التركيب الضوئي

التركيب الضوئي هو العملية التي تقوم بها النباتات الخضراء وبعض الكائنات الحية الأخرى بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقةٍ كيميائيةٍ، إذ أنه أثناء عملية التركيب الضوئي يقوم النبات بالتقاط الطاقة الضوئية واستخدامها لتحويل الماء وثاني أكسيد الكربون إلى أوكسجين ومركباتٍ عضويةٍ غنيةٍ بالطاقة.

والبناء الضوئي هو عملية يتم فيها بناء مواد كربوهيدراتية (سكريات)من مواد غير عضوية بسيطه هي ثاني اوكسيد الكربون والماء باستخدام الطاقه الضوئيه مع تصاعد الاوكسجين كناتج ثانوي.

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

ان مصدر الاوكسجين الذي تحرره النبات اثناء التركيب الضوئي يأتي من الماء وليس ثنائي اوكسيد الكاربون كما يعتقد سابقا.

هنا يطرح علينا سؤال ماهي الدلائل التي تثبت ان الاوكسجين المتحرر ياتي من الماء وليس CO2 وللاجابة على ذلك فقد اجرى العلماء تجارب على الاشنات التي تحوي صبغة الكلورفيل وذلك باستخدام الاوكسجين الثقيل (O^{18}) للماء فلاحظوا ان الاوكسجين المتحرر بعملية التركيب الضوئي هو النظير (O^{18}) وحسب المعادلة التالية:-

$$nCO^{16}_2 + nH_2O^{18} \longrightarrow (CH_2O^{16})n + nH_2O^{16} + nO^{18}_2$$

تم اعادة التجربة ولكن باستخدام النظير المشع للاوكسجين على CO2 فلاحظوا ان الاوكسجين المتحرر بعملية التركيب الضوئي هو (O^{16}) وحسب المعادلة التالية:-

$$nCO^{18}_2 + nH_2O^{16} \longrightarrow (CH_2O^{18})n + nH_2O^{18} + nO^{16}_2$$

