الفصل الثالث : البناء الضوئى
Photosynthesis

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى الغذاء ، حيث أنه يمثل مصدرا للمواد الخام الضرورية لبناء الخلايا والأنسجة الجديدة أثناء النمو ، وكذلك يمثل الغذاء مصدرا للطاقة ، ويعتبر الغذاء نوعا من الوقود الضرورى لقيادة العمليات الحيوية الأساسية .

والنبات يحصل على المواد الخام الضرورية من التربة والبيئة ، حيث يحصل من الهواء على ثانى أكسيد الكربون ، ومن التربة على الماء والأملاح المعدنية ، ويحصل على الطاقة الضوئية ، ومن هذه المواد الخام يبنى الغذاء الكربوهيدراتى ممثلاً فى سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ ويعتبر ثانى أكسيد الكربون هو مصدر الكربون والأكسجين فى جزىء الجلوكوز ، والماء H_2O مصدر الهيدروجين فى نفس الجزىء ، ويعتبر الجلوكوز هو المادة الغذائية الأساسية التى تتكون فى عملية البناء الضوئى ، ويمكن أن يتحول جزء منها إلى البروتين بتأثير عنصر النيتروجين . والكبريت الذى يحصل عليه النبات من التربة ويتحول جزء من الجلوكوز إلى مركبات كربوهيدراتية أكثر تعقيدا ومنها النشا والسليلوز ، ويتحول جزء ثالث من الجلوكوز إلى مواد دهنيه . وعملية تحول المركبات البسيطة إلى مركبات أكثر تعقيداً تسمى عملية تخليق Synthesis ، وتحتاج إلى الإنزيمات والطاقة حتى تتم . والإنزيمات توجد فى سيتوبلازم الخلية ، والطاقة تأتى من ضوء الشمس ، ويلعب الكلوروفيل فى أوراق النبات الخضراء دورا مهما فى امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية لاستكمال تفاعل البناء الضوئى ، ويمكن إيجاز المعادلة الكيميائية للبناء الضوئى فيما يلى :

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{\text{ضوء الشمس}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

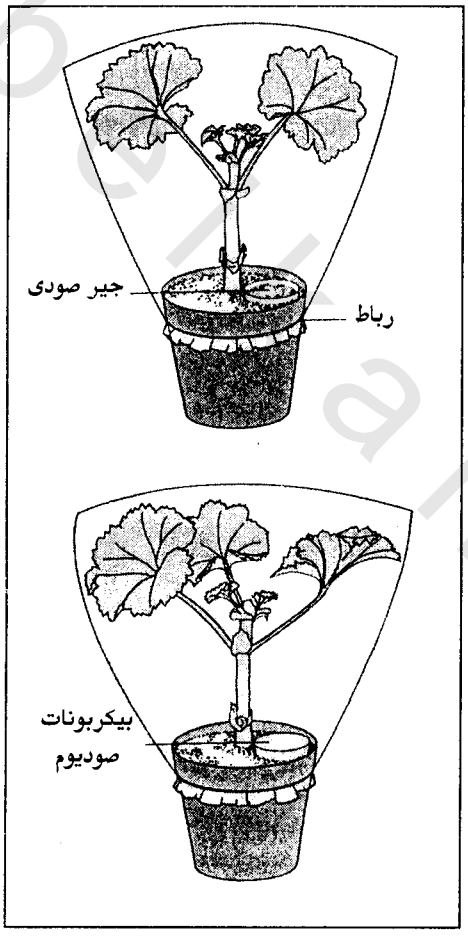
أكسجين + جلوكوز $\xleftarrow{\text{ضوء الشمس}}$ ماء + ثانى أكسيد كربون

وحتى تتم عملية البناء الضوئى لابد من توافر أربعة شروط وهى :
الضوء وثانى أكسيد الكربون والكلوروفيل والماء .

Open Kandil.com

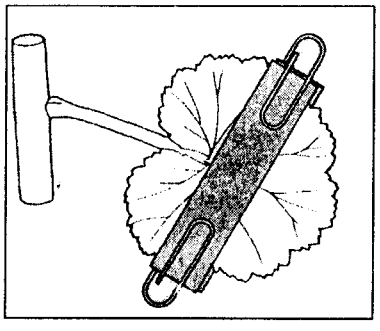
ويمكن إثبات أهمية كل شرط من هذه الشروط عمليا ، وذلك من خلال تجربة مقارنة بين نباتين أحدهما تتوافر له الشروط الأربعة والآخر ينقصه أحد الشروط ويتم الاستدلال على قيام النبات بعملية البناء الضوئى بالكشف عن النشا فى الورقة باللون الأزرق ، وقبل بداية التجربة نجعل النبات ناميا فى الظلام لفترة حتى يستهلك ما به من نشا ، ثم نجرى التجارب على النحو التالى :

* أهمية وجود ثانى أكسيد الكربون :



النبات النامى فى الأصيص يقوم بالبناء الضوئى ، ويستهلك ثانى أكسيد الكربون من الجو فإذا أحيط النبات بغطاء شفاف محكم من حوله ووضع داخل الأصيص وعاء به كمية من الجير الصودى الذى يمتص ثانى أكسيد الكربون وعرضت هذه التجربة للضوء ، وتم الكشف عن النشا فى الأوراق الخضراء ، نجد أن النبات عجز عن القيام بالبناء الضوئى لعدم وجود ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط به داخل غطاء البلاستيك ، وإذا أجريت نفس التجربة باستخدام وعاء به بيكربونات الصوديوم بدلا من الجير الصودى (تعتبر بيكربونات الصوديوم مصدرا لثانى أكسيد الكربون داخل الغطاء الشفاف) ، نجد أن النبات يقوم بالبناء الضوئى .

* أهمية وجود الضوء :



عند تغطية أى جزء من ورقة النبات الخضراء وهى فى مكانها على النبات وترك النبات معرضا للضوء (عدا المنطقة المغطاة) ، فإن إجراء تجربة الكشف عن النشا فى هذه الورقة

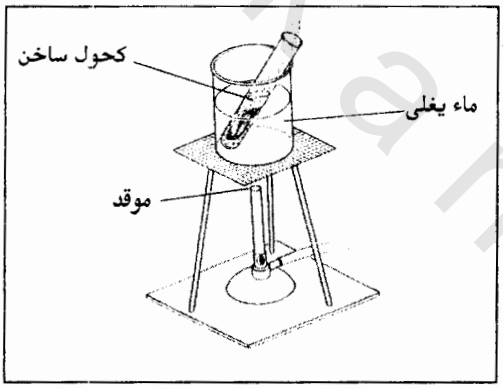
سيسفر عن تكون النشا فى الورقة ماعدا المنطقة المغطاة مما يثبت أهمية الضوء فى عملية البناء الضوئى .

* أهمية وجود الكلوروفيل :

بعض النباتات ذات أوراق خضراء حوافها خالية من الكلوروفيل مثل نبات الدورنتا المزركشة ، وبالكشف عن تكون النشا فى هذه الأوراق ، نجد أنه يتكون فى المناطق الخضراء ولا يتكون فى المناطق الخالية من الكلوروفيل .

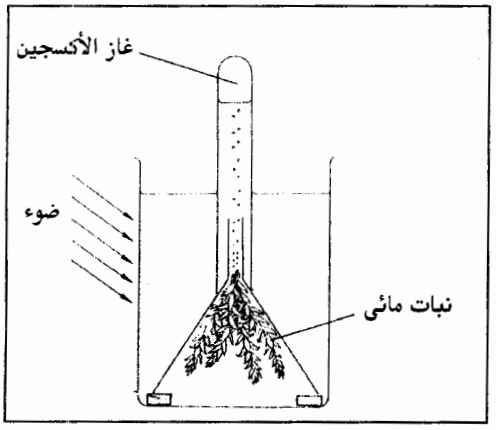
ثم نأتى إلى التأكد من نتيجة عملية البناء الضوئى :

*** البناء الضوئى ينتج عنه تكون النشا فى الأوراق :**



نزع الأوراق النباتية التى عرضت للضوء ووضعها فى أنبوبة بها كحول والأنبوبة فى حمام مائى والتسخين حتى يتم قتل المادة الحية فى الورقة بتأثير الحرارة وإذابة الكلوروفيل بتأثير الكحول الساخن ـ ثم ترفع الورقة ويوضع عليها قطرات من محلول اليود فتتكون مناطق زرقاء دليل وجود النشا .

