

ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

كائنات حية ذاتية التغذية

طاقة كيميائية

عملية التركيب الضوئي - إنتاج مواد عضوية في النبات

مواد إدرارية

أملاح معدنية

ج

تركيب كيميائي

أكسجين (O_2)

1. نظرة علوية على عملية التركيب الضوئي
 2. كيف نعرف؟ خطوات أولى في بحث عملية التركيب الضوئي
 3. ج. ملءمة النبات لتنفيذ عملية التركيب الضوئي
 4. ج. كلوروبلاستيدات واستيعاب الضوء
 5. ج. مراحل عملية التركيب الضوئي
 6. ج. نواتج عملية التركيب الضوئي: نقلها، تخزينها واستغلالها في النبات
 7. ج. عوامل تؤثر على عملية التركيب الضوئي
 8. ج. تدخل الإنسان: ازدياد عملية التركيب الضوئي من خلال تغيير عوامل البيئة المحيطة
 9. ج. تغذية النباتات بالأملاح المعدنية وأهميتها لتطوره ولحدوث عملية التركيب الضوئي.
 10. ج. استيعاب ماء وأملاح معدنية بواسطة جذور النبات
- المواضيع الأساسية في الفصل
مصطلحات مهمة في الفصل

ثغور

تحولات طاقة

كلوروفيل

كلوروبلاستيدات

تركيب ضوئي

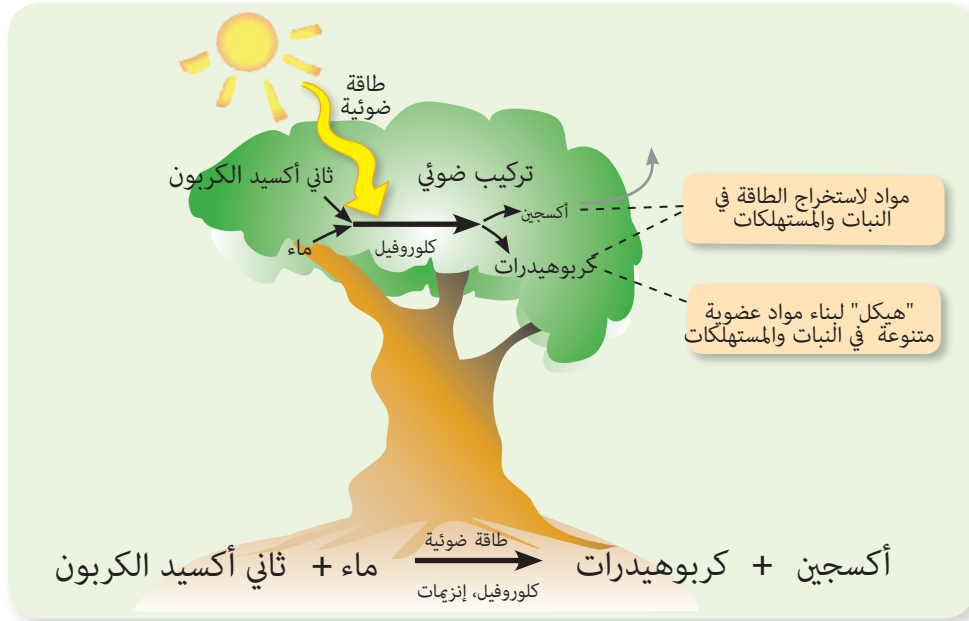
عوامل خارجية

شعيرات ماصة

الفصل الثالث: عملية التركيب الضوئي - إنتاج مواد عضوية في النبات

ج1. نظرة عُلوِيَّة على عملية التركيب الضوئي

كما تعلّمنا في الفصل الأول، تحتاج جميع الكائنات الحية إلى مواد عضوية لبقاؤها. كما تعرفون، النباتات هي ذاتية التغذية، وهذا يعني أنها تُنتج مواد عضوية بذاتها، وذلك عكس الكائنات الحية غير ذاتية التغذية التي يجب عليها أن تحصل على مواد عضوية من مصدر خارجي خلال تغذيتها. في عملية **التركيب الضوئي**، تُنتج كائنات حية ذاتية التغذية - نباتات، طحالب وقسم من البكتيريا - مواد عضوية (كربوهيدرات) وأكسجين من مواد غير عضوية بسيطة (ماء و CO_2) وذلك من خلال استغلال الطاقة الضوئية التي يتم استيعابها بالكوروفيل الموجود في الخلايا الخضراء (الرسم ج - 1). تتغذى الكائنات الحية غير ذاتية التغذية (المستهلكات) على مواد عضوية تُنتج في عملية التركيب الضوئي.



الرسم ج - 1: أهمية عملية التركيب الضوئي لعالم الأحياء. عند حدوث عملية التركيب الضوئي تتحول مواد غير عضوية، من خلال استغلال الطاقة الضوئية، إلى مواد عضوية تُستعمل للبناء وإستخراج الطاقة. كما يُنتج الأكسجين الذي يشترك في عملية التنفس الخلوي الهوائي.

- يعتقد الكثيرون أن عملية التركيب الضوئي من أهم العمليات التي تحدث على سطح الكرة الأرضية. تبرز أهميتها الخاصة في المجالات الثلاثة الآتية:
1. تحويل طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية.
 2. بناء "هيكل كربوني".
 3. انطلاق أكسجين.

1. تحويل طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية: الضوء هو مصدر الطاقة الأولي لجميع أنظمة الحياة على سطح الكرة الأرضية. يوجد له أفضلية مهمة، لأن الشمس "مورد لا يتناقص" في المدى القريب والبعيد. يُقدَّر العلماء أن العمليات النووية في الشمس، ستستمر في الحدوث ملايين السنين.

يوجد للضوء كمصدر طاقة للكائنات الحية عدة سيئات واضحة:

- جميع العمليات البيوكيميائية التي تحدث في الخلايا، الضوء غير مناسب لها كمصدر طاقة مباشر. الطاقة الكيميائية (ATP) هي الطاقة المناسبة للعمليات التي تحدث في الخلايا.
- الكائنات الحية غير ذاتية التغذية، لا يوجد لديها آليات لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.
- الضوء غير متوافر دائماً: خلال اليوم، يوجد ساعات ظلام، وفي فصول السنة المختلفة توجد تغيرات في توافر الضوء وشدته، لكن الحاجة إلى الطاقة متواصلة ودائمة.
- لا يمكن تخزين الطاقة الضوئية مدة زمنية طويلة، أما الطاقة الكيميائية تُخزن في مواد، مثل: النفط، السكر أو الطحين (النشا).

من هذه السيئات، تنبع أهمية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. يمكن استغلال الطاقة الكيميائية بعد مرور مدة زمنية طويلة على إنتاجها، كما يمكن استغلالها في مكان آخر أيضاً. هذا يعني أن عملية التركيب الضوئي لا تُقيد الكائن الحي بمصدر الطاقة الأولي - الضوء، وهي تزود الكائنات الحية بمصدر طاقة يمكن استغلاله بزمان آخر وفي مكان آخر.

مثلاً: يتغذى الإنسان بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على مواد نتجت في النباتات أثناء عملية التركيب الضوئي. تستعمل البذرة التي تثبت مواد إدارية نتجت خلال عملية التركيب الضوئي في النبتة التي تطورت فيها الثمار والبذور قبل مدة زمنية طويلة. كذلك الأمر بالنسبة لاستعمال مواد الوقود (النفط والفحم) في يومنا هذا، فقد نتجت هذه المواد في عملية التركيب الضوئي التي حدثت في فترات قديمة جداً وفي أماكن بعيدة. من الجدير بالمعرفة أن حوالي 1%-2% فقط من الطاقة الضوئية الكلية التي تصل من الشمس تتحول إلى طاقة كيميائية أثناء عملية التركيب الضوئي. تكفي هذه النسبة القليلة، لكي تزود مواداً عضوية لمعظم الكائنات الحية التي تعيش على سطح الكرة الأرضية.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
مُنتجات، مستهلكات
ومحللات في الشبكة
الغذائية.

2. بناء "هيكل كربوني": ناتج عملية التركيب الضوئي هو هيدروكربون يُستعمل "كهيكل كربوني" لبناء الكربوهيدرات المختلفة ومواد عضوية أخرى، مثل: البروتينات، الدهون وحوامض النواة. تُستعمل نواتج التركيب الضوئي أولاً في المنتجات - الكائنات الحية التي نتجت فيها للبناء ولاستخراج الطاقة، لكن يستغل هذه النواتج كل من يتغذى عليها في الشبكة الغذائية، مثل: المستهلكات المختلفة والمحللات. إن القدرة على استعمال هيكل أساسي يُنتج في عملية التركيب الضوئي لإنتاج أنسجة عضلات الأسد أو حليب البقرة، تُشير إلى تجانس كبير في المواد الكيميائية في عالم الأحياء. عدد أنواع المركبات العضوية في أجسام الكائنات الحية هو قليل، لذا تستطيع الكائنات الحية أن تتغذى على بعضها.

فكرة مركزية

تجانس وتباين
من أنواع قليلة من
المركبات، يتم بناء تنوع
هائل جداً من المواد.

3. انطلاق أكسجين: يساعد الأكسجين الجزيئي (O_2) الذي ينطلق خلال عملية التركيب الضوئي على استخراج طاقة متوافرة (ATP) بكمية كبيرة من مواد عضوية خلال عملية التنفس الخلوي الهوائي، الذي سنتعلم عنه في الفصل الخامس بشكل مفصل.

دون اشتراك الأكسجين، يمكن استخراج كمية قليلة من الطاقة المتوافرة من المواد العضوية. معظم الكائنات الحية (باستثناء عدد قليل من البكتيريا والفطريات) لا تستطيع البقاء دون أكسجين. يشكل تركيز الأكسجين حوالي 21% من الغلاف الجوي.

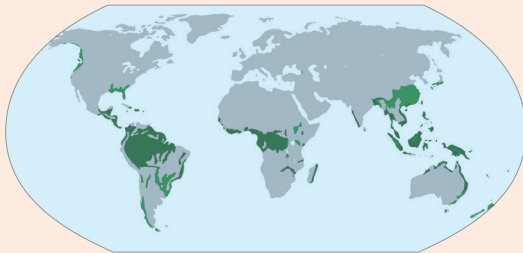
ومن الجدير بالمعرفة أن معظم الأكسجين الموجود في الهواء اليوم مصدره من الماء الذي يعتبر من المواد المتفاعلة في عملية التركيب الضوئي.

هناك جانب إضافي لعملية التركيب الضوئي وهو تأثيرها على توازن CO_2 في الغلاف الجوي. ينبعث CO_2 خلال عملية التنفس الخلوي التي تنفذها معظم الكائنات الحية وفي أعقاب احتراق الوقود. بفضل النباتات التي تستوعب ثاني أكسيد الكربون CO_2 وتستعمله لبناء الهيكل الكربوني، لا يرتفع تركيز الـ CO_2 في الهواء. وأصبح معروفاً أن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون له تأثير سلبي على البيئة المحيطة، نفصل ذلك فيما بعد (صفحة 71).

قليلًا من المعلومات عن...

الغابات المطرية (الماطرة) هي "الرئة" الخضراء للعالم

إنّ تقليص مساحات الغابات المطرية يُثير مشكلة عالمية. الغابة المطرية هي أحد الأنظمة البيئية المعقدة على سطح الكرة الأرضية. المساحة العامة للغابات المطرية حوالي 20 مليون كيلو متر مربع. وهي مركزة في ثلاث مناطق أساسية (أميركا الجنوبية، غرب إفريقيا وجنوب شرق آسيا) كما نرى ذلك في الرسم ج 2.



الرسم ج - 2: انتشار الغابات المطرية في العالم. انتبهوا! تقع المناطق الثلاث في خط الإستواء. مساحة اليابسة للكرة الأرضية.

في السنوات الأخيرة من القرن العشرين، كانت وتيرة قطع الغابات حوالي 20 ألف كيلو متر مربع في السنة (وهذا أقل بقليل من مساحة دولة إسرائيل). حتى بداية القرن العشرين، غطت الغابات المطرية حوالي 14% من مساحة اليابسة للكرة الأرضية، لكن اليوم تشكل 6% من مساحة اليابسة للكرة الأرضية.

سؤال ج-1:

تُقلق وتيرة قطع كل من يبحث جودة البيئة المحيطة. اكتبوا أربع نتائج ممكنة لتقليص مساحات الغابات.

سؤال ج-2:

لكي نفهم أهمية عملية التركيب الضوئي لتغذية الإنسان، اكتبوا قائمة مفصلة للمواد الغذائية التي نتناولها خلال اليوم.
أ. أي مواد غذائية تأكلونها تعتمد بطريقة مباشرة على عملية التركيب الضوئي؟ أعطوا أمثلة.
ب. أي مواد غذائية تأكلونها تعتمد بطريقة غير مباشرة على عملية التركيب الضوئي؟ أعطوا أربعة أمثلة. وشرحوا علاقتها بعملية التركيب الضوئي.

تغذية ذاتية - مع ضوء ودون ضوء (تغذية كيميائية)

تنقسم الكائنات الحية ذاتية التغذية إلى مجموعتين بحسب مصدر الطاقة الذي تستغله:
1. كائنات حية تستغل الضوء كمصدر للطاقة. تشتمل هذه المجموعة على النباتات، الطحالب وبكتيريا معينة ونسَمَّى هذه المجموعة ذاتية التغذية ضوئية.
2. كائنات حية لا تستغل الضوء كمصدر طاقة لبناء مواد عضوية، بل تستغل مركبات غير عضوية موجودة في بيئتها المحيطة، مثل: أمونيا (NH_3) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S). تنتمي مجموعة صغيرة من البكتيريا إلى هذه المجموعة ونسَمَّى ذاتية التغذية كيميائية. عملية بناء المواد العضوية من خلال استغلال طاقة مصدرها من مواد غير عضوية نسَمَّىها **تركيب كيميائي**.
انتبهوا! مصدر الكربون للمركبات العضوية في المجموعتين هو CO_2 من الهواء.

ج2. كيف نعرف؟

خطوات أولى في بحث عملية التركيب الضوئي

على الرغم من أن عملية التركيب الضوئي التي عرضناها في الرسمة ج 1- تبدو بسيطة، إلا أنها عملية معقدة جداً. احتاج العلماء سنوات كثيرة، لكي يكتشفوا تفاصيل العملية وحتى يومنا هذا ما زال العلماء يبحثون عملية التركيب الضوئي.

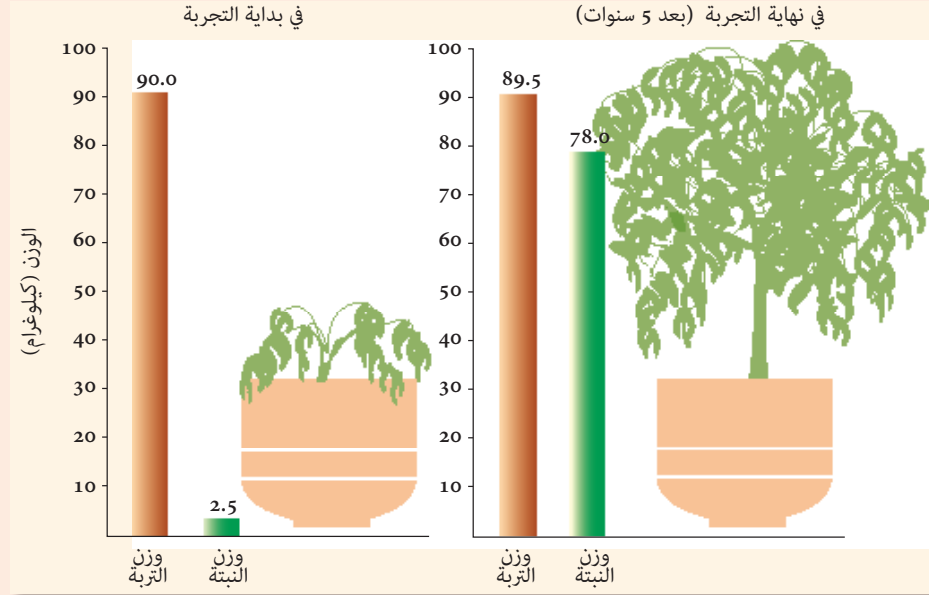
اعتقد الإنسان في قديم الزمان أن النبات يتغذى من التربة. اعتمد هذا الاعتقاد على تجربة حياة الإنسان: النباتات تنمو في التربة ومن المعروف أنها تحتاج إلى ماء لكي تنمو وتتطور. أما الهواء فلم يعرف الإنسان شيئاً عن مكوناته الكيميائية، لذا لم يفترض الإنسان أن هناك "شيء" في الهواء يستغله النبات لإنتاج مواد.

قصة اكتشاف



غذاء من التربة

يُعتبر الباحث البلجيكي فلمي فان-هيلمونط (Van Helmont 1577-1644) أول من نفذ تجربة هدفها فحص مصدر المواد التي تبني الشجرة. في التجربة التي أجريت في سنة 1636 (الرسمة ج- 3)، قام فان - هيلمونط بتوزين شتلة واحدة من شجرة الصفصاف وكمية من التربة، ثم وضع التربة في وعاء وغرس فيها الشتلة. بعد خمس سنوات، أخرج فان - هيلمونط شجرة الصفصاف من الوعاء، ثم قام بتوزينها وبالموازاة قام بتوزين التربة الموجودة في الوعاء.



الرسمة ج - 3: التجربة التي نفذها فان - هلمونط لكي يبحث مصدر مادة الشجرة

تصف الرسمة أعلاه نتائج تجربة فان هيلمونط، وقد استنتج منها أن "75.5 كغم من الشجرة مع الجذور تتجت من الماء فقط".

هذا الاستنتاج غير صحيح، لكن مئات السنين التي مرت منذ أن نفذ فان-هلمونط تجربته، لم تقلل من أهمية الإنتاج الإضافي الذي ينبع من التجربة التي نفذها: التربة ليست مصدر مادة الشجرة!

سؤال ج-3:

- أ. ماذا كان سؤال البحث الذي سأله فان - هيلمونط؟ وماذا كانت فرضيته؟ اعتمدوا في إجاباتكم على وصف التجربة.
- ب. ما هي النتائج التي اعتمد عليها فان - هيلمونط في استنتاجه؟ اشرحوا.
- ج. هل التجربة التي نفذها فان - هيلمونط هي تجربة كمية أم نوعية (كيفية)؟ اشرحوا إجاباتكم.
- د. هل تفي تجربة فان - هيلمونط بمعايير التجربة العلمية في يومنا هذا؟ علّلوا ادعاءكم، من خلال التطرق إلى المكونات المطلوبة لتنفيذ التجربة العلمية.
- هـ. ماذا تقترحون لتحسين التجربة؟ اشرحوا اقتراحاتكم.



كل هذا من الماء فقط
(هكذا فكر فان - هيلمونط)

مع مرور الوقت، لم ينجح استنتاج فان - هيلمونط أن يثبت أن الماء هو مصدر مادة الشجرة، لأن معرفتنا عن العناصر الكيميائية تشير إلى أنه لا توجد إمكانية لإنتاج مواد عضوية تحتوي على عنصر كربون (C) من الهيدروجين والأكسجين اللذين يكوّنان الماء.

بعد مرور 100 سنة على اكتشاف فان - هيلمونط، وهذا يعني حتى سنة 1873، اكتشف عالم آخر أن النبات يستعمل CO_2 من الهواء، لكي يُنتج مواد عضوية.

قصة اكتشاف

النباتات تنقي الهواء

ساهم الباحث الإنجليزي جوزيف بريستلي (Joseph Priestley 1733-1804) مساهمة مهمة جداً في فهم أهمية عملية التركيب الضوئي. بحث بريستلي صفات الهواء، تصف الرسمة ج - 4، قسم من تجاربه. في التجربة الأولى، أشعل شمعة داخل وعاء مغلق، ووجد أن الهواء الموجود داخله "يتلف" ولا يُتيح للشمعة الاستمرار في عملية الاحتراق، وكذلك الأمر يحدث، إذا أدخلنا إلى الوعاء فأراً بدلاً من الشمعة.

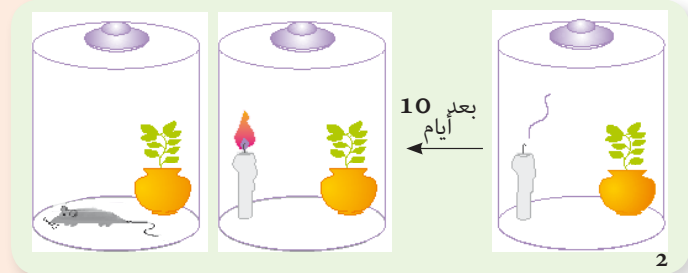
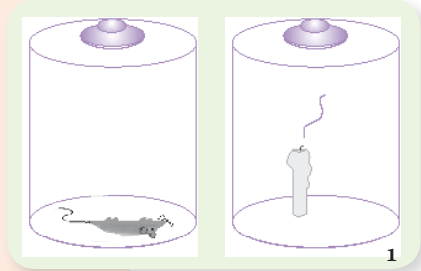
كَتَبَ بريستلي:

"من الواضح أنه يوجد في الطبيعة ترتيبات معينة لمنع هذا التلف" (تلف الهواء) وترتيبات أخرى لتحويل الهواء مرة أخرى إلى هواء مناسب لاحتراق الشمعة. أنا فخور جداً باكتشاف الطريقة التي تحقق فيها الطبيعة هذا الهدف..... بتاريخ 17 أغسطس 1771، وَصَعْتُ نبتة نعنec في وعاء يحتوي على هواء، اشتعلت فيه الشمعة وانطفأت. بتاريخ 27 من نفس الشهر، أدخلت شمعة مشتعلة إلى نفس الوعاء، ووجدت أن الشمعة استمرت في الاشتعال بشكل جيد. نفذت هذه التجربة ثمان مرات أخرى على الأقل خلال الصيف. وجدت أنه يكفي خمسة أيام أو ستة أيام ، لكي تعود صفات الهواء السابقة."