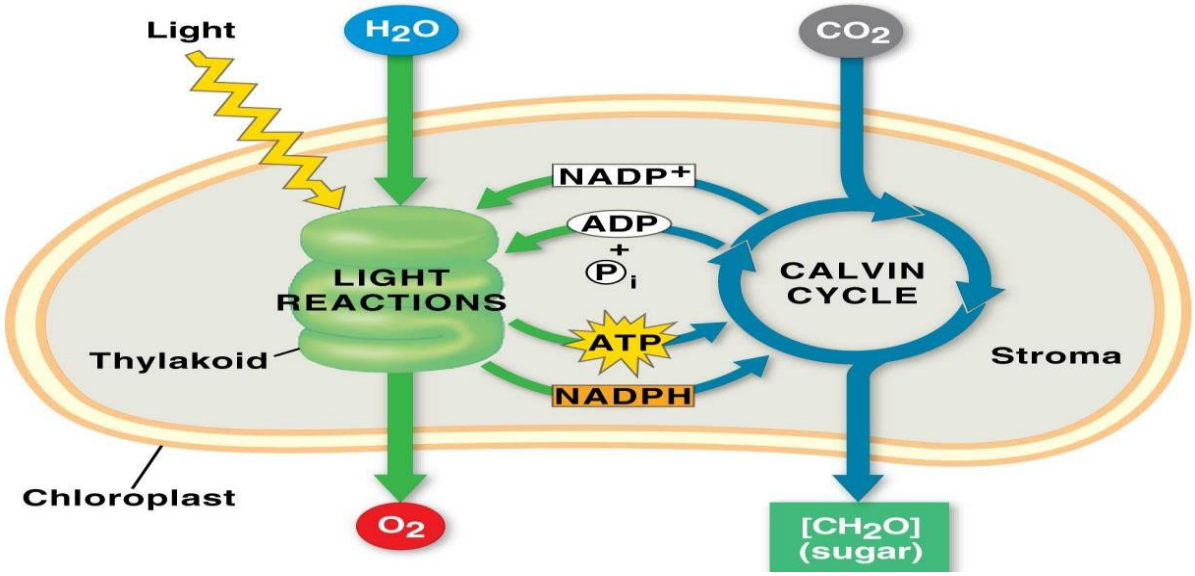
الصبغات

الأصباغ هي عبارةٌ عن أجزاءٍ تضفي اللون على النباتات والطحالب والبكتريا، ولكنها مسؤولةٌ أيضًا عن حبس أشعة الشمس، حيث أنّ الأصباغ مختلفة الألوان تمتص ألوانًا موجيةً مختلفةً من الضوء وفيما يلي المجموعات الرئيسية الثلاث منها:

1. **الكلورفيل** : وهي أصباغٌ ذات لونٍ أخضر قادرةٌ على محاصرة الضوء الأزرق والأحمر، وهناك أيضًا نوعٌ من البكتيريا يسمى بكتيريا كلوروفيل تمتص الأشعة تحت الحمراء ويشاهد هذا الصباغ بشكلٍ رئيسيٍّ في البكتيريا الأرجوانية والخضراء التي تقوم بعملية التركيب الضوئي غير المؤكسد.

2. **الكاروتينات** :وهي أصباغٌ حمراء أو برتقالية أو صفراء تقوم بامتصاص الضوء الأخضر المائل للأزرق.
3. **الفيكوبيلينات** :وهي أصباغٌ حمراء أو زرقاء تقوم بامتصاص أطوال موجية من الضوء لا يستطيع الكلوروفيل والكاروتينات امتصاصها بشكلٍ جيدٍ، وتشاهد في البكتريا الزرقاء والطحالب الحمراء.

مراحل عملية التركيب الضوئي



أولا :تفاعلات الضوءLight reaction

1. تحدث هذه التفاعلات في أغشية الثايلاكويدات.
2. يلزمها وجود الضوء ولا يلزمها وجودCO2
3. تفاعلات سريعة و لا تتاثر بدرجة الحرارة لانها تفاعلات غير انزيمية.
4. الطاقة الضوئية هي المسئولة عن اثارة جزيئات الكلوروفيل

تجميع الطاقة

عندما يضرب شعاعٌ من أشعة الشمس نباتًا أخضر مورق تبدأ عندها عملية التركيب الضوئي حيث أنّ الخطوة الأولى تحدث في البلاستيدات الخضراء للخلايا النباتية، إذ يتم امتصاص الفوتونات الضوئية بواسطة صبغة الكلوروفيل التي تبدو خضراء اللون، لأنّها لا تمتص الأمواج الخضراء بل تعكسها بدلًا من ذلك.

1. بعد امتصاص الطاقة الضوئية من أشعة الشمس يحول النبات هذه الطاقة إلى شكلٍ من أشكال الطاقة الكيميائية التي تستخدم لتغذية خلايا النبات، فأثناء التفاعلات التي تعتمد على الضوء تنشط الإلكترونات وتنفصل عن جزيئات الماء تاركةً الأوكسجين كمنتجٍ ثانويٍّ. ويدعى ذلك أكسدة الماء ضوئيا كما في المعادلة :-

$$2H_2O \longrightarrow 4H + 4e^- + O_2$$

حيث أنّ إلكترونات الهيدروجين في جزيء الماء تنتقل إلى مركز التفاعل في جزيء الكلوروفيل.

2. تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية وانتاج القوة التمثيلية من خلال: يتم خلالها تحويل الطاقة الضوئية الممتصة إلى طاقة كيميائية في صورة مركبات ATP and NADPH لتستغل الطاقة في المرحلة اللاحقة من تفاعلات الظلام في تثبيت CO2 وتكوين مركبات عضوية كاربوهيدراتية