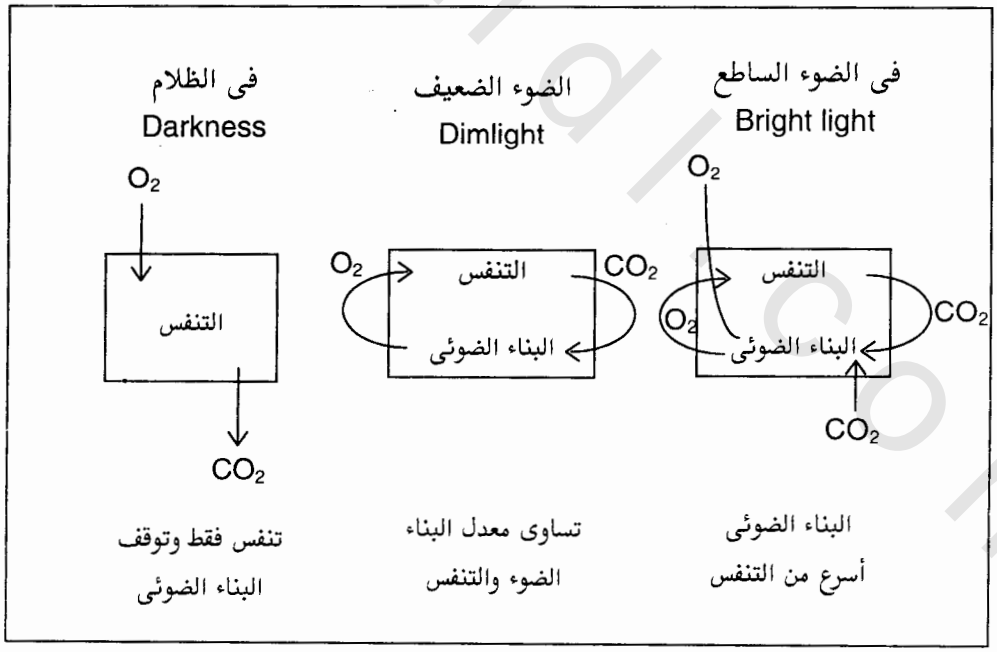
* البناء الضوئى ينتج عنه غاز الأكسجين :



نبات الألوديا المائى الأخضر تحت القمع فى التجربة الموضحة يستمد ثانى أكسيد الكربون من الماء المحتوى على بيكربونات الصوديوم ، ويمتص الضوء ويقوم بالبناء الضوئى ويطلق غاز الأكسجين فى صورة فقاعات تتجمع فى أعلى الأنبوبة .

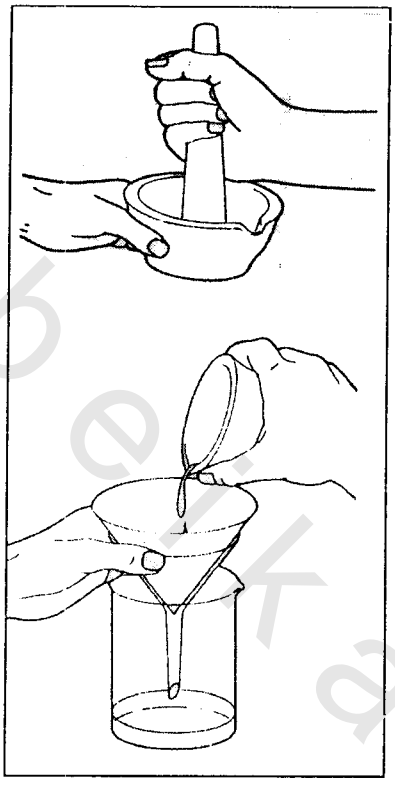
* التبادل الغازى فى النباتات Gaseous exchange in plants :

يحتوى الهواء على غازات النيتروجين والأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، والنباتات والحيوانات تحصل على هذه الغازات وتطردها ويسمى ذلك بالتبادل الغازى .. فى ضوء النهار تحدث عملية البناء الضوئى فى الأوراق الخضراء ، ويحصل النبات على ثانى أكسيد الكربون ، ويطرد الأكسجين (وهذه العملية هى عكس ما يحدث فى عملية التنفس) ، ولذلك يجب ألاّ نعتقد أن النبات لا يتنفس أثناء البناء الضوئى .. فعملية التنفس عملية مستمرة نهارا وليلا يحصل فيها النبات على الأكسجين ويطرد ثانى أكسيد الكربون ، ولذلك يستخدم النبات فى ضوء النهار كل ثانى أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس فى البناء الضوئى ، وكذلك كل ما يحتاج النبات من أكسجين فى عملية التنفس ، ويحصل عليه من الأكسجين الناتج من البناء الضوئى والزائد من الأكسجين ينطلق فى الهواء وفى الليل تستمر عملية التنفس ، بينما تتوقف عملية البناء الضوئى .



openkandil.com

* الكلوروفيل Chlorophyll :

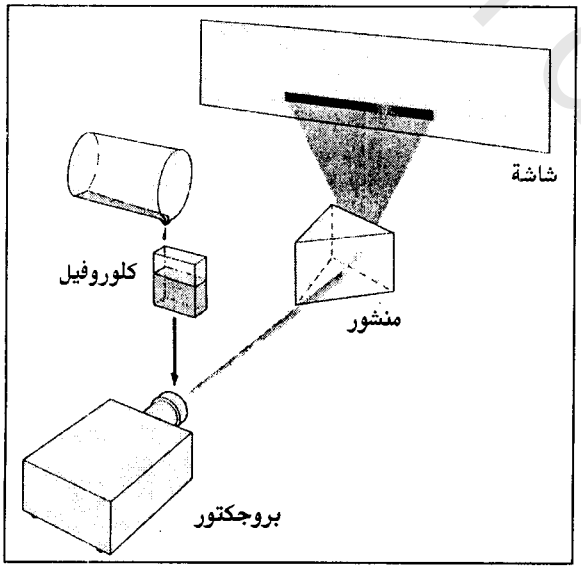


مركب عضوى مُعقد يحتوى على الماغنسيوم وهو مادة خضراء اللون يعرف بالصبغ الأخضر ، ويمثل جزيئه أعجوبة فى عملية البناء الضوئى .

ويمكن استخراج الكلوروفيل من ورقة النبات وعمل محلول له .

- اقطع بعض أوراق النبات الخضراء ومزقها إلى قطع صغيرة .
- اسحق الأوراق فى هاون مع كمية قليلة من الرمل (احتكاك الرمل يساعد على السحق)
- أذب المسحوق فى كحول إيثيلى أو أسيتون ثم رشح المحلول فى كأس .
- أضف قليلا من الماء إلى المحلول حتى يقل تركيزه .

* أثر الكلوروفيل على الضوء :



الضوء الأبيض وهو ضوء الشمس يتكون من ألوان الطيف ذات الطول الموجى المختلف ، والتى نشاهدها فى قوس قزح ، أو عند مرور الضوء فى المنشور الضوئى - وعندما يمر الضوء فى الكلوروفيل ثم يمر فى المنشور ، تختفى بعض ألوان الطيف وهى الأزرق والأحمر ، واختفاء اللونين يرجع إلى امتصاص الكلوروفيل لهما والألوان الأخرى خاصة الأخضر تنعكس ويفسر ذلك لنا رؤيتنا لأوراق النبات باللون الأخضر .

obeikandl.com

* الألوان المستخدمة فى البناء الضوئى :

يمتص الكلوروفيل الضوء الأزرق والأحمر مما يدل على استخدامهما فى عملية البناء الضوئى ، ويمكن التأكد من ذلك بقياس حجم الأكسجين الناتج فى وقت محدد أو كمية النشا المتكونة عندما يقوم النبات بالبناء الضوئى تحت تأثير كل لون من ألوان الطيف على حدة ، وهذه التجربة أوضحت أن أفضل ألوان الطيف هى الأزرق والأحمر وأن النبات الذى نمنع عنه هذين اللونين لا يقوم بالبناء الضوئى .

