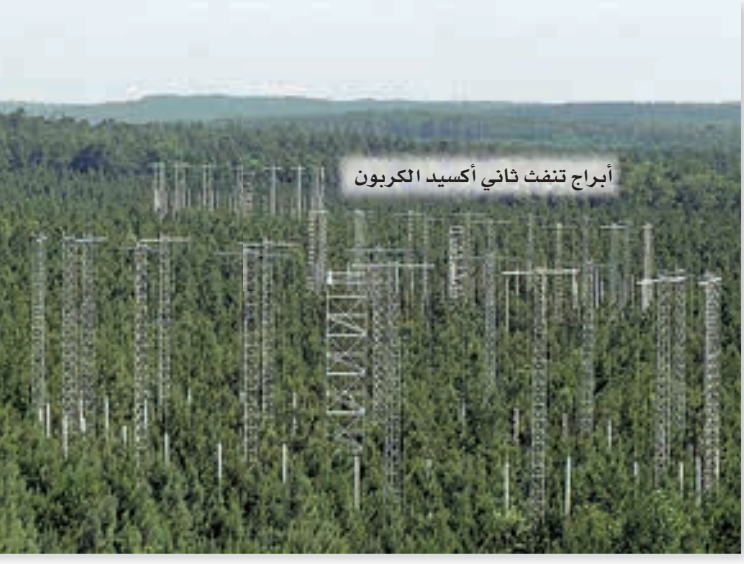
نسبة البروتينات والسّكريّات

تعلمت في بداية هذا الفصل أنّ توافر النيتروجين يحدد نموّ النّباتات، فكلما زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون، فإنّ كميات أقل من النيتروجين ومغذيات كبيرة أخرى توجد في الأوراق. في هذه الحالة، على الحيوانات آكلة الأعشاب أنْ تأكل كمية أكبر من المادة الصلبة لتحصل على كميات مناسبة من الغذاء، وخاصة البروتينات. يلقى هذا الوضع اهتمامًا خاصًّا في الزّراعة، حيث يمكن أنْ يؤثّر في صحّة الإنسان. وعند الإصابة بالحشرات يمكن أن يكون أكثر تدميرًا إذا استهلك كلّ آكل للأعشاب مواد صلبة بكميات أكبر. ويمكن أن يؤدي هذا إلى نقص في البروتين في غذاء الإنسان، نظرًا لقلة النيتروجين في المحاصيل. ولكن من الصعب تعميم هذا الوضع على النّباتات جميعها.

إن الانخفاض النسبي في كمية النيتروجين في بعض النّباتات هو أكبر مما يُتوقع من الزيادة في تثبيت ثاني أكسيد الكربون وحده. إن الانخفاض الإضافي في إدماج النيتروجين في البروتينات فُسِّرَ بانخفاض عملية التّنفّس الضّوئيّ في النّباتات التي تستخدم بوصفها مصدرًا أساسيًّا للنيتروجين، ولكن ليس في النّباتات التي تستهلك الأمونيا. يمكن إذن أنْ تكون عملية التّنفّس الضّوئيّ المبددة للطاقة ضرورية لإضافة النيتروجين إلى البروتينات في بعض النّباتات.

يوضح هذا المثال كيف تعتمد التفاعلات الكيميائية على بعضها في تنظيم مستويات الكربون والنيتروجين. ومع أنّ التّغيّرَ العالميَّ مشكلةٌ على مستوى النظام البيئي، فإنّ التوقعات في تأثيره على المدى البعيد يرتكز على فهم الفسيولوجية المعقدة للتغذية النّباتيّة.





أ. ب.

الشكل 39-15

زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون تجريبيًّا. توفر حلقات ثاني أكسيد الكربون في غابة ديوك التجريبية، مقارنة على مستوى النظام البيئي للنباتات المزروعة على مستويات طبيعية أو مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون. أ. كلّ حلقة 30 متر في القطر. ب. أبراج محيطة بالحلقات تنفث ثاني أكسيد الكربون إلى الداخل في ظروف تحكم دقيقة.

يمكن أنْ تؤثّر زيادة درجة الحرارة في عملية التّنفّس ومستويات الكربون في النّبات

يمكن أنْ يُستهلك ما يزيد على نصف السّكّريّات التي تنتجها النّباتات في عملية البناء الضّوئيّ يوميًّا في عملية التّنفّس في اليوم نفسه. إنّ كمية السّكّريّات المتوافرة للتنفس يمكن أنْ تتأثر بمستوى ثاني أكسيد الكربون في الجو، وبالبناء الضّوئيّ كما تم توضيحه. إضافة إلى هذا، فإنّ الارتفاع المتوقع في درجة الحرارة خلال القرن المقبل يمكن أنْ يؤثّر في معدل التّنفّس بطرق أخرى. وقد يؤثّر تغيّر معدلات التّنفّس في التّوازن الغذائيّ العام ونموّ النّباتات.

