

التغذية في النباتات

علل : المجاعات تُمثل خطراً داهماً على حياة الإنسان والحيوان معاً ؟

♥ لأن تلك الكائنات تُصبح غير قادرة على توفير متطلباتها من الطاقة لكي تبقى على قيد الحياة

ملحوظة

♥ لا توجد حياة على الأرض من دون الطاقة المستمدة من ضوء الشمس

♥ الكائنات الحية بحاجة للطاقة لكي تنمو وتتكاثر وتستمر في حياتها . وهي تحصل على الطاقة اللازمة لها من الطاقة الكيميائية المخزنة في الغذاء والتي مصدرها عملية البناء الضوئي

عملية البناء الضوئي

هو العملية التي تستخدم فيها الكائنات ذاتية التغذية (التي تحتوي على الكلوروفيل) طاقة ضوء الشمس لإنتاج غاز الأكسجين وبناء الكربوهيدرات (السكريات) من المواد غير العضوية البسيطة ، مثل ثاني أكسيد الكربون والماء

علل : عملية البناء الضوئي تُعتبر القاعدة الأساسية للحياة ؟

لأنه يتم بواسطتها إنتاج الغذاء وتحرير الأكسجين اللازم لتنفس جميع الكائنات الحية فلولاها لما استمرت الحياة على سطح كوكب الأرض

علل : الطحالب وحيدة الخلايا والنباتات والبكتيريا الزرقاء كائنات ذاتية التغذية ؟

لأنها تحتوي على الكلوروفيل ويحدث بها عملية البناء الضوئي

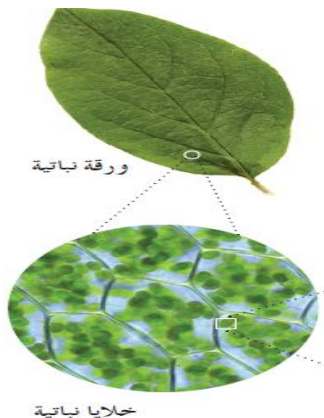
الكائنات التي بها تحدث عملية البناء الضوئي :

♥ النباتات الخضراء

♥ الطحالب وحيدة

♥ بعض الأنواع من الطلائعيات كالبكتيريا الزرقاء

تحدث عملية البناء الضوئي في النبات بالورقة النباتية داخل البلاستيدات الخضراء



البلاستيدات الخضراء

هي عضيات خلوية متخصصة في القيام بعملية البناء الضوئي وتوجد بكميات كبيرة في خلايا الأوراق النباتية

تركيب البلاستيدات

♥ **غشاء مزدوج** : يحيط بالاستروما

♥ **الاستروما (الحشوة)** : عبارة عن مادة جلاتينية تقع بين الجرانا داخل البلاستيدة الخضراء ، وتحتوي على حبيبات من

النشا وقطرات دهنية

♥ **الجرانا** : عبارة عن أكياس غشائية قرصية الشكل مترابطة بعضها فوق بعض وتُعرف بالثيلاكويدات يصل عددها إلى