* أصباغ أخرى :

بجانب الكلوروفيل توجد أصباغ أخرى فى أوراق النبات ويمكن فصل هذه الأصباغ بعملية الفصل الكروماتوجرافى Chromatography ، فإلى جانب الكلوروفيل هناك الأصباغ الصفراء والرمادية .

وفصل هذه الأصباغ يسهل معرفة تأثير كل منها فى البناء الضوئى وقد ثبت أن كل الأصباغ لها دور فى البناء الضوئى ، ولكن الدور الرئيسى للكلوروفيل فى الطحالب البنية التى تحتوى على الصبغ البنى المسمى فيكوزانثين Fucoxanthin ، إلى جانب الكلوروفيل ، وكذلك الطحالب الحمراء إلا أن النباتات التى تحتوى على صبغ الأنثوسيانين anthocyanin القرنفلية التى تعطى الأزهار والثمار ألوانها ، ليس لها دور فى البناء الضوئى .

البلاستيدات الخضراء Chloroplast :

تحتوى خلايا أوراق النبات على أجسام خضراء صغيرة تسمى البلاستيدات تنتشر فى السيتوبلازم كل منها يمتلئ بالكلوروفيل ، وفى هذه الأجسام تتم عملية البناء الضوئى ويتكون النشا.

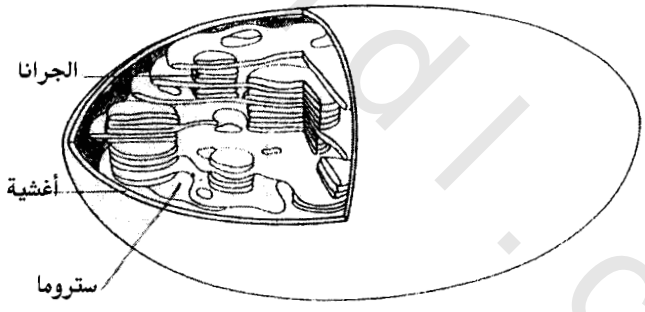
والبلاستيدات أجسام متناهية فى الصغر لدرجة أن النقطة التى يسجلها القلم تمثل تجمعا لحوالى ١٠٠٠٠ بلاستيدة ، ولذلك لا ترى إلا تحت المجهر الضوئى كما أن تركيبها الدقيق لا يرى إلا بواسطة المجهر الإلكترونى .

وتظهر البلاستيدة تحت المجهر الإلكترونى حيث يتم تكبيرها ٣٠,٠٠٠ مرة وتظهر محاطة بغشاء رقيق وتحتوى على مادة حبيبية تسمى الستروما تملأ الجسم البيضى للبلاستيدة ، وتحتوى المادة الحبيبية على تراكيب تسمى الجرانا Grana ،

وكل منها عبارة عن مجموعة من الأرفف الحاملة لجزيئات الكلوروفيل ، وتتصل حبيبات الجرانا بعضها ببعض بأغشية تسمى الصفائح تربط بينها .

تجمع البلاستيدات كما تظهر بالمجهر الضوئى فى ورقة نبات حزازى

البلاستيدة الخضراء كما تظهر بالمجهر الإلكترونى مكبره (٣٠,٠٠٠ مرة)



مخطط يوضح تركيب البلاستيدة الخضراء

ويحدث التفاعل الضوئى فى الجرانا بتأثير الكلوروفيل الذى يمتص الضوء ويحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تشطر عنصرى الماء إلى أكسجين يتصاعد وهيدروجين يتجه إلى السترومـا ، حيث يتم التفاعل اللاضوئى وفيه يختزل ثانى أكسيد الكربون بواسطة الهيدروجين ويشترك فى هذا العمل مجموعة من الإنزيمات وينتهى الأمر بتكوين جزئ السكر .

ثانى أكسيد الكربون والبناء الضوئى
Carbon dioxide and photosynthesis

* **ماذا يحدث للكربون فى ثانى أكسيد الكربون ؟**

أجرى بعض العلماء تجارب بواسطة ثانى أكسيد الكربون يحتوى على كربون مشع ، (بإحلال الكربون المشع محل الكربون العادى) ، وأجريت التجربة على طحلب الكلوريللا الذى تم إمداده بثانى أكسيد الكربون ذى الكربون المشع فى تجربتين إحدهما فى قارورة شفافة منفذة للضوء ، والأخرى فى قارورة معتمة حاجبة للضوء ، ثم عرض الطحلب فى التجربتين للضوء لمدة ١٠ دقائق ، وتم سحب طحلب الكلوريللا من كل قارورة ، وتم الكشف بواسطة عداد جيجر عن المادة المشعة .

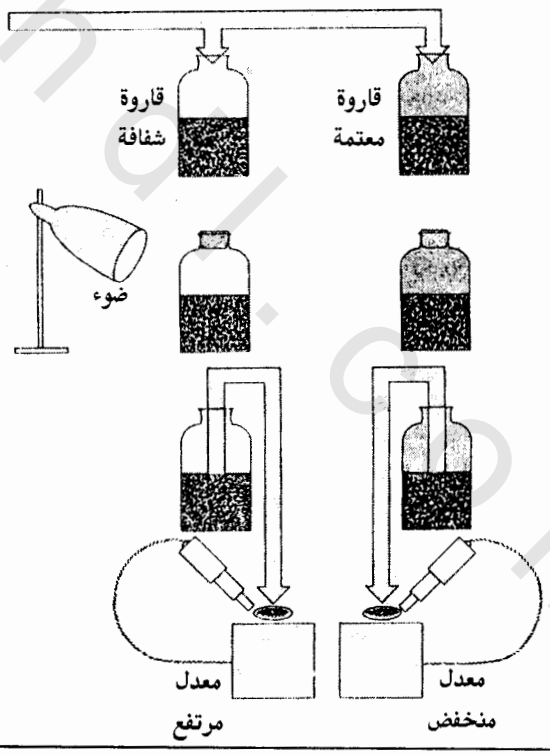
واتضح أنه فى الضوء قام النبات بسحب الكربون المشع من ثانى أكسيد الكربون ، وتم استخراج المركبات الكيميائية المتكونة فى الطحلب ، وباختبارها وجد أن الكربون المشع داخل تكوين السكر (الكربوهيدرات) التى صنعها النبات .

طحلب الكلوريللا داخل كل قارورة ، ويتم وضع محلول بيكربونات مشع فى القارورة كمصدر للكربون المشع ، ومحلول البيكربونات يمد النبات بمصدر لثانى أكسيد الكربون به كربون مشع .

تعرض كل قارورة للضوء ١٠ دقائق .

سحب الطحلب من كل قاورة .

الكشف عن المادة المشعة باستخدام عداد جيجر



• عنصر الكربون له نظيران أحدهما عدد كتلته ١٢ والآخر عدد كتلته ١٤ وله نشاط إشعاعى يمكن الكشف عنه باستخدام عداد جيجر .

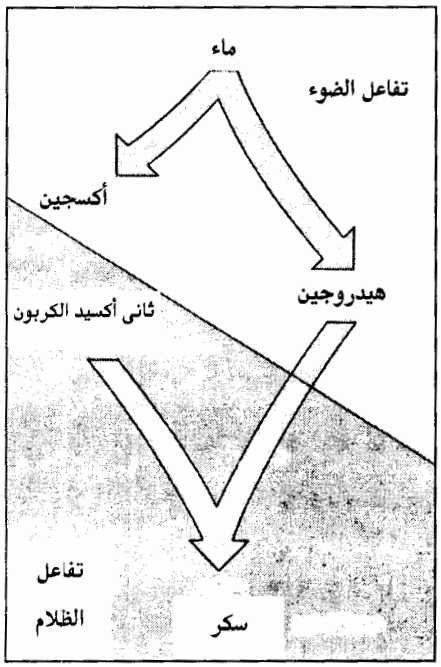
• طحلب الكلوريللا Chlorella ، طحلب وحيد الخلية يقوم بالبناء الضوئى ، ويسهل تربيته فى المعمل .

* ماذا يحدث للأكسجين فى ثانى أكسيد الكربون ؟

تم استخدام نظير مشع للأكسجين يدخل فى تركيب ثانى أكسيد الكربون لتتبع مسار الأكسجين ، ووجد أن الأكسجين المشع داخل فى تركيب الكربوهيدرات التى يصنعها النبات .