استقصاء

لماذا يتأثر التّنفّس في النباتات بالتغير في درجات الحرارة للأمدين القريب والبعيد؟

لقد عرف علماء الأحياء منذ مدة طويلة أنّ معدلات التّنفّس حساسة لدرجة الحرارة في مجموعات كبيرة من النّباتات. لماذا يتغير معدل التّنفّس مع التّغيّر في درجة الحرارة؟ واحد من العوامل المهمة هو أثر درجة الحرارة في نشاط الأنزيمات (الفصل الـ 3). هذا التأثير له دور مهم خاصة في ظروف درجة الحرارة المنخفضة والمرتفعة التي تؤدي إلى فقدان طبيعة البروتينات.

إن الاستجابات المتعددة لتغيّر درجة الحرارة في معدل التّنفّس قد يكون تأثيرها على المدى القصير أكثر من تأثيرها على المدى البعيد. وهناك تزايد في الأدلة التي تبين أنّ معدلات التّنفّس تتكيف مع الزيادة في درجة الحرارة مع الزمن، وخاصة في الأوراق والجذور المتكونة بعد التّغيّر في درجة الحرارة. فخلال مدة طويلة وتحت ظروف درجة حرارة عالية، يمكن أن ينتهي النبات بمعدلات تنفس مساوية لما كان عليه المعدل تحت درجات الحرارة المنخفضة.

التّوازن بين الكربون والنيتروجين يؤثر في نموّ النّباتات وآكلات الأعشاب. يتوقع من التّغيّر في المناخ العالمي أن تتغير نسبة الكربون والنيتروجين من خلال زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون وارتفاع درجات الحرارة، وكلاهما سيؤثر في معدلات كلٍّ من التّنفّس والبناء الضّوئيّ.

5-39 إزالة الملوِّثات عن طريق النّباتات

تفتقر بعض القنوات والنواقل الموجودة في أغشية خلايا الجذر إلى النوعية المطلقة، ويمكن أن تمتص المعادن الثقيلة مثل الألمنيوم وغيره من المواد السامة. ومع أنّ امتصاص المواد السّامة في معظم الحالات يقتل النّموّ أو يحدّ منه إلا أن بعض النّباتات لديها القدرة على تجميع أو تحرير هذه المواد إلى الجو. هذه النّباتات قادرة على **المعالجة النّباتيّة للملوثات Phytoremediation** حيث تستخدم لتجميعها وتحليلها (الشكل 39-16).

يمكن إزالة ملوّثات البيئة المائية والتّربة بطرق عدة. فيمكن أنْ تقوم النّباتات بإفراز مواد من جذورها تحلل الملوِّثات. وبشكل أكبر، فإنّ المواد الكيميائية الضارة يمكن أنْ تدخل الجذور، وبشكل تفضيلي يتم نقلها إلى المجموع الخضري، حيث يسهل إزالتها من الموقع. يمكن ببساطة خزن مواد أخرى في النبات، ويتم لاحقًا تجميع هذه النّباتات وتجفيفها، حيث يتم التخلص منها في موقع تخزين خاص.

فمثلًا، بعد كارثة المفاعل النووي في شرنوبل – شمال أوكرانيا، قامت نباتات دوار الشّمس بإزالة السيزيوم المشع بكفاءة من البحيرات المجاورة، حيث وضعت النّباتات طافية على سطح الماء، وتم تثبيتها عن طريق الإسفنج، حيث جمعت وجففت لاحقًا. ولأن نسبة الماء في نسيج النّباتات العشبية يصل إلى 85%، فإنّ تجفيف النبات المزيل للملوثات يمكن أن يقلل كمية السموم مثل السيزيوم المشع، ويحصرها في مساحة صغيرة. في هذا الجزء، سنوضح بعض طرق إزالة الملوِّثات من التّربة.

