مدرستي معكم
خطوة بخطوة
للنجاح والتفوق

مدرستي
الكويتية
حمل التطبيق

اضغط هنا

الدرس 1-2

التغذية في النباتات
Nutrition in Plants

الأهداف العامة

* يُحدِّد الموادّ والتراكيب المُستخدَمة في عملية البناء الضوئي.
* يُقارِن بين خطوات عملية البناء الضوئي التي تستلزم وجود الضوء والخطوات التي لا تستلزم ضوءًا.
* يصف تركيب الورقة النباتية، ويُحدِّد أين تحدث عملية البناء الضوئي.
* يُفسِّر دور كلّ من ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون والكلوروفيل في عملية البناء الضوئي.



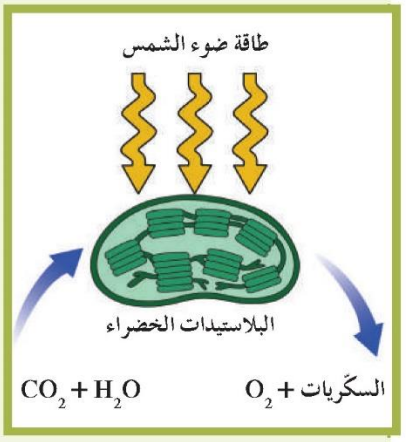
(شكل 19)

تُبيِّن الأحداث التاريخية أنّ المجاعات تُمثِّل خطرًا داهمًا على حياة الإنسان والحيوان معًا، لأنّ تلك الكائنات تُصبِح غير قادرة على توفير متطلّباتها من الطاقة لكي تبقى على قيد الحياة، على عكس بعض الكائنات الأخرى التي تستطيع توفير متطلّباتها كالكائنات ذاتية التغذية (شكل 19). فمنذ حوالى 3 مليارات سنة، تطوّرت لدى بعض الكائنات القدرة على استخدام مصدر الطاقة اللامتناهي وهو الشمس. كيف تستخدم هذه الكائنات ضوء الشمس لتصنع منه الغذاء لنفسها ولغيرها من الكائنات؟

1. الطاقة المستمَدّة من ضوء الشمس
Energy from Sunlight

لا توجَد حياة على الأرض من دون الطاقة المستمَدّة من ضوء الشمس. فالكائنات الحيّة بحاجة للطاقة لكي تنمو وتتكاثر وتستمرّ في حياتها. وهي تحصل على الطاقة اللازمة لها من الطاقة الكيميائية المختزَنة في الغذاء والتي مصدرها عملية البناء الضوئي التي تقوم بها الكائنات ذاتية التغذية.

فالبناء الضوئي Photosynthesis هو العملية التي تستخدم فيها الكائنات ذاتية التغذية (التي تحتوي على الكلوروفيل) طاقة ضوء الشمس لبناء الكربوهيدرات (السكّريات) من الموادّ غير العضوية البسيطة، مثل ثاني أكسيد الكربون والماء.
وغاز الأكسجين في الهواء ما هو إلّا نتاج عملية البناء الضوئي الذي تراكم على مرّ العصور الماضية. فعملية البناء الضوئي تُعتَبر القاعدة الأساسية للحياة حيث يتمّ بواسطتها إنتاج الغذاء وتحرير الأكسجين اللازم لتنفّس جميع الكائنات الحيّة (شكل 20). فلولاها لما استمرّت الحياة على سطح كوكب الأرض.
تحدث عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء والطحالب وحيدة الخليّة وبعض الأنواع من الطلائعيات كالبكتيريا الزرقاء Cyanobacteria، والتي تُعتبَر جميعها كائنات ذاتية التغذية. تحدث عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء في **البلاستيدات الخضراء فهي عضيّات خلوية توجد بكمّيات كبيرة في خلايا الأوراق النباتية** (شكل 20).



(شكل 20)
البناء الضوئي عبارة عن سلسلة من التفاعلات التي تستخدم الطاقة من الشمس لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى السكّريات والأكسجين. تحدث عملية البناء الضوئي داخل العضيّات المعروفة بالبلاستيدات الخضراء.

فقرة إثرائية

علم الأحياء والبيئة

بكتيريا ذاتية التغذية عن طريق البناء الكيميائي

بعض أنواع البكتيريا تحصل على غذائها عن طريق استخدام الطاقة الكيميائية الناتجة عن أكسدة مركّبات غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وتحليلها، وذلك لاختزال ثاني أكسيد الكربون وتثبيته في مركّبات كربوهيدراتية. لكن هنا تقوم البكتيريا بإنتاج نواتج غير الأكسجين. فمثلًا، خلال عملية البناء الكيميائي لكبريتيد الهيدروجين، يُنتَج الكبريت (S) بدلًا من الأكسجين (O_2).

البناء الضوئي

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{الشمس}]{\text{طاقة ضوء}} \text{سكّريات} + O_2$$