وبذلك يمكن اعتبار ثانى أكسيد الكربون كمركب يتحول فى عملية البناء الضوئى إلى الكربوهيدرات .. ولكن يتم ذلك عن طريق هيدروجين الماء ..

وقد أثبتت التجارب التى أجريت باستخدام نظير الأكسجين المشع ، وإحلاله محل أكسجين الماء أن الماء الذى يحتوى على أكسجين مشع ويشترك فى عملية البناء الضوئى ، ينتج أكسجين مشعًا وأن مصدر الأكسجين فى البناء الضوئى من الماء وليس من ثانى أكسيد الكربون ، وقد أكدت على هذه النتائج التجارب التى أجريت باستخدام النظائر المشعة .



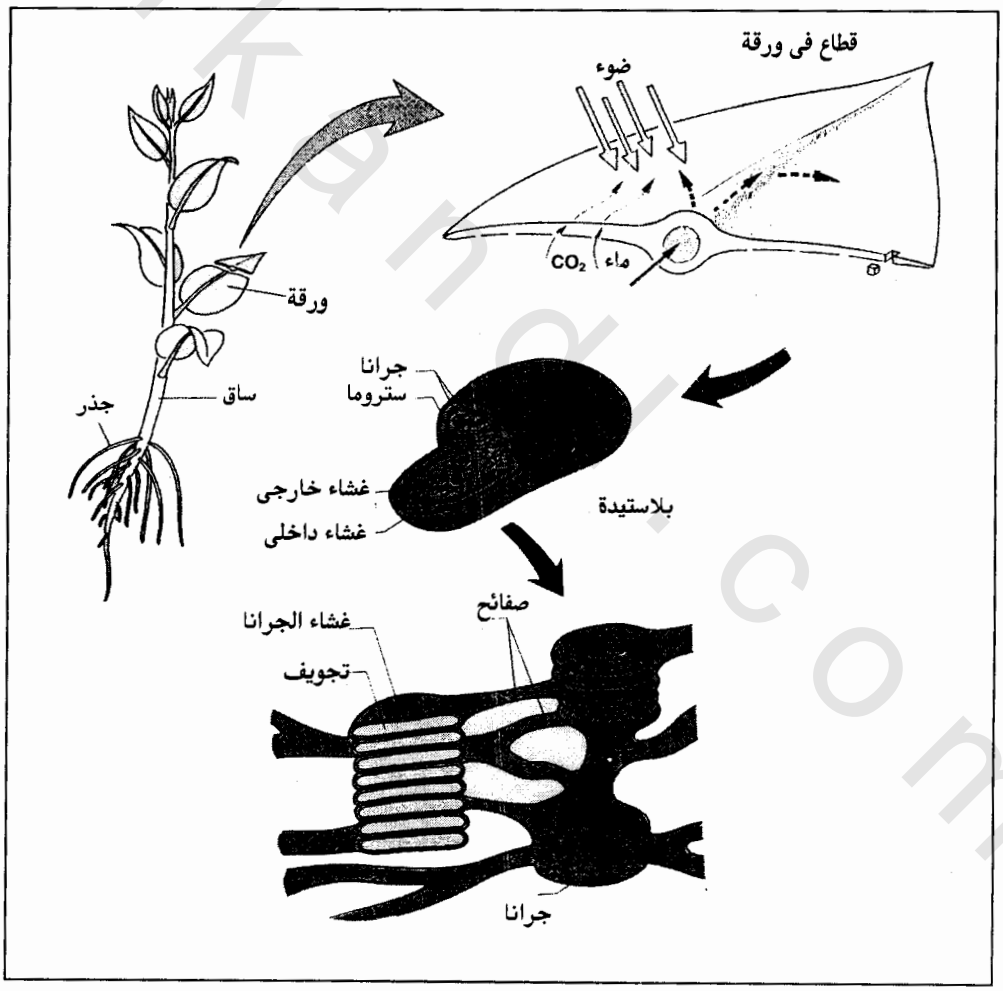
وبالتإلى أصبح التصور لما يحدث فى البناء الضوئى هو :

تفاعل الضوء : ينشطر فيه الماء إلى أكسجين وهيدروجين .

تفاعل الظلام : اختزال ثانى أكسيد الكربون بهيدروجين الماء .

* عملية البناء الضوئى The process of photosynthesis :

تحدث عملية البناء الضوئى فى خلايا الورقة ، وتحصل الورقة على ثانى أكسيد الكربون من الجو من خلال ثغور الورقة ويتحد ثانى أكسيد الكربون مع الماء فى وجود الطاقة الضوئية التى تمتصها صبغة الكلوروفيل الموجودة فى البلاستيدات الخضراء ، وتبدأ عملية البناء الضوئى بالتفاعل الضوئى Light reaction ، الذى يحدث داخل البلاستيدات فى مناطق الجرانا Grana حيث ينشطر الماء إلى عنصريه ويهرب الأكسجين منطلقا إلى خارج الورقة بينما يعمل الهيدروجين داخل البلاستيدات فى منطقة الحشوة stroma على اختزال ثانى أكسيد الكربون فيما يعرف بتفاعل الظلام dark reaction .



obeikandi.com

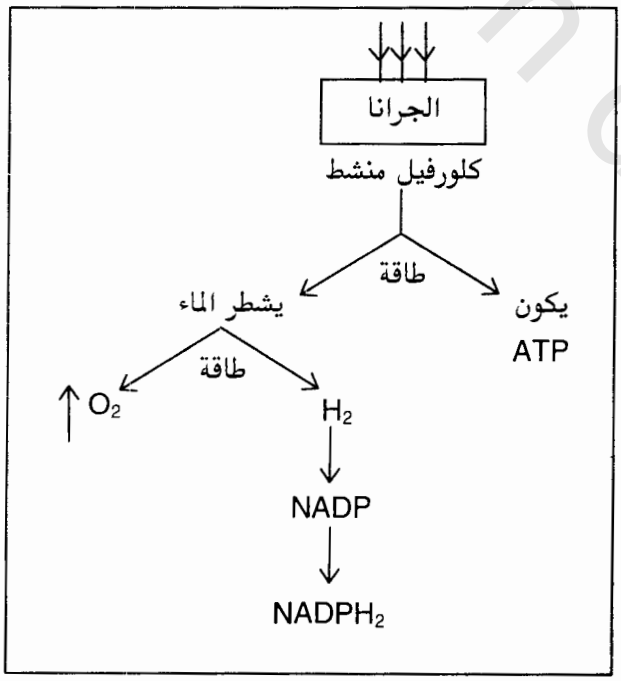
* التفاعل الضوئى والتفاعل اللاضوئى Light reaction and Dark reaction :

عملية البناء الضوئى تشمل مجموعة من التفاعلات التى تتم فى الضوء مباشرة وتسمى التفاعلات الضوئية ، ويعتبر الضوء هو العامل المحدد لهذه التفاعلات وتشمل كذلك مجموعة تالية من التفاعلات التى تتم فى وجود أو غياب الضوء وتسمى التفاعلات اللاضوئية أو تفاعلات الظلام والعامل المحدد لهذه التفاعلات درجة الحرارة ؛ لأنها تعتمد على نشاط الإنزيمات .

* التفاعل الضوئى Light reaction :

يحدث هذا التفاعل بتأثير الكلوروفيل الموجود فى الجرانا داخل البلاستيدة الخضراء حيث تكتسب إلكترونات ذرات جزئ الكلوروفيل الطاقة وتتحرك إلى مستويات أعلى ، ويختزن الكلوروفيل الطاقة الضوئية فى صورة طاقة وضع كيميائية (كلوروفيل منشط) .