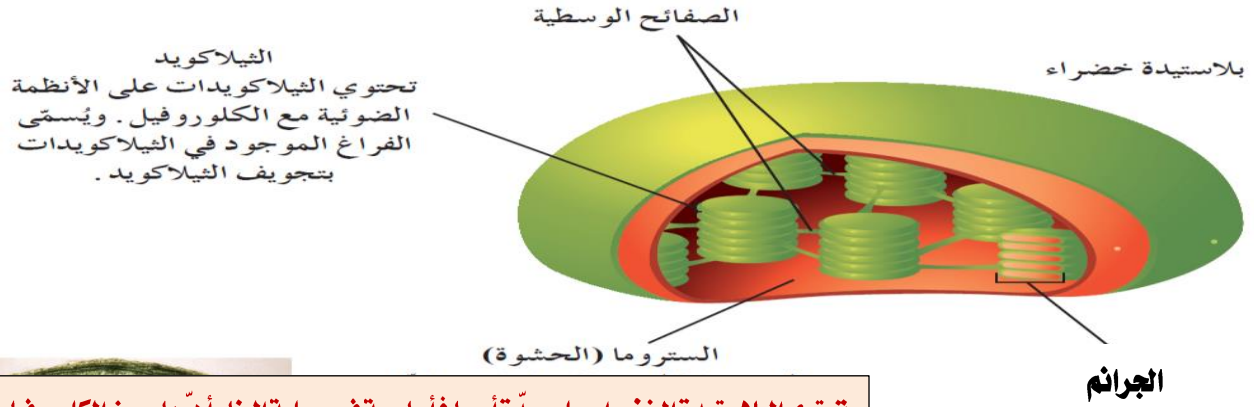
15 قرصاً أو أكثر

♥ **الثيلاكويد** : هو قرص مجوف من الداخل ويحتوي تجويفه على صبغة الكلوروفيل وجميع الاصباغ الأخرى اللازمة لعملية

البناء الضوئي

♥ **الصفائح الوسطية** : هي التقاء حافات الثيلاكويد خارج حدود الجرانا لتلتقي بحافات ثيلاكويد أخرى في جرانا مجاورة

تزداد مساحة سطح الأقراص المعرضة للضوء



تحتوي البلاستيدة الخضراء على عدة أصباغ أساسية في عملية البناء أهمها صبغ الكلوروفيل

الكلوروفيل : الصبغة الأساسية لعملية البناء الضوئي في جميع النباتات

الكلوروفيل (أ) والكلوروفيل (ب) يمتصان

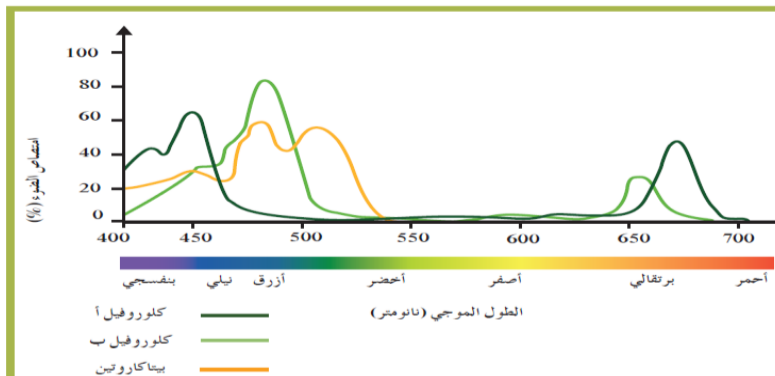
الاطوال الموجية :

♥ الحمراء / ♥ البنفسجية / ♥ الزرقاء

أنواع الكلوروفيل

الكلوروفيل ب

الكلوروفيل أ



علل : تبدو معظم النباتات خضراء اللون؟

ج: لأن أصباغ الكلوروفيل لا تمتص الضوء الأخضر بل تعكسه

ما أهمية الصفيحة الوسطية؟

تزيد من مساحة سطح الأقراص المعرضة للضوء

آلية البناء الضوئي

المواد اللازمة للبناء الضوئي
ضوء الشمس / الماء / ثاني أكسيد الكربون

نواتج للبناء الضوئي
سكر الجلوكوز / غاز الأكسجين (ناتج ثانوي)



لا تتم عملية البناء الضوئي كلها دفعة واحدة ، بل تحدث على مرحلتين وكل منهما يحدث في موقع مختلف داخل البلاستيدة الخضراء