البناء الكيميائي

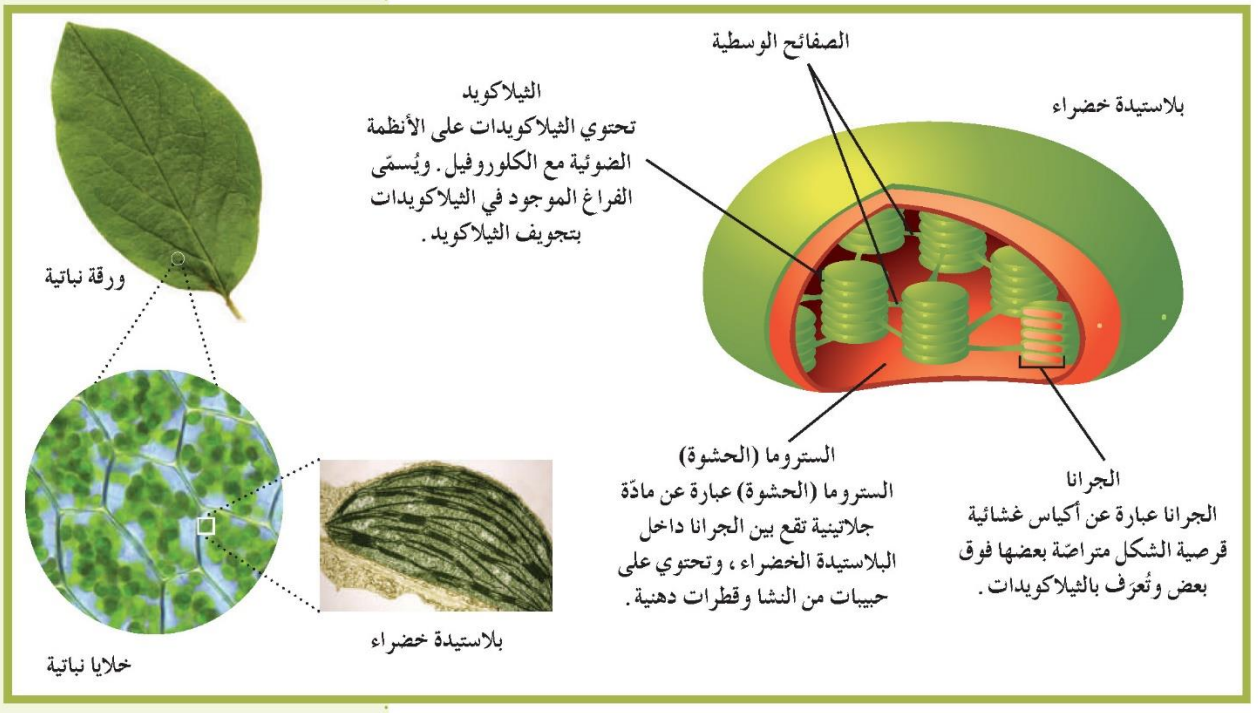
$$CO_2 + O_2 + H_2S \longrightarrow \text{سكّريات} + S + H_2O$$

تمّ اكتشاف هذا النوع من البكتيريا في العام 1977 في قاع المحيطات، بالقرب من فوّهات البراكين التي تخرج منها كمّيات كبيرة من غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S). هناك تعيش أنواع من بكتيريا الكبريت، وتقوم بتحويل هذا الغاز إلى طاقة لصنع منتَجات عضوية تتغذّى عليها ديدان كبيرة الحجم وغريبة الشكل، بالإضافة إلى أنواع أخرى من الحيوانات.

2. البلاستيدات الخضراء Chloroplasts

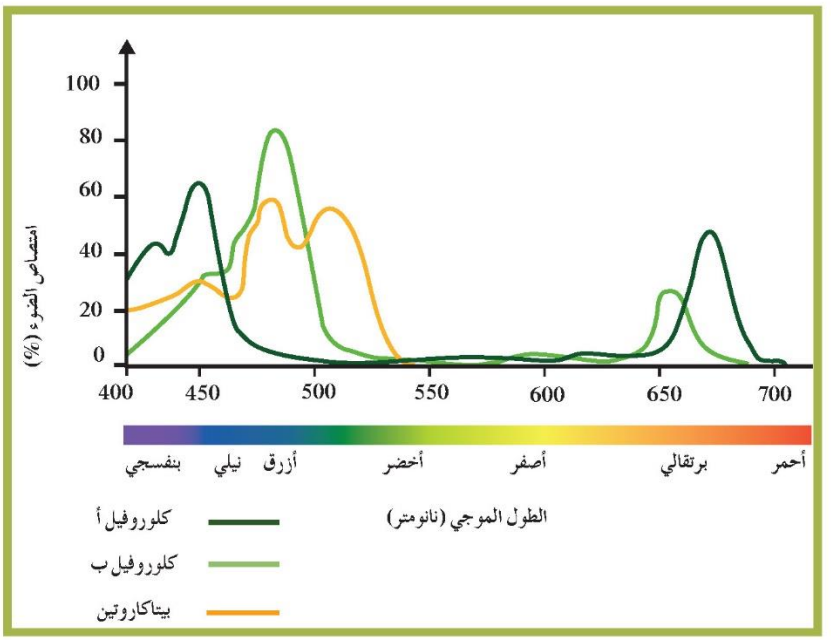
توجَد في الخلايا النباتية عضيّات تتخصَّص في القيام بعملية البناء الضوئي وتُعرَف بالبلاستيدات الخضراء. يُوضِّح الشكل (21) كيف **تتركّب البلاستيدات الخضراء من غشاء مزدوِج يُحيط بمادّة جيلاتينية عديمة اللون تُعرف بالستروما (الحشوة) Stroma.** تحتوي الستروما على تراكيب تُعرف **بالجرانا Grana، وهي عبارة عن تراكيب قرصية الشكل متراصّة بعضها فوق بعض** (كلّ مجموعة هي جرانم Granum).

ويُعرَف القرص الواحد منها باسم الثيلاكويد Thylakoid التي يصل عددها إلى 15 قرصًا أو أكثر في الجرانا الواحدة. والقرص المعروف بالثيلاكويد مجوَّف من الداخل، ويحتوي تجويفه على صبغة الكلوروفيل وجميع الأصباغ الأخرى اللازمة لعملية البناء الضوئي. وتمتدّ حافّات الثيلاكويد خارج حدود الجرانا لتُشكِّل الصفائح الوسطية Middle Lamellae، لتلتقي بحافّات ثيلاكويد أخرى في جرانا مجاورة (شكل 21). بذلك، تزداد مساحة سطح الأقراص المُعرَّضة للضوء.



(شكل 21)
تراكيب البناء الضوئي

تحتوي البلاستيدة الخضراء على عدّة أصباغ أساسية في عملية البناء الضوئي. أهمّها صبغ الكلوروفيل. **يُعتبَر الكلوروفيل Chlorophyll الصبغة الأساسية لعملية البناء الضوئي في جميع النباتات.** هناك نوعان من صبغ الكلوروفيل: كلوروفيل «أ» Chlorophyll a وكلوروفيل «ب» Chlorophyll b اللذان يمتصّان الأطوال الموجية البنفسجية والزرقاء والحمراء من الطيف المرئي لضوء الشمس (شكل 22) التي تمدّ عملية البناء الضوئي بالطاقة اللازمة لها. ولا تمتصّ أصباغ الكلوروفيل الضوء الأخضر بل تعكسه، لذلك تبدو معظم النباتات خضراء اللون.