في تجارب أخرى، أدخل بريستلي فأراً إلى الوعاء الذي ينمو فيه نبات نعنec وبين أن الفأر بقي على قيد الحياة.

الرسمة ج - 4: تجارب جوزيف بريستلي.

1. أدخل بريستلي الشمعة إلى الوعاء، انطفأت الشمعة بعد مرور زمن قصير. أدخل فأراً إلى نفس الوعاء، مات الفأر بعد مرور زمن قصير.
2. أدخل نبتة إلى وعاء فيه شمعة مشتعلة، انطفأت الشمعة بعد عدة أيام، أشعل الشمعة في الوعاء، استمرت الشمعة مشتعلة مدة زمنية طويلة، وعندما أدخل فأراً بدلاً من الشمعة، بقي الفأر على قيد الحياة.



سؤال ج-4:

- أ. تطرقوا إلى ما كتبه بريستل، ثم اكتبوا الفرضية التي فحصها بريستل في القسم 2، في الرسمه ج - 4؟
- ب. بناءً على نتائج التجربة المعروضة في الرسمه، اشرحوا، كيف استنتج بريستل قدرة النبات على "تصحيح تلف الهواء"؟
- ج. هل يمكن أن نستنتج استنتاجاً آخر؟ ادعموا ادعاءكم بناءً على نتائج التجربة كما تظهر في الرسمه.

يوجد معنى كبير جداً لإكتشاف بريستل، لأن ما يحدث في وعاء مغلق فيه شمعة، فأر أو نبتة يحدث في الغلاف الحياتي أيضاً: يستهلك الفأر والشمعة أكسجين ويُطلقان CO_2 . وكذلك الأمر بالنسبة للنبتة، فهي تستهلك أكسجين وتُطلق CO_2 . لكن بما أن الضوء يسقط على النبتة، فهي تستوعب CO_2 وتُطلق أكسجين بكمية أكبر من الكمية التي تستهلكها في عملية التنفس التي تتم بالموازاة. نعرض خلال الفصل أبحاث أخرى ساهمت في فهم عملية التركيب الضوئي.

ج3. ملاءمة النبات لتنفيذ عملية التركيب الضوئي

يوجد ميزان مركزيان لمبنى وطريقة حياة النبات:

1. النبات ثابت في مكانه، ولا يستطيع أن "يبحث" بشكل فعّال عن احتياجاته: طاقة ومواد.
 2. الموارد التي يحتاجها النبات الذي يعيش في اليابسة، غير موجودة بكثرة في بيئته المحيطة: في كل لتر هواء، يوجد أقل من 0.5 ملل CO_2 . الماء غير متوافر دائماً في البيئة المحيطة القريبة للنبات وأيضاً الضوء غير متوافر كل ساعات اليوم وشدته تتغير في فصول السنة المختلفة.
- في مبنى النبات، يوجد صفة بارزة تجعله ملائماً لجمع الموارد التي يحتاجها لتنفيذ عملية التركيب الضوئي - ضوء، ماء و CO_2 ، هذه الصفة هي وجود أعضاء تنتشر في الفراغ، وهي ذات مساحة سطح خارجي كبير جداً نسبةً لحجمها. الأوراق والجذور تُبرز مبادئ المبنى بشكل جيد. نتعلم في هذا البند عن ملاءمة الأوراق لتنفيذ عملية التركيب الضوئي، أما عن ملاءمة الجذور لهذه العملية، نتعلم، فيما بعد في نهاية الفصل، في بند ج 1.10 (صفحة 83).



ج3.1 ملاءمة النبات لاستيعاب معظم الضوء

إذا تمعنا حولنا، نلاحظ في معظم النباتات أن مبنى النبتة وترتيب الأوراق ملائماً لاستيعاب معظم الضوء.

ما هو المشترك لترتيب الأوراق على الساق في النباتات المختلفة

كما تلاحظون في الرسمه ج - 5، ترتيب الأوراق على الساق ليس عشوائياً. الأوراق مرتبة بطريقة لا تحجب الضوء عن بعضها، فهي مرتبة بزواوية ملائمة لاستيعاب معظم الضوء في مساحة سطح خارجي عظمى ولمدة زمنية طويلة خلال اليوم.

الرسمه ج - 5: تنوع ترتيب الأوراق في النبات.

الفكرة المركزية

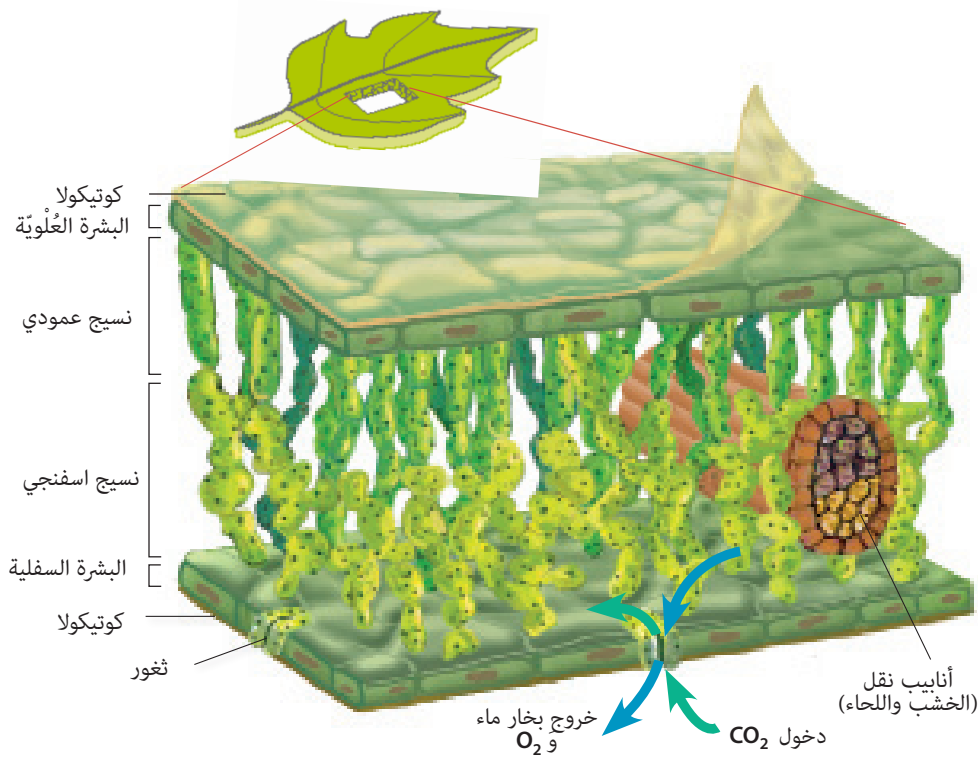
التجانس والتباين:
في النباتات المختلفة، ترتيب
الأوراق مختلف، لكنه ملائم
لاستيعاب معظم الضوء.

سؤال ج-5:

في الغابات المطرية، يوجد تنوع كبير جداً لأنواع نباتات متسلقة ونباتات ذات أوراق كبيرة جداً. اشرحوا الأفضليات التي تكسبها هذه الصفات للنباتات التي تنمو في بيت التنمية هذا؟

كيف يتلاءم مبنى الورقة مع استيعاب الضوء؟!

تتميز معظم الأوراق بصفتين بارزتين ويمكن أن نراها دون أي جهد أو أجهزة خاصة: الصفة الأولى أن مبنى الورقة المسطح يكوّن مساحة سطح خارجي كبيرة جدًا نسبةً للحجم، والصفة الثانية هي اللون الأخضر الذي تكتسبه النباتات بسبب صبغية الكلوروفيل التي سنتعلم عنها فيما بعد. هاتان الصفتان ضروريتان لاستيعاب الضوء - مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي. إذا نظرنا إلى داخل الورقة (الرسم ج - 6)، فإننا نكتشف أن المبنى الداخلي للورقة أيضًا يتلاءم مع استيعاب الضوء والعمليات المتعلقة بعملية التركيب الضوئي.



الرسم ج - 6: مقطع في قسم من الورقة وتبادل الغازات بين الورقة والبيئة المحيطة. انتبهوا! الأسهم في الرسم، تُمثل فقط اتجاه حركة الغازات التي تتبع من التركيب الضوئي والتنح، ولا تمثل الاتجاه العكسي الذي ينبع من عملية التنفس.

في معظم نباتات اليابسة، نلاحظ أن سطح الورقة مغطاة بطبقة شمعية نسميها **كوتيكولا**. هذه الطبقة شفافة للضوء وغير نفاذة للماء تقريبًا. تساعد شفافية الكوتيكولا على استيعاب الضوء بشكل ناجح. وكونها غير نفاذة للماء مهم جدًا لمنع فقدان ماء من مساحة السطح الخارجي للورقة. نجد تحت الكوتيكولا طبقة خلايا خارجية نسميها **البشرة**، وفي معظم الحالات تكون طبقة خلايا واحدة. خلايا خلايا متلاصقة وشفافة، تساعد الشفافية على دخول الضوء بشكل جيد. وخلايا البشرة هي التي تُفرز الكوتيكولا. نجد تحت البشرة العلوية طبقة خلايا تشبه الأعمدة، ومن هنا جاء اسمها **نسيج عمودي**. هذه الخلايا غنية بالكلوروبلاستيدات التي تتم فيها عملية التركيب الضوئي. تحت هذه الطبقة، نجد طبقة خلايا شكلها غير متجانس ويوجد بينها فراغات كبيرة، ومن هنا جاء اسمها **نسيج اسفنجي**. تساعد هذه الفراغات على تبادل غازات ناجح بين الخلايا والبيئة المحيطة، وتحتوي الخلايا ذاتها على كلوروبلاستيدات كثيرة.

نلاحظ في مقطع الورقة حزمة أنابيب نقل. نسيج النقل في النبتة مبني من نوعي أنابيب:

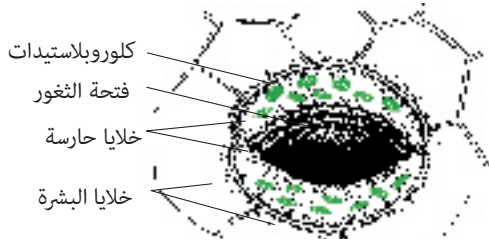
للمزيد عن

نقل الماء والأملاح المعدنية:
انظروا بند ج - 10 صفحة.

الخشب واللحاء. يتم في أنابيب الخشب نقل الماء والأملاح المعدنية من الجذور إلى جميع أقسام النبتة، أما في أنابيب اللحاء، يتم نقل نواتج عملية التركيب الضوئي إلى الأعضاء التي لا تنفذ عملية التركيب الضوئي أو للإدخار. ينتشر جهاز النقل في جميع أنحاء النبتة وهو يربط فيما بينها.

ج2.3 ملاءمة الورقة لاستيعاب CO₂ وتقليل فقدان الماء

عند معظم الحيوانات يوجد جهاز خاص لنقل الغازات، لكن هذا الأمر غير موجود عند النباتات بتاتاً، وهذا يعني لا يوجد عند النبات جهاز خاص لنقل الغازات. تتم حركة الهواء بين النبات وبيئته المحيطة بواسطة الانتشار. يتم تبادل الغازات بين النبات وبيئته المحيطة (الرسمه ج - 6) عبر فتحات خاصة موجودة في نسيج البشرة نسميها **ثغور**. كل فتحة ثغور محاطة بخليتين حارستين (الرسمه ج - 7) تنظمان كبر الفتحة. عندما تكون الخلايا الحارسة مليئة بالماء، فإن فتحات الثغور تكون مفتوحة، وعندما يكون نقص في الماء، فإن فتحات الثغور تكون مغلقة.



الرسمه ج - 7: ثغور مفتوحة.

داخل الورقة، بين نسيج الخلايا العمودية وبين نسيج الخلايا الاسفنجية، يوجد نظام متواصل مكوّن من فراغات مليئة بالهواء وهذه الفراغات مرتبطة بالبيئة المحيطة بواسطة فتحات الثغور. في الفراغات بين الخلايا تكون الرطوبة عالية (حوالي 100%). طالما فتحات الثغور مفتوحة، يتم استيعاب CO₂ عبرها، لكن في نفس الوقت، ينطلق بخار ماء عبرها وفقاً لمنحدر التراكيز، من خلال عملية نسميها **النتح**. عندما تكون الثغور مغلقة، لا ينطلق بخار ماء، لكن في نفس الوقت، لا يتم استيعاب CO₂ وتنخفض وتيرة عملية التركيب الضوئي. هذه هي "المصيبة" الكبرى للنباتات: استيعاب مورد نادر واحد وهو الـ CO₂، متعلق بفقدان مورد غال جداً آخر وهو الماء.

من **الجدير بالمعرفة** أنه يتبخر 90% من الماء الذي يستوعبه النبات عبر فتحات الثغور على الرغم من أن الثغور تحتل 1% فقط من مساحة الورقة (كما هو معروف، الكوتيكولا تقلص بشكل ملحوظ من تبخر الماء عبر مساحة السطح الخارجي للورقة).

العوامل الأساسية التي تنظم فتح الثغور هي: مستوى الـ CO₂ في الفراغات الموجودة بين خلايا الورقة، الضوء وتوازن الماء في النبات (كمية الماء التي يستوعبها النبات عبر جذوره بالمقارنة مع كمية الماء التي يفقدها في عملية النتح). في معظم النباتات تكون الثغور مفتوحة في الظروف الآتية: وجود ضوء، مستوى CO₂ منخفض في الورقة وتوازن ماء موجب في النبات، لكن الثغور تكون مغلقة في الظروف الآتية: في الظلام، أو عندما يكون مستوى CO₂ في الورقة مرتفع جداً، أو عندما يكون توازن الماء في النبات سالباً (الرسمه ج - 8). يَنْتج من ذلك أن مراقبة فتح واغلاق الثغور هو حل وسط بين الحاجة إلى استيعاب CO₂ وبين الحاجة إلى تقليل فقدان الماء.

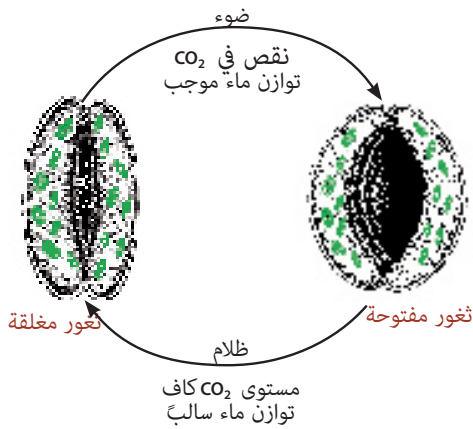
تساعد الثغور في الحفاظ على توازن الماء في نباتات اليابسة التي فيها مورد الماء نادر جداً، وهكذا تساهم الثغور في الحفاظ على الإيزان البدني في النبات.

في بيئات محيطية جافة، يوجد ملاءمات إضافية بين الورقة وتقليل فقدان الماء: **أوراق صغيرة**، مكان الثغور في البشرة السفلية، ثغور غائرة و**شعيرات** على الورقة في منطقة الثغور

قد تتسم عملية النتح على أنها سيئة وضرورية وهذا يعني ظاهرة جانبية تؤدي إلى فقدان الماء عند فتح الثغور لاستيعاب CO₂. لكن عملية النتح لها وظيفة مهمة كونها القوة الأساسية التي تؤدي إلى حركة الماء والأملاح المعدنية من الجذور إلى أقسام النبتة التي تقع فوق سطح التربة (انظروا بند ج 4.7، صفحة 72). يساعد تبخر الماء في انطلاق الحرارة أيضاً وفي الحفاظ على درجة حرارة داخلية في النبات.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
ملاءمة للحياة في بيئة
محيطية جافة.



الرسمه ج - 8: تأثير عوامل مختلفة على فتح الثغور.

يفصّل جدول ج-1 الأقسام الداخلية للورقة ووظائفها في عملية التركيب الضوئي.

جدول ج-1: أقسام الورقة، أنسجتها ووظائفها في عملية التركيب الضوئي

الوظيفة	الوصف	قسم من الورقة أو النسيج
<ul style="list-style-type: none"> تقليل فقدان الماء وحماية السطح الخارجي للورقة من الجفاف. تساعد على استيعاب كمية كبيرة من الضوء. 	<ul style="list-style-type: none"> طبقة مادة غير نفاذة للماء والغازات. تغطي مساحة السطح الخارجي للورقة الكوتيكولا شفاقة. 	كوتيكولا (في نباتات اليابسة)
<ul style="list-style-type: none"> دخول كمية كبيرة من الضوء. استيعاب CO_2. 	<ul style="list-style-type: none"> خلايا متلاصقة، شفاقة وعديمة اللون (باستثناء الخلايا التي تُغلق الثغور). فتحات — الثغور. 	البشرة
<ul style="list-style-type: none"> استيعاب كمية كبيرة من الضوء وتنفيذ عملية التركيب الضوئي. 	<ul style="list-style-type: none"> تقع في الطرف العلوي للورقة، تتميز بخلايا تشبه الأعمدة وهي تحتوي على كمية كبيرة من الكلوروبلاستيدات. 	نسيج عمودي
<ul style="list-style-type: none"> استيعاب معظم الضوء وتنفيذ عملية التركيب الضوئي. تبادل غازات وتراكم الـ CO_2 الذي دخل عبر الثغور. 	<ul style="list-style-type: none"> خلايا فيها كلوروبلاستيدات كثيرة. فراغات هواء كبيرة بين الخلايا. 	نسيج اسفنجي
<ul style="list-style-type: none"> نقل ماء وأملاح معدنية من الجذور إلى خلايا الورقة. نقل نواتج عملية التركيب الضوئي من الأوراق إلى سائر أعضاء النبتة. 	<ul style="list-style-type: none"> نوعان من أنابيب النقل: أنابيب خشب. أنابيب لحاء. 	نسيج نقل

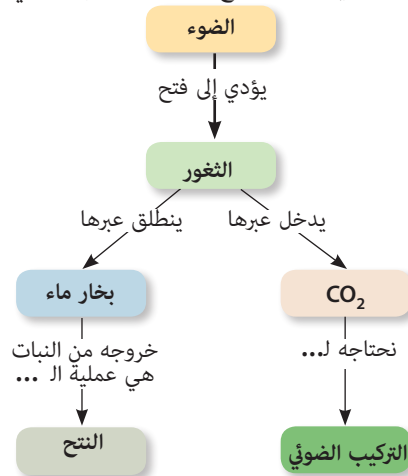
الفكرة المركزية

تنظيم الاتزان البدني: تنظيم اتزان الماء في النبتة والحفاظ على الاتزان البدني بواسطة الثغور وعملية النتح.

ملاءمة بين المبنى والوظيفة: ملاءمة النبات لظروف الجفاف.

سؤال ج-6:

تصف الرسمة ج-9 العلاقة بين عملية النتح وعملية التركيب الضوئي. صوغوا جملاً تصف هذه العلاقة.



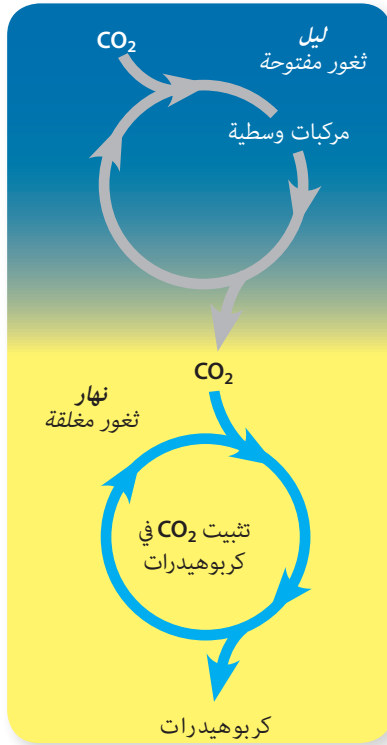
الرسمة ج-9: رسم تخطيطي للمصطلحات: العلاقة بين عملية النتح وعملية التركيب الضوئي.



صبار



غسول



الرسم ج - 10: عملية التركيب الضوئي في نباتات الـ CAM أثناء اليوم.

عملية التركيب الضوئي مع ثغور مغلقة

إنّ تنظيم فتح الثغور هو حل لتقليل مشكلة فقدان الماء أثناء استيعاب CO_2 . لكن نجاعة هذا الحل محدودة، لأن إغلاق الثغور يقلل من عملية التركيب الضوئي (الرسم ج - 8). يوجد حل خاص لتقليل فقدان الماء أثناء استيعاب CO_2 ، وقد وُجد هذا الحل عند مجموعة نباتات قليلة نسبيًا تسمى **نباتات CAM**.

هذه النباتات ملائمة لظروف الحرارة والجفاف، لذا هي شائعة في المناطق الصحراوية. تنتمي إلى هذه المجموعة نباتات لحمية مختلفة مثل: الصبار، الغسول، المخدلة وغير ذلك.