ملحوظة

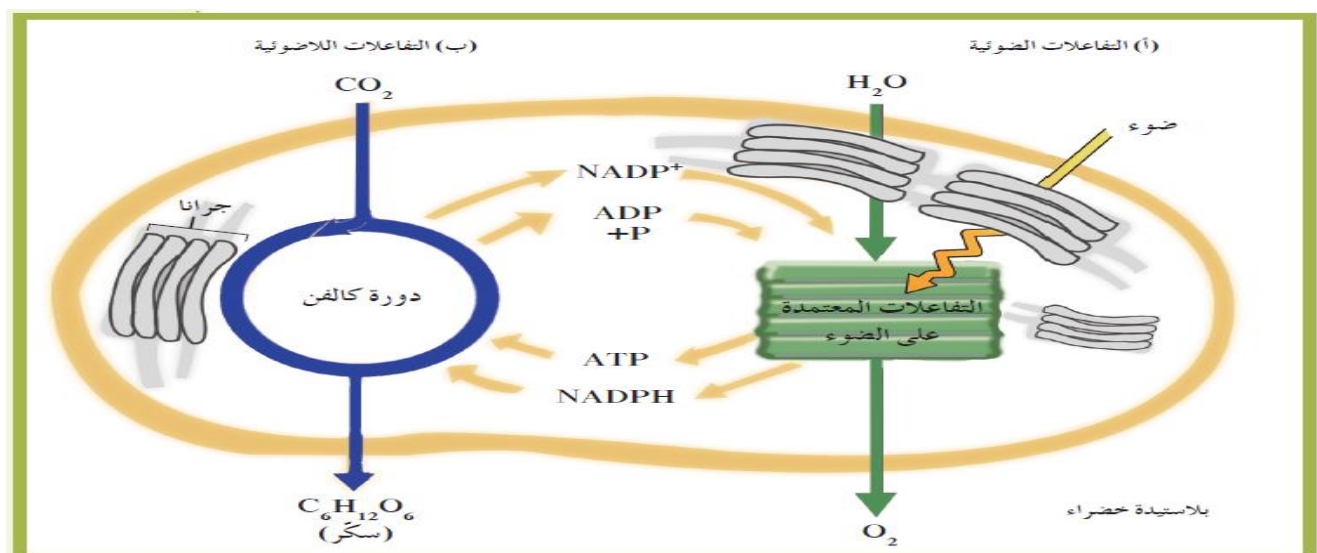
مراحلتي البناء الضوئي

سكر الجلوكوز سداسي الكربون به طاقة مخزنة في الروابط التساهمية تُستخدم لاحقاً لإنتاج جزيئات من مركب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يُعتبر عملة الطاقة للخلية الحية

المرحلة الثانية التفاعلات اللاضوئية (دورة كالفن)

المرحلة الأولى التفاعلات الضوئية

التفاعلات اللاضوئية	التفاعلات الضوئية	
لا تحتاج للضوء	تحتاج للضوء	الإحتياج للضوء
الستروما	الجرانا / أغشية الثيلاكويد	مكان الحدوث
اختزال غاز CO_2 بواسطة الهيدروجين وتكوين السكر (الجلوكوز)	$\text{NADPH} / \text{ATP}$ / غاز الأكسجين	الناتج



أولاً : التفاعلات المعتمدة على الضوء (التفاعلات الضوئية)

هي المرحلة الأولى من عملية البناء الضوئي ، وكما يدل اسمها ، هي تعتمد في حدوثها على ضوء الشمس .
وتحدث هذه التفاعلات في مناطق متنوعة من غشاء الثيلاكويد تُعرف بالنظام الضوئي (1) والنظام الضوئي (2) وهما وحدات جامعة للضوء في البلاستيدات الخضراء .

ألية حدوث التفاعلات الضوئية

(أ) النظام الضوئي الثاني (2)

♥ تبدأ عملية البناء الضوئي في النظام الضوئي (2) عندما يمتص الكلوروفيل والأصباغ الأخرى طاقة الضوء ثم تنتقل الطاقة إلى الكتلونات الكلوروفيل (e-). فتصبح عالية الطاقة
♥ إنزيمات النظام الضوئي الثاني وبعض من طاقة ضوء الشمس تشطر جزيئات الماء إلى إلكترونات عالية الطاقة ، وأيونات هيدروجين (H+) وغاز الأكسجين (O2)

إنزيمات النظام الضوئي الثاني

تشطر جزيئات الماء إلى إلكترونات
عالية الطاقة ، وأيونات
هيدروجين (H+) وغاز الأكسجين
(O2)

(ب) سلسلة نقل الإلكترونات

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

سلسلة نقل الإلكترونات

مجموعة من المركبات الوسطية الموجودة في غشاء الثيلاكويد ، تستخدم الطاقة من الإلكترونات لكي تنقل أيونات الهيدروجين (H+) نقل نشط من الستروما إلى داخل الثيلاكويد

(ج) النظام الضوئي الأول

♥ كما في النظام الضوئي الأول يمتص الكلوروفيل والأصباغ الأخرى طاقة الضوء ثم تنتقل الطاقة إلى الكتلونات المحررة في النظام الضوئي الثاني (e-). فتصبح عالية الطاقة
♥ تلتقط الإلكترونات عالية بواسطة NADP ليتكون NADPH