(شكل 22)
يُوضّح هذا الشكل الأطوال الموجية للضوء التي تُمتَصّ بواسطة الكلوروفيل ونوعين من الأصباغ المساعدة. ما اللون الذي لم يُمتَصّ؟

3. آلية البناء الضوئي
Mechanism of Photosynthesis

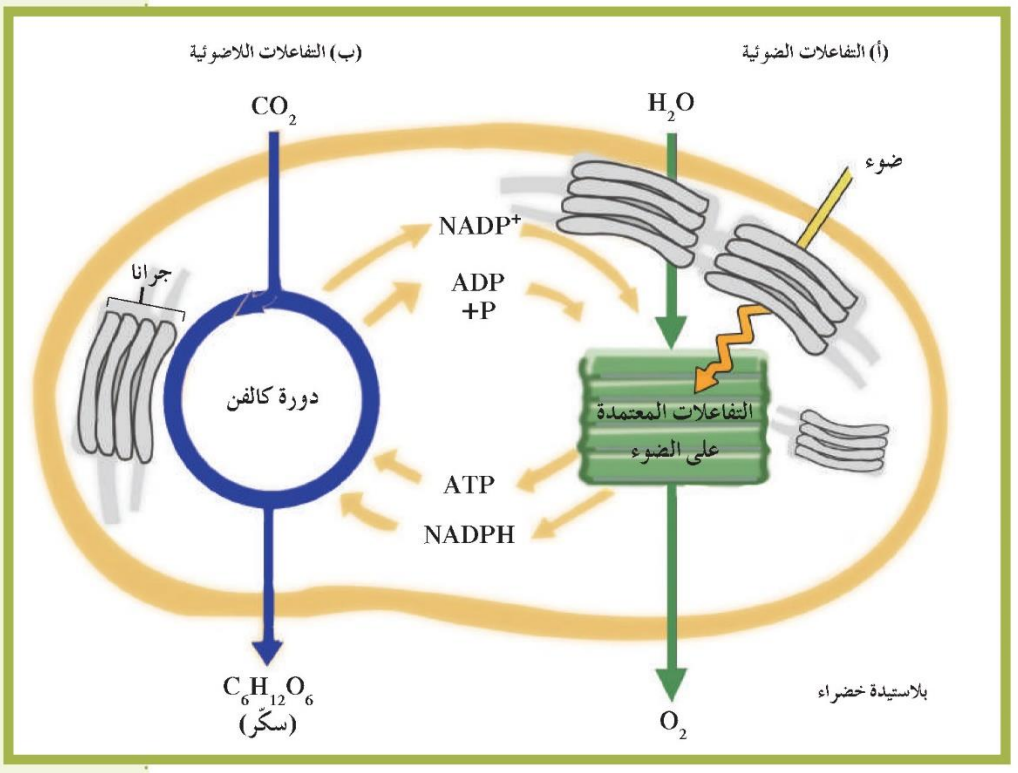
تستخدم النباتات ذاتية التغذية الطاقة الضوئية للشمس أثناء عملية البناء الضوئي لصنع جزيئات من الموادّ الكربوهيدراتية من الماء وثاني أكسيد الكربون، ويُنتَج غاز الأكسجين كمنتَج ثانوي لهذه العملية. ويُمكِن تلخيص عملية البناء الضوئي في المعادلة الكيميائية التالية:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

في هذه المعادلة، يُنتَج سكّر الجلوكوز سداسي الكربون $C_6H_{12}O_6$. ويُمكِن للطاقة المختزَنة في الروابط التساهمية للجلوكوز والكربوهيدرات الأخرى أن تُستخدَم لاحقًا لإنتاج جزيئات من مركّب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يُعتبَر عُملة الطاقة للخليّة الحيّة.

لا تتمّ عملية البناء الضوئي كلّها دفعة واحدة، بل تحدث على مرحلتين كما هو موضّح في الشكل (23). وتُعرَف المرحلة الأولى بالتفاعلات المعتمِدة على الضوء (التفاعلات الضوئية) والثانية بالتفاعلات غير المعتمِدة على الضوء (التفاعلات اللاضوئية) أو دورة كالڤن. وتحدث كلّ مرحلة منهما في موقع مختلِف داخل البلاستيدة الخضراء. تبدأ التفاعلات الضوئية بامتصاص الكلوروفيل للضوء في الجرانا، وخلالها تنشطر جزيئات الماء إلى أيونات هيدروجين (H^+)، وإلكترونات وغاز الأكسجين (O_2). ويتكوّن خلال هذه المرحلة مركّبان كيميائيان هما: ATP وNADPH.

تلي المرحلة الأولى التفاعلات غير المعتمِدة على الضوء (دورة كالڤن) التي يُستخدَم فيها مركّبا ATP وNADPH الناتجان عن التفاعلات المعتمِدة على الضوء. وخلال تفاعلات هذه المرحلة، يتمّ اختزال غاز CO_2 بواسطة الهيدروجين ليتكوّن السكّر.



(شكل 23)

تتمّ عملية البناء الضوئي في مرحلتين: التفاعلات المعتمِدة على الضوء ودورة كالڤن. في أيّ مرحلة ينطلق غاز الأكسجين؟ وفي أيّ مرحلة تُنتَج السكّريات؟

ينطلق غاز الأكسجين خلال التفاعلات المعتمدة على الضوء وتنتج السكريات خلال دورة كالفن

1.3 التفاعلات المعتمِدة على الضوء (التفاعلات الضوئية)
Light–Dependent Reactions

التفاعلات المعتمدة على الضوء Light–Dependent Reactions هي المرحلة الأولى من عملية البناء الضوئي، وكما يدلّ اسمها، هي تعتمد في حدوثها على ضوء الشمس. وتحدث هذه التفاعلات في مناطق متنوِّعة من غشاء الثيلاكويد تُعرَف بالنظام الضوئي Photosystem I (1) والنظام الضوئي Photosystem II (2)، وهما وحدات جامعة للضوء في البلاستيدات الخضراء.