يمكن إزالة ثلاثي كلور الإيثلين عن طريق نبات الحَوْر

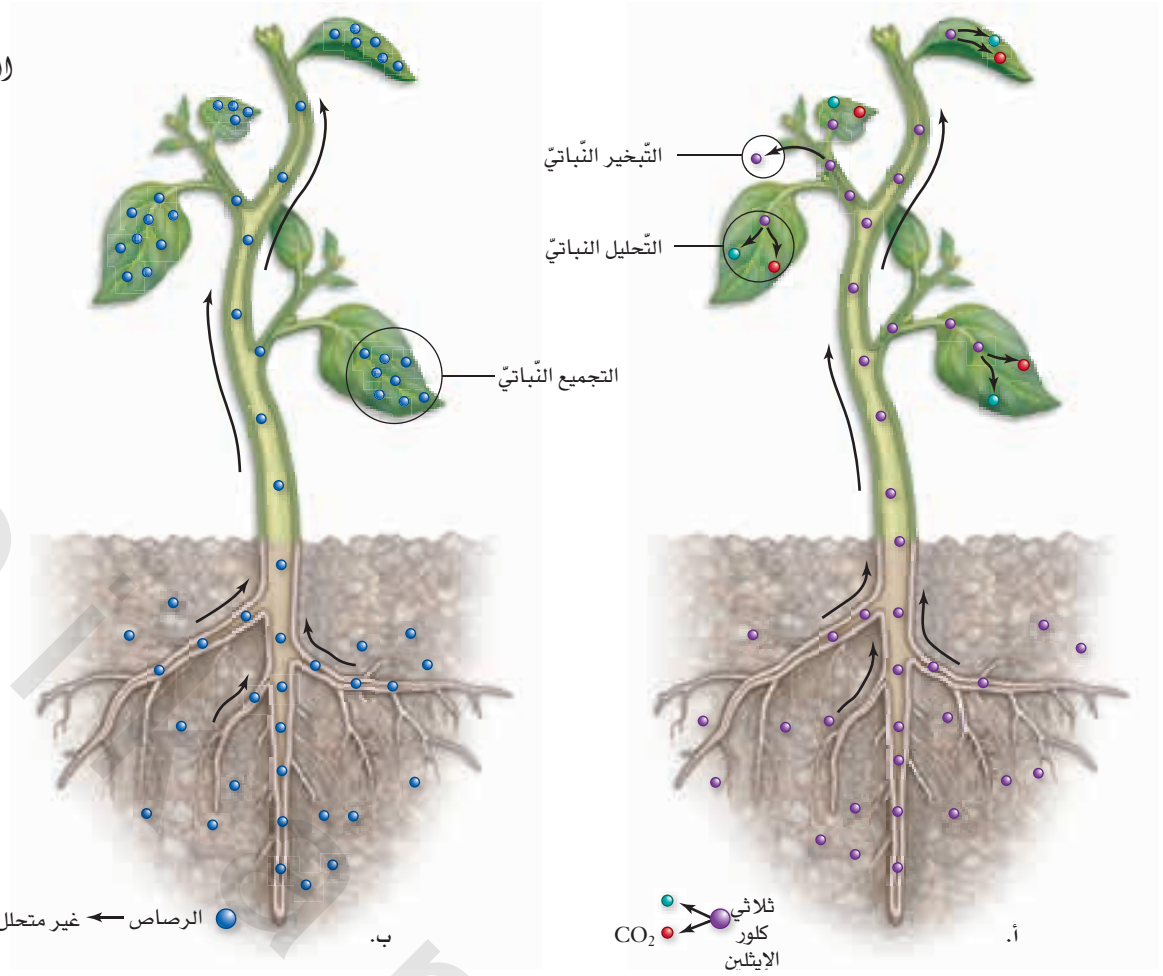
يُعَدُّ ثلاثي كلور الإيثلين مذيبًا متطايرًا يستخدم كثيرًا لإزالة البقع في صناعة التنظيف الجاف، وفي إزالة الشحوم عن الآلات والمحركات، وبوصفه مكوِّنًا في الدهانات ومساحيق التجميل، وحتى في المخدّر الطّبيّ الإنساني والحيواني. ولسوء الحظّ تم التأكد من أنّ ثلاثيَّ كلور الإيثلين مادةٌ مسرطنةٌ، وأنّ التعرض للكلور قد يؤدي إلى تلف الكبد. عام 1980، رصدت دائرة المحافظة على البيئة مبالغ كبيرة لتنظيف المناطق الملوثة في الولايات المتحدة. وقد كانت 40% من المناطق المشمولة بالدّعم ملوثة بمادة ثلاثي كلور الإيثلين. كيف يمكن تنظيف 1900 هكتار من التّربة في المحطة الجوية لقوات البحرية– كاليفورنيا تحتوي على ثلاثي كلور الإيثلين تم استخدامه سابقًا لتنظيف الطائرات المقاتلة؟ المكبَّات يمكن أنْ تعزل، ولكن لا تزيل هذه المادة المتطايرة. ويمكن أنْ يؤدي حرقها إلى إزالتها من الموقع، ولكنه قد يطلق مواد ضارة إلى الجو. ولذلك، فإنّ واحدةً من الطرق التي يمكن استغلالها هي استخدامُ النّباتات لإزالة ثلاثي كلور الإيثلين من التّربة.

يمكن للنباتات امتصاص المواد السامة من التّربة، وبذلك يتم إزالة المادة السامة وتركيزها في مكان آخر. من الطرق الأكثر نجاحًا هو أنْ يقوم النبات بتحليل هذه المواد إلى مواد غير سامة. توفِّرُ نباتات الحَوْر مثل هذا الحل لإزالة ثلاثي كلور الإيثلين من المواقع الملوثة (الشكل 39-17). يستطيع هذا النبات امتصاص ثلاثي كلور الإيثلين بشكل طبيعي من التّربة، ويحلله إلى ثاني أكسيد الكربون وكلور.