NADPH

وهو مركب يُستخدم خلال عملية صنع سكر الجلوكوز

(د) تحرك أيونات الهيدروجين

علل : السطح الداخلي لغشاء الخلية يحل شحنة موجبة

♥ لأن السطح الداخلي لغشاء الثيلاكويد يمتلئ بأيونات الهيدروجين موجبة الشحنة . يجعل السطح الداخلي مشحوناً بشحنة موجبة

♥ يمتلئ السطح الداخلي لغشاء الثيلاكويد بأيونات الهيدروجين موجبة

الشحنة . يجعل هذا الفعل السطح الخارجي لغشاء الثيلاكويد مشحوناً

بشحنة سالبة وسطحه الداخلي مشحوناً بشحنة موجبة

(هـ) تكوين مركب ATP

♥ عند مرور وتدفق أيونات الهيدروجين خلال بروتين الغشاء المعروف

بإنزيم تصنيع ATP تنطلق طاقة بسبب هذا التدفق

♥ تستخدم هذه الطاقة لإنزيم تصنيع ATP في ربط جزيئات ADP مع

مجموعات فوسفات (باستخدام الطاقة المنطلقة) فتتكون جزيئات ATP

أهمية انزيمات ATP

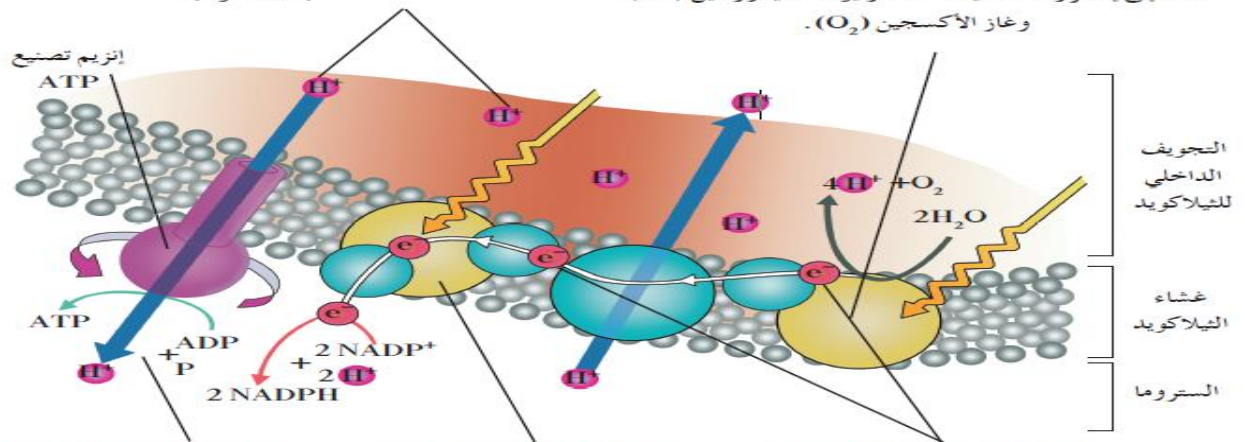
♥ يربط جزيئات ADP مع مجموعات فوسفات

باستخدام الطاقة المنطلقة من تدفق أيونات الهيدروجين

فتتكون جزيئات ATP

(د) تحرك أيونات الهيدروجين
يمتلئ السطح الداخلي لغشاء الثيلاكويد بأيونات الهيدروجين موجبة الشحنة . يجعل هذا الفعل السطح الخارجي لغشاء الثيلاكويد مشحوناً بشحنة سالبة وسطحه الداخلي مشحوناً بشحنة موجبة .

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



(هـ) تكوين مركب ATP

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

(ج) النظام الضوئي (1)

كما في النظام الضوئي (2) ، تنقل الأصباغ طاقة الضوء إلى الإلكترونات المحررة في النظام الضوئي (2) ثم تلتقط هذه الإلكترونات عالية الطاقة بواسطة $NADP^+$ ليتكون NADPH ، وهو مركب يُستخدم خلال عملية صنع سكر الجلوكوز .

(ب) سلسلة نقل الإلكترون

تنقل 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 .