تبدأ عملية البناء الضوئي عندما يُمتَصّ الضوء بواسطة الكلوروفيل والأصباغ الأخرى في النظام الضوئي (2) الذي يستخدم بعضًا من طاقة هذا الضوء لشطر جزيئات الماء، بواسطة بعض الإنزيمات، إلى أيونات هيدروجين (H^+) وغاز أكسجين (O_2) وإلكترونات عالية الطاقة (e^-). ينتشر معظم غاز الأكسجين الناتج إلى خارج الأوراق النباتية ليُصبِح جزءًا من الهواء الذي نتنفّسه.

وبتتبّع مسار الإلكترونات في الشكل (24)، نجد أنّ إلكترونات الكلوروفيل في النظام الضوئي (2) تكتسب بعضًا من طاقة ضوء الشمس وتُصبِح إلكترونات عالية الطاقة تتحرَّك من النظام الضوئي (2) إلى النظام الضوئي (1)، عبر مجموعة من المركَّبات الوسطية الموجودة في غشاء الثيلاكويد، والتي تُعرَف بسلسلة نقل الإلكترونات Electrons Transport Chain. تُزوِّد هذه الإلكترونات سلسة نقل للإلكترونيات بالطاقة اللازمة للنقل النشط لأيونات الهيدروجين من الستروما إلى داخل تجويف الثيلاكويد. ما الدور الذي يُؤدّيه تدرّج تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) الناتج في عملية إنتاج مركَّب ATP؟

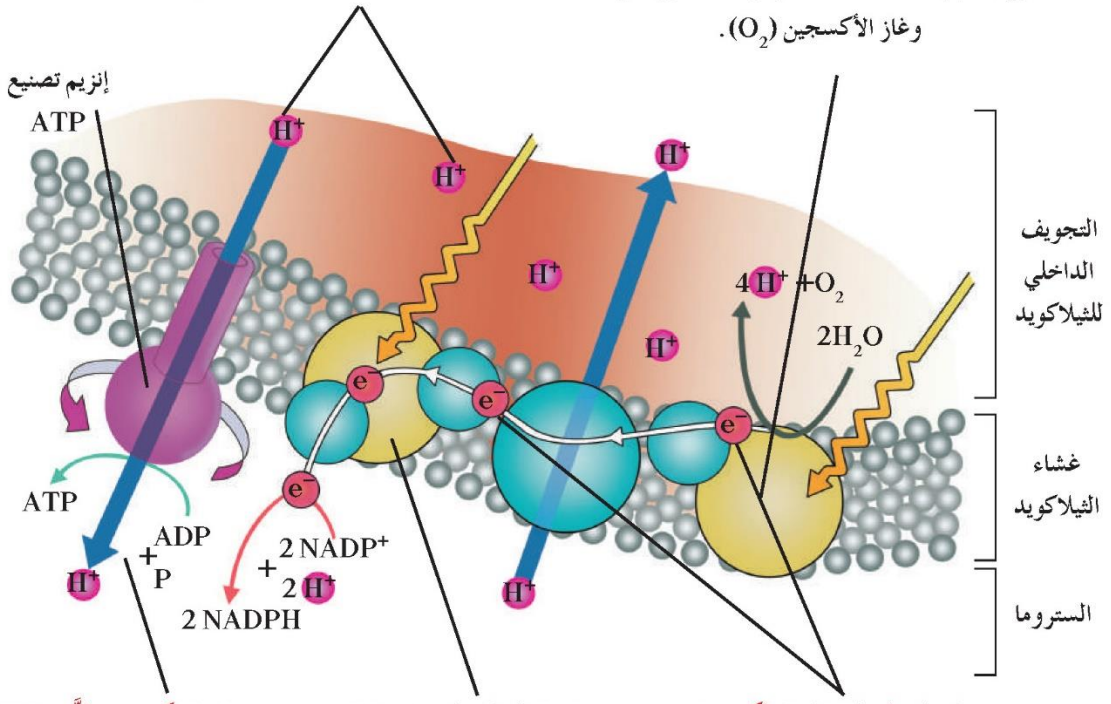
لا يمكن لأيونات الهيدروجين الانتشار عبر غشاء الثيلاكويد بحسب منحدر التركيز، بالمقابل تمر هذه الأيونات خلال ناقل بروتيني يسمى أنزيم تصنيع أ ت ب، تنتج عن هذا التدفق طاقة تستخدم لربط جزيئات أ د ب مع جزيئات فوسفات لتنتج أ ت ب

(أ) النظام الضوئي (2)

يُمتَصّ الضوء بواسطة الكلوروفيل أو الأصباغ الأخرى في النظام الضوئي (2)، ثمّ تنتقل الطاقة إلى الإلكترونات التي تمرّ بسلسلة نقل الإلكترونات. تقوم إنزيمات هذا النظام الضوئي بشطر جزيئات الماء إلى إلكترونات عالية الطاقة، وأيونات هيدروجين (H^+) وغاز الأكسجين (O_2).

(د) تحرّك أيونات الهيدروجين

يمتلئ السطح الداخلي لغشاء الثيلاكويد بأيونات الهيدروجين موجبة الشحنة. يجعل هذا الفعل السطح الخارجي لغشاء الثيلاكويد مشحونًا بشحنة سالبة وسطحه الداخلي مشحونًا بشحنة موجَبة.



(ب) سلسلة نقل الإلكترون

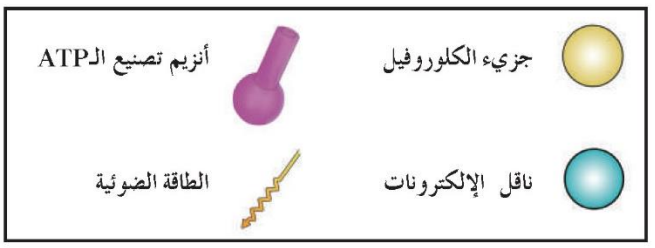
تنتقل الإلكترونات عالية الطاقة من النظام الضوئي (2) خلال سلسلة نقل الإلكترونات إلى النظام الضوئي (1). تستخدم الجزيئات في سلسلة نقل الإلكترونات الطاقة من الإلكترونات لكي تنقل أيونات الهيدروجين (H^+) من الستروما إلى داخل الثيلاكويد.