يستخدم جزء من الطاقة الكيميائية فى شطر جزئ الماء إلى هيدروجين وأكسجين ويختزن جزء آخر من الطاقة فى جزىء الطاقة **A . T . P** (يتحد ADP أدينوزين ثنائى الفوسفات مع مجموعة فوسفات وكمية من الطاقة مكونا جزئ A . T . P أدينوزين ثلاثى الفوسفات)



ثم يتحد الهيدروجين مع مساعد إنزيم يوجد فى البلاستيدة ويسمى فوسفات اميد النيكوتين ثنائى النيوكليوتيد ، ويرمز له بالرمز . N . A . D . P ، ويكون مركب $NADP\ H_2$ ، وبذلك لا يهرب الهيدروجين ، وينطلق الأكسجين كناتج فى عملية التفاعل الضوئى .

obeikandl.com

* تفاعلات الظلام Dark reaction :

تحدث فى حشوة البلاستيدة المسماة ستروما ، ويتم فى هذه التفاعلات تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون باتحاده مع الهيدروجين الموجود فى H_2 NADP ، وذلك بمساعدة الطاقة المخزنة فى ATP .

وقد أثبت العالم **ميلفين كالفن** من جامعة كاليفورنيا عام ١٩٤٩ ، عن طبيعة هذه التفاعلات ، وأن المركب الأول الثابت كيميائيًا والناتج عن هذا التفاعل ، يسمى فوسفو جليسر الدهيد PGAL ، وأن هذا المركب هو الأساس الذى يتكون منه الجلوكوز والنشا والبروتونات والدهون ، كما يمكن أن يستعمل كمركب عالى الطاقة فى التنفس الخلوى .

وأوضح كالفن أن تكوين سكر الجلوكوز يتم من خلال عدة تفاعلات وسطية يحفزها إنزيمات خاصة

- وتبدأ التفاعلات باتحاد ثانى أكسيد الكربون مع مركب خماسى الكربون رابيلوز ثنائى الفوسفات RDP ، وهو مركب موجود فى ستروما البلاستيدة

- ويتكون مركب سداسى الكربون غير ثابت سريع الانحلال ، ينحل مكونا جزيئين من حمض الفوسفوجليسريك PGA .

- ثم يتحد PGA مع الهيدروجين من مركب $NADP\ H_2$ فى وجود طاقة عالية ، فيتكون PGAL فوسفو جليسر الدهيد .

- بعض جزيئات PGAL تتحول إلى RDP وتعيد دورة التفاعل اللاضوئى وبعض من PGAL يستعمل كمصدر للطاقة لنشاط الخلية .

وبعض من PGAL يتحول إلى جلوكوز ، وذلك باستبدال مجموعة الفوسفات بذرة الهيدروجين ثم يتحد جزيئان من المركب الناتج ، فيتكون سكر الجلوكوز .

ويمكن تلخيص ما سبق فى التفاعلات الآتية :

$$PGA + NADPH_2 \xrightarrow[\text{طاقة}]{ATP \rightarrow ADP} PGAL + NADP + ADP$$

$$2\ C_3H_5P_3 \sim P + 2\ H \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 2\ P$$

(PGAL)

* مدى ملاءمة المظهر الخارجى للأوراق الخضراء لعملية البناء الضوئى :
Mprphological Leaf's Adaptation For Photosynthesis :

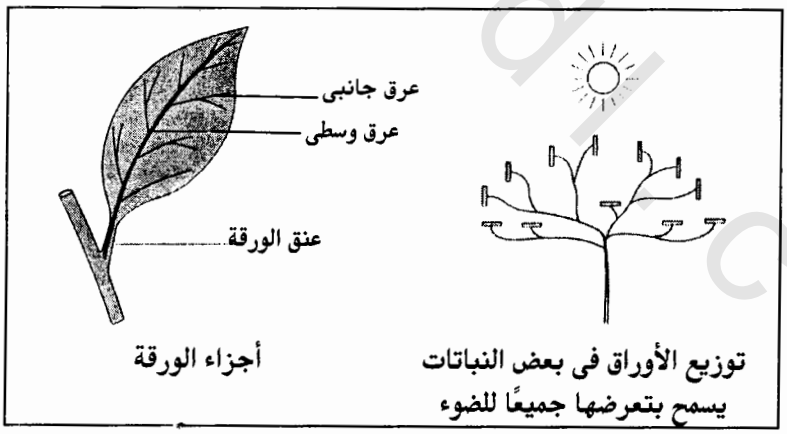
من الشكل الخارجى لأوراق النبات ، ومن ملاحظة ذلك فى النباتات المختلفة ، نجد أن هناك عديدا من أوجه الملائمة لقيام الأوراق الخضراء بعملية البناء الضوئى منها :

• المساحة السطحية الكبيرة للأوراق :

قد تختلف الأوراق من حيث الشكل أو الحجم ، ولكنها على وجه العموم مسطحة قد تكون واسعة السطح أو ضيقة السطح ، والنتيجة أنها تملك مساحة سطحية كبيرة تمكنها من الامتصاص الجيد لثانى أكسيد الكربون ، وأن تتعرض أكبر مساحة منها لضوء الشمس .

• الأوراق مرتبة وموزعة بطريقة مناسبة :

تتوزع الأوراق على ساق النبات بالطريقة التى تتمكن بها من الحصول على أكبر كمية من الضوء ، بينها مسافات تسمح للضوء بالنفاذ إلى المناطق السفلى ، وهذا نلاحظه فى مدى اتساع منطقة الظل تحت الشجرة ، وما كان يحدث ذلك إلا نتيجة التوزيع التبادلى للأوراق ، ونشاهد حواف الأوراق فى قمة النبات تواجه الشمس حتى تسمح للضوء بالوصول إلى الأوراق أسفل منها .



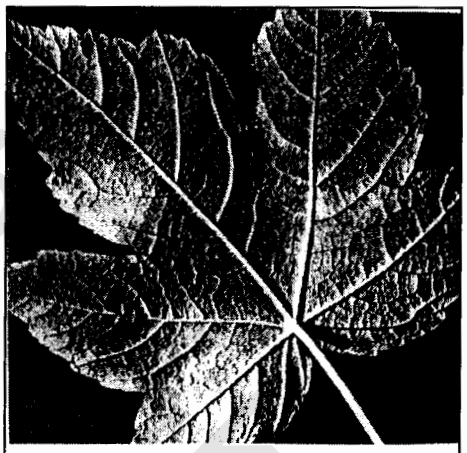
• تحتوى الأوراق على الثغور :

تنتشر الثغور على بشرة الورقة ، وكل منها يؤدى إلى غرفة هوائية ويزداد عددها على السطح السفلى للورقة حتى يقل فقد الماء ، ويسهل تبادل الغازات بين الورقة

والـهواء ، وتتحكم الثغور فى ذلك عن طريق فتح الثغر فى ضـوء النـهار أثنـاء الضـوء وغلق الثغر فى الظلام عندما تتوقف عملية البناء الضوئى .

• الأوراق ذات سمك رقيق :

غالبا لا يتجاوز سمك الورقة ملليمـترا مما يقلل المسافة التى ينتشر خلالها غـاز ثانى أكسيد الكربون ويدعـم هـذا السـمك الرقيق للورقة الأوعية التى تنتشر خلالها وتدعمها وتجعلها غير قابلة للانثناء .