أنزيم تصنيع ATP

جزيء الكلوروفيل

الطاقة الضوئية

ناقل الإلكترونات

ثانيا : التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (دورة كالفن)
(التفاعلات اللاضوئية)

هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي وتحدث في سโตรوما (حشوة) البلاستيدات الخضراء خارج الجرانا . تعتمد هذه التفاعلات على نواتج مجموعة التفاعلات المعتمدة على الضوء (ATP و NADPH) وعلى توفر غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂

عال : تسمى التفاعلات اللاضوئية بدورة كالفن

نسبة للعالم مياقن كالقن الذي اكتشفها

علل: لا تعتمد التفاعلات اللاضوئية على الضوء عند حدوثها

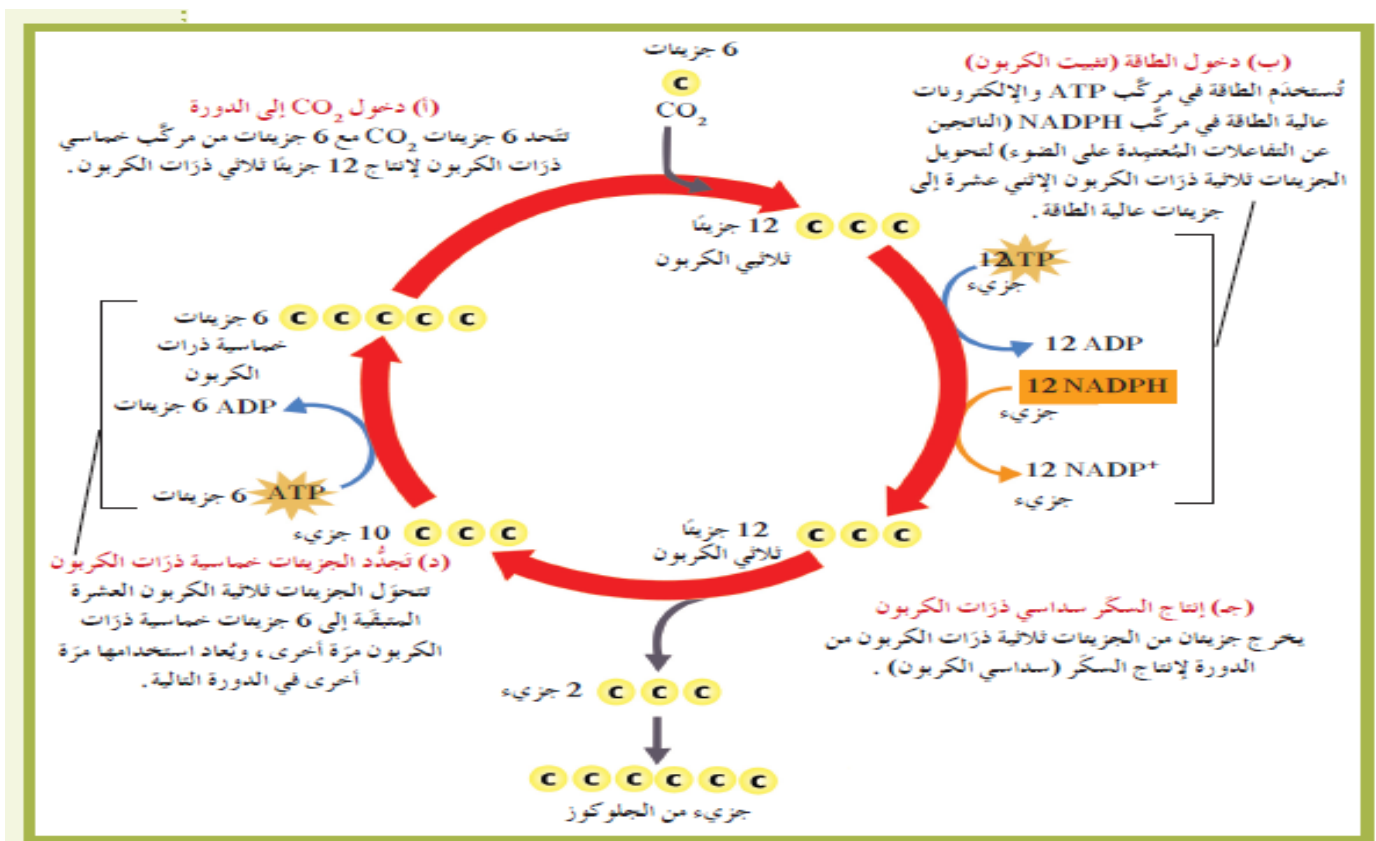
لأنها تعتمد على نواتج مجموعة التفاعلات المعتمدة على الضوء (ATP و NADPH)