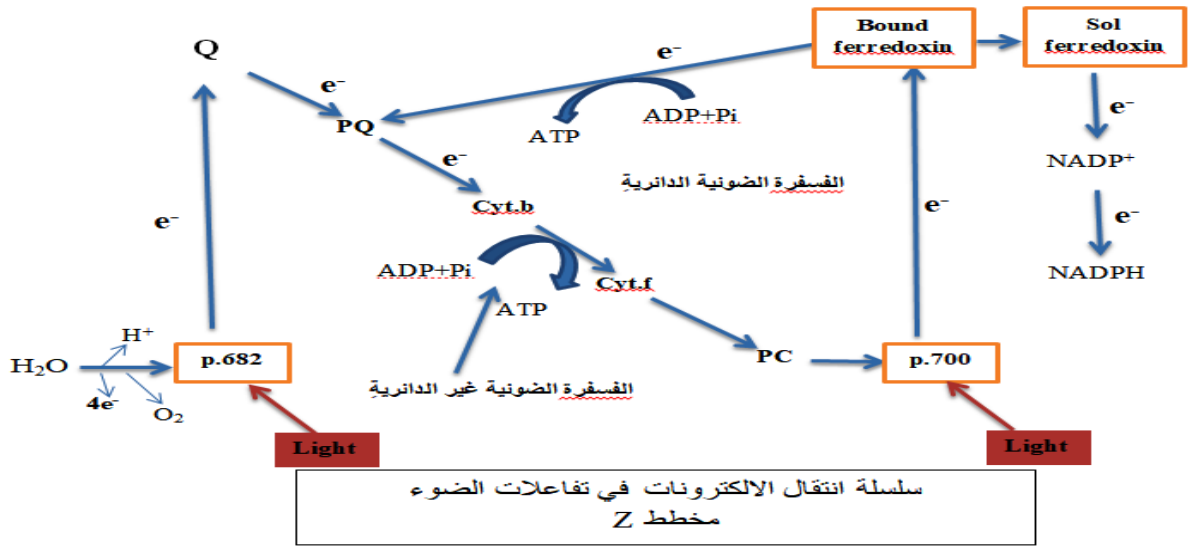
أ. الفسفرة الضوئية الحلقية Photophosphorylation

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

ب. الاختزال الضوئي (فسفرة ضوئية لاحلقية) Photo reduction

$$NADP^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH2$$

الفسفرة الضوئية هي عملية فسفرة تحدث في عملية التركيب الضوئي يتم فيها إدخال وحدة فوسفات إلى جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ليصبح أدينوسين ثلاثي الفوسفاتATP ، وذلك باستخدام طاقة الشمس. يعد هذا التفاعل أساسي لاستمرار الحياة، إذ أن جزيء ATP هو الحامل للطاقة في العديد من العضيات الحية.



المرحلة الثانية : تفاعلات الظلام Dark reaction of photosynthesis

هي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي التي تجرى بمعزل عن تأثير الضوء

تحدث هذه التفاعلات في حشوة البلاستيدة الخضراء(الستورما) دون الحاجة إلي الضوء . تستخدم الطاقة الكيميائية الناتجة من تفاعلات الضوء ATP و NADPH في تثبيت ثاني أكسيد الكربون واختزاله لتشكيل سكريات بسيطة وذلك عبر حلقة كيميائية

كما موضح بالمعادلة التالية:

Light

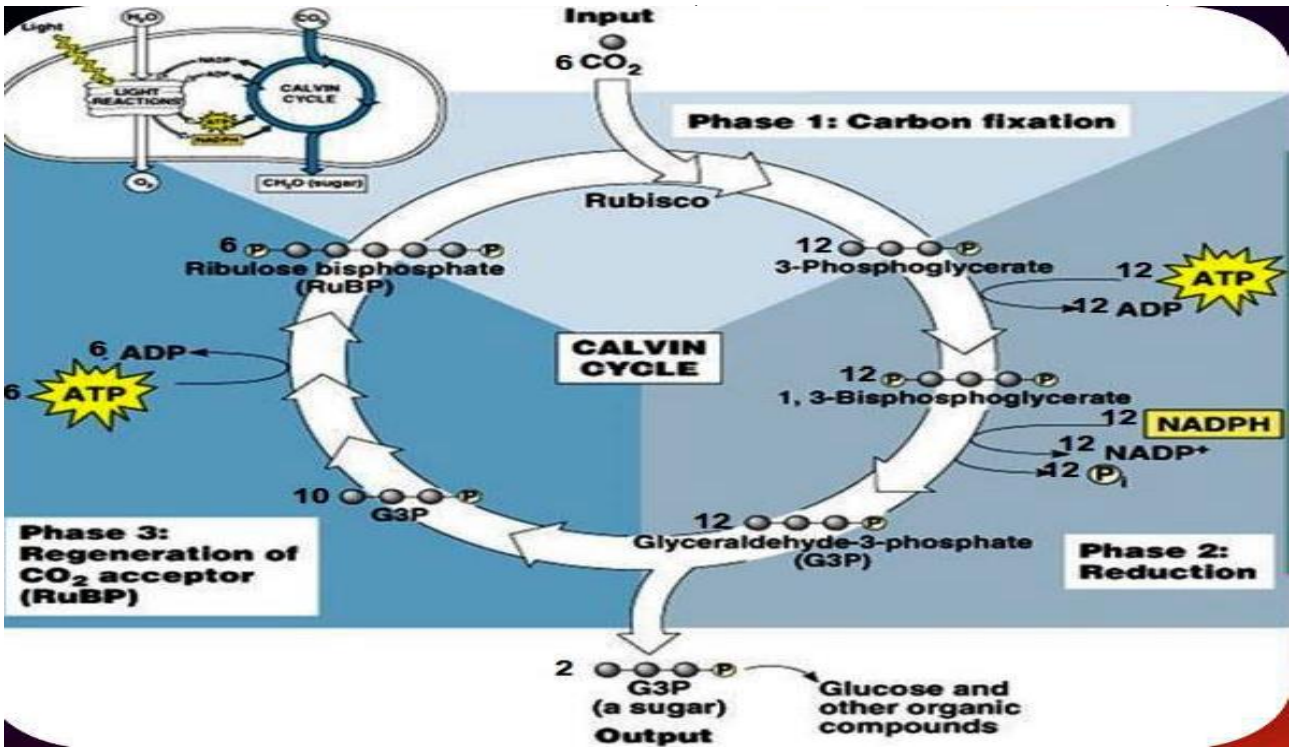
$CO_2 + 2H_2O + 3ATP + 2NADPH_2 \longrightarrow H2O + O2 + 3ADP + 2NADP$

Chloroplasts

يتضح من المعادلة السابقة ان تثبيت جزيء واحد من CO2 ينتج عنه جزيء CH2O وهي اصغر وحدة بنائية للسكريات، وبالتالي لكي يتكون جزيء واحد من سكر سداسي مفسفر(C6H12O6 الناتج الرئيسي لتفاعلات الظلام) فانه يلزم تثبيت 6 جزيئات CO2 وهذه يلزم لتثبيتها واختز ا لها طاقة تمثيلية تتالف من 18جزيء من ATP و12 جزيء من NADPH وهذه الطاقة التمثيلية التي يتم تكوينها من عملية الفسفرة الضوئية

هناك مسارين لاختزال CO2 احدهما مايسمى بدورة كالفن Calvin cycle وفيها وجد ان المركب الاول الذي يتكون في عملية تثبيت CO2 هو مركب ثلاثي ذرات الكاربون (3 - فوسفو حامض الكليسريك Phosphoglyceric acid 3-PGA) والنباتات التي تحدث فيها هذه المسارات تسمى نباتات C3 ، أنزيم Rubisco هو مفتاح لدورة كالفن .تتضمن الدورة ثلاث مراحل-:

1. مرحلة التثبيت : Fixation stage يتم فيها تحويل غاز ثنائي اوكسيد الكاربون الى جزء من مركب عضوي. تبدأ هذه الدورة بدخول Co_2 عن طريق الثغور ثم يصل الى خلايا النسيج الوسطي في الورقة المحتوية على البلاستيدات الخضراء حيث يتحد مع سكر خماسي يوجد بكثره في الخلية يسمى رايبلوزداي فوسفات.
2. مرحلة الاختزال في هذه المرحلة يتم اختزال حامض الفوسفوكليسيريك الى مركب عضوي اخر هو فوسفوكليسيرلك الدهايدPGAL
3. المرحلة تكوين السكر الخماسي Regeneration stage. of RuBP:- وفي هذه الخطوة يتم