الخاص في نباتات الـ CAM أنها تفتح ثغورها في الليل فقط، عندما تكون الرطوبة عالية نسبيًا ودرجة الحرارة منخفضة، وهكذا تفقد كمية ماء قليلة أثناء عملية النتج. ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يتم استيعابه في الليل عبر الثغور، يرتبط بشكل مؤقت بمركبات تتراكم في الفجوة العصارية الموجودة في الخلية (الرسم ج - 10).

في النهار، في ساعات الضوء، تكون الثغور مغلقة وينطلق ثاني أكسيد الكربون CO_2 من المركبات الخاصة التي ارتبط بها أثناء الليل، ثم يدخل إلى الكلوروبلاستيدات بواسطة عملية بيوكيميائية تسمى دورة كلفن (سنتعلم عنها فيما بعد)، يمر ثاني أكسيد الكربون CO_2 بعملية تثبيت مع جزيء عضوي وهكذا يصبح جزءًا من هيدروكربون. كما هو الأمر في جميع النباتات، فإن نباتات الـ CAM تقوم أيضًا بعملية التركيب الضوئي أثناء النهار. في معظم النباتات، يؤدي إغلاق الثغور إلى توقف عملية التركيب الضوئي، لكن في نباتات الـ CAM تستمر عملية التركيب الضوئي على الرغم من إغلاق الثغور. يتم ذلك بفضل الفرق بين زمن استيعاب ثاني أكسيد الكربون CO_2 وربطه الأولي الذي يتم في الليل عندما تكون الثغور مفتوحة وبين عملية التركيب الضوئي التي تتم خلال النهار عندما تكون الثغور مفتوحة.

سؤال ج-7:



قارنوا بين ما يحدث في النهار والليل في نباتات الـ CAM بحسب المميزات الآتية:

وضع الثغور، مدى فقدان الماء، استيعاب CO_2 من البيئة المحيطة، العملية التي يشترك فيها CO_2 وحدوث عملية التركيب الضوئي.

سؤال ج-8:



اقترحوا مبنى ورقة مثالي وملائم لما يلي: أ. ظروف الصحراء، ب. غابة استوائية متشابكة. تطرّقوا في اقتراحكم إلى مبنى الورقة، مكان الثغور، محتوى الماء في الورقة، إضافات مختلفة على الأوراق وترتيبها في النبتة. علّوا، لماذا المبنى الذي اقترحتموه يُكسب الورقة ملاءمة كبيرة إلى بيئتها المحيطة؟

ج4. كلوروبلاستيدات واستيعاب الضوء

ج1.4 كلوروبلاستيدات

كما تعرفون، أحد الفروق بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية هو وجود عضيات خاصة نسميها كلوروبلاستيدات. **الكلوروبلاستيدات** هي عضيات لونها أخضر، نجدها في خلايا الورقة وفي خلايا الأقسام الخضراء في النبات، تتم فيها عملية التركيب الضوئي. طول الكلوروبلاستيد حوالي 5-7 ميكرومتر وعرضه حوالي 2 ميكرومتر. يتراوح عددها بين 50 إلى 200 في كل خلية.

المبنى الداخلي للكلوروبلاستيدات معقد، وقد اتضح مبناها عندما نجحوا بمشاهدتها بمساعدة المجهر الإلكتروني. الكلوروبلاستيد محاط بغلاف من غشائين، كل واحد منهما شبه نفاذ وهما يُنظمان حركة الجزيئات إلى داخل وخارج الكلوروبلاستيد. الغشاء الداخلي يحيط محلول مائي يحتوي على مكونات مختلفة وعلى إنزيمات تشارك في عملية التركيب الضوئي. هذا المحلول نسميه ستروما. في داخل الستروما، يوجد مبانٍ غشائية تشبه أكياس صغيرة مغلقة ومسطحة وهي مرتبة بأكوام مرتبطة فيما بينها. هذه الأكياس نسميها تيلوكويدات (الرسم ج - 11).

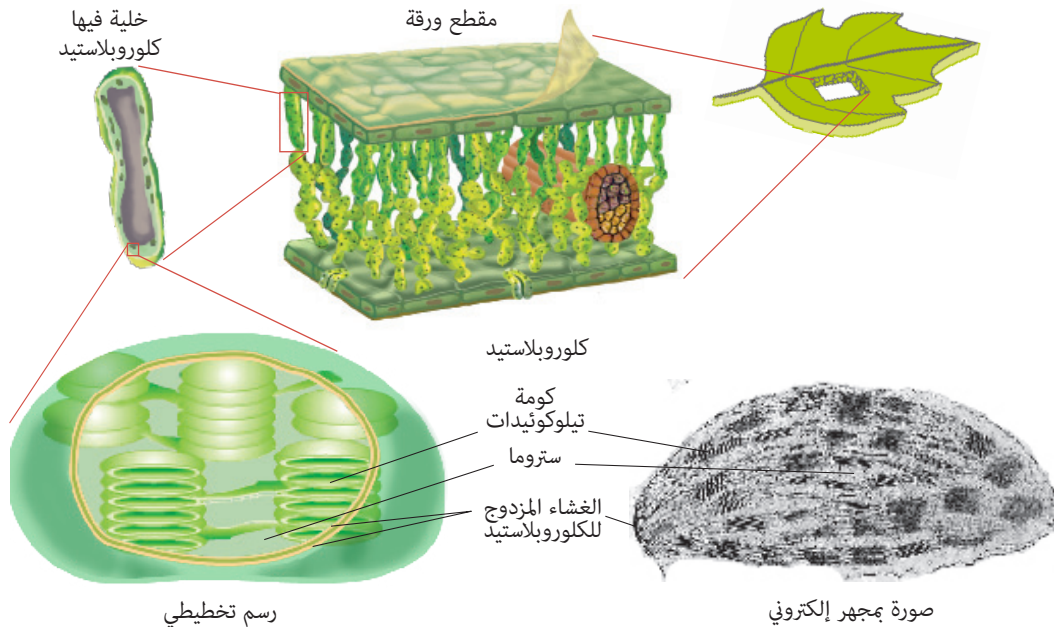
كما رأيتم، يوجد **أقسام** في مبنى الكلوروبلاستيدات: قسم واحد داخل التيلوكويدات والقسم الثاني هو الستروما التي تحيطها. كما سنرى فيما بعد، في كل قسم، تتم مرحلة من مراحل عملية التركيب الضوئي، يؤدي وجود الأقسام إلى بيئات منفردة ومختلفة، كما أنه يتيح تنفيذ ناجح للعمليات المختلفة بشكل مواز.

الفكرة المركزية

التجانس والتباين:
جميع خلايا الكائنات الحية لها مميزات مشتركة، لكن خلايا مختلفة لها مبانٍ خاصة ملائمة لأدائها.

الفكرة المركزية

ملاءمة بين المبنى والوظيفة:
الأقسام في الكلوروبلاستيدات وزيادة مساحة السطح الخارجي للأغشية نسبة إلى حجمها.

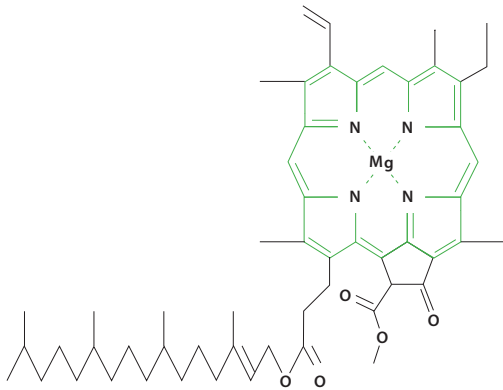


الرسم ج - 11: مبنى الكلوروبلاستيد ومكانه في مستويات تنظيم النبتة.

على اليمين في أسفل الرسم: تصوير مجهر إلكتروني (تكبير مقداره حوالي 10,000 ضعف).

على اليسار في أسفل الرسم: رسم تخطيطي.

ينبع اللون الأخضر للكلوروبلاستيدات وجميع الأقسام الخضراء في النبتة من جزيئات **صبغة الكلوروفيل** الموجود فيها.



الرسم ج - 12: مبنى تخطيطي لجزيء الكلوروفيل:
رأس (اللون الأخضر) وذنب (اللون الأسود).

ج2.4 كلوروفيل

كما تلاحظون في الرسم ج - 12، جزيء الكلوروفيل مبني من قسمين: "رأس" و "ذنب". الرأس مبني من حلقات تشتمل على ذرات كربون ونيروجين وفي مركز المبنى يوجد ذرة **مغنيزيوم** تقوم بتثبيتها. الذنب مبني من سلسلة ذرات كربون. يشترك "الرأس" في استيعاب الضوء ويقوم الذنب بتوجيه وربط الكلوروفيل بأغشية التيلوكويثيدات وهكذا يكون الكلوروفيل موجهاً إلى داخل التيلوكويثيد. تتيح مساحة السطح الخارجي الكبيرة التي تكونها أكياس التيلوكويثيدات إلى ارتباط جزيئات كلوروفيل كثيرة. جزيء الكلوروفيل هو مركب عضوي، لذا الكلوروفيل ذاته يشكل ناتج غير مباشر لعمليات التركيب الضوئي في النبات.

قليلًا من المعلومات عن ...

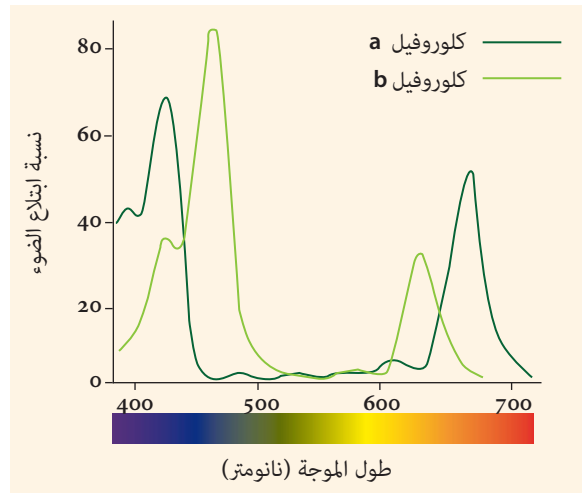
الكلوروبلاستيدات، الكلوروفيل والبطاطا

عندما نترك حبات بطاطا زمن كبير جدًا في الضوء، فإن لون حبات البطاطا البني يتحول إلى أخضر؟ ما هو الشرح لهذه الظاهرة؟
درنة حبة البطاطا هي ساق يعيش داخل الأرض وهو ثخين وخلاياه تحتوي على عضيات لتخزين النشا نسميها بلاستيدات النشا. الكلوروبلاستيدات وبلاستيدات النشا هما اثنان من عائلة كبيرة لعضيات النبات التي نسميها بلاستيدات. في ظروف بيئة محيطة معينة، يتحول نوع معين من البلاستيدات إلى نوع آخر يختلف في المبنى، محتوى الصبغيات والأداء.
عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، تتحول بلاستيدات النشا إلى كلوروبلاستيدات وتبدأ الأخيرة في إنتاج الكلوروفيل الذي يكسب درنة البطاطا اللون الأخضر. من الجدير بالمعرفة أنه عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع إنتاج مادة سامة نسميها سولنين. مادة السلونين موجودة بشكل طبيعي في درنات البطاطا وهي موجودة بكمية يستطيع جسمنا أن يعالجها ويتخلص منها. عندما تتعرض درنة البطاطا إلى الضوء، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع مستوى السلونين بعشرة أضعاف. يتركز معظم السلونين بالأساس بالقرب من قشرة الدرنة التي لونها أخضر، لذا يجب قطع طبقة سميكة من القشرة قبل استعمال البطاطا.

ج3.4 الكلوروفيل وابتلاع الضوء

كما ذكرنا، الطاقة الضوئية هي شرط ضروري لحدوث عملية التركيب الضوئي. أشعة الشمس هي مصدر الطاقة الضوئية التي تنتشر في الفراغ كأموال. عندما تسقط أشعة ضوء، تبدو لنا عديمة اللون، لكن عندما تمر عبر منشور، فإنها تتحلل وتنتج ألوان كثيرة. الألوان المختلفة هي أمواج تختلف عن بعضها بطول الموجة وبالطاقة التي تحملها. تسلسل أطوال الأمواج نسميه **طيْفًا**. أشرطة الألوان وأطوال الأمواج التي تظهر في أسفل الرسم ج - 13 هي طيف الضوء المرئي.
تبتلع كل صبغية أمواج ضوء بأطوال خاصة بها وتعكس أو تمرر أطوال أمواج أخرى. يتم تحديد لون الصبغية بحسب أطوال أمواج الضوء المنعكسة التي تصل عيوننا. يبتلع الكلوروفيل الضوء بشكل خاص كما هو الأمر عند الصبغيات الأخرى التي تبتلع الضوء بشكل خاص أيضًا. عندما يبتلع جزيء الكلوروفيل الضوء، يحدث تغيير كيميائي في الجزيء وهذه هي المرحلة الأولى في عمية التركيب الضوئي.

عندما نضيء على محلول كلوروفيل استخلصناه من ورقة نبات، نلاحظ بواسطة جهاز نسميه طيف الابتلاع أطوال الأمواج (ألوان الضوء) التي يبتلعها المحلول والتي لا يبتلعها. الصورة التي نحصل عليها نسميها **طيف الابتلاع**. بحسب الرسم البياني لطيف ابتلاع الكلوروفيل (الرسم ج - 13) الذي يبين نسبة الابتلاع بحسب أطوال الأمواج، يمكن أن نستنتج الألوان التي يبتلعها الكلوروفيل والألوان التي يعكسها (التي تكسبه اللون). انتبهوا! نلاحظ في الرسم ج - 13 أن هناك نوعان أساسيان من الكلوروفيل في النبات: كلوروفيل **a** وكلوروفيل **b**. وهما يختلفان عن بعضهما قليلاً في المبني، لذا يوجد اختلاف بينهما في طيف الابتلاع أيضاً.



الرسم ج - 13: طيف ابتلاع كلوروفيل a وكلوروفيل b في محلول.
تحت محور X يوجد طيف ألوان الضوء المرئي

سؤال ج-9:



تمعنوا في الرسم ج - 13 وسجلوا:

- في أي أطوال أمواج يبتلع الكلوروفيل الضوء بكمية عظمى؟ ما هي ألوان الضوء في هذه الأطوال من الأمواج؟
- ما هي أطوال الأمواج التي لا يبتلعها الكلوروفيل تقريباً؟ ما هي ألوان الضوء في هذه الأطوال من الأمواج؟ ما هي العلاقة بين هذه الحقيقة ولون الورقة؟

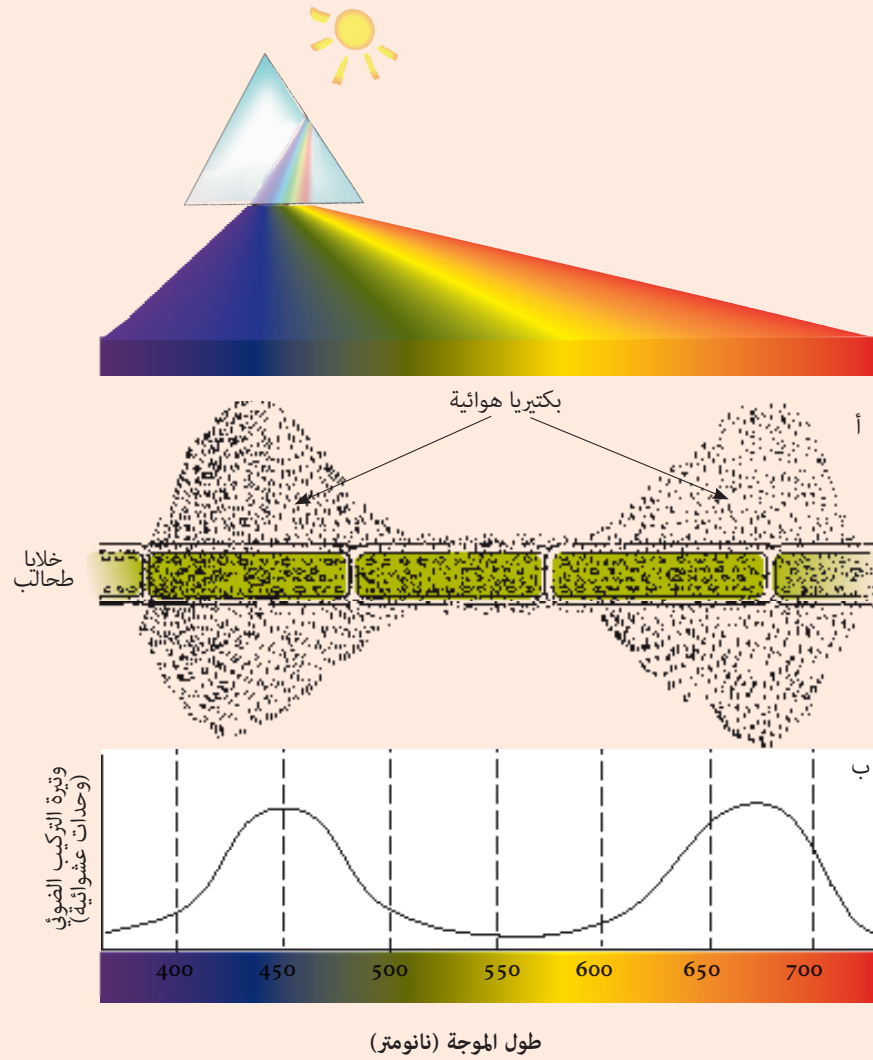
قصة اكتشاف



هل أمواج الضوء التي يبتلعها الكلوروفيل (طيف الابتلاع) هي نفس أطوال الأمواج الفعالة في عملية التركيب الضوئي (طيف النشاط)؟

الباحث الألماني تينودور انجلمن (Theodor Engelmann) هو الذي بين في سنة 1882 العلاقة بين أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل وبين أطوال الأمواج الفعالة في عملية التركيب الضوئي. بحث انجلمن مستوى نشاط عملية التركيب الضوئي في طحالب خضراء، خلاياها مرتبة في سطر كالخيط. أضاء انجلمن الطحالب الطويلة بضوء مرّ عبر منشور زجاجي، وهكذا تمّ الفصل بين مكونات الضوء وقد تمّت إضاءة أقسام مختلفة من الطحالب بألوان مختلفة. عرف انجلمن أن الأكسجين ينطلق أثناء عملية التركيب الضوئي، لذا اختار الأكسجين كدلالة لحدوث العملية. لتمييز الأكسجين، أضاف إلى جهاز التجربة بكتيريا هوائية تحتاج إلى الأكسجين لنموها وهي تتحرك إلى مناطق فيها كمية كبيرة من الأكسجين.

تمَّ استعمال تركيز البكتيريا حول الخلايا كمقياس لوتيرة عملية التركيب الضوئي. يوجد وصف لهذه النتائج في القسم الأول من الرسمة ج - 14، وقد استنتج منها انجلمن أن عملية التركيب الضوئي تتم بالأساس في أطوال الأمواج الضوئية الحمراء والزرقاء. أطوال الأمواج الفعّالة في عملية التركيب الضوئي نسمّيها **طيف النشاط**. وجد انجلمن أن هناك ملاءمة بين طيف الابتلاع (أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل) وبين طيف النشاط (أطوال الأمواج التي فيها وتيرة انطلاق الأكسجين من الخلايا عالية). تُشير هذه الملاءمة إلى أن الكلوروفيل هو الصبغية الفعّالة في عملية التركيب الضوئي.



الرسمة ج - 14: أ. نتائج تجربة انجلمن ب. طيف نشاط عملية التركيب الضوئي الذي ينبع من النتائج.

سؤال ج - 10:

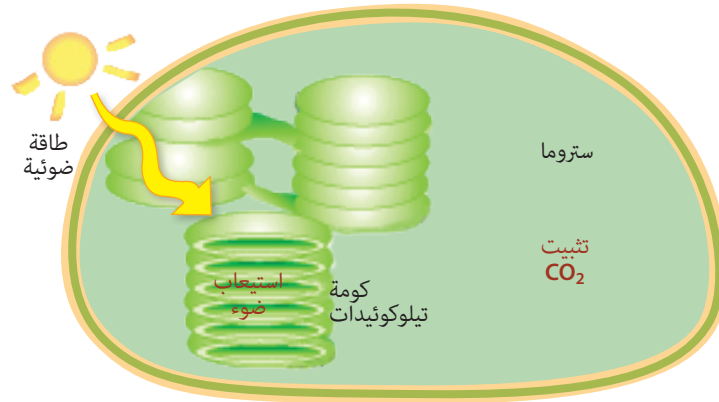


- ماذا يحدث لو استعمل انجلمن ضوءاً أبيض دون أن يمرره عبر المنشور؟ علّوا.
- اقتروا طريقة إضافية لفحص طيف نشاط عملية التركيب الضوئي.
- ما هي الأفضلية للنبات الذي يوجد فيه نوعان من الكلوروفيل: a و b؟ اعتمدوا في إجاباتكم على تجربة انجلمن وعلى الرسمة ج - 13.
- كيف من المتوقع أن ينمو نباتاً مضاءً بلون أخضر فقط؟ اشرحوا.

ج5. مراحل عملية التركيب الضوئي

ساهمت سنوات كثيرة من البحث (المستمر حتى يومنا هذا)، لكي يفهم الباحثين المراحل الأساسية في عملية التركيب الضوئي والعلاقة بينها. اتضح أن عملية التركيب الضوئي مكونة من مرحلتين، تتم هاتين المرحلتين في أقسام مختلفة من الكلوروبلاستيدات (انظروا الرسمة ج - 15).