(جـ) النظام الضوئي (1)

كما في النظام الضوئي (2)، تنقل الأصباغ طاقة الضوء إلى الإلكترونات المحرَّرة في النظام الضوئي (2) ثمّ تلتقط هذه الإلكترونات عالية الطاقة بواسطة $NADP^+$ ليتكوّن NADPH، وهو مركَّب يُستخدَم خلال عملية صنع سكّر الجلوكوز.

(هـ) تكوين مركَّب ATP

عند مرور أيونات الهيدروجين خلال بروتين الغشاء المعروف بإنزيم تصنيع ATP، يربط جزيئات ADP مع مجموعات فوسفات (باستخدام الطاقة المنطلِقة من تدفّق أيونات الهيدروجين) فتتكوّن جزيئات ATP.



(شكل 24)

تستخدم التفاعلات الضوئية طاقة ضوء الشمس لتُنتج ATP وNADPH وغاز الأكسجين. تحدث هذه التفاعلات في أغشية الثيلاكويد في البلاستيدة الخضراء.

2.3 التفاعلات غير المعتمِدة على الضوء (دورة كالڤن) (التفاعلات اللاضوئيّة)

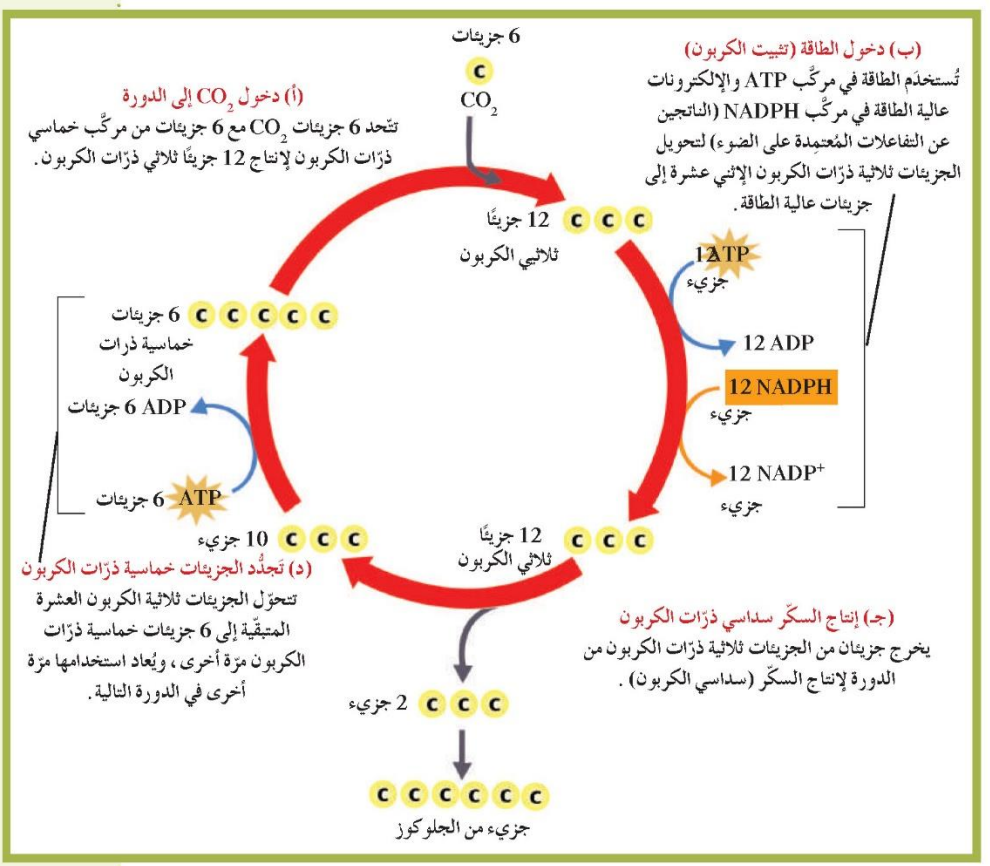
Light–Independent Reactions (Calvin Cycle)

التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالڤن)

Light–Independent Reactions (Calvin Cycle)

هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي وتحدث في ستروما (حشوة) البلاستيدات الخضراء خارج الجرانا. تعتمد هذه التفاعلات على نواتج مجموعة التفاعلات المعتمِدة على الضوء (NADPH وATP) وعلى توفّر غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 (شكل 25). وعلى عكس التفاعلات المعتمِدة على الضوء، لا تعتمد هذه التفاعلات على وجود الضوء كي تحدث، وهذا هو سبب إعطائها هذا الاسم. وسُمِّيت دورة كالفن نسبة للعالم ميلڤن كالڤن الذي اكتشفها.

ويُمكِنك تتبّع هذه السلسلة من التفاعلات غير المعتمِدة على الضوء أو دورة كالڤن في الشكل (25)، حيث يُستخدم مركّب NADPH كمصدر للهيدروجين اللازم لتثبيت غاز CO_2 في صورة مادّة كربوهيدراتية. ويتمّ ذلك باستخدام الطاقة المُختزَنة في جزيئات ATP، حيث يتكوّن جزيء واحد من سكّر الجلوكوز مقابل 6 جزيئات من غاز CO_2 التي تدخل إلى هذه التفاعلات.



(شكل 25)

تستخدم دورة كالڤن كلًّا من ATP وNADPH لإنتاج السكّريات عالية الطاقة. وتحدث هذه الدورة في ستروما (حشوة) البلاستيدات الخضراء ولا يتطلّب حدوثها وجود الضوء.