نباتات أخرى تستطيع تحطيم ثلاثي كلور الإيثلين أيضًا، ولكن نبات الحَوْر يفوقها؛ لكونه أكبر حجمًا وفيه معدلات نتح عالية. فنبات حَوْر عمره 5 سنوات يستطيع أنْ ينقل ما بين 100 – 200 لتر من الماء من الجذور إلى الأوراق في اليوم الواحد. والنبات الذي ينتج أقل لن يستطيع إزالة كمية مساوية من ثلاثي كلور الإيثلين في اليوم الواحد.

ومع أنّ إزالة ثلاثي كلور الإيثلين باستخدام نبات الحَوْر قد يبدو الحل الأمثل، إلاّ أنّ هناك بعض المحددات، حيث يتحلل ثلاثي كلور الإيثلين جميعه بسرعة، ولأن معدلات النتح كبيرة في هذا النبات، فإنّ بعض ثلاثي كلور الإيثلين يدخل إلى الجو عن طريق الأوراق. فعندما يصل إلى الأوراق يكون نصف عمر ثلاثي كلور الإيثلين 9 ساعات (يتم تحلل 50% منه إلى جزيئات صغيرة خلال 9ساعات)، وبذلك يبدو واضحًا أن هناك ضرورة لتحديد مستوى أخطار هذه العملية قبل البدء بزراعة نباتات الحَوْر في كلّ موقع ملوث بثلاثي كلور الإيثلين.

الشكل 39-16



إزالة الملوِّثات باستخدام النّباتات. يمكن للنباتات استخدام الآلية نفسها لإزالة كلّ من المُغذِّيات والسموم من التّربة. أ. يمكن امتصاص ثلاثي كلور الإيثلين من خلال النّباتات وتحليله إلى ثاني أكسيد الكربون وكلور قبل أن يتم إخراجه إلى الجو الخارجي. هذه العملية تُسَمّى التحطيمَ عن طريق النّباتات. بعض ثلاثي كلور الإيثلين يتحرك بسرعة عبر الخشب، ولا يمكن تحطيمه قبل إزالته من خلال الثغور بشكل غازي من خلال عملية تُدعى التّبخّرَ من خلال النبات. ب. يمكن أنْ تمتص النّباتات سمومًا أخرى مثل المعادن الثقيلة كالرّصاص، ولكن لا تحطّمها. هذا النوع من التجميع النباتي يكون ذا فعالية كبيرة في إزالة السموم إذا ما تم خزنها في المجموع الخضري، حيث تُقطف، وتُزال المادة.

يتم تحطيم ثلاثي كلور الإيثلين المتبقي في النبات بشكل سريع، ويمكن استخدام الخشب بعد إزالة هذه الملوِّثات. ولقد اقتُرح إزالة ما تبقى من ثلاثي كلور الإيثلين في الخشب عند معاملته لصناعة الورق. حديثًا، تمَّ الحصول على أصناف الحَوْر المعدّلة وراثيًّا، التي تمتلك القدرة على تحطيم ثلاثي كلور الإيثلين بمستوى يساوي 4 أضعاف ما يقوم به النبات غير المعدّل وراثيًّا.

وكما في أيّ خطة لتنظيف البيئة، فمن الضروري جدًا أنْ تقدّرَ الكميات التي يمكن إزالتها في الموقع عن طريق النّباتات، والحصول على هذه التقديرات يمكن أنْ يشكّل تحديًا. فالأخطار المحتملة يجب أنْ توزن مقابل الأخطار التي قد تسببها المادة الملوثة، خاصة عندما يكون التعديل الوراثي له دور.

الشكل 39-17

إزالة ثلاثي كلور الإيثلين عن طريق النّباتات. يفحص سلاح الجوّ الأمريكيّ تقانات تنظيف الملوِّثات باستخدام النّباتات لإزالة ثلاثي كلور الإيثلين في قاعدة سابقة لسلاح الجو في فورت ورث – تكساس.

يمكن إزالة كميات محدودة من مادة ثلاثي نيتروتولوين

إضافة إلى المواد المتطايرة مثل ثلاثي كلور الإيثلين، يمكن أنْ تكون إزالة الملوِّثات عن طريق النّباتات ملائمة للملوثات البيئية الأخرى بما فيها مادة ثلاثي نيتروتولوين (TNT) والمعادن الثقيلة.