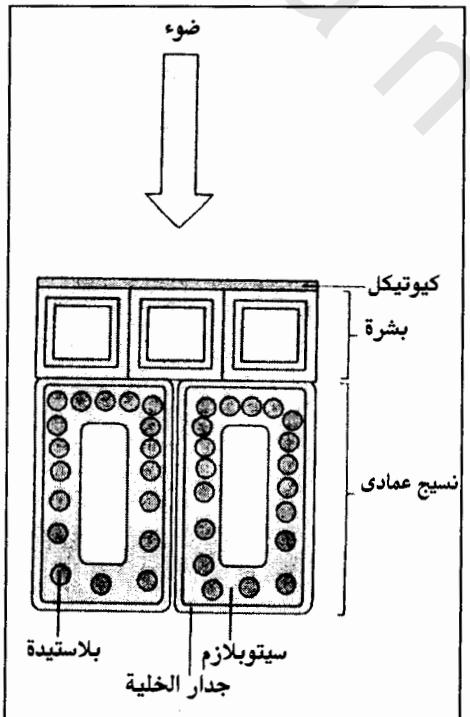


تنتشر الأوعية (العروق) فى نسيج الورقة كهيكل دعامى لها

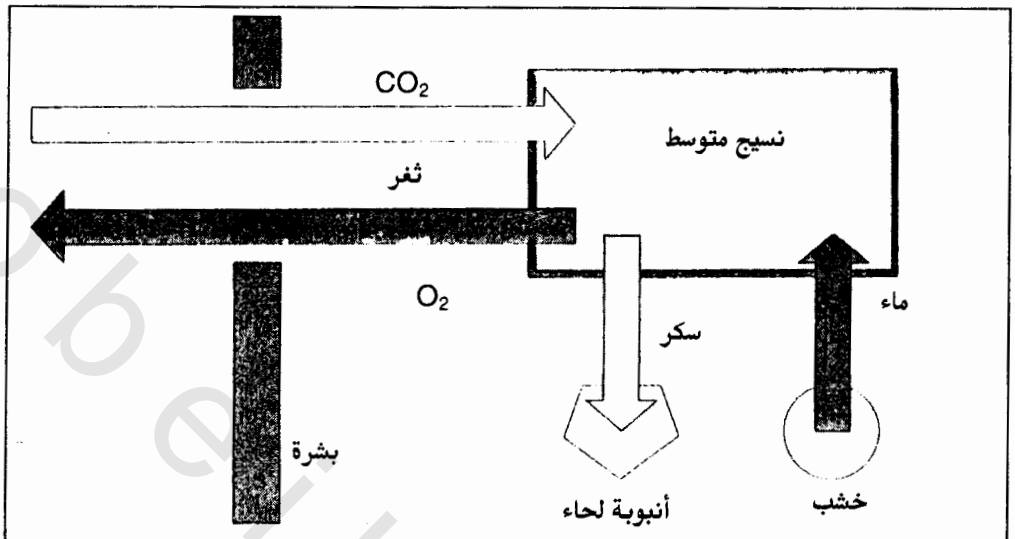
مدى ملائمة التركيب الداخلى للأوراق لعملية البناء الضوئى :
Photosyntheiss and the internal structure of leaves :

• يحدد الورقة من أعلى وأسفل خلايـا البشرة التى تمتد كصف واحد من الخلايـا المتراصة بين خلايا الثغور والخلايا متراصة مما يسهل تجمع الضوء علـى أسطح هـذه الخلايا التى تأخذ أشكالا برميلية (أسطح محدبة) .

• بين البشرتين النسيج المتوسط الغنـى بالبلاستيدات الخضراء وهـى فـى النسـيج العمادى (العلوى) الأكثر تعرضا للضوء أكثر منها فـى النسـيج الإسـفنجى (السـفلى) ، بينمـا الغـرف الـهوائية فـى النسـيج الإسفنجى أكثر منها فى النسيج العمادى .



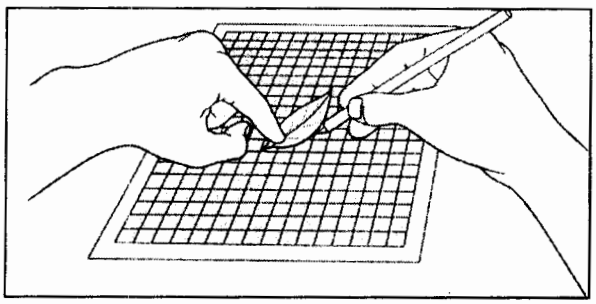
الخلايا السطحية للورقة تبين اتجاه البلاستيدات نحو الضوء فى النسيج العمادى



داخل وخارج النسيج المتوسط للورقة حيث يدخل ثانى أكسيد الكربون والماء والأملاح المعدنية ويخرج الأكسجين والسكر

• يأتى فى وسط الورقة العرق الوسطى الذى يدعم نسيج الورقة ، ويتكون من الخشب الذى يحمل الماء من الجذور إلى الأوراق إلى أنحاء النبات ؛ فالسكر الذى يتكون فى ورقة النبات جزء منه يستغل فى خلايا الورقة فى عملية التنفس لتكوين الطاقة ، وجزء أخر يتحول إلى نشا يتم تخزينه ، وجزء ثالث ينتقل إلى أجزاء النبات .

* تحديد المسطح الأخضر للنبات :



على ورقة بيانية حدد بالقلم حدود ورقة من إحدى النباتات ، ثم سجل مساحة هذه الورقة .

حاول حساب عدد أوراق النبات إن أمكن ذلك أو حسابها بطريقة تقديرية .

المسطح الأخضر = عدد أوراق النبات × مساحة الورقة

قارن بين المساحة الناتجة ومساحة أى موقع عمل ، ستجد أن المسطح الأخضر للنبات يسمح بامتصاص قدر عال من الطاقة الضوئية .

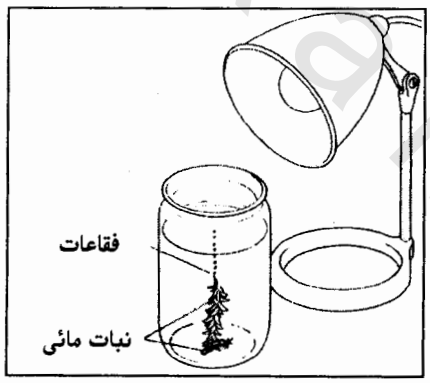
* معدل البناء الضوئى : The rate of photosynthesis :

حدوث البناء الضوئى بسرعة أو ببطء يعتمد على عدة عوامل ، ويقدر بكمية المادة الغذائية المتكونة فى وقت محدد ـ ويهم ذلك الإنسان بالدرجة الأولى ، لأن النبات هو غذاء الحيوان والإنسان .

والعوامل التى تؤثر جزئيا فى معدل البناء الضوئى هى : الضوء ، وثانى أكسيد الكربون ودرجة الحرارة والماء .

* الضوء Light :

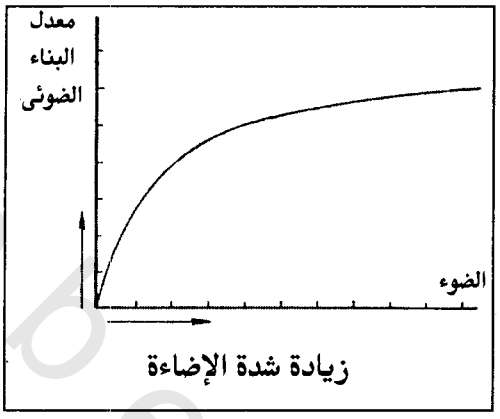
يمكن دراسة ذلك باستخدام تجربة تصاعد الأكسجين من النباتات المائية الخضراء حيث يزداد عدد الفقاعات المتصاعدة حسب شدة الضوء ، ففى ضوء الشمس يكون معدل البناء الضوئى أعلى منه فى اليوم المعتم والنباتات التى تنمو فى الضوء الساطع معدل البناء الضوئى بها أكثر من تلك التى تنمو فى الظل ، وزيادة شدة الضوء لا تعنى زيادة معدل البناء الضوئى إلى آخر مدى لأن هناك نقطة محددة بعدها لا يمكن للبلاستيدات أن تمتص أى كمية ضوء ، أو بمعنى آخر لا يوجد كمية كافية من ثانى أكسيد الكربون فى الجو يمكن أن تتحد مع الهيدروجين الناتج من شطر الضوء للماء .