أهمية مركب NADPH

مصدر للهيدروجين اللازم لتثبيت غاز CO₂ في صورة مادة كربوهيدراتية. ويتم ذلك باستخدام الطاقة

المُخْتَزَنَةُ فِي جُزِيَّاتِ ATP

يتكوّن جزيء واحد من سكر الجلوكوز مقابل 6 جزيئات من غاز CO2 التي تدخل إلى هذه التفاعلات.



مصير السكريات الناتجة عن البناء الضوئي

الكائنات ذاتية التغذية	الكائنات غير ذاتية التغذية
تحتاج إلى الطاقة للقيام بوظائفها الحيوية مثل النمو والتكاثر	تحتاج إلى الطاقة للقيام بوظائفها الحيوية مثل النمو والتكاثر
تُحوّل طاقة الجلوكوز إلى طاقة تخزن في ATP وتستخدم هذه الطاقة لأداء جميع الوظائف الحيوية	تُحوّل طاقة الجلوكوز إلى طاقة تخزن في ATP. وتستخدم هذه الطاقة لأداء جميع الوظائف الحيوية

مصير السكريات (جلوكوز) الناتجة عن البناء الضوئي في الكائنات ذاتية التغذية

السكريات (الجلوكوز) تنتج من خلال عملية البناء الضوئي في الأوراق وتنقل السكريات (جلوكوز) على شكل سكروز وجزيئات عالية الطاقة من الأوراق إلى الخلايا الأخرى في النباتات ومصيره كما يلي :

♥ **أولاً :** يستهلك جزء من السكريات (الجلوكوز) بواسطة النباتات الكبيرة لتوفير الطاقة لجميع خلاياها

♥ **ثانياً :** تستخدم النباتات بعضاً من الجلوكوز للنمو. حيث تربط النباتات العديد من جزيئات الجلوكوز في

سلاسل طويلة لتكون جزيئات تركيبية مثل السيليلوز

♥ **ثالثاً :** بعض النباتات تخزن الجلوكوز الزائد عن الحاجة في صورة نشويات من سلاسل من جزيئات الجلوكوز

السيليلوز : هو جزيئات تركيبية تنتج عن طريق ربط العديد من جزيئات الجلوكوز في سلاسل طويلة ويكسب التراكيب النباتية القوة والصلابة ويُعدّ أكثر المواد وفرة تُنتجها النباتات الحية

النشويات	السيليلوز	التركيب
سلاسل من جزيئات الجلوكوز ، ولكنها ترتبط بعضها ببعض بطريقة مختلفة عن ارتباطها في جزيئات السيليلوز	جزيئات تركيبية تنتج عن طريق ربط العديد من جزيئات الجلوكوز في سلاسل طويلة	

ملحوظة هامة

* القليل من الكائنات الحية فقط يمكنها استخدام السيليلوز كمصدر للطاقة .

* **البكتيريا** التي تعيش في القنوات الهضمية للأبقار تُعتبر مثلاً للكائنات التي تستطيع استخدام السيليلوز كمصدر للطاقة

مصير (جلوكون) الناتج عن هضم النشويات في الكائنات غير ذاتية التغذية

الكائنات غير ذاتية التغذية تستهلك النباتات والكائنات ذاتية التغذية الأخرى لكي تحصل على النشويات . ثم تهضم النشويات إلى جلوكون ، وتستخدم الطاقة المخزنة فيه من أجل احتياجاتها من الطاقة ولتكوين التراكيب المختلفة في أجسامها . وأي جزيئات جلوكون عالية الطاقة لا تُستخدم يُمكن أن تُخزن مرة ثانية كجليكوجين

الكائنات ذاتية التغذية	الكائنات غير ذاتية التغذية	
تخزن في صورة نشويات	تُخزن على شكل جليكوجين	تخزين جزيئات الجلوكوز عالية الطاقة

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

عدد العوامل الأساسية المؤثرة في عملية البناء الضوئي :