نيتروتولوين مادة صلبة صفراء، استخدمت بشكل واسع في صناعة القنابل وغيرها من العتاد الحربي حتى عام 1980، ويوجد بقايا من هذه المادة الملوثة للبيئة حول المصانع التي كانت تنتجها. في بعض المناطق، هناك كميات كبيرة من نيتروتولوين يمكن تفجيرها. ولهذا، فإنّ حرقها ليس مناسبًا لإزالتها من معظم المواقع. إضافة إلى أنّ نيتروتولوين يمكن أنْ يتسرب إلى المياه الجوفية، وهذا موضع قلق؛ لأنّ نيتروتولوين مادة تسبب السّرطان، وترتبط بكثير من أمراض الكبد. يبقى نيتروتولوين في الغالب على سطح التّربة أو قريبًا منه، ويمكن أنْ يغسل بسهولة. يمكن أنْ يقوم نبات الفاصوليا (*Phaseolus vulgaris*) ونبات الحَوْر، ونبات ريشة الببغاء المائي (*Myriophyllum spicatum*) بامتصاص مستويات بسيطة من نيتروتولوين وتحطيمها، ولكن عندما تكون مستويات نيتروتولوين مرتفعة، فإنه يصبح سامًّا للنباتات.

يمكن إزالة المعادن الثقيلة بنجاح وبتكلفة منخفضة

تبقى المعادن الثقيلة مثل الزّرنيخ والكادميوم والرّصاص في التّربة مدة طويلة، وهي سامّة للحيوانات، حتى بكميات قليلة. معظم النّباتات حساسة لهذه المعادن الثقيلة السّامة، ولكن بعض الأصناف التي تعيش في مواقع قرب المناجم طوّرت إستراتيجيات لفصل بعض أنواع العناصر المعدنية عن باقي جسم النبات (الشكل 39 - 16ب)

لقد تم تعريف 40 نوعًا نباتيًّا لها القدرة على تجميع المعادن الثقيلة وتراكمها من التّربة. فمثلًا، نبات قريب لنباتات البروكلي والخردل يسمى *Brassica juncea* له فعالية خاصة في تجميع الرصاص في الساق والمجموع الخضري. ولكن لسوء الحظ، فهذا النبات صغير الحجم، وبطيء النّموّ، ويصبح بعد مدة مشبعًا بالرّصاص.

كيف يمكن للرّصاص والكادميوم أن يُنقلا من التّربة إلى أوراق النبات. هناك بعض المعلومات التي تبين أن أغشية خلايا الجذر قد تحتوي على نواقل لهذه المعادن تقوم بنقلها إلى الخشب من التّربة. حمض الستريك الذي ذُكرَ سابقًا يمكن أن يؤدي إلى تسارع في معدل نقل المعادن إلى الخشب. يتم حجز المعادن في فجوات خلايا الورقة والشعيرات الموجودة على الأوراق، وهي خلايا بشرة متحورة يمكن أنْ تخزّن كلًّا من الرصاص والكادميوم.

النّباتات ذات القدرة العالية على التراكم والتجميع لا تُعَدُّ حلًّا للتربة الملوثة بالمعادن، وذلك لوجود خطر في أنْ تقوم الحيوانات بالرّعي على النّباتات في المناطق الملوثة، التي تراكم بها كلٌّ من الرّصاص والكادميوم. وإنّ حصاد هذه النّباتات وجمعها وتجفيفها ليس أمرًا سهلًا. ومع هذا، فإنّ استخدام النّباتات للتّخلّص من هذه الملوِّثات لا يزال يشكل تكنولوجيا واعدة. وتشير تقديرات كلفة إزالة الملوِّثات باستخدام النّباتات إلى أنها أقل كلفة بـ 50 – 80% من حفر هذه التّربة ونقلها إلى مكان آخر.

إن إزالة الملوِّثات باستخدام النّباتات يمكن أنْ يوفّر حلًّا للتلوث الذي حصل عام 1998 من جراء حادثة مناجم أزنالوكولار في إسبانيا، حيث تحطم السد المحتوى على الطّين الناتج عن عمليات التعدين. ونتيجة لذلك، خرج منه 5 ملايين م^3 من الطين المكون من الزرنيخ، والكادميوم، والرّصاص والزّنك، وانتشر في قرابة ما يزيد على 4300 هكتار من الأراضي المجاورة (الشكل 39-18). تم إزالة معظم الطّين فيزيائيًّا، وطمر في أحد المناجم المفتوحة، وتجرى الآن محاولات لاستخدام النّباتات لإزالة ما تبقى من ملوثات في تلك الأراضي.

منذ أنْ حصل ذلك التّلوّث، بدأت ثلاثة أنواع من النّباتات لها القدرة على تجميع بعض المعادن وتراكمها بالنموّ في المنطقة. هذه النّباتات كبيرة نسبيًّا ويمكنها تجميع كميات كبيرة من هذه المعادن.

أ.

ب.

جـ.