المرحلة 1: **استيعاب الطاقة الضوئية** وتحويلها إلى طاقة كيميائية (في التيلوكويثيدات).
المرحلة 2: **تثبيت CO₂** بمساعدة نواتج مرحلة استيعاب الضوء (في الستروما).



كلوروبلاستيدات

الرسمة ج - 15: مرحلتا عملية التركيب الضوئي.
المرحلة الأولى: يتم استيعاب الضوء في التيلوكويثيدات بالقرب من أغشيتها. المرحلة الثانية: يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO₂ في الستروما.

نعرف اليوم تفاصيل كثيرة عن هاتين المرحلتين ولدينا إجابات عن أسئلة، مثل: ما هي وظيفة الضوء في العملية؟ لأي غرض نحتاج الضوء؟ ما هو مصدر الأكسجين المنبعث في العملية؟ كيف تنتج كربوهيدرات من CO₂؟
للإجابة عن هذه الأسئلة، يجب علينا أن نعرف معلومات عن هاتين المرحلتين.

ج5.1 مرحلة استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية

الضوء هو مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي، لكن تنتهي وظيفة الضوء خلال أقل من أجزاء من الثانية: وظيفة الضوء هي **تهييج (إثارة) جزيء الكلوروفيل**. في أعقاب التهييج، يترك إلكترون جزيء الكلوروفيل. جزيء الكلوروفيل الذي بقي مع إلكترون أقل، يوجد لديه ميل قوي جداً لجذب الإلكترونات (مؤكسد قوي - انظروا قائمة المصطلحات فيما بعد). جزيئات الكلوروفيل المهيجة، تجذب إليها الإلكترونات من جزيئات الماء وتؤدي إلى تحليل الماء إلى أيونات هيدروجين وأوكسجين:

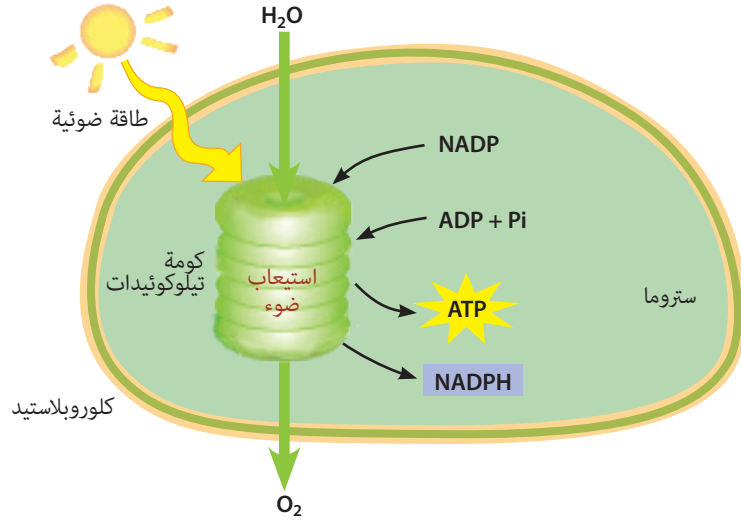


تنتقل الإلكترونات من جزيئات الماء إلى جزيئات الكلوروفيل وهكذا "يكمل" الكلوروفيل الإلكترونات التي تنقصه. في هذه الحالة، تستطيع جزيئات الكلوروفيل أن تستوعب وجبة ضوء إضافية. الإلكترونات التي أبعدت من الكلوروفيل تنتقل عبر سلسلة من الناقلات الموجودة في غشاء التيلوكويثيد. إن انتقال الإلكترونات من ناقل إلى آخر يؤدي إلى إطلاق الطاقة بشكل تدريجي. تستعمل الطاقة المنبعثة أثناء انتقال الإلكترونات عبر سلسلة الناقلات لإنتاج ATP من ADP وفوسفات (Pi).

للمزيد عن

ناقلات الهيدروجين وإنتاج ATP: انظروا الفصل الخامس، بند هـ 4، صفحة 141.

في نهاية سلسلة الناقلات في غشاء التلوكوئيد، ترتبط الإلكترونات وأيونات الهيدروجين التي انطلقت من الماء بناقل الهيدروجين - جزيء الـ NADP الذي يتحول في أعقاب الارتباط إلى NADPH. عند بناء الـ ATP والـ NADPH يكتمل تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كما هو معروض في الرسم ج-16. من هنا فصاعداً، عملية التركيب الضوئي متعلقة بهاتين المادتين، بـ CO₂ وبإنزيمات.



الرسم ج-16: وصف تخطيطي لمرحلة استيعاب طاقة ضوئية وتحولها إلى طاقة كيميائية في الـ ATP وفي ناقل هيدروجينات مختزل (NADPH) من خلال انطلاق أكسجين. الأكسجين والهيدروجين هما ناتجا عملية تحليل الماء.

مصطلحات

عمليات التأكسد - الاختزال

تتم عمليتا التأكسد والاختزال "معاً". في كثير من العمليات (لكن ليس كلها) يشترك أكسجين ومن هنا جاء اسم التأكسد.

يمكن أن يتم التأكسد - الاختزال بإحدى الطرق الآتية:

- (1) ربح وخسارة إلكترون. الذي يربح يمر بعملية اختزال والذي يخسر يمر بعملية تأكسد.
- (2) ربح وخسارة هيدروجين. الذي يربح يمر بعملية اختزال والذي يخسر يمر بعملية تأكسد.
- (3) ربح وخسارة أكسجين. في هذه المرة، الذي يربح يمر بعملية تأكسد والخاسر يمر بعملية اختزال.

المؤكسد هو مادة تجذب (تربح) إلكترونات والمختزل هو مادة تخسر إلكترونات.

عندما يؤكسد مركب معين مركب آخر، فإن المادة الأولى تختزل وبالعكس.

يرافق عمليتي التأكسد والاختزال انطلاق طاقة.

عملية التركيب الضوئي هي عملية اختزال جزيء ثاني أكسيد الكربون CO₂ بمساعدة هيدروجين جزيء الماء.

ناقل هيدروجين

في عمليات تأكسد - اختزال بيولوجية كثيرة، ينتقل هيدروجين بمساعدة مادة وسيطة نسميها ناقل هيدروجين. يستوعب ناقل الهيدروجين ذرات الهيدروجين (يُختزل) وينقلها إلى غايتها وهناك يخسرها (مختزل ويتأكسد بذاته)، والآن هو مستعد لتنفيذ العملية مرة أخرى ... ناقل الهيدروجين في عملية التركيب الضوئي هو NADP.



المختزل هو الذي دائماً يعطي أزهاراً (e)

للمزيد عن

تنفس خلوي هوائي: انظروا
الفصل الخامس، بند هـ
2.4، صفحات 142-150.

ماذا يحدث مع الأكسجين الناتج من عملية تحليل جزيء الماء؟

الأكسجين (O₂) الناتج من تحليل الماء، يخرج بعملية انتشار من المكان الذي نتج فيه في الكلوروبلاستات إلى السيتوبلازما ومنها إلى الفراغات الموجودة بين الخلايا. ثم ينتشر من هذه الفراغات إلى الأسمفيرا (الغلاف الجوي) عبر الثغور وفقاً لمنحدر التراكيز. تستغل الكائنات الحية الأكسجين في عملية التنفس الخلوي. إن تحليل الماء بمساعدة الضوء ليس مهمة تلقائية، لأنه يوجد مياه كثيرة من حولنا وفي أجسام الكائنات الحية، وعلى الرغم من ذلك، فإن الضوء لا يحللها بشكل مباشر. تشير هذه الحقيقة إلى أهمية الكلوروفيل الكبيرة في هذه العملية.

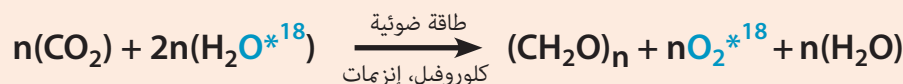
قصة اكتشاف



مصدر الأكسجين المنبعث في عملية التركيب الضوئي

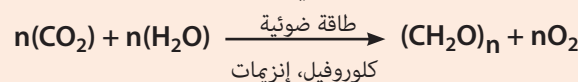
ما هو مصدر الأكسجين المنبعث في عملية التركيب الضوئي؟ يوجد ذرات أكسجين في المادتين ماء وثنائي أكسيد الكربون CO₂، وهما مادتان متفاعلتان في عملية التركيب الضوئي. أيهما هو مصدر الأكسجين الذي هو أحد نواتج عملية التركيب الضوئي؟ كثير من الباحثون طرحوا هذا السؤال.

للإجابة عن هذا السؤال، أجرى الباحثان روبين وكامين (Ruben & Kamen) في سنة 1941 تجارباً، وقد قام الباحثان بتسمية طحالب في ماء يحتوي على أكسجين "ثقيل" (وزنه الجزيئي هو 18 وليس 16 كما هو الأمر في الأكسجين العادي). عند متابعة الأكسجين "الثقيل" بواسطة أجهزة خاصة، اتضح أن الأكسجين المنبعث من الطحالب هو أكسجين "ثقيل" (الرسم ج - 17). لكن عندما قام الباحثان بتزويد الطحالب بثاني أكسيد كربون CO₂ فيه أكسجين ثقيل، فإن الأكسجين الناتج كان عادياً. استنتج الباحثان أن الماء هو مصدر الأكسجين المنبعث.



الرسم ج-17: الصيغة العامة لعملية التركيب الضوئي التي أبرزنا فيها الأكسجين "الثقيل".

انتبهوا! في الصيغة المعروضة في الرسم ج - 17، يظهر الماء كمادة متفاعلة وكناتج أيضاً. يُتيح لنا الأكسجين المشار إليه أن "نرى" أن هذه الجزيئات ليست نفس الجزيئات، لذا سجّلناهما في كلا طرفي الصيغة. في صيغة عملية التركيب الضوئي المتبعة، نحذف جزيئات الماء في النواتج ووفقاً لذلك نطرح عدد جزيئات الماء في المواد المتفاعلة كما هو الأمر في الصيغ الكيميائية. نكتب صيغة عملية التركيب الضوئي المتبعة كالتالي:



سؤال ج-11:



أ. في أي ناتج يظهر الأكسجين الثقيل إذا كان الأكسجين "الثقيل" في ثاني أكسيد الكربون CO₂ ؟
ب. اشرحوا نتائج تجربة روبين وكامين بمساعدة المادة التي تعلّمتموها عن مرحلة استيعاب الضوء.

ج2.5 مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2

ال ATP وال NADPH اللذان نتجا في مرحلة استيعاب الضوء، يتم استعمالهما في المرحلة الثانية لعملية التركيب الضوئي، وهذا يعني في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون.

كيف يُنتج كربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون CO_2 !

في الأبحاث التي أجريت في سنوات الخمسينيات من القرن العشرين، نجح الباحثون في معرفة المراحل التي يُنتج فيها "هيكل كربوني" من جزيئات CO_2 ، وقد وجدوا في "الهيكل الكربوني" عدة ذرات كربون مرتبطة ببعضها. هذه العملية دائرية ونسُميها "دورة كلفن"، على اسم الباحث الذي اكتشفها - **ملفين كلفن**

(1997-1911 Melvin Calvin) وهي تتم في الستروما الموجود في الكلوروبلاستيدات.

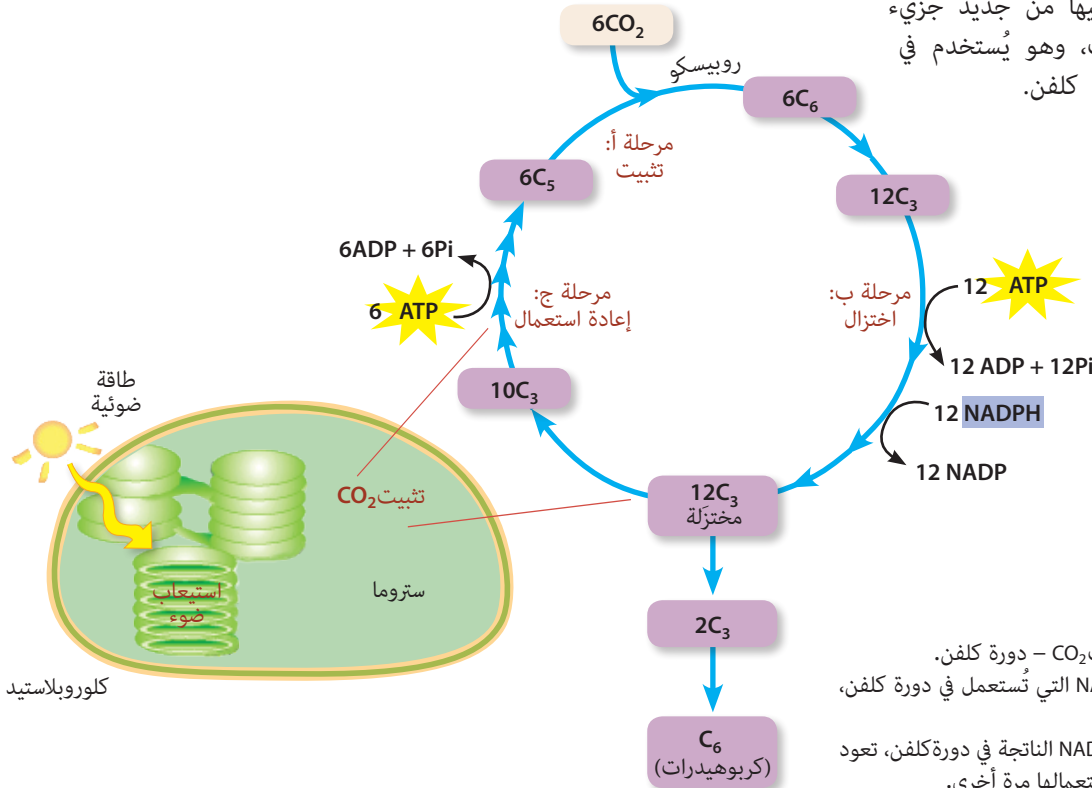
يمكن تقسيم تسلسل التفاعلات في دورة كلفن إلى ثلاث عمليات أساسية: تثبيت CO_2 ، اختزال وإعادة استعمال.

من المهم ن نذكر أنه في الواقع هناك مراحل وسطية كثيرة. كما هو الأمر في كل دورة، فإن لدورة كلفن لا توجد بداية ولا نهاية، لكن لكي نتمكن من الشرح نبدأ من عملية التثبيت (انظروا الرسمة ج - 18).

العملية الأولى في الدورة هي عملية **تثبيت CO_2** ، حيث يرتبط فيها جزي CO_2 بجزيء سكر مكوّن من 5 ذرات كربون. يتم تنشيط هذه العملية بواسطة إنزيم خاص نسُمي **روبيسكو**. يتحلل الجزيء المكوّن من 6 كربونات مباشرة إلى جزيئين كل واحد منهما 3 كربونات.

العملية الثانية في الدورة هي عملية **الاختزال** التي فيها ناقل الهيدروجين المختزل (NADPH) ينقل الهيدروجين إلى جزيئات مكونة من 3 كربونات. ناتج المرحلتين الأولتين هو جزيئات مختزلة مكونة من 3 ذرات كربون. يخرج جزيئان من الدورة ويرتبطان ببعضهما لإنتاج سكر أحادي مكون من 6 كربونات. وتستمر باقي الجزيئات المختزلة إلى المرحلة القادمة.

العملية الثالثة في الدورة هي عملية إعادة الاستعمال التي يُنتج فيها من جديد جزيء مكوّن من 5 كربونات، وهو يُستخدم في الدورة القادمة من دورة كلفن.

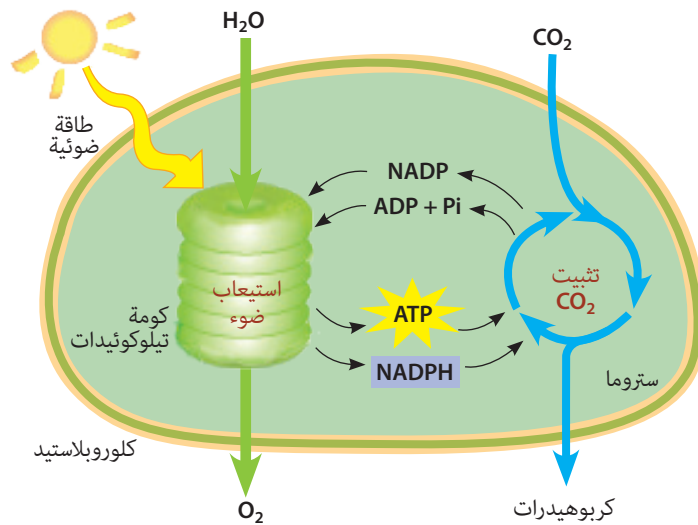


الرسمة ج-18: مرحلة تثبيت CO_2 - دورة كلفن. جزيئات ال ATP وال NADPH التي تُستعمل في دورة كلفن، يتم إنتاجها في مرحلة الضوء. جزيئات ال ADP, Pi, NADP الناتجة في دورة كلفن، تعود إلى مرحلة الضوء لكي يتم استعمالها مرة أخرى.

نلاحظ في الرسمة أيضاً العمليات التي فيها نواتج مرحلة استيعاب الضوء (مثل: ATP و NADPH) تُستغل في دورة كلفن. يتم استغلال NADPH في عملية اختزال جزيئات مكونة من 3 ذرات كربون. عمليات الاختزال وإعادة الاستعمال، هي عمليات تحتاج طاقة وتحدث مع حدوث تحليل جزيئات الـ ATP. الـ NADP، الـ ADP، و الـ Pi (مجموعة الفوسفور) الناتجة تصبح الآن جاهزة، لكي تُستعمل مرة أخرى في مرحلة استيعاب الضوء.

تتم دورة كلفن في جميع الكائنات الحية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، ابتداءً من البكتيريا حتى النباتات البذرية. الإنزيم روبيسكو الذي يُثبت ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، هو إنزيم خاص لدورة كلفن ويعتبر البروتين الشائع (الأكثر انتشاراً) في الطبيعة، ففي الأوراق، يشكل هذا الإنزيم حوالي 65% من جميع البروتينات المذابة.

الآن، نستطيع تلخيص مرحلتَي عملية التركيب الضوئي (الرسمة ج-19):



الرسمة ج - 19: مراحل عملية التركيب الضوئي داخل الكلوروبلاستيدات

المرحلة 1: مرحلة استيعاب الضوء وتحويله إلى طاقة كيميائية في الـ ATP وفي ناقل الهيدروجين (NADPH)، من خلال تحليل ماء وانطلاق (O_2).

المرحلة 2: مرحلة تثبيت CO_2 من خلال استغلال نواتج المرحلة الأولى وإنتاج كربوهيدرات جديدة.

هل تحتاج مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى ضوء !?

تبيّن في تجارب مختلفة أن عمليات تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 غير متعلقة مباشرةً في الضوء كمصدر طاقة. لكن من المهم أن نتذكر أن نواتج مرحلة استيعاب الضوء تُستغل في عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، لذا دون هذه النواتج، لا تتم هذه المرحلة. وقد وُجد أيضاً أن الضوء مطلوب لتفعيل قسم من الإنزيمات التي تعمل في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 . لذا لا تستطيع أن تستمر هذه المرحلة مدة زمنية طويلة في الظلام.

تتم عملية التركيب الضوئي بتسلسل واحد: تتم مرحلتَي عملية التركيب الضوئي في نفس الوقت، وحدث كل واحدة منهما متعلق بحدث الأخرى.

سؤال ج - 12: ?

ما هو مصدر الطاقة التي تُستخدم لبناء جزيئات الـ ATP في المرحلة الأولى من عملية التركيب الضوئي؟ لأي مادة "تتحول الطاقة" في نهاية عملية التركيب الضوئي؟

سؤال ج - 13: ?

ما هي نواتج مرحلة استيعاب الضوء؟ أي منها تشارك في مرحلة تثبيت ثاني أكسيد الكربون؟

سؤال ج - 14: ?

تتحلل جزيئات ماء في عملية التركيب الضوئي. اشرحوا، ما هي أهمية التحليل:
أ. لحدوث عملية التركيب الضوئي؟
ب. لبقاء أنظمة بيئية؟

سؤال ج - 15: ?

يحتوي جزيء الكربوهيدرات الذي يُنتج في عملية التركيب الضوئي على كربون، هيدروجين وأكسجين. ما هو مصدر كل عنصر من هذه العناصر؟

سؤال ج - 16: ?

نرى أغشية كثيرة في الرسم التخطيطي وفي صورة مبنى الكلوروبلاستيدات (الرسم ج-11). ما هي أفضليات هذا المبنى لأداء الكلوروبلاستيدات؟

ج6. نواتج عملية التركيب الضوئي: نقل، إيدار واستغلالها

في النبات

علاقة بموضوع

الخلية — مبنى ونشاط:
استخراج طاقة متوافرة في
التنفس الخلوي الهوائي.

كما ذكرنا، الناتج الأولي لعملية التركيب الضوئي هو سكر أحادي مكون من 6 ذرات كربون. يُستغل هذا الجزيء عادةً لبناء الكربوهيدرات التي تُستخدم في هذه الخلايا لاستخراج طاقة متوافرة، لبناء خلايا للإيدار. في خلايا التركيب الضوئي، يُنتج في الكلوروبلاستيدات تخزين مؤقت لهذا السكر.