4. مصير السكّريات الناتجة عن البناء الضوئي

The Fate of Sugars Resulting from Photosynthesis

ما الذي يحدث لجميع جزيئات السكّر المتكوّنة أثناء عملية البناء الضوئي؟ تحتاج الكائنات ذاتية التغذية، والكائنات غير ذاتية التغذية إلى الطاقة للقيام بوظائفها الحيوية مثل النموّ والتكاثر. فالكائنات ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية تُحوّل طاقة الجلوكوز إلى طاقة تختزن في ATP، وتستخدم هذه الطاقة لأداء جميع الوظائف الحيوية.

وبإنتاج جزيئات السكّر، تكون الكائنات ذاتية التغذية أوّل من يستهلكها. فالكبيرة منها مثل النباتات بحاجة إلى توفير الطاقة لجميع خلاياها، لذلك فإنّ للنباتات الكبيرة أجهزة لنقل السوائل التي تنقل السكّريات على شكل سكّروز وجزيئات عالية الطاقة من الأوراق إلى الخلايا الأخرى في النباتات.

تستخدم النباتات بعضًا من الجلوكوز للنموّ. فعلى سبيل المثال، تُكوّن النباتات جزيئات تركيبية مثل السيليلوز عن طريق ربط العديد من جزيئات الجلوكوز في سلاسل طويلة.

ويُعَدّ السيلّيلوز أكثر الموادّ وفرة تُنتِجها النباتات الحيّة، وهو يُكسِب التراكيب النباتية القوّة والصلابة. والقليل من الكائنات الحيّة فقط يُمكِنها استخدام السيلّيلوز كمصدر للطاقة. والبكتيريا التي تعيش في القنوات الهضمية للأبقار تُعتبَر مثالًا للكائنات التي تستطيع استخدام هذه المادّة.

تختزن معظم النباتات الجلوكوز عالي الطاقة في صورة نشويات لا تُستخدَم مباشرةً لإنتاج الطاقة أو التراكيب المختلِفة. ومثل السيلّيلوز، تتكوّن النشويّات من سلاسل من جزيئات الجلوكوز، ولكنّها ترتبط بعضها ببعض بطريقة مختلِفة عن ارتباطها في جزيئات السيلّيلوز. توجَد النشويات في الأغذية النباتية مثل الذرة والبطاطا والقمح.

الكائنات غير ذاتية التغذية تستهلك النباتات والكائنات ذاتية التغذية الأخرى لكي تحصل على النشويات. ثمّ تهضم النشويات إلى جلوكوز، وتستخدم الطاقة المختزَنة فيه من أجل احتياجاتها من الطاقة ولتكوين التراكيب المختلِفة في أجسامها. وأيّ جزيئات جلوكوز عالية الطاقة لا تُستخدَم يُمكِن أن تُختزَن مرّة ثانية كجليكوجين بواسطة الكائنات غير ذاتية التغذية.

5. العوامل المؤثّرة في عملية البناء الضوئي

Factors Affecting Photosynthesis

تستلزم عملية البناء الضوئي عدّة عوامل أساسية: الطاقة من الشمس، الماء، ثاني أكسيد الكربون ووجود الكلوروفيل.

فقرة إثرائية

علم الأحياء في حياتنا اليومية

أصل الغذاء الصحّي

تُعَدّ الكربوهيدرات معقّدة التركيب الموجودة في الحبوب مصدر طاقة مهمًّا للإنسان. فالأرزّ والخبز والمعكرونة تُعتبَر أمثلة على الأغذية الغنية بالكربوهيدرات معقّدة التركيب.

1.5 الضوء Light

تحدث عملية البناء الضوئي في مرحلتين. فتبدأ بمرحلة امتصاص الضوء التي تحدث فقط عندما تتعرّض النبتة لضوء الشمس أو الضوء الصناعي. ويعمل الكلوروفيل والأصباغ الأخرى «كقرون استشعار ضوئية» تمتصّ طاقة الضوء وتُحوّلها إلى طاقة كيميائية، وينتج غاز O_2 خلال هذه المرحلة. أمّا المرحلة الثانية التي تُسمّى دورة كالڤن فلا تستلزم وجود الضوء لكي تتمّ. فهي تستخدم الطاقة المُختزَنة وبعض الموادّ المتكوّنة خلال التفاعلات المعتمِدة على الضوء لتحويل CO_2 إلى سكّر بسيط مثل الجلوكوز.

بالإضافة إلى القيام بعملية البناء الضوئي، فإنّ النباتات تتنفّس. والتنفّس الخلوي عبارة عن تكسير الجزيئات مثل الجلوكوز إلى جزيئات أبسط مثل CO_2 والماء، بالإضافة إلى انطلاق الطاقة التي تستخدمها النباتات لكي تنمو وتتكاثر وتُنتِج المركّبات الضرورية. وتُعتَبر نواتج التنفّس الخلوي في النباتات هي نفسها النواتج عند الحيوانات، وهي ثاني أكسيد الكربون والماء.

تقوم النباتات بعملية البناء الضوئي والتنفّس الخلوي في الوقت نفسه. فهي تصنع الجلوكوز عن طريق عملية البناء الضوئي، وتستخدمه في الوقت نفسه، خلال التنفّس الخلوي للحصول على الطاقة. تعتمد الكمّية الصافية من السكّر المتكوّنة بواسطة النباتات على عدّة عوامل تتضمّن معدّل التنفّس الخلوي في النباتات وكمّية الضوء المتاحة.