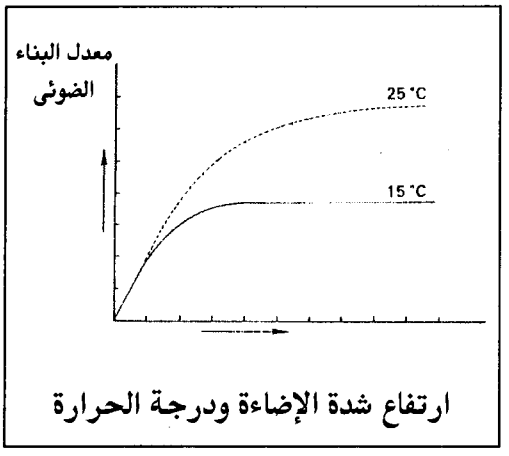
* درجة الحرارة Temperature :

يزداد معدل البناء الضوئى بارتفاع درجة الحرارة ،فهو يتضاعف كل عشر درجات مئوية وارتفاع درجة الحرارة أعلى من ٢٥° م ، يزيد من معدل البناء الضوئى ، وإذا ارتفعت درجة أكثر من ذلك ، يبدأ معدل البناء الضوئى فى التباطؤ حتى يتوقف ؛ لأن الحرارة تدمر الإنزيمات الضرورية للتفاعلات الكيميائية .

obeikandl.com



زيادة شدة الإضاءة

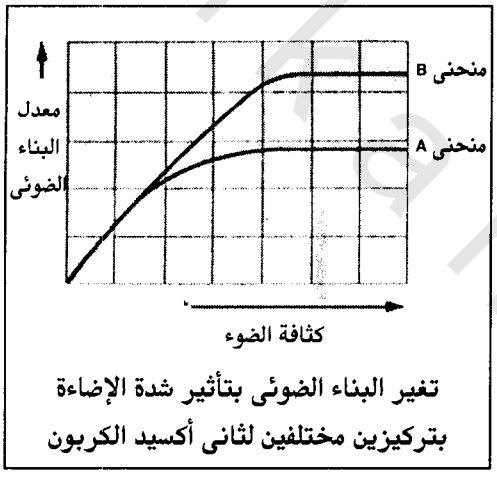


ارتفاع شدة الإضاءة ودرجة الحرارة

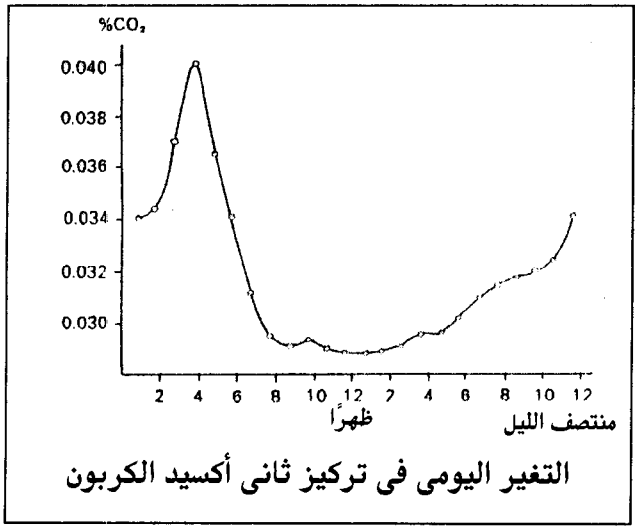
* ثانى أكسيد الكربون Carbon dioxide :

كمية ثانى أكسيد الكربون فى الجو حوالى ٠,٠٣٪ ، ولا تختلف كثيرا مع وجود اختلاف طفيف من مكان إلى آخر ، يؤثر فى معدل البناء الضوئى .

تركيز ثانى أكسيد الكربون قريب من الأرض فى غابة كثيفة أعلى من تركيزه فى حقل مفتوح ، وكمية ثانى أكسيد الكربون الزائدة ، والتى تنطلق من احتراق الوقود ،تزيد من معدل البناء الضوئى إلى حد معين . زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون حتى ٠,٥ ٪ يزيد معدل البناء الضوئى لفترة معينة تتراوح بين ١٠ إلى ١٥ يوماً يصبح بعدها هذا التركيز مضراً .



تغير البناء الضوئى بتأثير شدة الإضاءة
بتركيزين مختلفين لثانى أكسيد الكربون



التغير اليومى فى تركيز ثانى أكسيد الكربون

* الماء Water :

تحتاج النباتات الماء فى عملية البناء الضوئى ، وإذا لم يجد النبات كمية كافية من الماء ، فإن عملية البناء الضوئى تتباطئ والنبات الذى يعانى من نقص الماء ينخفض فيه معدل البناء الضوئى إلى النصف ، وذلك لأن النبات يغلق ثغورة بسبب نقص الماء مما يحد من عملية البناء الضوئى .

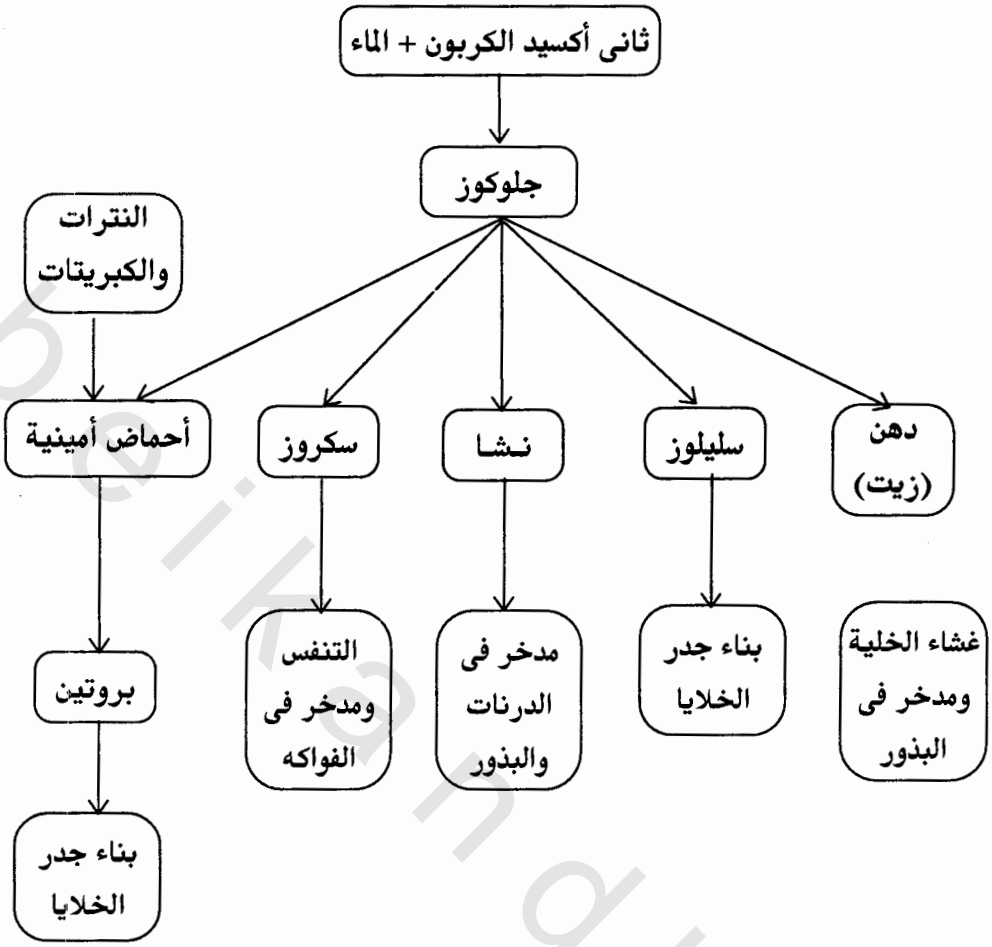
الجو الدافئ داخل الصوب الزجاجية يساعد على نمو الأنواع الممتازة من الشمام

وفى أنحاء العالم تتم تربية النباتات تحت ظروف مناسبة للغاية فيما يسمى الصوب الزجاجية green houses ، حيث تؤثر جميع العوامل بالنسبة المطلوبة فى عملية البناء الضوئى ، وتنمو النباتات تحت رعاية خاصة وعوامل منضبطة ، وبهذه الطريقة نجح العلماء فى التأكد من أن النباتات أخذت كل احتياجاتها ، ومن ثم سوف تنتج أفضل محصول .

* نواتج البناء الضوئى Photosynthetic products :

جزيئات الجلوكوز التى تنتج فى عملية البناء الضوئى ، تتجمع وتتحول بسرعة إلى جزيئات النشا ، وتكوين حبيبات النشا فى البلاستيدات الخضراء وإذا كان تركيز الجلوكوز يزداد فى النسيج المتوسط . فإنه يؤثر على التوازن الأسموزى بين الخلايا ـ والنشا يتكون كمركب غير ذائب ، ولذا لا يؤثر على الضغط الأسموزى .

وإذا تحول النشا إلى سكروز والسكر المذاب تم نقله خارج الخلية إلى الخلايا ناقلة الغذاء فى أوعية الورق ، فإن هذه الأوعية توزع السكروز إلى جميع أنحاء النبات والتى لا تقوم بالبناء الضوئى مثل البراعم النامية والثمار والجذور وأعضاء التخزين تحت الأرض ، والخلايا فى هذه المناطق تستخدم السكروز بطرق مختلفة .