- ♡ طاقة الشمس
- ♡ ثاني أكسيد الكربون
- ♡ الماء ،
- ♡ الكلوروفيل

أولاً : الضوء

تحدث عملية البناء الضوئي في مرحلتين :

أولاً : المرحلة الأولى : . تبدأ بمرحلة امتصاص الضوء التي تحدث فقط عندما تتعرض النبتة لضوء الشمس أو الضوء الصناعي يعمل الكلوروفيل والأصباغ الأخرى . على امتصاص طاقة الضوء وتحويلها إلى طاقة كيميائية وينتج غاز الأكسجين

ثانياً : المرحلة الثانية : التي تُسمى دورة كالفن فلا تستلزم وجود الضوء لكي تتم . فهي تستخدم الطاقة المخزنة وبعض المواد المتكونة خلال التفاعلات المعتمدة على الضوء لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى سكر بسيط مثل الجلوكوز

علل : الكلوروفيل يعمل كقرون استشعار ضوئية ؟

لأنها تمتص الضوء وتحول طاقة الضوء إلى طاقة كيميائية

عملية البناء الضوئي	التنفس	
هو العملية التي تستخدم فيها الكائنات ذاتية التغذية (التي تحتوي على الكلوروفيل) طاقة ضوء الشمس لإنتاج غاز الأكسجين وبناء الكربوهيدرات (السكريات) من المواد غير العضوية البسيطة، مثل ثاني أكسيد الكربون والماء	عبارة عن تكسير الجزيئات مثل الجلوكوز إلى جزيئات أبسط مثل CO_2 والماء بالإضافة إلى انطلاق الطاقة	
الماء وثاني أكسيد الكربون وضوء الشمس	الجلوكوز والأكسجين	المواد المستخدمة
الجلوكوز والأكسجين	الماء وثاني أكسيد الكربون والطاقة	المواد الناتجة

ملحوظة :

تُعتبر نواتج التنفس الخلوي في النباتات هي نفسها النواتج عند الحيوانات ، وهي ثاني أكسيد الكربون والماء

تعتمد الكمية الصافية من السكر المتكوّنة بواسطة

النباتات على عدة عوامل تتضمن :

♥ معدل التنفس الخلوي في النباتات

♥ كمية الضوء المتاحة

نقطة التعويض : عبارة عن كمية الطاقة الضوئية المقتنصة أثناء عملية البناء الضوئي اللازمة لبقاء النباتات على قيد الحياة (أي أنها كمية الطاقة الضوئية التي تحتاج إليها النباتات لتوازن متطلباتها من الطاقة)

ماذا يحدث :

♥ إذا كانت كمية السكر التي تُنتجها عملية البناء الضوئي متوازنة تماماً مع كمية السكر التي تستخدمها النباتات لكي تبقى حية ؟

فلن تكون هناك طاقة مكتسبة أو مفقودة .

♥ إذا كان السكر الذي تُنتجه النباتات أكثر من الذي تستخدمه ، ؟

فتكون قد اكتسبت طاقة . ويمكن للنباتات أن تخزن الطاقة الزائدة عن حاجتها أو تستخدمها للنمو .

♥ إذا استخدمت النباتات كمية من السكر أكثر من تلك التي تُنتجها ؟

فتكون قد فقدت طاقة

تختلف كمية ضوء الشمس التي تحتاج إليها نباتات معينة لتصل إلى نقطة التعويض

البلاط والعنب	قصب السكر والحشائش المدارية	كمية ضوء الشمس التي تحتاج إليها
تحتاج إلى كمية معتدلة فقط من ضوء الشمس ، كما يمكنها أن تنمو في الظل	تحتاج كميات كبيرة من ضوء الشمس لينمو بصورة أفضل	

علل : تُلَقَّب بعض نباتات الحدائق بنباتات الظل ؟

لأن يمكنها أن تنمو في الظل

ينمو العديد من نباتات الظل في الغابات أسفل الأشجار الكبيرة ، جنباً إلى جنب مع الأشجار الصغيرة

علل : تنمو نباتات الظل والأشجار الصغيرة التي تنمو أسفل الأشجار الكبيرة ببطء نسبياً ؟