تُنقل الكربوهيدرات غير المستغلة في خلايا التركيب الضوئي إلى **أنابيب اللحاء** كمحلول سكروز (انظروا الرسم ج - 20). يتم نقل السكر من الأقسام التي يُنتج فيها، مثل: الأوراق والسيقان الخضراء إلى أقسام النبتة التي لا يتم فيها إنتاج كربوهيدرات، أو أن الإنتاج فيها أقل من المطلوب، مثل: قمم النمو، **براعم، أزهار،** أوراق حديثة السن، أوراق مظلمة، سيقان، جذور، **ثمار وأعضاء إيدار،** ، مثل: درنات، جذور ثخينة، أبصال و**بذور**. وفي هذه الأنسجة أيضًا، تُستغل الكربوهيدرات كمادة خام لاستخراج طاقة متوافرة، لبناء خلايا وللإيدار. في هذه الأعضاء يكون الإيدار مدة زمنية طويلة.

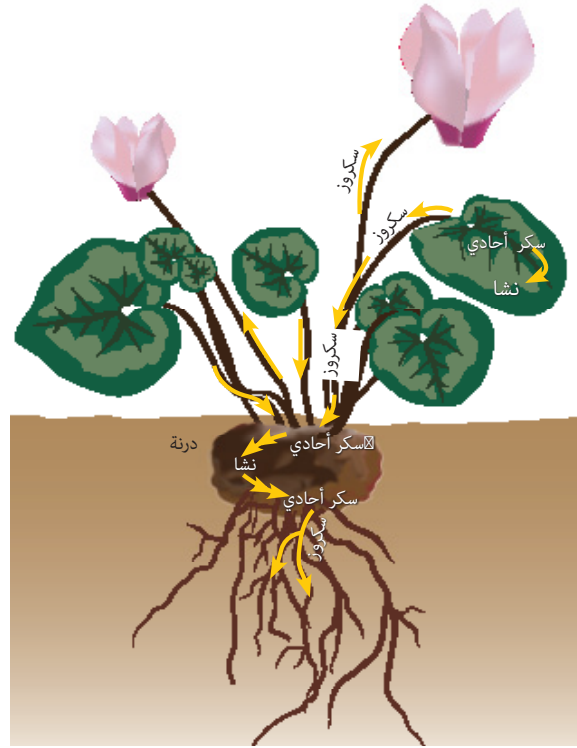
الكربوهيدرات التي تُستخدم للإيدار هو النشا الذي يُنتج من كربوهيدرات بسيطة وهو يشكّل مادة إيدار أساسية في النبات.

في فترات مختلفة، في حياة النبات، يمكن أن تتحول أعضاء إيدار إلى مصادر تغذية لأقسام أخرى في النبات، مثلًا: البصل والدرنات في النباتات الأرضية (جوفيات) تستوعب في مرحلة معينة كربوهيدرات من الأوراق، وفي مرحلة أخرى تستخدم الدرنا والبصل كمصدر لتغذية سائر أقسام النبات.

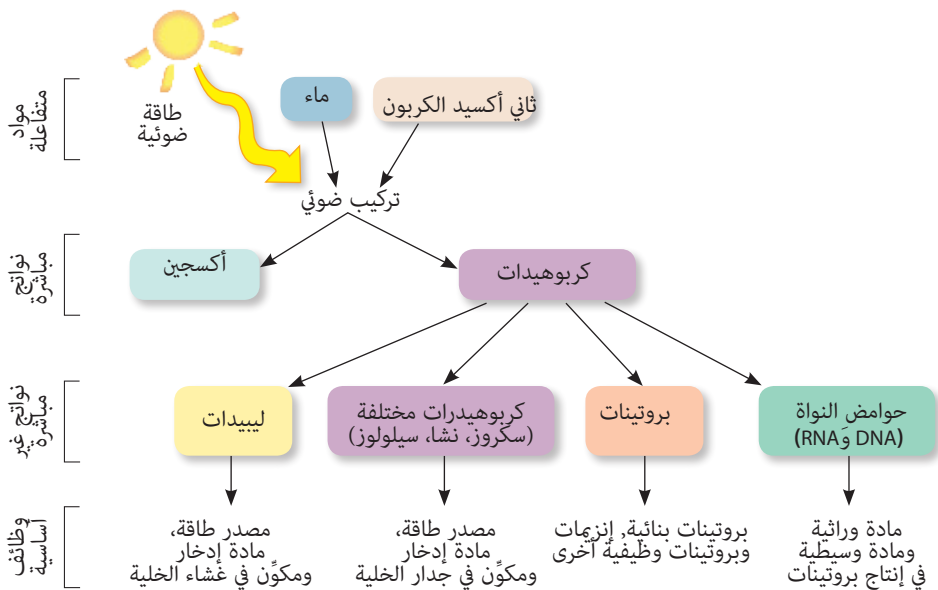
عندما تكون كمية المادة العضوية الناتجة في عملية التركيب الضوئي محدودة، فهناك تنافس بين الأعضاء المختلفة في النبات على هذه المواد. يستغل المزارع هذه المعرفة، لكي يحسّن جودة الناتج المرغوب له. يقلل المزارع من هذا التنافس ويوجّه المواد العضوية إلى الثمرة أو عضو الإيدار بوسائل مختلفة، مثل: التفريد (إزالة عدد معين من الثمار)، التقليل وغير ذلك.

قسم قليل من الكربوهيدرات التي نتجت في عملية التركيب الضوئي، يمر بتغيرات ويستخدم لبناء مواد عضوية أخرى، مثل: الليبيدات، البروتينات وحوامض النواة. يتم بناء المواد العضوية من الكربوهيدرات في أنسجة تقوم بعملية التركيب الضوئي وفي الأنسجة التي أعدت إليها.

تصف الرسمة ج- 21 النواتج غير المباشرة لعملية التركيب الضوئي ووظائفها المركزية.



الرسمة ج - 6: نقل نواتج عملية التركيب الضوئي وإيدارها في النبات



الرسمة ج-21: نواتج مباشرة ونواتج أساسية لعملية التركيب الضوئي في النبات ووظائفها. انتبهوا! في معظم الحالات، تحتاج هذه العمليات أملاح معدنية، حيث يتم استيعابها من التربة.



قليلاً من المعلومات ...

من يستفيد أيضاً من النواتج العضوية لعملية التركيب الضوئي؟

قسم قليل من مواد الإدخار التي أنتجها النبات هي بذل جهد النبات لبقاء الأجيال القادمة للنبات، مثلاً: في البذرة، تقوم مواد الإدخار بتزويد البادرة بجميع احتياجاتها في المراحل الأولى للإنبات والنمو. المواد الموجودة في الثمار هي غذاء غني وجذاب لكل من يتغذى عليها ولكل من يقوم بنشر البذور. يوجد أمثلة كثيرة تُشير إلى أن أكل الثمار لا يضر فقط في قدرة البذرة على الإنبات، بل يساعد على ذلك. هذا مثال لعلاقة متبادلة من نوع تكافل: يستفيد آكلوا الثمار وهكذا تُنشر بذور النباتات إلى أماكن بعيدة (وهكذا يقلل من التنافس مع نبتة الأم ويزيد من إمكانية النمو في مساحات جديدة). وأحياناً تحصل البذور على علاج "ينشط الإنبات" (مثلاً: تصبح القشرة لينة). تساعد مواد الإدخار الموجودة في البذرة والثمرة على انتشار النبات وتضمن استمرارية الأجيال القادمة. يستغل الإنسان جهد النباتات في الأجيال القادمة لإنتاج مواد غذائية في الزراعة. حقول القمح، الأرز، الذرة، المراعي وكروم الفواكه هي "مصانع" لعملية التركيب الضوئي التي نحصل منها على محاصيل نباتات وأقسام نبات (أوراق، درنات، ثمار، بذور) نستعملها كغذاء للإنسان وللحيوان الذي ينميه.

علاقة بموضوع

علم البيئة:
علاقة متبادلة من نوع
تكافل.

سؤال ج-17:

عند تنمية نباتات معينة لأغراض تجارية، مثل: العنب، الصبار، الخوخ والنخيل، يقوم المزارع عادة بعملية تفريد الثمار صغيرة السن (تقليل عدد الثمار). أُجري في مصر بحث لفحص تأثير مدى تفريد ثمار النخيل، بعد اسبوعين من الإخصاب، على وزن ثمرة التمر المنفردة وعلى تركيز السكر فيها. عرضنا النتائج في الجدول ج - 2.

جدول ج-2: تأثير تفريد ثمار التمر على وزن الثمرة المنفردة وعلى تركيز السكر فيها

تركيز السكر (%)	وزن ثمرة واحدة (غم)	تفريد الثمار (%)
30	15.2	0
32.6	16.3	10
33.4	16.8	20
35	18.2	30

أ. ماذا يمكن أن نتعلم من المعطيات عن العلاقة بين عدد الثمار، كبرها وتركيز السكر فيها؟
ب. ما هو الشرح البيولوجي الذي يعتمد عليه علاج تفريد الثمار؟

سؤال ج-18:

اذكروا عدة أمثلة لمواد غذائية نأكلها وتحتوي على نشا. في كل مثال، اذكروا النبات الذي حصلنا منه على الغذاء؟ وفي أي عضو في النبات يتم إدخار النشا؟

صراع ذهني

عملية التركيب الضوئي لإنتاج الوقود - هل تدعم أو لا تدعم ذلك؟

في سنة 2008، طارت طائرة تجارية، وقد عمل أحد محركاتها بواسطة مخلوط وقود عادي مع وقود استُخلص من نبات زينة ينمو في جنوب أميركا وإفريقيا (اسمه جتروفا). نجحت عملية طيران الطائرة. من نواتج عملية التركيب الضوئي للنبات، نستخرج "وقود بيولوجي" (ايثانول) كوقود بديل للغاز والنفط. في الماضي، استخرج "وقود بيولوجي" من نباتات، مثل: الصويا أو الذرة، لكن أفضلية نبات الجتروفا أن نموه بسيط وهو لا يحتاج إلى كميات مياه كثيرة أو تسميد كثير. نحتاج إلى إيجاد مصدر نباتي كبديل للوقود الأحفوري (وقود نتجت قبل ملايين السنين من بقايا كائنات حية صغيرة جدًا)، مثل: النفط، الفحم والغاز الطبيعي، بسبب تناقص مجمعات الوقود الموجودة في جوف الأرض، التي مصدرها من عمليات التركيب الضوئي التي حدثت في فترات زمنية قديمة جدًا. توجد حسنات بارزة لاستعمال "الوقود البيولوجي"، لكن توجد لذلك جوانب سلبية كثيرة.



سؤال ج-19:

يدعي بعض المختصين أن هناك حاجة لاستعمال "الوقود البيولوجي" (المسماة أيضًا "وقود أخضر" أو "بيوغاز") وتقليل استعمال الوقود الأحفوري. يدعي المعارضون لهذا الاستعمال أنه يجب الاستمرار في استعمال الوقود الأحفوري ما زال هذا الوقود متوافرًا. أ. ابحثوا في الإنترنت عن تعليقات تدعم استعمال "الوقود البيولوجي" وعن تعليقات لا تدعم هذا الاستعمال. صيغوا تبريرًا واحدًا يدعم استعمال الوقود البيولوجي وتبريرًا (حُججًا) واحدًا لا يدعم ذلك. ب. ما هو موقفكم الشخصي إزاء هذا الموضوع؟ اعرضوه كتبرير لكي يساعدكم على اقناع المعارضين لموقفكم الشخصي؟

مصطلحات - صراع ذهني وتبرير (حُجج)

الصراع الذهني هو قضية تُثير نقاشًا بسبب وجود تناقض بين قيم مختلفة. التبرير (الحُجج) هو عبارة تهدف إلى اقناع الآخر بدعم موقف المبرر (الشخص الذي يقدم التبرير). التبرير مكون من قسمين:

- ادعاء (أو استنتاج) - هو العبارة الأساسية التي يرغب المبرر التعبير عنها.
- تعليل - شرح يدعم الادعاء (أو الاستنتاج).

يمكن أن يشتمل التبرير على أكثر من تعليل واحد، وبقدر الإمكان يجب عليه الاعتماد على دلائل نستعمل أحيانًا التبرير لكي نقنع الآخر أن يغيّر موقفه. في هذه الحالة، يواجه المبرر ادعاءات مضادة له بشكل موزون وناقذ. يستطيع تبرير أن يدحض تبريرًا مضادًا له، من خلال تقديم تعليل يزعم الملاءمة بين تعليقات المضاد له، أو يقدم تعليلًا ودلائل إضافية تُقوّي موقفه. فيما يلي عدة أمثلة:

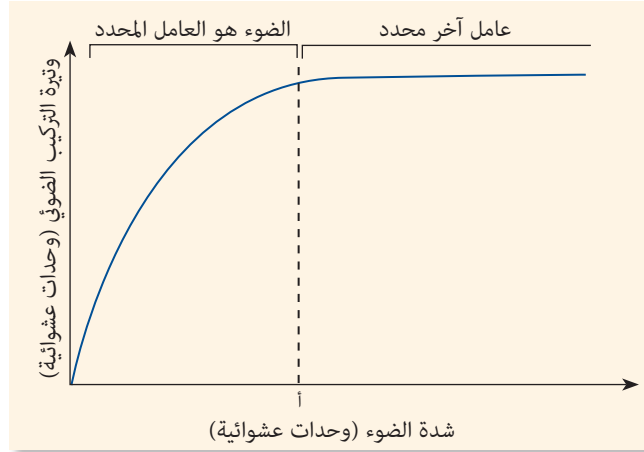
- تبرير يدعم تطوير شارع عابر لإسرائيل:
- من الأفضل الاستمرار في تطوير شارع عابر لإسرائيل (ادعاء)، لأنه "يقرب" المناطق النائية إلى المركز، وهكذا نحسّن الاقتصاد ومستوى الحياة (تعليل).
- تبرير مضاد لتطوير شارع عابر لإسرائيل:
- غير مُجد أن نفتح هذا الشارع (ادعاء)، لأنه يضر النباتات والحيوانات وبيوت التنمية التي يمر فيها (تعليل).
- تبرير لدحض تبرير المعارضين:
- من المهم الاستمرار في تطوير شارع عابر لإسرائيل (ادعاء)، لكن يجب إيجاد حلول تقلص الضرر في النباتات والحيوانات إلى الحد الأدنى (تعليل للدحض).

ج7. عوامل تؤثر على عملية التركيب الضوئي

أدت أهمية عملية التركيب الضوئي بشكل عام وأهميتها للزراعة بشكل خاص إلى بحث تأثير عوامل مختلفة على وتيرة عملية التركيب الضوئي. ساعدت هذه الأبحاث على فهم أسس هذه العملية بشكل جيد، وفهم العوامل التي تؤثر عليها وبالأساس فهم العوامل التي تعمل في نفس الوقت. العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي هي **عوامل داخلية وعوامل خارجية - البيئة المحيطة**. العوامل الداخلية على سبيل المثال هي: عدد الكلوروبلاستيدات في الورقة، كمية الكلوروفيل في الورقة، مبنى الورقة، كثافة الثغور ومكانها في الورقة وعُمر الورقة. عوامل البيئة المحيطة الأساسية هي: شدة الضوء وجودته، تركيز CO_2 ، درجة الحرارة، وبطريقة غير مباشرة كمية الماء ورطوبة الهواء أيضًا. نتعلم فيما بعد أن الأملاح المعدنية المتوافرة للنبات تؤثر على عملية التركيب الضوئي.

ج1.7 تأثير شدة الضوء على وتيرة عملية التركيب الضوئي

الضوء هو مصدر الطاقة لعملية التركيب الضوئي. يمكن أن نسأل: هل كلما ازدادت شدة الضوء تزداد وتيرة عملية التركيب الضوئي ونحصل على كمية أكبر من النواتج؟ عندما نبحث تأثير شدة الإضاءة على وتيرة عملية التركيب الضوئي في النباتات المختلفة (بحيث تبقى جميع العوامل الأخرى ثابتة)، فإننا نحصل على المنحنى التالي الذي يظهر في الرسم ج - 22.



الرسم ج-22: وتيرة التركيب الضوئي بشدة ضوء مختلفة. المنحنى هو نموذج عام، لذا لا تظهر فيه وحدات. نحصل على قيم مختلفة في النباتات المختلفة.

نلاحظ في الرسم ج - 22 أنه في شدة ضوء منخفضة (حتى النقطة أ)، يؤدي ارتفاع شدة الضوء إلى ارتفاع وتيرة عملية التركيب الضوئي، لكن عندما تكون شدة الضوء عالية (بعد النقطة أ)، فإن ارتفاع الضوء لا يؤثر على وتيرة التركيب الضوئي، وتبقى الوتيرة ثابتة حتى حد معين. كيف نشرح ذلك؟ يعتمد الشرح على مبدأ **العامل المحدد**. في شدة ضوء منخفضة (حتى النقطة أ)، الضوء هو العامل المحدد في العملية (لا يوجد ضوء كافٍ)، لذا يؤدي ارتفاع شدة الضوء إلى ارتفاع وتيرة العملية. أما في شدة ضوء عالية (بعد النقطة أ)، الضوء ليس عاملاً محددًا (يوجد ضوء كافٍ)، لذا لا ترتفع وتيرة العملية عندما نرفع شدة الإضاءة. ابتداءً من هذه النقطة وفيما بعد، يوجد عامل آخر (أحد العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي) يشكل عاملاً محددًا (مستواه منخفض).

علاقة بموضوع

علم البيئة:
شروط، موارد وعوامل
محددة.

ماذا يمكن أن يكون العامل الذي كميته غير كافية؟ وكيف نعرف الآن أنه هو العامل المحدد؟ الطريقة البسيطة للإجابة عن هذا السؤال، هي إضافة العامل الذي نخمن أن مستواه منخفض ونفحص تأثير إضافته. مثال على ذلك: إذا أضفنا CO_2 في المرحلة التي لا تزيد فيها إضافة الضوء من عملية التركيب الضوئي (من النقطة أ في الرسم ج - 22 وما بعد ذلك)، ووجدنا أن إضافة CO_2 أدت إلى ارتفاع وتيرة عملية التركيب الضوئي، عندئذ نستنتج أن الـ CO_2 هو العامل المحدد للعملية على الرغم من شدة الضوء العالية.

سؤال ج-20:

في أي بيوت تنمية تكون شدة الضوء عاملاً محددًا لعملية التركيب الضوئي؟

ج 2.7 تأثير CO_2 على وتيرة التركيب الضوئي

CO_2 هو مادة متفاعلة مركزية في عملية التركيب الضوئي. وهو أساس الهيكل الكربوني للمواد العضوية التي مصدرها من عملية التركيب الضوئي. رأينا في الرسم ج - 22 أن الضوء عامل محدد لعملية التركيب الضوئي ابتداءً من شدة ضوء معينة. كذلك الأمر بالنسبة لتأثير CO_2 على وتيرة عملية التركيب الضوئي: إذا أدى ارتفاع تركيز CO_2 إلى ازدياد العملية، فإن ذلك يعني أن CO_2 هو العامل المحدد. أما إذا لم يؤد ارتفاع تركيز CO_2 إلى ازدياد العملية، فإن ذلك يعني أن CO_2 ليس عاملاً محددًا. ويمكن الافتراض أن هناك عاملاً آخر يحدد العملية، مثل: درجة الحرارة، الضوء أو أملاح معدنية معينة.

نافذة البحث

لكي يفحصوا تأثير تركيز CO_2 في الهواء على وتيرة التركيب الضوئي، أُجريت تجربة فيها نُميت نباتات ذرة في تراكيز CO_2 مختلفة. نُميت النباتات في أوعية مغلقة وشفافة، وقد كانت مكشوفة للتغيرات الطبيعية للنهار والليل. في كل وعاء، نُميت حوالي 30 شتلة في ظروف متماثلة باستثناء تركيز CO_2 في الهواء الذي تم إدخاله إلى داخلها. خلال التجربة، فحصت وتيرة عملية التركيب الضوئي في نباتات الذرة. عرضنا نتائج التجربة في جدول ج - 3.

جدول ج - 3: تأثير تركيز CO_2 على وتيرة عملية التركيب الضوئي في نباتات الذرة

تركيز الـ CO_2 الذي أُدخل إلى الوعاء (ملغم CO_2 في اللتر)	وتيرة التركيب الضوئي في نباتات الذرة (ملغم من الـ CO_2 الذي تم استيعابه في 100 سنتيمتر مربع من مساحة الأوراق في الساعة)
100	15
200	32
300	46
400	49
600	53
700	53

سؤال ج - 21:

أ. اعرضوا معطيات الجدول ج - 3 برسم بياني. ما هي أفضلية العرض البياني؟

- ب. صفوا النتائج التي عرضتموها في الرسم البياني في بند أ، ثم اشرحوها بمساعدة المصطلح "عامل محدد".
- ج. بناءً على المعطيات وعلى معلوماتكم عن عملية التركيب الضوئي، اقترحوا شرحاً لتأثير تركيز الـ CO_2 الذي أُدخل إلى الوعاء على وتيرة التركيب الضوئي في نباتات الدُّرة.
- د. بعد مرور حوالي شهر، قاس الباحثون الكتلة الجافة لنباتات الدُّرة. الكتلة الجافة، هي كتلة كل المادة التي يحتويها النسيج النباتي دون الماء. وقد وُجدت الكتلة الكبرى في النباتات التي مُمّت في وعاء أُدخل فيه التركيز الأكبر من الـ CO_2 . اشرحوا النتائج التي حصلوا عليها.
- هـ. لماذا فُحصت الكتلة الجافة وليس الكتلة الكلية للنباتات؟
- و. أُدخل CO_2 إلى الأوعية بوتيرة ثابتة خلال اليوم. على الرغم من ذلك، أشارت فحوصات الـ CO_2 في ساعات مختلفة من اليوم أن تركيزه في الهواء داخل الأوعية لم يَبْق ثابتاً. اشرحوا هذا المُكتشف.
- ز. اقترحوا طريقة إضافية لقياس وتيرة التركيب الضوئي في هذه التجربة.