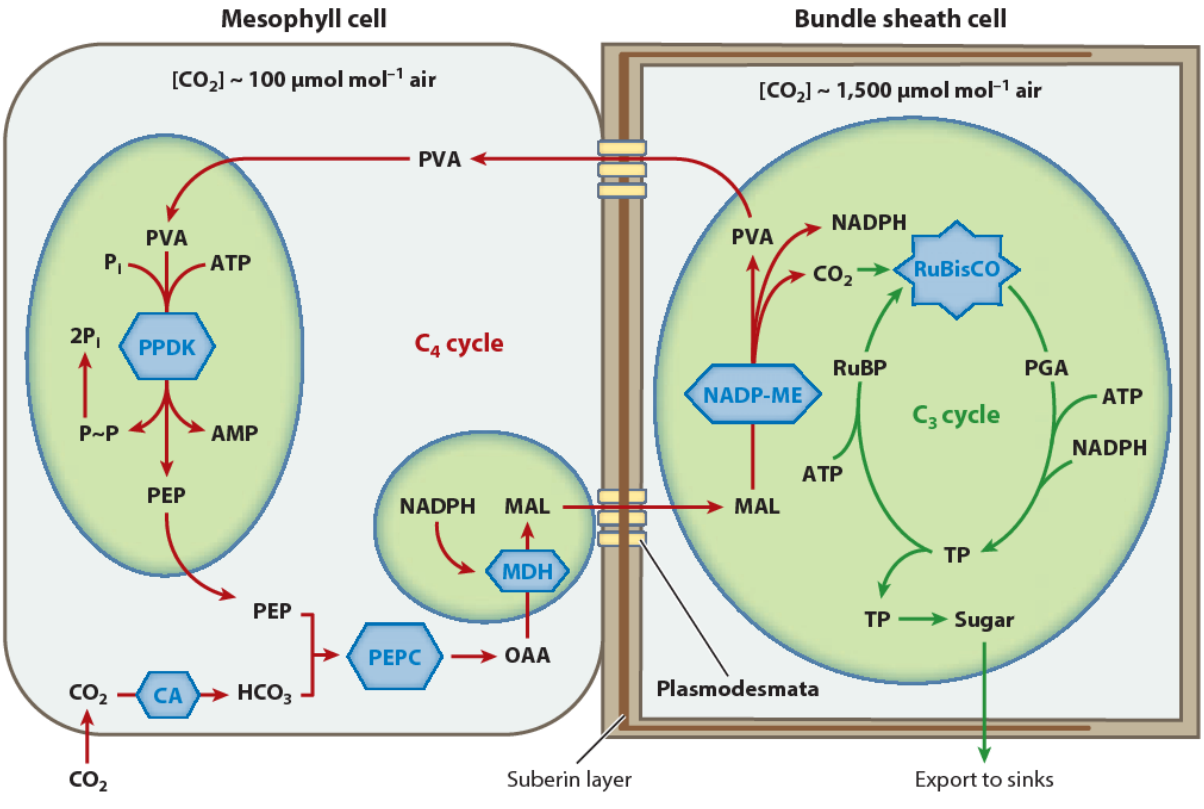


أما المسار الثاني فيدعى دورة هاتش وسلاك ويحدث في نباتات (C4) حيث يكون المركب الأول بعد إدخال CO2 هو مركب عضوي رباعي الكاربون Oxaloacetic acid

ويحدث في النباتات التي تستوطن البيئات ذات الدرجات الحرارية العالية نهارا و ضوء الشمس الشديد (الجافة) وهو يعتبر تحور في النواحي البيوكيميائيه والتشريحية في هذه النباتات التي تسمى نباتات رباعية الكاربون C4-plants والتي معظمها من ذوات الفلقة الواحدة (قصب السكر).