نقطة التعويض Compensation Point عبارة عن كمّية الطاقة الضوئية المقتنَصة أثناء عملية البناء الضوئي اللازمة لبقاء النباتات على قيد الحياة، أيّ أنّها كمّية الطاقة الضوئية التي تحتاج إليها النباتات لتوازن متطلّباتها من الطاقة. فإذا كانت كمّية السكّر التي تُنتِجها عمليّة البناء الضوئي متوازنة تمامًا مع كمّية السكّر التي تستخدمها النباتات لكي تبقى حيّة، فلن تَكون هناك طاقة مُكتسَبة أو مفقودة. أمّا إذا كان السكّر الذي تُنتِجه النباتات أكثر من الذي تستخدمه، فتكون قد اكتسبت طاقة. ويُمكِن للنباتات أن تُخزّن الطاقة الزائدة عن حاجتها أو تستخدمها للنموّ. أمّا إذا استخدمت النباتات كمّية من السكّر أكثر من تلك التي تُنتِجها، فتكون قد فقدت طاقة. ماذا يمكن أن يحدث إذا استقبلت النباتات كمّية من ضوء الشمس أقلّ من نقطة التعويض الخاصّة بها لفترة زمنية طويلة؟

لن تزهر النبتة وستتكاثر قليلاً أو لن تتكاثر إطلاقاً وقد تموت



(شكل 26 – أ)



(شكل 26 – ب)

(شكل 26)
قصب السكّر عشب مداري يحتاج إلى الكثير من ضوء الشمس. ما وجه الشبه بين الاحتياجات الضوئية للنباتات التي تنمو تحت الأشجار الشاهقة (أ) والاحتياجات الضوئية لقصب السكّر (ب)؟

يحتاجان إلى ضوء، لكن النباتات النامية تحت الشجر يملها ضوء أقل وقد تكيّفت لاستغلال كميات الضوء القليلة التي تصلها، لذلك لا نراها تنمو كثيراً بالطول

أمّا نباتات أخرى مثل اللبلاب والعنب، فتحتاج إلى كمّية معتدلة من ضوء الشمس، كما يُمكِنها أن تنمو في الظلّ. وتُلقَّب بعض الحدائق بنباتات الظلّ.

ينمو العديد من نباتات الظلّ في الغابات أسفل الأشجار الكبيرة، جنبًا إلى جنب مع الأشجار الصغيرة (شكل 26 – أ). وتنمو نباتات الظلّ والأشجار الصغيرة ببطء نسبيًّا عندما يكون الضوء نادرًا. من ناحية أخرى، عندما تسقط الأشجار المسنّة أو يتمّ قطعها، يصل الضوء الوافر لأرضية الغابة، فتنمو نباتات الظلّ الصغيرة بسرعة أكبر لتصل إلى أقصى طولها وسمكها. وقد تبدأ الأشجار الصغيرة أيضًا بالنموّ لتصل إلى حجمها الكامل المحتَمل.

2.5 الماء Water

الماء هو المركَّب الأساسي لعملية البناء الضوئي. فتحتاجه النباتات لتُكمِل المرحلة الأولى من البناء الضوئي، وهي التفاعلات المعتمِدة على الضوء. في العام 1630، أجرى العالم البلجيكي ڤان هلمونت تجربة ساعدت العلماء على فهم دور الماء في عملية البناء الضوئي. ويُوضِّح الشكل (27) كيف زرع ڤان هلمونت شجرة صفصاف وزنها 2 كيلوجرام في منتصف برميل يحتوي على 90 كيلوجرامًا من التربة. قام ڤان هلمونت برَيّ الشجرة لمدّة خمس سنوات بماء المطر، ثم وزن الشجرة ووزن التربة بعد أن جفّت. فوجد أنّ وزن الشجرة زاد 75 كيلوجرامًا، في حين لم ينقص وزن التربة سوى 55 جرامًا فقط (تذكّر أنّ الألف جرام تُكوّن كيلوجرامًا واحدًا). لذلك يُعَدّ النقص في وزن التربة ضئيلًا للغاية. اِستنتج ڤان هلمونت أنّ نموّ الشجرة يرجع غالبًا إلى الماء الذي كان قد أُضيف إلى التربة. ولكنّه لم يكن على درجة كبيرة من الصواب، فقد أهمل الأخذ في اعتباره أنّ مادّة في الهواء هي ثاني أكسيد الكربون قد تكون أثّرت أيضًا على وزن النبتة. ومن ناحية ثانية، لم يُوضِّح هلمونت أنّ التربة قد أسهمت بدرجة كبيرة بالمادّة الجديدة المتكوِّنة في النبتة النامية. تُوضِّح تجربة هلمونت الطريق للوصول أحيانًا إلى المعرفة العلمية. فعندما يستشكف الباحثون حدثًا غير معروف، قد يكتشفون تفسيرًا لإحدى الخطوات وليس جميعها. وفي هذه الأيام، يعرف العلماء أنّ حوالى 90 % من الماء الذي تمتصّه النباتات يُفقَد بالتبخّر، ولا يُستخدَم في عملية البناء الضوئي. وبالتالي، فمعظم الماء الذي امتصّه النبات لا يُضاف إلى كتلة النبتة.

وعلى وجه العموم، يُؤثِّر مدى توافر الماء في عملية البناء الضوئي بطريقتين: الأولى تستلزم وجود الماء كمادّة خام للتفاعلات الضوئية، والثانية لا بُدّ فيها من توافر الماء بدرجة كافية لحفظ الخليّتين الحارستين مملوءتين لكي تبقى ثغور الورقة مفتوحة. فعندما تنغلق الثغور، لا يُمكِن لثاني أكسيد الكربون دخول الأوراق، وسرعان ما تخلو النبتة من مركَّب أساسي آخر لعملية البناء الضوئي، وهو ثاني أكسيد الكربون.



(شكل 27)
تجربة ڤان هلمونت
(أ) السنة الأولى: زرع ڤان هلمونت شجرة صفصاف وزنها 2 كجم (كيلوجرام) في 90 كجم تقريبًا من التربة.
(ب) السنة الخامسة: بعد مرور خمس سنوات، زاد وزن الشجرة 75 كجم ونقص وزن التربة 55 جم.

فقرة إثرائية

العلم والمجتمع والتكنولوجيا

تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون



يستخدم الباحثون أنابيب لضخّ المزيد من CO_2 إلى منطقة ما في إحدى الغابات حيث يُمكِنهم دراسة تأثيرات CO_2 على النظام البيئي. ويبلغ تركيز CO_2 في هذه الرقعة من الأرض 550 جزءًا في المليون، وهو المستوى الذي سيتمّ الوصول إليه في الغلاف الجوّي للأرض في هذا القرن.