الشكل 39–18

تسرب نفايات منجم أزنالوكولار. أ. عندما تحطم سد البحيرة التي تتجمع فيها نفايات المنجم، انطلقت 5 ملايين متر مكعب من الرواسب الطينية السوداء المحتوية على المعادن الثقيلة إلى متنزه وطني وإلى نهر جواديامار. ب. أزيلت كميات كبيرة من الرواسب فيزيائيًّا. جـ. يبدو أن المعالجة النباتية للنفايات تشكل حلًّا واعدًا لما تبقى من المعادن الثقيلة.

تمتاز هذه النّباتات عن غيرها بأنها من الأنواع التي تعيش في تلك المنطقة والتي تُعَدُّ موطنها الأصلي. وبذلك تقلل من الأخطار المرتبطة بإدخال نبات جديد قادر على الانتشار وإزالة هذا التلوث.

تستطيع النّباتات امتصاص المواد السامة العُضويَّة والمعادن، وفي كثير من الأحيان باستخدام الآليات نفسها التي تمتص بها المُغذِّيات. إذا تمّ تحطيم هذه الملوِّثات السّامة إلى مركبات غير سامة، فمن الممكن إزالة الملوِّثات من المناطق الملوثة باستخدام النّباتات.

مراجعة المفاهيم

39-1 التّربة: الوسط الذي تعتمد عليه النّباتات

تمكّن التّربةُ النّباتات من الحياة، والتّربةُ خليطٌ من المعادن، والْمغذّيات الْعضويَّة، والماء، والهواء والمخلوقات الحية الدقيقة (الشكل 39-1).

- الجزء المعدني من التّربة يختلف بحسب تركيب الصخور الموجودة أسفل منه.
- التّربةُ العلويّةُ خليطٌ من جزيئات لاعضوية ذات أحجام مختلفة، ومخلوقات حية، ودبال.
- يحدد تركيب التّربة كيفيّة ارتباط الماء والْمغذّيات فيها.
- المعادن التي تحمل شحنة سالبة وجزيئات التّربة الْعضويَّة المحيطة بالجذور سوف تزيل الأيونات الموجبة من الجذور. لهذا، فإنّ عملية النقل النشط للأيونات الموجبة ضرورية لامتصاصها من خلال الجذور.
- يتكون ما يقارب من نصف حجم التّربة من فراغات مملوءة بالماء والهواء.
- تؤدي زراعة النّباتات إلى فقدان التّربة العلوية للمغذيات، ويؤدي استخدام الأسمدة، ومبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب في إنتاج المحاصيل إلى تلوث المياه.
- تفرز الترب الحمضية معادن سامة للنباتات.
- تغيّر الترب المالحة القدرة المائية، وتؤدي إلى فقدان الماء من النبات.

39-2 المغذيات النباتية

تشمل مغذيات النبات ثاني أكسيد الكربون، والأكسجين، والماء، ومعادن عدة يحتاج إليها النبات بكميات مختلفة (جدول 39-1).

- تحتاج النّباتات إلى تسعة مغذيات كبيرة تستخدمها النّباتات بكميات كبيرة تشمل: الكربون، والأكسجين، والهيدروجين، والنيتروجين، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والماغنسيوم، والفوسفات، والكبريت.
- تحتاج النّباتات إلى سبعة مغذيات صغيرة، وتستخدمها بكميات قليلة جدًا تشمل: الكلور، والحديد، والمنجنيز، والزّنك، والبورون، والنحاس، والموليبدينم.
- تضيف بعض المراجع النيكل إلى المغذيات الصغيرة لتصبح ثمانية.
- زيادة مستوى الْمغذّيات في الغذاء من خلال الهندسة الوراثية والتعديل الجيني سوف يوفر فوائد صحية وأمنًا غذائيًّا.

39-3 إستراتيجيات التّغذية الخاصة

عندما تكون الْمغذّيات غير متوافرة بسهولة، تطوّر النّباتاتُ علاقات تعايشيةً مَعَ بعض المخلوقات الأخرى، وقد تأكل الحيوانات، أو تصبح متطفّلة.

- للحصول على النيتروجين الضروري لبناء البروتينات، تكوّن بعضُ النّباتات علاقةً تعايشيةً مع بكتيريا الرايزوبيوم، التي توفر الأمونيا والنيترات مقابل السّكّريّات (الشكل 39-9).
- الْفطريّات الْجذريّة التعايشية تزيد من مساحة سطح الجذور في معظم النّباتات، وبذلك تسهّل امتصاص الفوسفات والْمغذّيات الصغيرة.
- بعض النّباتات التي تعيش في التّربة الحمضية الفقيرة بالنيتروجين تحصل على مغذياتها بافتراس الحيوانات الصغيرة وهضمها (الشكل 39-10).
- النّباتات المتطفلة كثيرة، منها ما هو دون كلوروفيل، ويمتصّ الْمغذّيات من النبات العائل.

39-4 توازن الكربون- النيتروجين والتّغيّر الكونيّ

الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون والاحتباس الحراري يمكن أنْ يؤثّر في النّباتات وصحة الحيوانات آكلة النّباتات إضافة إلى التوازن الغذائيّ في النبات (الشكل 39-14).