قليل من المعلومات...



التركيب الضوئي، تركيز CO_2 في الغلاف الجوي وتأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري)

تأثير الدفيئة هي ظاهرة تنبع من احتباس الطاقة الحرارية بالغلاف الجوي. تنعكس أشعة حرارية عن الغلاف الجوي إلى سطح الكرة الأرضية بسبب وجود غازات مختلفة في الغلاف الجوي، من بينها ثاني أكسيد الكربون وميثان. تؤدي ظاهرة الدفيئة إلى إنتاج ظروف درجة حرارة مريحة على سطح الكرة الأرضية.

في السنوات الأخيرة، يتحدث الباحثون عن ازدياد تأثير الدفيئة نتيجةً لارتفاع تركيز الغازات المختلفة في الغلاف الجوي. التأثيرات الضارة لارتفاع معدل درجة الحرارة للكرة الأرضية تثير القلق. يُعتبر CO_2 أحد العوامل التي تزيد من تأثير الدفيئة. ارتفع تركيز CO_2 في الغلاف الجوي من -0.0275% (في الفترة التي كانت قبل الصناعة) إلى 0.0380%-0.0400% في سنوات الـ 2000، بالأساس نتيجة لحرق الوقود على يد الإنسان ولقطع الغابات التي تقلل من الكمية العالمية لثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي تستوعبه النباتات، وفي الحالات التي تحرق فيها الأشجار، فإن تركيز CO_2 يزداد في الغلاف الجوي.

انتبهوا! النسبة المئوية للغاز CO_2 في الهواء في الفترتين الحالية وقبل ظهور الصناعة هي منخفضة جداً ولا تختلف عن بعضها كثيراً (الفرق بين الفترتين أقل من 5 أجزاء من مئة من النسبة المئوية)، لكن هذا التغيير كبير جداً! تركيز CO_2 اليوم أكبر بـ 30% بالمقارنة مع تركيزه في الفترة التي كانت قبل الصناعة.

يطالب سياسيون وعلماء في كل العالم أن يتم تقليل انبعاث CO_2 من مصادر صناعية ملوثة. إلى جانب الجوانب السلبية الواضحة لازدياد تأثير الدفيئة، يوجد ربح معين لارتفاع تركيز CO_2 . أثبتت أبحاث أن تركيز CO_2 في الهواء يشكل عاملاً محمداً لعملية التركيب الضوئي، حيث يؤدي ارتفاع تركيزه إلى ارتفاع محاصيل نباتات معينة.

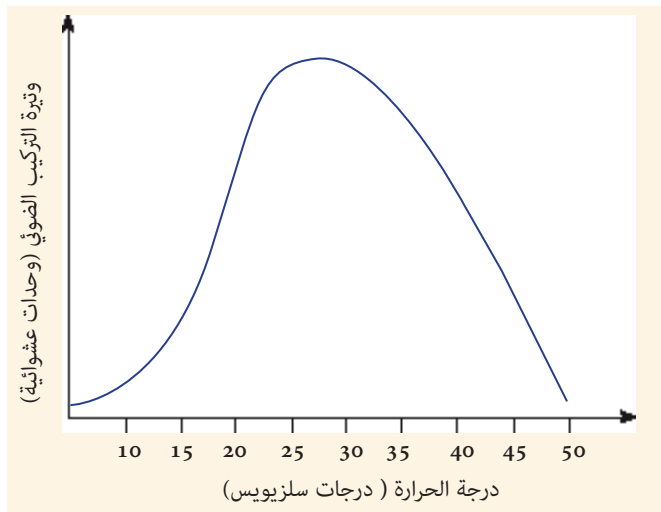


علاقة بموضوع

علم البيئة:
الإنسان يؤثر على بيئته
المحيطة ويغيرها. تؤثر
عوامل لا أحيائية على نمو
نباتات.

ج3.7 تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي

تبيّن الرسم ج-23 أن نموذج تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي يختلف عن تأثير شدة الضوء وتركيز CO_2 . في درجات حرارة عالية جداً أو منخفضة جداً تكون وتيرة التركيب الضوئي منخفضة، وبين طرفي درجة الحرارة، يوجد مجال درجات حرارة مثلى، وذلك متعلق بنوع النبات.



الرسم ج - 23: تأثير درجة الحرارة على وتيرة التركيب الضوئي.

ينبع تأثير درجة الحرارة على التركيب الضوئي من تأثيرها على إنزيمات كثيرة تشترك في العملية. كما تعلمتم، إذا كانت درجة الحرارة أعلى من درجة الحرارة المثلى، فإنها تؤثر على المبنى الفراغي للبروتينات وعلى أدائها أيضاً. أما في درجات حرارة أقل من درجة الحرارة المثلى، فإن المبنى الفراغي للإنزيمات لا يتأثر تقريباً، لكن وتيرة حركة الجزيئات تكون بطيئة واحتمال الإلتقاء بين جزيئات الانزيم والمادة التي يعمل عليها يكون منخفضاً، لذا وتيرة العملية تكون منخفضة.

علاقة بموضوع

الخلية — مبنى ونشاط:
تأثير درجة الحرارة على
نشاط الإنزيم.

ج4.7 تأثير كمية الماء في التربة ورطوبة الهواء على وتيرة التركيب الضوئي

تؤثر كمية الماء في التربة ورطوبة الهواء على عملية التركيب الضوئي بطريقة غير مباشرة. كما رأينا في بند ج2.3، فإن عملية التركيب الضوئي متعلقة بفتح الثغور. بما أن فتح الثغور يتأثر من توازن الماء في النبتة، ويتأثر توازن الماء من كمية الماء في التربة ومن رطوبة الهواء، فإن هذه العوامل تؤثر على وتيرة عملية التركيب الضوئي بطريقة غير مباشرة أيضاً.

عندما تكون رطوبة الهواء منخفضة، فإن وتيرة النتج عبر الثغور تكون عالية وتنخفض كمية الماء في النبات. في هذه الحالة تغلق الثغور ويتم تثبيط (إعاقة) عملية التركيب الضوئي. يعتمد شرح العلاقة بين وتيرة النتج ورطوبة الهواء على الحقيقة الفيزيائية أن وتيرة انتشار الماء (من سطح معين) ترتفع كلما قلت النسبة المئوية لبخار الماء في الهواء الموجود حول السطح.

عندما تكون رطوبة الهواء عالية، فإن وتيرة النتج عبر الثغور تكون منخفضة نسبياً ويبقى توازن الماء موجباً. في هذه الحالة، تبقى الثغور مفتوحة وتستمر عملية التركيب الضوئي. عندما يهب ريح، فإنه يدفع الهواء الرطب من حول الثغور ويحل محله هواء جاف، تزداد وتيرة النتج، تنخفض كمية الماء في النبات، تغلق الثغور وتقل وتيرة التركيب الضوئي. عندما تكون كمية ماء كبيرة في التربة، فإن الثغور تبقى مفتوحة وتستمر عملية التركيب الضوئي (انظروا الرسم ج - 8).

رأينا أن شدة الإضاءة، تركيز ثاني أكسيد الكربون، درجة الحرارة، كمية الماء ورطوبة الهواء، قد تكون عوامل محددة لتنفيذ عملية التركيب الضوئي. فيما بعد، نبيّن أن تركيز الأملاح المعدنية في النبتة له تأثير على عملية التركيب الضوئي أيضاً.

سؤال ج-22:

يعيش مزارعان في منطقتين مختلفتين في البلاد، وقد زرعاً اثناهما في نفس الوقت بذوراً اشترت من نفس المصدر. تفاجئ الاثنان واكتشفا فرق كبير جداً في كمية المحاصيل التي حصل كل واحد منهما عليها. ماذا يمكن أن تكون الأسباب أن أحدهما حصل على محاصيل قليلة؟

ج8. تدخل الإنسان: ازدياد عملية التركيب الضوئي بواسطة تغيير عوامل بيئية محيطة

علاقة بموضوع

علم البيئة:
الزراعة هي نوع من أنواع
تدخل الإنسان في الطبيعة.

إسرائيل هي دولة نصف صحراوية وأقسام منها هي صحراوية. على الرغم من البداية الصعبة في الزراعة، إلا أن إسرائيل توصلت خلال الـ 60 سنة منذ قيام الدولة إلى إنجازات كثيرة: من سنوات الخمسينيات حتى سنوات الألفين ارتفعت محاصيل القمح من 200 كغم للدونم الواحد في السنة إلى 800 كغم للدونم الواحد في السنة، ارتفع محصول الأفوكادو من أقل من 0.7 طن للدونم الواحد في السنة إلى أكثر من 2 طن للدونم الواحد في السنة، ارتفع محصول البندورة في الحقل المفتوح من 3 أطنان للدونم الواحد في السنة إلى 6-8 أطنان للدونم الواحد في السنة، أما محصول البندورة في الدفيئة، يصل إلى 30 طناً للدونم الواحد في السنة. لا يحدث كل ذلك بشكل عشوائي، الهدف من الزراعة الحديثة (إسرائيل هي إحدى الدول الرائدة في هذا المجال) أن تزداد كميات المحاصيل وأن تكون ملائمة لاحتياجات السوق. تعتمد الزراعة الحديثة على مبادئ وأبحاث علمية وعلى المعرفة التي تراكمت من تجربة المزارعين.

أحد المبادئ الذي يساعد المزارعين على زيادة المحاصيل من كل وحدة مساحة هو تقليل تأثير العوامل التي تحدد وتيرة التركيب الضوئي، وذلك من خلال خلق ظروف مثلى لتنفيذ عملية التركيب الضوئي. أحد الأمثلة على ذلك هو تنمية الخضروات والأزهار في بيوت تنمية تعرفها في حياتنا اليومية باسم دفيئات.



ما هي أفضلية التنمية في بيوت التنمية؟!

في الحقول المفتوحة تكون قدرة تأثير المزارعين، على العوامل البيئية المحيطة التي تؤثر على المحاصيل، محدودة. أما تنمية نباتات في بيوت تنمية مغلقة وشفافة، فإنها تساعد المزارعين في السيطرة ومراقبة العوامل البيئية التي تؤثر على النمو، مثل: درة الحرارة، رطوبة الهواء، عدد ساعات الإضاءة، تركيز CO_2 في الدفيئة، كمية المياه والأملاح المعدنية في وسط النمو. تساعد مراقبة العوامل على ازدياد كمية المحصول وجودته، كما أنها تساعد على توجيه دورة حياة النبات، مثلاً: زمن نضوج المحصول. تساعد هذه السيطرة على تسويق محاصيل طازجة من الخضروات، الفواكه والأزهار في موسم يكون الطلب عالٍ، حتى لو كان الحديث عن مواسم نمو غير طبيعي.

سؤال ج-23:

- أ. ما هي محدوديات نمو نباتات في بيت التسمية بالمقارنةً مع تنمية النباتات في حقل مفتوح؟
ب. اذكروا أنواع نباتات غير ملائمة للنمو في بيوت التسمية. اشرحوا إجاباتكم.

يتم التأثير على العوامل التي تحدد وتيرة التركيب الضوئي بواسطة التنمية في بيوت التسمية، لكن لا يتم هذا في بيوت التنمية فقط، بل أيضاً من خلال علاج مختلف في مساحات مفتوحة. مثال على ذلك: تحدث في البيارات أحياناً مشكلة عندما تصل أشجار الحمضيات إلى مرحلة من المتوقع أن تكون فيها المحاصيل عالية، لكن المحاصيل تكون أقل بكثير من المتوقع. وجد أن السبب لذلك هو كثافة عالية للأغصان والأوراق التي تمنع مرور الضوء.

الحل الذي يقوم به المزارعون هو تقليم وقطع الغصون، لكي تدخل كمية ضوء كبيرة إلى الغصون الداخلية للشجرة. بعد تنفيذ ذلك، ترتفع كمية المحصول مرة أخرى.



كما تعلمتم، تحتاج النباتات إلى كميات ماء كبيرة لنموها. يحاول المزارعون تحسين تزويد المياه من خلال الري بطرق مختلفة،

مثل: قنوات ماء، رشاشات وأنابيب تنقيط، ومن خلال تغطية التربة لتقليل التبخر منها. ستتعلمون في البند التالي أن النباتات تحتاج إلى أملاح معدنية أيضاً، لكي تنمو بالشكل السليم. لأن المخزون الطبيعي للعناصر والأملاح المعدنية في الأراضي الزراعية غير كافٍ، لذا يقوم المزارعون بتزويد النباتات بأملاح معدنية ضرورية.

سؤال ج-24:

- أحياناً تختلف غاية المزارعون في توجيه تدخلهم عن الاحتياجات الطبيعية للنبات. أعطوا مثالين لذلك.

ج9. تغذية النبات بالأملاح المعدنية وأهميتها لتطوره ولحدوث عملية التركيب الضوئي

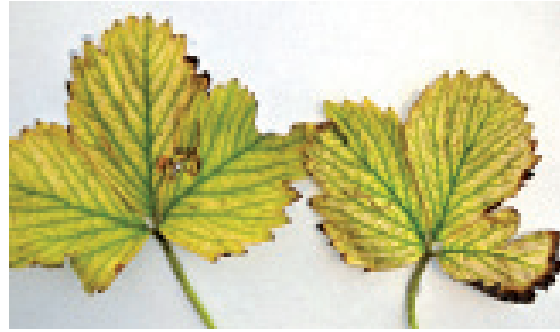
يحتاج تنفيذ عملية التركيب الضوئي، نمو النبات والأداء السليم للنبات إلى ماء، CO_2 وضوء، إضافةً إلى ذلك تحتاج هذه العمليات إلى أملاح معدنية. عملية استيعاب الأملاح المعدنية من التربة ودمجها في المواد العضوية في النبتة نسميها **تغذية النبات بالأملاح المعدنية**.

يوجد 13 عنصراً معدنياً ضرورياً لتطوير النبات. دونها لا يستطيع النبات أن يكمل دورة حياته، كما لا يستطيع دونها أن يبني مواداً عضوية أخرى من الهيكل الكربوني الذي ينتج في عملية التركيب الضوئي، ولا يستطيع تفعيل عمليات مختلفة.

لبناء البروتينات، على سبيل المثال، يحتاج النبات إلى نيتروجين، لبناء جزيئات الكلوروفيل يحتاج إلى مغنيسيوم، لتقوية جدران الخلايا ولحدوث عمليات في الخلية يحتاج النبات إلى كالسيوم. كما يحتاج النبات إلى كلور وبوتاسيوم لتنشيط إنزيمات تشترك في عملية التركيب الضوئي وللحفاظ على تركيز اسموزي سليم في النبات. العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسميها "ماكرو أملاح معدنية" والعناصر التي يحتاجها بكميات صغيرة نسميها "ميكرو أملاح معدنية" أو "عناصر كورت" أو "عناصر زهيدة" (الزهيدة بمعنى أنها موجودة بنسبة أقل من 50 ميليغرام/ كيلوغرام على عكس العناصر الكبرى) .

بسبب أهمية الأملاح المعدنية للزراعة، أُجريت أبحاث كثيرة حول مساهمة هذه الأملاح، والأضرار التي تحدث في النبات بسبب نقصها، والكميات المطلوبة منها والوقت وطريقة تزويد النبات فيها.

إحدى طرق تمييز النقص في الأملاح المعدنية هي منظر النبتة. يوجد **دالتان شائعتان للنقص** وهما داء الإخضرار Chlorosis والبقع النخرية. داء الإخضرار هو اصفرار أوراق ينبع من عدم قدرة النبات على إنتاج الكلوروفيل، وهي تشكل دلالة لنقص عدة عناصر معدنية. انتهوا! إصابة إنتاج الكلوروفيل تؤدي عملية التركيب الضوئي بشكل مباشر. البقع النخرية هي عبارة عن مناطق يبدأ فيها هدم الأنسجة وظهورها بشكل دلالة لنقص مبرر عدة عناصر من الأملاح المعدنية.



الرسم ج - 24: على اليمين: داء الإخضرار والنخر في أوراق توت أرضي نتيجة لنقص الحديد على اليسار: ورقة توت أرضي دون دلالات نقص.

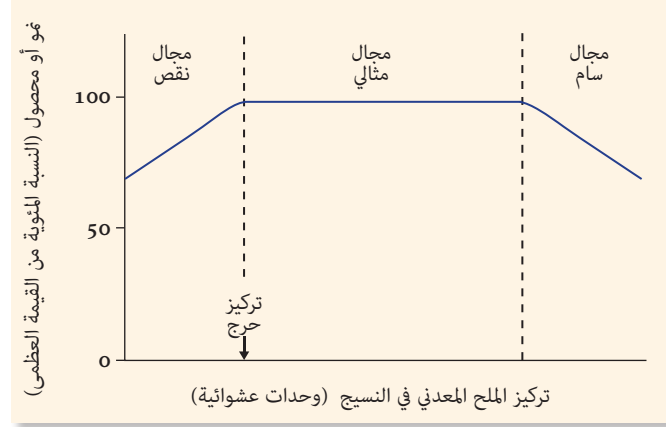
يوجد طريقة إضافية لفحص ما إذا يوجد نقص في الأملاح المعدنية، وما هي الأملاح المعدنية الناقصة؟ هذه الطريقة هي فحص كيميائي لعينة من الأوراق وتحديد تركيز الأملاح المعدنية فيها. ووفقاً لنتائج الفحص، نزود النبات بالأملاح المعدنية الناقصة. يمكنكم أن تتعلموا عن الأملاح المعدنية المطلوبة للنبات وعن دلالات النقص فيها من الجدول ج -4. يجب أن نعرف أنه في معظم الحالات، نجد الأملاح المعدنية في التربة كمركبات، مثلاً: نجد النيتروجين في التربة بالأساس كنيترات (NO_3^-).

جدول ج -4: نشاط العناصر المعدنية الضرورية في النبات ودلالات النقص فيها

العنصر المعدني	وظيفته في النبتة	دلالات النقص
ماكرو أملاح معدنية — عناصر يحتاجها النبات بكمية كبيرة نسبياً		
نيتروجين (N)	يشارك في بناء حوامض أمينية، بروتينات، نوكلونوتيدات، حوامض النواة، كلوروفيل، ATP، هورمونات، ومواد مشاركة في نشاط الإنزيمات (كواينزيمات).	داء الإخضرار: في حالات خطيرة تكون الأوراق صفراء، ثم تصبح بنية وفي النهاية تموت، أحياناً تتراكم صبغيات بنفسجية على الأوراق، النبات لا ينمو، يوجد أوراق قليلة وصغيرة.
بوتاسيوم (K)	يشارك في الحفاظ على تركيز اسموزي سليم وعلى توازن أيوني، كما يشارك في مراقبة فتح وإغلاق الثغور، ينشط إنزيمات كثيرة.	داء الإخضرار: بقع نخرية بالأساس في أطراف الأوراق، السيقان دقيقة وضعيفة.
كالسيوم (Ca)	يشارك في بناء جدران الخلايا، تحتاجه النباتات لنشاطات إنزيمات، يشارك في مراقبة أداء الأغشية والإنزيمات.	تموت قمم السيقان والجذور، تنحني أوراق حديثة السن وبعد ذلك تبدأ تموت من أطراف الورقة، لا تكبر النبتة، في حالات كثيرة تتضرر الثمرة.
مغنيسيوم (Mg)	يشارك في بناء الكلوروفيل، ينشط إنزيمات كثيرة.	داء الإخضرار في الأوراق وهي تبدأ بين العروق، أحياناً يظهر إحمرار ويوجد بقع نخرية، تنطوي أطراف الأوراق إلى أعلى. تصبح السيقان دقيقة.
كبريت (S)	يشارك في بناء حوامض أمينية معينة، بروتينات وكواينزيمات.	داء الإخضرار
فوسفور (P)	يشارك في بناء جزيئات ATP وADP، حوامض النواة، كواينزيمات ودهنيات (فوسفوليبيدات).	يظهر داء الإخضرار وبقع نخرية في الأوراق، أحياناً يتغير لون الأوراق إلى أزرق بالأساس في الطرف السفلي للورقة، النبات لا يكبر، الأوراق البالغة السن تصبح بنية غامقة وبعد ذلك تموت.
ميكرو أملاح معدنية - عناصر يحتاجها النبات بكمية قليلة نسبياً		
كلور (Cl)	يشارك في الحفاظ على تركيز اسموزي سليم وعلى توازن أيوني، كما يشارك على ما يبدو في عملية إطلاق الأكسجين في عملية التركيب الضوئي.	يظهر داء الإخضرار وبقع نخرية في الأوراق البالغة السن وتنكمش، يوجد للأوراق لون برونز (لون أصفر - رمادي معدني)، يبدأ تثبيط استطالة الجذور وتصح الأطراف ثخينة.
حديد (Fe)	يحتاجه النبات لبناء الكلوروفيل، يشارك في بناء حامل الإلكترونات المطلوب لعملية التركيب الضوئي والتنفس الخلوي.	يظهر داء الإخضرار بين العروق في أوراق حديثة السن، بعد أن تصفر كل الورقة، يظهر نخر في العروق الرئيسية تكون خضراء، تتراكم صبغيات بنفسجية في الأوراق، تصبح السيقان قصيرة ودقيقة.
منغنيز (Mn)	ينشط إنزيمات معينة، يشارك في بناء أغشية الكلوروبلاستيدات وفي إطلاق الأكسجين في عملية التركيب الضوئي.	يظهر داء الإخضرار بين العروق في أوراق حديثة السن، وتظهر بقع نخرية.
بور (B)	يؤثر على استغلال الكالسيوم، على إنتاج حوامض النواة وعلى البناء الكامل لغشاء الخلية.	تتوقف استطالة الجذور، الأوراق حديثة السن تكون خضراء فاتحة في قاعدتها، في حالة نقص كبير، يتشوه شكل الأوراق حديثة السن، تصبح بنية وتموت، تتساقط البراعم، الأزهار والثمار حديثة السن.
خارصين (Zn)	يشارك في بناء أو ينشط إنزيمات كثيرة، يحتاجه النبات لإنتاج هورمونات معينة.	تقصر سلاميات الساق وتضغر مساحة الأوراق، تتشوه أطراف الأوراق، يظهر داء الإخضرار بين عروق الأوراق.
نحاس (Cu)	يشارك في بناء إنزيمات أو ينشط إنزيمات كثيرة تشارك في عملية التأكسد - اختزال.	الأوراق حديثة السن تكون خضراء غامقة ومشوهة، تظهر بقع نخرية وتموت براعم قممية.
موليبدين (Mo)	يحتاجه النبات للعمليات الأيضية المتعلقة بالنيتروجين.	داء الإخضرار بين العروق ونخر.