توجَد حاليًّا كمّيات هائلة من غاز CO_2 في الهواء لم تكن موجودة بهذه الكمّية في أواخر القرن التاسع عشر. ففي العام 1870، كان تركيز CO_2 في الهواء حوالى 270 جزءًا في المليون، أمّا الآن فقد بلغ تركيزه حوالى 360 جزءًا في المليون. وقد نتجت هذه الكمّيات الإضافية من CO_2 عن حرق الأخشاب والوقود الأحفوري. فنحن نستخدم طاقة هذا الوقود في جميع الأنشطة تقريبًا في أيّامنا الحاضرة.

يحبس غاز CO_2 الحرارة في الغلاف الجوّي بالطريقة نفسها التي تقوم بها الأسطح والجوانب الزجاجية للصوبات الزجاجية تقريبًا، لذلك يُسمّى فعل الاحتباس الحراري لغاز CO_2 في الغلاف الجوّي بظاهرة تأثير الصوبات الزجاجية أو ظاهرة الاحتباس الحراري. ويُعَدّ تأثير الصوبات الزجاجية تأثيرًا طبيعيًّا، فمن دونه سيبلغ متوسّط درجة حرارة سطح الأرض $18^{\circ}C-$. ولكن إذا ازداد مستوى CO_2 في الغلاف الجوّي، سيشتدّ الاحتباس الحراري.

وقد تُؤدّي ظاهرة تأثير الصوبات الزجاجية الشديدة إلى ظاهرة التدفئة العالمية. والتدفئة العالمية عبارة عن زيادة درجة حرارة الأرض نتيجة للتراكم المتزايد والسريع لغاز CO_2 وغازات الاحتباس الحراري الأخرى. في اعتقادك، ماذا يُحتمَل أن ينتج عن التدفئة العالمية؟ على الرغم من أنّ جميع العلماء لا يتّفقون على أنّ المشكلة خطيرة، إلّا أنّ الكثير منهم معنيّ بهذا الأمر. ويتساءل بعض الباحثين ما إذا كان يجب علينا أن نُحاوِل استعادة التوازن بين الأكسجين وCO_2 في الغلاف الجوّي. فكيف ذلك؟

للمزيد من الفهم الكامل لتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري أو الصوبات الزجاجية، يقوم بعض العلماء باستكشاف قدرة النباتات على امتصاص كمّيات CO_2 أكبر من الكمّيات الموجودة في الهواء. فإذا استطاعت امتصاص كمّيات CO_2 أكبر من الكمّيات الشائعة وبقيت سليمة، قد تكون قادرة على تقليل كمّية CO_2 في الغلاف الجوّي.

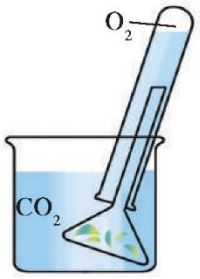
واكتشف الباحثون أنّ بعض النباتات، ومنها محاصيل معيّنة، نمت بدرجة أكبر وأنتجت أوراقًا وثمارًا أكثر عندما عُرِّضت لمستويات من CO_2 أعلى من المستويات الموجودة الآن في الهواء. ويعتقد بعض الباحثين أنّ التعرّض لمستويات عالية من CO_2 سيتسبّب في أن تُنتِج المحاصيل الرئيسية مثل القمح والأرزّ حبوبًا أكثر.

وقد اختبر العلماء أيضًا منطقة مليئة بالأشجار والشجيرات، وذلك بتعريض المنطقة لكمّيات إضافية من CO_2. وعلى الرغم من أنّهم توقّعوا أنّ الأشجار والشجيرات ستنمو بدرجة أكبر، إلّا أنّهم لم يُحدِّدوا حتّى الآن ما هي الآثار الجانبية التي ستطرأ على عناصر النظام البيئي. وعلى المدى البعيد، ليس من المؤكَّد ما إذا كانت الأنظمة البيئية الطبيعية ستستفيد من المستويات العالية من CO_2 في الهواء أم لا.

3.5 ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO_2)

إنّه العامل الثالث المؤثّر في عملية البناء الضوئي، ويُستَخدَم لصنع السكّريات البسيطة أثناء دورة كالڤن.

وعلى الرغم من قيام العديد من العلماء بدراسة دور غاز CO_2 في عملية البناء الضوئي، إلّا أن العالم الفرنسي جان سنبيير أجرى تجربة قاطعة في العام 1782. ويُوضِّح الشكل (28) كيف وُضِعت أوراق نباتية في محلول بيكربونات (ماء يحتوي CO_2)، وعندما عُرِّضت الأوراق لضوء الشمس أنتجت ما أسماه سنبيير «الهواء النقي». ونحن نعرف الآن أنّ سنبيير كان قد لاحظ الأكسجين O_2، ومن جهة أخرى، عندما وضع الأوراق في ماء خالٍ من CO_2 وعرّض تلك الأوراق لضوء الشمس، لم تُنتِج الأكسجين. ومن هذه التجربة وتجارب أخرى أجراها، اِستنتج سنبيير أنّ الأوراق تستخدم CO_2 في عمليّة البناء الضوئي التي تتطلّب أيضًا وجود الماء وضوء الشمس لكي تُنتِج غاز O_2.



(أ) وجود CO_2 في الماء أنتجت الأوراق الأكسجين (O_2) عندما عُرِّضت لضوء الشمس.



(ب) غياب CO_2 في الماء لم تُنتِج الأوراق الأكسجين (O_2) عندما عُرِّضت لضوء الشمس.

(شكل 28)
تجربة جان سنبيير تُبيِّن أهمّية غاز (CO_2) في عملية البناء الضوئي.

مراجعة الدرس 1-2

1. لخِّص الخطوات الرئيسية لعملية البناء الضوئي.
2. فسِّر دور كلّ من الضوء والماء وCO_2 في عملية البناء الضوئي.
3. **سؤال للتفكير الناقد:** صمِّم تجربة لقياس معدَّل عملية البناء الضوئي مع الأخذ في الاعتبار الموادّ المتفاعِلة ونواتج عملية البناء الضوئي.
4. **أضِف إلى معلوماتك:** ينتقل CO_2 والماء أثناء عملية البناء الضوئي بالانتشار والأسموزية. في ظلّ أيّ ظروف تحدث كلّ عملية منهما؟