- كلّما زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون، تزداد معدلات البناء الضّوئيّ، ونموّ النبات. ولكن النّباتات تحتوي على كميات أقل من النيتروجين والمعادن في وحدة الوزن مؤدية إلى خفض المستوى المغذي لآكلة النّباتات.
- عندما تنخفض القيمة الغذائية، يجب استهلاك كميات أكبر من النّباتات للحصول على الكمية نفسها من الْمغذّيات، وهذا يؤدي إلى زيادة في خسارة النّباتات عن طريق المخلوقات الآكلة للنباتات.
- تكون معدلاتُ التّنفّس الضّوئيّ في النّباتات التي تستخدم NO_3^- بوصفه مصدرًا للنيتروجين منخفضةً نسبة إلى تلك التي تستخدم الأمونيا، وهذا يؤدي إلى خسارة إضافية في النوعية الغذائية؛ لأنّ كميات الكربوهيدرات المتكونة تفوق كميات البروتين.
- كلما زادت درجة الحرارة المحيطة، يزداد معدل التّنفّس مؤديًا إلى تغيّر إضافي في التوازن الغذائيّ للنبات.

39-5 إزالة الملوّثات عن طريق النّباتات

يمكن استخدام النّباتات في إزالة الملوّثات من التّربة (الشكل 39-16).