ج1.9 تأثير الأملاح المعدنية على أداء النبات

تعلمنا من الجدول ج-4 عن أهمية الأملاح المعدنية وعن الحقيقة أن النقص في الأملاح المعدنية يؤدي إلى أضرار في تطور النبات وفي قدرته على إنتاج مواد عضوية خلال عملية التركيب الضوئي. يجب علينا أن نتذكر أن إصابة كهذه هي إصابة في مستوى المحصول وجودته. تصف الرسمة ج-25 العلاقة العامة بين تركيز ملح معدني معين في أنسجة النبات وبين وتيرة نمو النبات.



الرسمة ج-25: علاقة عامة بين تركيز ملح معدني معين في النبات وبين وتيرة نمو النبات

تُبين الرسمة أنه في تراكيز منخفضة، كلما ارتفع تركيز الملح المعدني في نسيج النبتة، حتى تركيز معين (تركيز حرج)، فإن وتيرة النمو تزداد أيضاً. في هذا المجال الذي نسميه مجال النقص، يشكل الملح المعدني عاملاً محدداً لوتيرة النمو. إذا كان التركيز أعلى من التركيز الحرج، فإن ارتفاع تركيز الملح المعدني في أنسجة النبات لا يؤدي إلى ارتفاع وتيرة النمو. هذا القسم من المنحنى نسميه المجال المثالي. من المعقول الافتراض أنه في هذا المجال يوجد عامل محدود آخر للنمو. عندما يرتفع تركيز الملح المعدني في النسيج أكثر من المجال المثالي، فإن وتيرة النمو تصغر بسبب سُمية الملح المعدني وهذا المجال نسميه مجالاً ساماً. يمكن القول أيضاً: في مجال هذا التركيز، يشكل تركيز الملح المعدني عاملاً محدداً.

قد ينبع النقص في الأملاح المعدنية في النبتة، بسبب قلة الأملاح المعدنية في التربة، أو بسبب ظروف معينة في التربة تضر في استيعاب الأملاح المعدنية عند النبات. التربة التي تُشطف بالماء بوتيرة عالية تكون عادةً فقيرة في الأملاح المعدنية. في التربة الجيرية التي فيها pH عالي (بيئة قاعدية)، يحدث تثبيط (إعاقة) في استيعاب الحديد ويمكن أن نلاحظ دلالات نقص في الحديد مثل ال، حتى لو كانت التربة غنية في الحديد. التهوية غير السليمة للتربة تؤدي إلى مشاكل في تغذية الأملاح المعدنية عند النبات أيضاً.

نافذة البحث



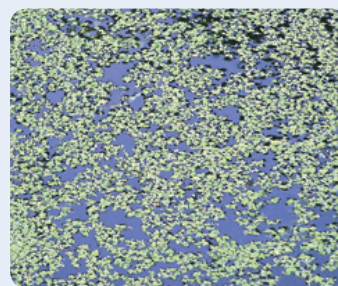
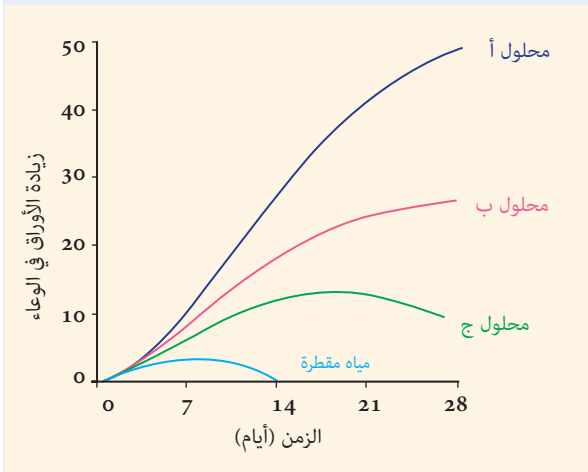
تنمو نبتة عدسة الماء في مجتمعات مياه عذبة، حيث تطفو على سطحها وجذورها مغمورة في الماء. يتكاثر هذا النبات بسرعة كبيرة جداً ويستطيع أن يضاعف كتلته خلال عدة أيام، من خلال انفصال براعم من نبتة الأم.

تم فحص نمو هذا النبات في أوساط ماء تختلف عن بعضها في الأملاح المعدنية التي تحتويها. في إطار التجربة، وزع الباحثون 80 نبتة عدسة ماء حديثة السن إلى أربع مجموعات مُتت في أربعة أوعية كما هو موصوف في جدول ج-5. مقياس نمو نباتات عدسة الماء هو عدد الأوراق التي تطورت خلال 4 أسابيع التجربة.

جدول ج-5: تركيز الأملاح المعدنية في أوساط نمو مختلفة في التجربة

تركيز الأملاح المعدنية (ملغم في اللتر)						وسط النمو	الترقيم
مغنيسيوم (Mg)	كبريت (S)	كالسيوم (Ca)	بوتاسيوم (K)	فوسفور (P)	نيتروجين (N)		
0	0	0	0	0	0	مياه مُقَطَّرة	1
200	200	800	400	300	1000	محلول أ	2
24	10	78	1	0	4	محلول ب	3
84	1129	467	3	0	4	محلول ج	4

تصف الرسمه ج-26 نتائج التجربة:



الرسمه ج-26: عدد أوراق نبتة عدسة الماء التي نمت في محاليل نمو تحتوي على أملاح معدنية مختلفة. في الصور الصغيرة: برّكة نمو فيها نباتات عدسة الماء ونبتة عدسة ماء منفردة.

سؤال ج-25:

- أ. ماذا كان هدف التجربة؟
 ب. ماذا كان مقياس نمو عدسة الماء؟ ولماذا استعمل هذا المقياس بالذات؟
 ج. صفوا نتائج التجربة، تطرقوا بشكل مفصل إلى النمو في كل محلول.
 د. كم ورقة نمت لعدسة الماء في كل علاج من العلاجات المختلفة، بعد مرور 14 يومًا منذ بداية التجربة؟
 هـ. أي ملح معدني موجود في المحلول أ وغير موجود في المحاليل الأخرى؟ وما هي وظيفة هذا الملح المعدني في النبات؟
 و. هل يمكن أن يكون النقص في الملح المعدني الذي ذكرتموه في بند هـ هو العامل المحدد لنمو نبتة عدسة الماء في المحاليل الأخرى؟ خطّطوا تجربة للإجابة عن هذا السؤال.
 ز. في المياه المقطرة لا توجد أملاح معدنية بتاتًا. اشرحوا نمو نبات عدسة الماء في الأيام السبعة الأولى للتجربة وشرحوا، ماذا حدث لهذه النباتات في الأيام السبعة الإضافية؟
 ح. ما هي نتائج التجربة المتوقعة لنبتة عدسة الماء التي تنمو في مياه المطر؟

علاقة بموضوع

علم البيئة:
 محلات، دورة النيتروجين،
 سلسلة غذائية.

ج2.9 تغذية النبات في الزراعة - تزييل وتسميد

لماذا يجب على المزارع أن يجدد الأملاح المعدنية في أرضه في كل موسم زراعة، بينما في الغابات وحقول البور تنمو نباتات كثيرة دون إضافة أملاح معدنية؟
 في الطبيعة، تنهي النباتات دورة حياتها، تموت وتتحلل. خلال عملية تحليل النباتات بواسطة المحللات، تنطلق الأملاح المعدنية الموجودة فيها إلى التربة، وهكذا يتم الحفاظ على مخزن الأملاح المعدنية في التربة من خلال مدورتها.
 في الأراضي الزراعية، تستوعب النباتات الأملاح المعدنية من التربة، ويقوم المزارع بجمع محاصيل هذه النباتات دون أن تحدث مدورة للأملاح المعدنية تقريبًا. نتيجة لذلك، تبقى أرض المزارع فقيرة في الأملاح المعدنية، لذا يجب على المزارع أن يضيف الأملاح المعدنية المطلوبة في كل موسم زراعي. إضافة إلى ذلك، وتيرة النمو في الحقل الزراعي أكبر بكثير من حقول البور أو الغابات، لذا استهلاك الأملاح المعدنية في الحقول الزراعية يكون عاليًا.

الطريقة المقبولة والشائعة لتحسين تغذية النباتات الزراعية بالأملاح المعدنية هي إضافة **السماد الكيميائي** إلى التربة. يحتوي السماد على أملاح مختلفة مركزة وقابلة للذوبان. العناصر الثلاثة الرئيسية التي يجب إضافتها إلى التربة كسماد هي: **البوتاسيوم (K)**، **الفوسفور (P)** و**النيتروجين (N)**. في حالة نقص أحد الأملاح المعدنية، يمكن إضافته بواسطة رشه على أقسام النبتة (مثل: الأوراق والسيقان).

يمكن إغناء التربة بالأملاح المعدنية بواسطة **الزبل العضوي** الذي هو مخلوط مصدره من روث الحيوانات وبقايا النباتات.
انتبهوا! على الرغم من اسمه زبل عضوي، إلا أنه ليس مصدرًا لمواد عضوية للنبات، بل هو مصدر الأملاح المعدنية للنبات! تحليل المركبات العضوية بواسطة محلات في التربة يؤدي إلى انطلاق أملاح معدنية في التربة، حيث يحول الأملاح المعدنية لمتوافرة للنبات.

كل طريقة من طريقتي تحسين التغذية بواسطة الأملاح المعدنية، مثل: التزييل أو التسميد، يوجد لها حسنات وسيئات.

يعرض جدول ج-6 مقارنة بين التزييل والتسميد.



جدول ج-6: مقارنة بين بين طريقتين لتحسين تغذية النبات بالأملح المعدنية

وسيلة	تسميد	تزييل
المصدر	سماد كيميائي	زبل عضوي
المصدر	أملح أو مركبات غير عضوية أخرى نتجت بطريقة اصطناعية في الصناعة الكيميائية.	مركبات عضوية مصدرها من بقايا وروث الحيوانات، مثل: زبل البقر، بُراز الطيور أو بقايا نباتات، بقايا عضوية كالكومبوست.
مميز أساسي	مخلوط يزود النبات بعناصر الأملاح المعدنية الضرورية في حالة ذائبة وقابلة للاستيعاب.	قسَم من الأملاح المعدنية نجدها في حالة متوافرة وقسم منها بشكل قسما من المركبات العضوية. لذا فهي غير متوفرة للمدى القريب، وتُطلق إلى التربة بعد زمن كبير نسبياً.
حسنت	<ul style="list-style-type: none"> مواد التغذية قابلة للذوبان ومتوفرة مباشرة للنبات، لذا التأثير على النمو سريع. سعره أرخص من الزبل العضوي. يسيطر المنتج بشكل كامل على محتوى كل ملح معدني. 	<ul style="list-style-type: none"> إطلاق الأملاح المعدنية إلى التربة بشكل تدريجي ومنع شطفها. يحسن بنية التربة، حيث يتم التعبير عن ذلك من خلال التماسك الجيد للماء وتهوية التربة بشكل جيد. يشكل حلا للبيئة المحيطة بمدورة نفايات عضوية. يُتيح نشاط كائنات حية دقيقة صديقة للتربة.
سيئات	<ul style="list-style-type: none"> قد يؤدي فائض الأملاح المعدنية إلى تلوث التربة، حيث يتغير مستوى الملوحة والحمضية في التربة. وقد يؤدي هذا التغيير إلى إلحاق أضرار بكمية المحصول وبقيمته الغذائية. تقوم مياه الأمطار ومياه الري بشطف فائض الأملاح المعدنية، حيث تصل إلى مصادر المياه وتلوثها. تؤدي هذه الأملاح المعدنية إلى أضرار صحية بالأساس للأطفال، كما أنها تؤدي إلى أضرار بيئية في الأنهر والبحيرات. 	<ul style="list-style-type: none"> من الصعب أن نسيطر على محتوى الأملاح المعدنية، لأنه متعلق بمصدر المادة العضوية. تركيز الأملاح المعدنية في الزبل أقل من السماد الكيميائي، لذا نحتاج كمية كبيرة من المادة العضوية، لكي نزيد النبات بكمية الأملاح المعدنية المطلوبة. بسبب الانطلاق البطيء للأملاح المعدنية، فإن توافر الأملاح المعدنية للنبات غير مباشر، وأحياناً لا يكفي للمزروعات بالوتيرة المطلوبة. إذا استعملنا زبل عضوي غير مُعالج مدة طويلة، فإن ذلك يؤدي إلى تراكم معادن ثقيلة في التربة، مما يؤدي النباتات والكائنات الحية الدقيقة. قد يحتوي على بذور أعشاب ضارة. حيث تنبت هذه البذور وتتنافس مع النباتات الزراعية.

مدورة نفايات عضوية

مدورة النفايات العضوية وتوجيهها إلى استعمالات زراعية يشكل حلاً أفضل من ناحية اقتصادية ومن ناحية البيئة المحيطة. يستعين المزارع بالنفايات لزيادة الإنتاج الزراعي وبالموازاة يوفر تكاليف نقل ومعالجة نفايات، كما أنه يوفر وقوداً ويمنع مضرّة في البيئة المحيطة. بكلمات أخرى، تتحول المضرّة إلى مورد.

إحدى الإمكانيات لمدورة النفايات العضوية هي تحويلها إلى كومبوست. **الكومبوست** هو زبل عضوي يُنتج خلال عمليات العفن وتحليل مواد عضوية. تتحلل النفايات بمساعدة دودة الأرض، حشرات، فطريات وبكتيريا، حيث تقوم بتحليلها إلى مواد عضوية أبسط وإلى أملاح معدنية. الزمن المطلوب لإنتاج الكومبوست متعلق بعوامل، مثل: درجة حرارة البيئة المحيطة، الرطوبة ومدى التهوية. على الأغلب تستمر العملية عدة أسابيع وفي نهايتها يصغر حجم كومة النفايات إلى نصف. تتم إبادة البكتيريا، مسببات الأمراض والبذور في أعقاب ارتفاع درجة الحرارة. نحصل على مخلوط بُني له بنية وشكل يشبهان تربة فيها تهوية. لتحضير الكومبوست يمكن استغلال جميع أنواع النفايات العضوية ومن بينها بقايا مواد النباتات، مثل: نفايات زراعية، نفايات بلدية وتقليم، روث الحيوانات وحماة من منشآت تطهير مياه المجاري (الحماة عبارة عن رواسب مواد عضوية صلبة ترسب في أحواض التطهير). جودة الكومبوست متعلقة بمكوناته وبالنسب بينها أيضاً.



كومبوست

مثال آخر لمدورة ناجحة لنفايات عضوية، هو استعمال **بُراز الطيور** (تحتوي على نسبة عالية من المركبات النيتروجينية) لاحتياجات الزراعة: تسميد التربة وتقديم الطعام للحيوانات المجترة. هذه المدورة ربح في أيامنا، لكن الاعتراف بأهمية استعمال بُراز الطيور لاحتياجات الزراعة ليس جديدًا كما تبين ذلك القصة الآتية.

قليلًا من المعلومات...



بُراز الطيور، حروب واتفاقات

في منتصف القرن الـ 19، نشبت حرب دامية بين بيرو وبوليفيا وبين تشيلي، وقد نشبت الحرب بسبب مادة نسميها جوانو، وهذه المادة مكوّنة بالأساس من بُراز طيور وروث خفافيش وكلاب البحر. استعمل الجوانو مئات السنين في أميركا اللاتينية لتسميد أراضي زراعية. الجوانو هو السماد الطبيعي الناجع، لأن نسبة النيتروجين فيه أكبر بـ 33 ضعفًا من زبل البهائم العادي وهو غني بالفوسفور وبأملاح معدنية كثيرة أخرى. مصدر الجوانو ذا الجودة العالية هو جُزر قريبة من شواطئ بيرو. بسبب قلة الأمطار في المنطقة، حُفظت الأملاح المعدنية ولم تُهدر نتيجة للتغلغل أو التبخر. في القرن الـ 18، اعترف الأوروبيون أيضًا بقيمة الجوانو للزراعة، ومنذ ذلك الحين وحتى تطوير السماد الاصطناعي في القرن الـ 20، شكل الجوانو بضاعة مطلوبة. وقد كان الطلب على هذه المادة عال جدًا لدرجة أنه عُقدت اتفاقيات خاصة لاستخراجه والتجارة به. أما اليوم فقد تجدد الطلب على الجوانو بسبب استعماله كمصدر سماد في الزراعة العضوية.

سؤال ج-26: ?

لو كنتم مزارعون، هل تختارون استعمال سماد كيميائي أم زبل عضوي؟ اكتبوا ادعاءً مع 3 تعليقات لدعم الاختيار.

سؤال ج-27: ?

يوجد توصية لاستعمال الزبل العضوي قبل الغرس أو الزرع وليس خلال تنمية النبات. اشرحوا الأساس البيولوجي لهذه التوصية.

سؤال ج-28: ?

لماذا يجب تغيير الكمية ومكونات السماد الذي نضيفه إلى التربة خلال الموسم الزراعي؟

سؤال ج-29: ?

ما هي التأثيرات المتوقعة على النظام البيئي من إضافة سماد في الحقول الزراعية؟

سؤال ج-30: ?

لماذا يجب الحفاظ على أبعاد مقبولة أثناء زرع أو غرس نباتات زراعية؟

سؤال ج-31: ?

تُستعمل الأملاح المعدنية بوتاسيوم، فوسفور ونيتروجين كسماد شائع. ما هي أهمية كل واحد منها؟ يمكنكم الاستعانة بجدول ج-4.

زراعة عضوية

في السنوات الأخيرة، مع ازدياد الوعي للحفاظ على البيئة المحيطة والأضرار الصحية للمواد التي تُستعمل للتسميد ومكافحة الآفات الزراعية، ازداد الطلب على المنتجات الزراعية العضوية. **الزراعة العضوية** هي طريقة لإنتاج محاصيل من الحيوانات والنباتات من خلال تقليص استعمال المواد التي قد تؤذي البيئة المحيطة. يعرض جدول ج-7 عدة فروقاً أساسية بين الزراعة الحديثة "العادية" وبين الزراعة العضوية.

جدول ج-7: مقارنة بين مميزات الزراعة العضوية والزراعة العادية

زراعة عضوية	زراعة "عادية"	
<ul style="list-style-type: none"> استعمال زبل عضوي. تبديل المزروعات في كل سنة، مثلاً: تُستبدل البقوليات التي "تساهم" في إغناء التربة بالنيروجين بنباتات غير بقولية تستفيد من النيروجين. 	استعمال سماد كيميائي	تزويد أملاح معدنية
<ul style="list-style-type: none"> مكافحة بيولوجية — استعمال حيوانات (مثل: حشرات وطيور) لمكافحة آفات زراعية. لا يُتيح تبدل المزروعات لآفات زراعية معينة أن تعيش في الحقل عدة مواسم زراعية. 	مكافحة كيميائية	مراقبة الآفات الزراعية
<ul style="list-style-type: none"> تعشيب باليد. تبدل المزروعات لإخماد أعشاب ضارة: مثلاً: نباتات مثل: البرسيم والفصة التي تستطيع إخماد أعشاب غازية تُستبدل بمزروعات تعاني من أعشاب غازية، مثل: الشامم والبندورة. تغطية أتلان واسعة: تغطية التربة بمواد مصدرها نباتي (أوراق، قطع خشب، أكواز صنوبر - مخروط صنوبري) أو حجارة. تحافظ التغطية على رطوبة التربة وتقلص نمو الأعشاب. 	مكافحة كيميائية	مكافحة الأعشاب
<ul style="list-style-type: none"> استعمال طرق تمنع حدوث أمراض تعتمد على ظروف نمو مناسبة، مثلاً: كثافة مناسبة. عدم استعمال وسائل اصطناعية لزيادة الولادة أو مستوى الإنتاجية. غذاء من الطبيعة والرعي في المرعى. 	<ul style="list-style-type: none"> استعمال أدوية ومضادات حيوية. استعمال هورمونات لزيادة الإنتاجية والولادة. غذاء مركز ومعالج. 	تربية حيوانات زراعية

مصطلحات

استعمال مصطلح "عضوي"

ذكرنا في هذا الفصل مصطلحات، مثل: زبل عضوي وزراعة عضوية، وفي الدعايات المختلفة نقرأ ونسمع عن خضروات وفواكه عضوية. يعتمد المصطلحان مادة عضوية وزبل عضوي على علاقتهما المباشرة مع الكائن الحي. ينبع المصطلح مادة عضوية من الحقيقة أن إنتاج هذه المواد في الطبيعة متعلق بنشاط الكائنات الحية. تعلمتم في هذا الفصل عن العلاقة بين الزبل العضوي والكائنات الحية. استعمال المصطلح "عضوي" في سياق "الزراعة العضوية" و "الغذاء العضوي" هو استعمال يهدف إلى بث علاقة بين عمليات طبيعية مع تدخل أدنى للإنسان.