ج : لأن الضوء يكون نادراً

ماذا يحدث : تنمو نباتات الظل والأشجار الصغيرة التي تنمو أسفل الأشجار الكبيرة (المسنة) عندما تسقط الأشجار المسنة أو يتم قطعها ؟ تنمو نباتات الظل الصغيرة بسرعة أكبر لتصل إلى أقصى طولها وسمكها . وقد تبدأ الأشجار الصغيرة أيضاً بالنمو لتصل إلى حجمها الكامل المحتمل بفضل الضوء الوافر الذي يصل لأرضية الغابة ، بعد سقوط الأشجار المسنة أو قطعها

ثانياً : الماء

الماء هو المركب الأساسي لعملية البناء الضوئي . فتنحاجه النباتات لتُكْمِل المرحلة الأولى من البناء الضوئي ، وهي التفاعلات المعتمدة على الضوء

تجارب فان هلمونت

خطوات التجربة :

♥ زرع فان هلمونت شجرة صفصاف وزنها 2 كيلوجرام في منتصف برميل يحتوي على 90 كيلوجراماً من التربة

♥ قام فان هلمونت برّي الشجرة لمدة خمس سنوات بماء المطر ، ثم وزن الشجرة ووزن التربة بعد أن جفّت

الملاحظة :

وزن الشجرة زاد 75 كيلوجراماً ، في حين لم ينقص وزن التربة سوى 55 جراماً فقط (تذكر أن الألف جرام تُكوّن كيلوجراماً واحداً) . لذلك يُعَدّ النقص في وزن التربة ضئيلاً للغاية

الاستنتاج :

فان هلمونت استنتج أن نمو الشجرة يرجع غالباً إلى الماء الذي كان قد أُضيف إلى التربة



هلمونت لم يكن على درجة كبيرة من الصواب في استنتاجه فسر ذلك ؟

* **أولاً :** أهمل هلمونت الأخذ في اعتباره أن مادة في الهواء هي ثاني أكسيد الكربون قد تكون أثرت أيضاً على وزن النبتة .

* **ثانياً :** لم يوضح هلمونت أن التربة قد أسهمت بدرجة كبيرة بالمادة الجديدة المتكونة في النبتة النامية .

* **ثالثاً :** وضح العلماء أن حوالي 90% من الماء الذي تمتصه النباتات يُفقد بالتبخر ، ولا يُستخدم في عملية البناء الضوئي . وبالتالي ، فمعظم الماء الذي امتصه النبات لا يُضاف إلى كتلة النبتة

ملحوظة

تجارب فان هلمونت ساعدت العلماء على فهم دور الماء في عملية البناء الضوئي

وعلى وجه العموم ، يؤثر مدى توافر الماء في عملية البناء الضوئي بطريقتين :

الأولى : تستلزم وجود الماء كمادة خام للتفاعلات الضوئية ،

الثانية : لا بدّ فيها من توافر الماء بدرجة كافية لحفظ الخليتين الحارستين مملوءتين لكي تبقى ثغور

الورقة مفتوحة . فعندما تنغلق الثغور ، لا يمكن لثاني أكسيد الكربون دخول الأوراق

ثالثاً : ثاني أكسيد الكربون

يعتبر ثاني أكسيد الكربون العامل الثالث المؤثر في عملية البناء الضوئي ، ويُستخدم لصنع السكريات البسيطة أثناء دورة كالفن

تجارب العالم الفرنسي جان سنبير

الهدف من التجربة :

معرفة ان الأوراق تستخدم ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي

خطوات التجربة :

♥ وُضعت أوراق نباتية في محلول بيكربونات (ماء يحتوي ثاني أكسيد الكربون) وعندما

عُرِضت الأوراق لضوء الشمس أنتجت ما أسماه سنبير الهواء النقي « قد لاحظ الأكسجين 02

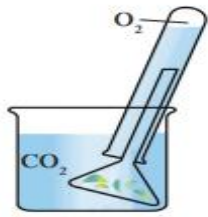
♥ من جهة أخرى عندما وضع الأوراق في ماء خالٍ من ثاني أكسيد الكربون وعُرِض تلك

الأوراق لضوء الشمس ، لم تُنتج الأكسجين .

الاستنتاج :

استنتج سنبير أن الأوراق تستخدم ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي التي تتطلب

أيضاً وجود الماء والضوء



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



(ب) غياب CO_2 في الماء
لم تُنتج الأوراق الأكسجين (O_2)
عندما عُرِضت لضوء الشمس .