* يستخدم السكر فى إنتاج الطاقة حيث يتأكسد فى عملية التنفس إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، وتنطلق الطاقة التى تستخدم فى العمليات الحيوية الكيميائية .

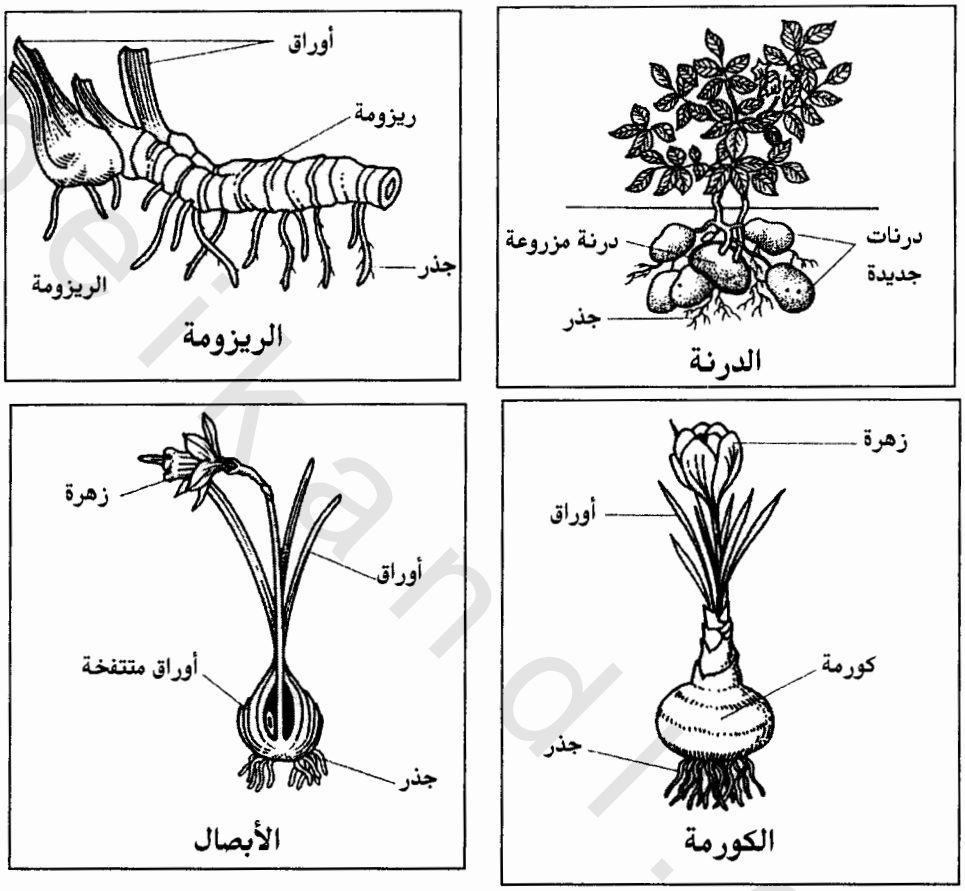
* السكر الزائد على حاجة التنفس ، يتحول إلى نشا ويتم تخزينة فى صورة حبيبات النشا فى الخلايا فى السيقان والجذور ، وبعض النباتات مثل البطاطس أو البطاطا لها أعضاء تخزين خاصة (الدرنة) تحت الأرض كما أن السكر يتم تخزينه فى الثمار فالعنب على سبيل المثال يحتوى كمية كبيرة من الجلوكوز .

* يتم تخليق مواد أخرى من السكر مثل السليلوز الذى يحتاجه النبات لبناء جدر الخلايا والليبيدات (دهون) لبناء أغشية الخلايا والبروتين لبناء السيتوبلازم والأصباغ لبتلات الأزهار والثمار .

* من جزيئات السكر والتى تتحد مع النيتروجين يتم بناء الأحماض الأمينية المكونة للبروتين الذى يكون الإنزيمات والسيتوبلازم ، ويحتاج البروتين إلى عنصر

الكبريت بالإضافة إلى عنصر النيتروجين ـ ويكـون السكر مـع عنصـر الفوسـفور لبنـاء الأحماض النووية وجزيئات الطاقة ، وعنصر الماغنسيوم ، فى بناء جزىء الكلوروفيل .

بعض صور التخزين فى النبات



تحول الجلوكوز إلى النشا وتحول النشا إلى جلوكوز

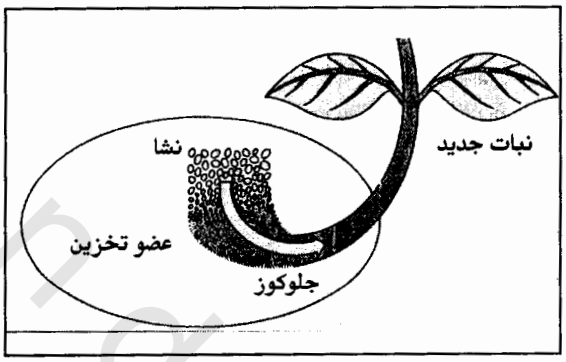
جلوكوز ⟷ سكروز ⟷ نشا

$$2\ C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$$

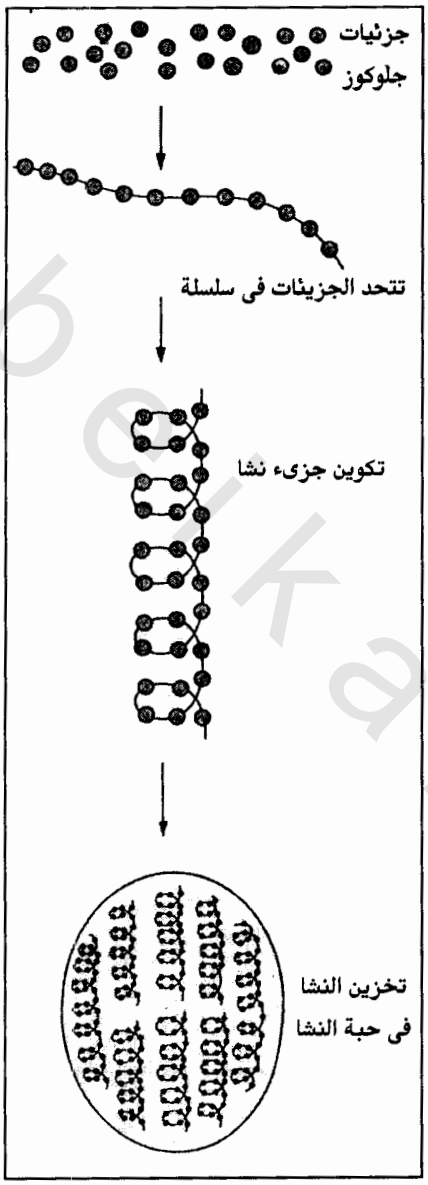
$$C_{12}H_{22}O_{11} \rightleftharpoons [C_6H_{10}O_5]^n + n\ H_2O$$

تحدث هذه العملية فى النبات بتأثير الإنزيمات حيـث يتـم تحويـل الجلوكـوز إلى نشا بفعل الإنزيمات ونزع الماء ، ويحدث العكس بفعـل الإنزيمـات وفـى وجـود المـاء (تحلل مائى) وهاتان العمليتان ضروريتان لحياة النبات .

فالغذاء المدخر فى أعضاء التخزين يفيد النبات فى وقت الجفاف وفى عملية التكاثر الخضرى حيث تحمل براعم تنمو معتمدة على الغذاء المدخر ، مكونة أفرادا جديدة وكذلك تدخر النباتات المواد فى البذور والثمار ، والصورة التى يتم تخزين المواد عليها تعتمد على الجلوكوز المتكون فى البناء الضوئى ، حيث يتحول الباقى منه إلى نشا ويحدث العكس عند الحاجة إليه .



عند نمو البرعم مكوناً نباتًا جديدًا يتحول النشا المخزن فى عضو التخزين إلى جلوكوز بتأثير الإنزيمات ويتدفق الجلوكوز إلى النبات الجديد حتى يبدأ يعتمد على نفسه فى البناء الضوئى .



obeikandi.com