- يمكن للنباتات أنْ تحلّل ملوثات التّربة إلى مواد غير سامة بعضها قد يتم إطلاقه في الجو.
- يمكن أنْ تقوم النّباتات بتجميع الملوّثات وتراكمها في مجموعها الخضري، حيث يمكن بعدها إزالة هذه الأجزاء وحصادها. الحيوانات التي تأكل هذه النّباتات قد تتعرض إلى تركيز عالٍ من المواد السامة.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يؤثّر في توافر الْمغذِّيات للنباتات:
   أ. درجة أحماضة التّربة. ب. درجة ملوحة التّربة.
   جـ. تركيب التّربة. د. كلّ مما ذكر.
2. إذا أردت إجراء تجربة لمعرفة تأثير تراكيز مختلفة من الْمغذِّيات الكبيرة في نموّ النبات في بيت زجاجي صغير في منزلك، فأيّ من الْمغذِّيات الكبيرة سوف يكون الأصعب في تنظيم تركيزه:
   أ. الكربون. ب. النيتروجين.
   جـ. البوتاسيوم. د. الفوسفات.
3. إذا أجريت تجربة لتحديد الاحتياجات الغذائية لنبات تمَّ اكتشافه حديثًا، ووجدت أنّ النبات يموت لسبب ما عندما لا يوجد بورون في الوسط الذي ينمو فيه النبات، ولكن النبات يعيش بشكل جيد إذا أضيف البورون إلى الوسط بكمية قليلة تساوي 5 أجزاء في المليون. فإن هذه النتيجة تشير إلى أنّ البورون عنصرٌ:
   أ. كبير أساسيّ (ضروريّ). ب. صغير غير أساسيّ.
   جـ. صغير أساسيّ. د. كبير غير أساسيّ.
4. أيّ من الآتي يمكن أنْ تقوم به لزيادة امتصاص العناصر المغذية في النّباتات:
   أ. خفض ذوبان العناصر.
   ب. إضافة عناصر أيونية ذات شحنة موجبة.
   جـ. حراثة التّربة بشكل متكرر.
   د. تعديل النبات وراثيًّا لزيادة عدد النواقل الموجودة على غشاء خلايا الجذور.
5. أيّ من الآتي تقلل من توافر النيتروجين لنبات البازيلاء:
   أ. عدم قدرة النبات على إنتاج الفلافونويدات.
   ب. تكوين عوامل العقد Nod.
   جـ. وجود الأكسجين في التّربة.
   د. إنتاج الهيموجلوبين البقولي.
6. الأنواع المختلفة من الأتربة تحتوي على فراغات مختلفة بين جزيئاتها. أيّ من العبارات الآتية صحيحة:
   أ. بعض الفراغات الموجودة في التّربة يجب أنْ تحتوي على الهواء؛ حتى يستطيع النّبات الْعَيْشَ.
   ب. كمية الماء التي يمكن أنْ تحملها التّربة تساوي كمية الماء التي يمتصّها النّبات.
   جـ. مع أنّ التّربة الرملية تحتوي على فراغات كثيرة بين جزيئاتها، إلا أنها تفقد الماء بسرعة، بسبب انسياب الماء نحو الأعماق بفعل قوى الجاذبية الأرضية.
   د. كلّ ما ذكر.
7. بعض النّباتات مثل مصيدة الذباب فينوس، لها القدرة على هضم الحشرات. تفيد هذه الخاصية النبات؛ لأنه:
   أ. يحصل على الطّاقة من الحشرات المهضومة، ومن ثم تقوم بعملية البناء الضّوئيّ بمستويات قليلة.
   ب. يعيش في وسط فقير الْمغذِّيات، وبذلك يتمكن من الحصول على بعض الْمغذِّيات الكبيرة المهمة مثل النيتروجين.
   جـ. حساس للحشرات آكلة النّباتات، وبذلك يحمي نفسه من هذه الحشرات.
   د. يحصل على الكربون من الحشرات، وبذلك يمكنه زيادة معدل البناء الضّوئيّ.
8. هناك خوف من زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو لعلاقته بالانحباس الحراري العالمي. ولكن زيادة كميات ثاني أكسيد الكربون الجوي يفترض أنْ تكون نظريًّا مساعدة لنمو النبات. أيّ من الآتي سيشكل أثرًا سلبيًّا في النّباتات نتيجة لزيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون:
   أ. زيادة نسبة البروتين إلى الكربون في النّباتات.
   ب. الرعي الجائر (استهلاك النّباتات من قبل الحيوانات آكلة الأعشاب).
   جـ. زيادة التّنفّس الضّوئيّ.
   د. كلّ مما ذكر.
9. إذا طُلب إليك أن تبين كيف يمكن إزالة ثلاثي كلور الإيثلين من منطقة ملوثة دون استخدام الحرق، أو أي طرق كيماوية، فكيف تقوم بهذا؟
   أ. زراعة نبات الحَوْر ليزيل الملوث من التّربة.
   ب. زراعة نبات الفاصوليا ليحلّ النيتروجين المثبت مكان ثلاثي كلور الإيثلين.
   جـ. زراعة *Brassica* لتجميع ثلاثي كلور الإيثلين في أنسجة النبات.
   د. زراعة نبات المزمار الهندي؛ لأنه لا يتأثر بشكل سلبي من وجود ثلاثي كلور الإيثلين في التّربة.
10. أيّ من الآتي هو أكثر أنواع التحورات الغذائية في النّباتات:
    أ. تكوين علاقة تعايشية مع البكتيريا المثبتة للنيتروجين.
    ب. التّحول إلى آكل للحيوانات.
    جـ. التّحول إلى التطفل.
    د. تكوين علاقة تعايشية مع الْفطريّات الْجذريّة.
11. يجب على النّباتات امتصاص الأيونات الموجبة بشكل نشط من التّربة؛ لأنّ:
    أ. الأيونات الموجبة في الجذور مسؤولة عن امتصاص الماء من التّربة.
    ب. محلول التّربة يحتوي بشكل أساسي على أيونات سالبة، وبذلك فإنّ الجذور تخسر الأيونات الموجبة بشكل مستمر.
    جـ. الأيونات السّالبة داخل الجذور يجب أن تعادل عن طريق الأيونات الموجبة.
    د. لا شيء مما ذكر.
12. التّربة المالحة ضارة لنمو النّباتات؛ لأنّ:
    أ. الأملاح في التّربة تمنع الامتصاص النشط للمعادن من خلال النبات.
    ب. وجود الأملاح في التّربة يمنع النبات من امتصاص الماء عن طريق الخاصية الأسموزية.
    جـ. الأملاح سامة للنباتات.
    د. لا شيء مما ذكر.
13. معظم النّباتات لها نموّ محدد؛ لأنّ النيتروجين بشكل عام موجود بشكل محدد في البيئة، مع أنّ النّباتات محاطة بأجواء غنية بالنيتروجين. لماذا لا تستطيع النّباتات الاستفادة من هذا المصدر النيتروجيني؟
    أ. غاز النيتروجين مرتبط بروابط قوية جدًا لا تستطيع النّباتات تحطيمها.
    ب. غاز النيتروجين لا يذوب في الماء.
    جـ. لا يمكن تحطيم النيتروجين عن طريق أيّ من المخلوقات الحية.
    د. كلّ ما ذكر.

أسئلة تحدٍّ

1. إذا كنت ستأكل طنًّا (1000 كيلوجرام) من البطاطا. كم من المعادن الآتية ستكون قد أكلت تقريبًا:
   أ. نحاس، ما بين 0.4 – 3 جم.
   ب. زنك، ما بين 1.5 – 10 جم.
   جـ. بوتاسيوم، ما بين 0.5 – 6%.
   د. حديد، ما بين 2.5 – 30 جم.
2. استخدم ما تعرفه حول إزالة الملوِّثات عن طريق النّباتات لرسم إستراتيجية للبحث عن الذهب، دون القيام بعمليات حفر للتربة أو إتلاف لها.
3. أنت تعرف أنّ هناك زيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو. كيف تتوقع أنْ تتغيّر المجموعة العشبيّة من نباتات C_3 و C_4 مع الزّمن؟

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.