صراع ذهني

زراعة عضوية أم زراعة "عادية"

مع ازدياد الطلب على المنتجات العضوية، ظهر معارضون كثيرون للزراعة العضوية. الادعاء الأساسي للمعارضين أن كمية المحاصيل نسبة للموارد المعطاة قليلة في الزراعة العضوية بالمقارنة مع الزراعة

"العادية"، لذا إذا انتقل الجميع إلى الزراعة العضوية، لا يكون غذاء كافٍ لجميع السكان في العالم. كل صراع هو نقاش يعتمد على تضارب بين قيم، لذا الداعمون للزراعة العضوية والمعارضون لها يطرحون تبريرات قيمة ثقيلة الوزن.

سؤال ج-32:



هل تدعم أو تعارض الزراعة العضوية في نطاق واسع؟
 لإجراء النقاش حول السؤال المطروح، توزعوا إلى مجموعات "مختصين"، لكي تبحثوا معلومات في شبكة الانترنت عن الزراعة العضوية من وجهة نظر المختصين:
 ■ مختصون من جودة البيئة المحيطة - تأثير على البيئة المحيطة.
 ■ مزارعون - تكاليف، تأثير على خصوبة التربة.
 ■ مختصون من مجال الرفاه الاجتماعي - كمية الإنتاج والتكلفة.
 ■ أطباء ومختصون في التغذية - تأثير عام على صحة الإنسان.
 أ. اعتمدوا على المعلومات التي وجدتموها وصوغوا تبريرات (حُجج) مختصين.
 ب. عبّروا عن موقفكم المعلن في هذه القضية بشكل تبرير.
 ج. "الصراع" هو عبارة عن تضارب بين قيم. عرفوا قيمتين، على الأقل، تتضارب مع هذا الصراع.

ج.10 استيعاب ماء وأملاح معدنية بواسطة جذور النبات

الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه غير موزعة في التربة بشكل متجانس: أحياناً تكون موجودة في أعماق التربة فقط وأحياناً في الطبقات العليا من التربة. يجب على النبات أن يستوعب الماء والأملاح، شبكة الجذور في النبات هي العضو الذي عبره يستوعب النبات الماء والأملاح المعدنية.

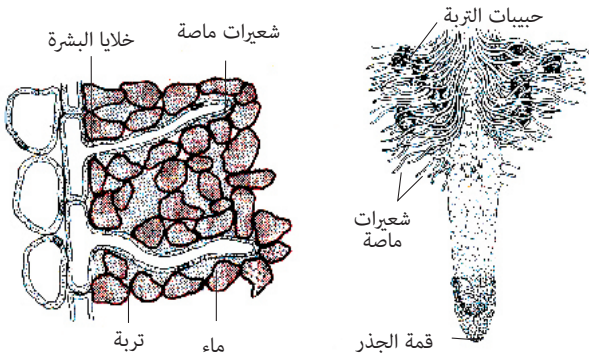
ج.10.1 ملاءمة الجذور لاستيعاب الماء والأملاح المعدنية بكمية قصوى

نجاحة عمل شبكة الجذور متعلق بالدرجة الأولى بمدى توزيعها في التربة ومدى نجاحة استيعاب الجذور المنفردة. كلما كانت مساحة السطح الخارجي لشبكة الجذور أكبر، فإن استيعاب الماء والأملاح المعدنية يكون أكبر. يتم استيعاب الماء والأملاح المعدنية بشكل أساسي في الأقسام حديثة السن الموجودة في أطراف الجذور

التي نجد فيها خلايا ذات مبنى خاص نسميها **شعيرات ماصة** (الرسم ج-27). الشعيرات الماصة هي بروزات طويلة لخلايا البشرة في الجذور وشكلها كشكل الشعيرات الدقيقة. عددها في طرف كل جذر هائل جداً وعندما يدور الحديث حول كل شبكة الجذور، فإن عدد الشعيرات الماصة يصل إلى مئات الآلاف وأكثر من ذلك. تزيد الشعيرات الكثيرة من مساحة التلامس بين المياه والتربة وهكذا تزيد بشكل كبير جداً من استيعاب الماء والأملاح المعدنية بواسطة الجذور.

نذكر في هذه الفرصة أن تبادل الغازات بين الجذور وبيئتها المحيطة تتم عبر الشعيرات الماصة.

بما أن الاستيعاب الأساسي للماء يتم في طرف الجذور تقريباً، فكلما كان تفرع شبكة الجذور كبيراً، فإن منطقة الاستيعاب تزيد.



الرسم ج-27: رسم تخطيطي للشعيرات الماصة في الجذور. على اليمين: طرف الجذر مع شعيرات ماصة. على اليسار: تلامس الشعيرات الماصة مع الماء في التربة.

يوجد لطريقة توزيع تفرع الجذور تأثير على نجاعة الاستيعاب. الجذور العميقة هي أفضلية مهمة للنبات عندما تكون المياه والأملاح المعدنية المذابة فيها موجودة في أعماق التربة، أما شبكة الجذور المتفرعة والقرية من سطح التربة، فإنها تُكسب النبات أفضلية في المناطق التي تكون فيها مياه كثيرة لمدة زمنية قصيرة في طبقات التربة العلوية (مثلاً: فيضان في الصحراء). تفرع شبكة الجذور وتوزيعها في التربة متعلق بعوامل وراثية وبمعايير بيئية محيطية، مثل: توزيع الماء وتركيز الأملاح المعدنية في التربة. عندما يكون في التربة أو في محلول هو نقص في عنصر ضروري، تتطور شبكة جذور كبيرة جداً تُتيح للجذور استيعاب الكمية المطلوبة للنبات، مثلاً: النبات الذي ينمو في بيئة محيطية فقيرة في النيتروجين، يطور شبكة جذور كبيرة جداً، وفي حالات متطرفة، قد تصل كتلة الجذور حتى 90% من كتلة النبات كله، بالمقارنة مع حوالي 5% من كتلة نفس نوع النبات في بيئة محيطية غنية في النيتروجين.

فكرة مركزية

ملاءمة بين المبنى والوظيفة:
مبنى الجذر مناسب
لاستيعاب كمية عظيمة من
المياه والأملاح المعدنية.

ج2.10 استيعاب ماء وأملاح معدنية من التربة

تغلغل الشعيرات الماصة للجذور في الفراغات الصغيرة الموجودة بين حبيبات التربة وتمتص منها الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه. يتم **استيعاب الأملاح المعدنية** بواسطة النبات من التربة بالموازاة لاستيعاب الماء، لأن معظم الأملاح المعدنية موجودة في التربة كأيونات مذابة في الماء الموجود في التربة. يدخل معظم الماء والأملاح المعدنية إلى الجذور عبر أغشية خلايا الشعيرات الماصة. تتحرك المياه والأملاح المعدنية على عرض الجذر حتى أنابيب الخشب.

يتم استيعاب الماء من التربة والانتقال العرضي حتى أنابيب الخشب بواسطة الأسموزا وفقاً لمنحدر التراكيز. عملية استيعاب الأملاح المعدنية معقدة. تنتقل معظم الأملاح المعدنية إلى داخل خلايا الشعيرات الماصة . **باستيعاب غير فعّال** وفقاً لمنحدر تراكيزها بين طرفي غشاء الشعيرات الماصة دون الحاجة إلى أن يبذل النبات طاقة. يوجد أملاح معدنية تركيزها في النبات أعلى بكثير من تركيزها في التربة وهي تدخل إلى النبتة بواسطة **استيعاب فعّال** عكس منحدر تراكيزها، من خلال بذل طاقة. يتم النقل الفعّال بواسطة "مضخات" خاصة لأملاح معدنية معينة ونشاط هذه المضخات يحتاج إلى جزيئات ATP تُنتج خلال عملية التنفس الخلوي. يوجد أيضاً أملاح معدنية تركيزها في النبات منخفض جداً بالمقارنة مع تركيزها في التربة. تدخل هذه الأملاح المعدنية بواسطة الديفوزيا (الانتشار) وتخرج بطريقة فعّالة بواسطة مضخات. تساعد صفة الاختيارية للنبات في الحفاظ على بيئة محيطية داخل الخلية تختلف عن البيئة المحيطية الخارجية وهي ضرورية للتطور السليم للنبات. في التربة المغمورة في الماء، يؤدي نقص الأكسجين للجذور إلى عدم إنتاج الطاقة ATP من خلال التنفس الخلوي الهوائي، حيث يتوقف نشاط المضخات، وفي أعقاب ذلك، لا يستطيع النبات الحفاظ على بيئة محيطية داخلية تختلف عن البيئة الخارجية.

علاقة بموضوع

الخلية - مبنى ونشاط:
استيعاب مواد عبر الأغشية.

يؤثر تركيز المواد المذابة، في خلايا الشعيرات الماصة للجذور وفي أنابيب النقل في مركز الجذور، على دخول الماء: كلما كان تركيز المواد المذابة فيها عالياً، يدخل ماء أكثر والضغط الناتج في أنابيب النقل يؤدي إلى رفع الماء إلى أقسام النبات التي تقع فوق سطح التربة.

عامل إضافي آخر يؤثر على وتيرة استيعاب الماء ورفعها إلى الأجزاء العلوية للنبات هو عملية **النتج** التي "تجذب" إلى أعلى الماء كعمود متواصل داخل أنابيب الخشب، حيث يتم جذب الماء من الشعيرات الماصة للجذور حتى الأوراق.

يُنتج عمود الماء في أنابيب الخشب بفضل قوى الجذب بين جزيئات الماء وبفضل قوى الجذب بين الماء وأنابيب الخشب. عندما تكون وتيرة النتج عالية، فإن الأوراق تفقد ماء ونتيجة لذلك يتم ضخ ماء بكمية كبيرة من الجذور إلى أقسام النبات التي تقع فوق سطح التربة.

إضافةً إلى استيعاب أملاح معدنية من محلول التربة، فإنَّ النباتات تستوعب أملاحًا معدنية بطرق أخرى أيضًا. إحدى الطرق بواسطة فطريات (ميكوريزا) أو بواسطة بكتيريا تقوم بربط النيتروجين (ريزوبيوم) وهي تعيش على سطح الجذور بعلاقة متبادلة من نوع تكافل، تستوعب نباتات متطفلة أملاحًا معدنية من النبتة العائلة، تستوعب نباتات مائية أملاحًا معدنية بطريقة مباشرة من البيئة المحيطة المائية إلى الأوراق والسيقان، تستوعب نباتات مفترسة أملاحًا معدنية من الحشرات التي تصطادها.

توسع



النباتات المفترسة يوجد لها أفضلية في بيوت التنمية الفقيرة بالأملاح المعدنية

حتى بداية القرن الـ 19، لم يعترف العلماء بالحقيقة أن هناك نباتات تستطيع أن "تأكل" حيوانات. كان مقبولاً أن الحيوانات فقط هي التي تستطيع الافتراس، والفكرة أن النباتات تستطيع الافتراس لم تكن مقبولة بتاتاً. في نهاية القرن الـ 19، كتَب تشارلس داروين (1882-1809 Charles Darwin) صاحب نظرية النشوء والارتقاء عن هذه الظاهرة وهكذا أدى إلى الاعتراف بها وبحثها.

النباتات المفترسة هي نباتات تقوم بعملية التركيب الضوئي، وهي تستوعب مواد من التربة كما هو الأمر عند جميع النباتات. على الرغم من ذلك، يوجد لديها القدرة على "اصطياد" حيوانات (عادةً حشرات وكائنات حية صغيرة أخرى)، إمانتها، تحليل المواد التي تكوّنُها واستيعاب مواد البناء الأساسية إلى داخل الخلية النباتية. تنمو هذه النباتات بالأساس في بيوت تنمية فيها نقص بالأملاح المعدنية.النقص في المركبات النيتروجينية وأملاح معدنية إضافية مطلوبة لحياة النبات، أكسب هذه النباتات أفضلية بفضل تطور آليات بديلة فيها للحصول على هذه المواد. الآليات تشمل وسائل لجذب الحيوانات، اصطيادها، افراز عصارات هضمية لتحليل الفريسة واستغلال نواتج التحليل كمواد بناء أساسية للنبتة ذاتها. تحتوي عصارة الهضم على إنزيمات مختلفة قادرة على تحليل الحيوان. قد تستمر عملية الهضم بين عدة ساعات إلى عدة أيام وفقاً لنوع النبات ودرجة الحرارة. يمكن أن نجد بين آليات الصيد: مصائد سقوط، مصائد التصاق، مصائد اغلاق.



مصيدة سقوط



مصيدة اغلاق



مصيدة إلتصاق

الرسم ج-28: آليات صيد في نباتات مفترسة

سؤال ج-33:

في مناطق فيها مستنقعات في الولايات المتحدة، يمكن أن نجد نباتات مفترسة بنسبة مئوية عالية.
 أ. ما هي أنواع المواد الغذائية التي تزودها الحشرات المتحللة إلى النباتات المفترسة؟
 ب. لماذا يوجد تنوع كبير لنباتات مفترسة في مناطق المستنقعات بالذات؟
 ج. هل النباتات المفترسة هي مُنتجات أم مستهلكات؟ استعينوا بالصور وعلّلوا إجاباتكم.

سؤال ج-34:

نباتات صحراوية كثيرة، يوجد لها شبكة جذور قريبة من سطح التربة. اشرحوا الأفضلية للنبات الصحراوي بفضل هذه الشبكة من الجذور.

سؤال ج-35:

ماذا يمكن أن يحدث إذا غمرنا جذور نبات في محلول يحتوي على أملاح معدنية وعلى مواد تُثبِّط (تعيق) التنفس الخلوي؟ اشرحوا.

سؤال ج-36:

أ. ادّعت باحثة أنّ عدم حدوث عملية التركيب الضوئي مدة زمنية طويلة، يؤدي إلى ضرر في استيعاب الأملاح المعدنية، ودون وجود أملاح معدنية بكمية كافية، تتضرر عملية التركيب الضوئي. صوغوا تعليقات ممكنة لادعاء الباحثة.
 ب. ادعت نفس الباحثة أن نقص الأكسجين للجذور مدة زمنية طويلة، يؤدي إلى ضرر في استيعاب الأملاح المعدنية. حاولوا أن تدعموا ادعاء الباحثة، ثم اذكروا الشروط التي يمكن أن ينتج فيها وضع يؤدي إلى نقص الأكسجين للجذور.

سؤال ج-37:

اذكروا ثلاثة عوامل متعلقة بها وتيرة الاستيعاب غير الفعّال (ديفوزيا) للأملاح المعدنية.

المواضيع الأساسية في الفصل

- مصدر جميع المواد العضوية في الطبيعة هو مواد نتجت في عملية التركيب الضوئي التي تحدث في النباتات وكائنات حية أخرى ذاتية التغذية وفي التركيب الكيميائي.
- في عملية التركيب الضوئي، تتحول طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية ومن مواد غير عضوية (ماء و CO_2) تنتج مادة عضوية (كربوهيدرات) وأكسجين.
- بدأ بحث عملية التركيب الضوئي منذ القرن الـ 17 من خلال تجارب تشكل أساس البحث العلمي العام، مثل: تجارب فان هلمونط، بريستيل وانجلمن.
- مبنى النبات وتنظيم أعضاؤه ملائم لاستيعاب الموارد المطلوبة لعملية التركيب الضوئي ولتنفيذها: تساعد مساحة سطح خارجي كبير للأوراق على استيعاب كمية كبيرة من الضوء، يساعد تنظيم فتح الثغور على استيعاب كمية كبيرة من CO_2 ويراقب كمية الماء في النبات، المبنى الداخلي للورقة ملائم لتنفيذ عملية التركيب الضوئي.
- في نباتات الـ CAM توجد آلية خاصة لتقليل فقدان الماء وهي تعتمد على فتح الثغور في الليل.
- تتم عملية التركيب الضوئي في الكلوروبلاستيدات - عضيات تحتوي على صبغية الكلوروفيل وهي تُكسب أعضاء النبات اللون الأخضر. أطوال الأمواج التي يبتلعها الكلوروفيل هي التي تكون فعّالة في عملية التركيب الضوئي. في مبنى الكلوروبلاستيدات يوجد أقسام، وفي كل قسم، تحدث مرحلة أخرى من عملية التركيب الضوئي.
- المرحلة الأولى في عملية التركيب الضوئي هي استيعاب الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية. تؤدي الطاقة الضوئية إلى تحليل جزيء الماء إلى أيونات هيدروجين وأكسجين. تُنقل أيونات الهيدروجين إلى حاملات هيدروجين وينطلق الأكسجين إلى الهواء. تُستغل الطاقة المنطلقة خلال العملية لبناء الـ ATP.
- في المرحلة الثانية من عملية التركيب الضوئي، يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون خلال عملية دائرية نسميها دورة كلفن. تحتاج عملية التثبيت إلى طاقة وتُستغل فيها نواتج المرحلة الأولى، مثل: جزيئات الـ ATP وحاملات هيدروجين مختزلة.
- تُنقل الكربوهيدرات بأنايب اللحاء إلى أقسام النبات التي لا تتم فيها عملية التركيب الضوئي. يُستخدم قسم من الكربوهيدرات التي تنتج في عملية التركيب الضوئي لبناء مواد عضوية إضافية.
- تتأثر وتيرة عملية التركيب الضوئي من عوامل داخلية، مثل: عدد الكلوروبلاستيدات في الورقة، تركيز الكلوروفيل في الورقة، تركيز الروبوسكين، مبنى الورقة، كثافة الثغور ومكانها في الورقة، عُمر الورقة، كما تتأثر من عوامل خارجية - بيئية محيطة، مثل: شدة الضوء، تركيز CO_2 ، درجة الحرارة، ماء ومن كميات أملاح معدنية في التربة.
- يستطيع المزارعون التأثير على الإنتاج الزراعي من خلال السيطرة على العوامل التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي. إحدى الطرق لتنفيذ ذلك هي تنمية نباتات في بيوت نمو من خلال السيطرة على الظروف اللاأحيائية.
- الأملاح المعدنية ضرورية لتطور النبات ولحدوث عملية التركيب الضوئي. يؤدي النقص في الأملاح المعدنية إلى تثبيط (إعاقة) النمو. يقوم المزارعون بإغناء التربة بالأملاح المعدنية من خلال التسميد الكيميائي أو إضافة زبل عضوي.
- يُستوعب الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه من التربة بواسطة الشعيرات الماصة الموجودة في أطراف جذور النبات. تؤدي زيادة الشعيرات الماصة إلى ازدياد مساحة سطح التلامس مع الماء في التربة. يتم استيعاب الأملاح المعدنية بعمليات استيعاب فعّالة وغير فعّالة.

مصطلحات مهمة في الفصل



مبنى الأوراق	تلوث التربة	بناء ATP
تركيب ضوئي	فوسفور (P)	أعضاء إدخار
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	مواد إدخارية	ذاتية التغذية (كائنات حية)
صبغية	أكسجين (O_2)	طاقة ضوئية
ثغور	نيتروجين (N)	طاقة كيميائية
أنابيب نقل	زراعة عضوية	البشرة
نباتات CAM	شعيرات ماصة	تأثير الدفيئة (احتباس حراري)
كوتيكولا	بناء كيميائي	بوتاسيوم (K)
كومبوست	كلوروفيل	ابتلاع ضوء
استيعاب فُعال	كلوروبلاستيدات	بيوت نمو (دفيئات)
استيعاب غير فُعال	قَطع الغابات	عامل محدد
نسيج اسفنجي	مغنيسيوم	عوامل داخلية
نسيج عمودي	مدورة نفايات عضوية	عوامل بيئية محيطة (خارجية)
لحاء	أملاح معدنية	سماد كيميائي
مرحلة تثبيت CO_2	أقسام في الكلوروبلاستيدات	نقل نواتج التركيب الضوئي
مرحلة استيعاب طاقة ضوئية	دلالات نقص	تغذية بالأملاح المعدنية
نواتج مباشرة لعملية التركيب الضوئي	طيف الابتلاع	تحويل طاقة
نواتج غير مباشرة لعملية التركيب الضوئي	طيف النشاط	ملاءمات للتركيب الضوئي
	تهيئج جزئي الكلوروفيل	زبل عضوي

باحثون:

انجلمن تيئودودر

فان-هلمونط

بريستل جوزف

كلفن ملفن