يدخل Co_2 عن طريق الثغور ثم ينتشر الى داخل خلايا النسيج الوسطي وهذه الخلايا عادة لا تحتوي على انزيم الرابسكو الذي يوجد في اوراق نباتات ذوات الفلقتين(الثلاثية) بدلا من ذلك فان Co_2 سوف يتحد مع مركب ثلاثي الكربون يتكون لدينا حامض رباعي الكربون يسمى اوكزالك استيك اسيد حامض رباعي الكاربون OAA وهذه التفاعلات تحدث في الجزء العلوي في الورقة التي لا تحتوي على انزيم الرابسكو هذا الحامض(رباعي الكربون)يتحول بالاختزال الى حامض الماليك(Malic acid وهو حامض رباعي) بعد ذلك يتحرك حامض الماليك من الجزء العلوي للورقة عن طريق الروابط البلازمية الى ان يصل الى منطقة خلايا غمد الحزمة وعندما يصل حامض الماليك الى منطقة غمد الحزمة تحدث له عملية ازالة او سحب Co2 .

من هذه العملية سوف يتحد مع السكر الخماسي الذي هو الرايبلوز ثنائي الفوسفات ويدخل دورة كالفن كما تم وصفه للنباتات الثلاثية اما المركب الثلاثي) (C3 فيرجع ثاني الى خلايا النسيج الوسطي لاعادة الدورة من جديد



مقارنة بين تفاعلات الضوء والظلام

تفاعلات الضوء	تفاعلات الظلام
1. تتم في وجود الضوء	لا تحتاج الى ضوء
2. تحدث في اغشية الكرانا Grana للبلاستيدات	تتم في اغشية الستروما Stromaفقط
3. تحتاج كلوروفيل واصباغ	لا تحتاج الى اصباغ
4. ينتج عنها طاقة في صورة مركباتATP ,NADP	تحتاج الى طاقة كيميائية
5. ينتج عنها تحلل اوكسدة الماء وخروج او تصاعد غاز الاوكسجين	يتم فيها اختزال Co2 وتكوين سكريات بمساعدة الانزيمات
6. لا تتاثر بدرجة الحرارة	تتاثر بدرجة الحرارة
7. لا يلزمها وجودCO2	تحدث بوجود Co2

العوامل المؤثرة على عملية البناء الضوئي

1. شدة الإضاءة

لشدة الإضاءة في البيئة ومدة التعرض للضوء تأثير على عملية البناء الضوئي ومعدل حدوثها فعندما تكون شدة الاضاءة منخفضة فان سرعة البناء الضوئي تتناسب طرديا معها حيث يزداد معدل البناء الضوئي مع ارتفاع شدة الضوء ولكن اذا زادت شدة الإضاءة بدرجة كبيرة فان ذلك يؤدي الى انخفاض نشاط البناء الضوئي

2. تركيزCo2

زيادة Co2 يؤدي الى زيادة سرعة البناء الضوئي . واذا زاد تركيز Co2 بدرجة كبيرة في البيئة انخفضت سرعة عملية البناء الضوئي ويعزى ذلك الى اثرها السام.

3. درجة الحرارة

تتاثر الانزيمات الخاصة بدورات البناء الضوئي بدرجات الحرارة زيادة ونقصانا حيث ارتفاع درجة الحرارة يسرع من حدوث عملية البناء الضوئي ولكن مع الزيادة المفرطة في درجات الحرارة يؤدي ذلك الى الانخفاض في معدل البناء الضوئي.

4. الماء

ان فقد الماء يؤدي الى انكماش الخلايا وبالتالي قفل الثغور فيقل معدل البناء الضوئي تبعا لذلك ويؤدي الجفاف أيضا الى قلة قابلية الاغشية للنفاذية وجفاف الانزيمات وقد يؤدي الى قلة سرعة تكون المواد الكاربوهيدراتية المتكونة من عملية البناء الضوئي.

5. نقص العناصر

نقص بعض العناصر يؤدي الى انخفاض معدل البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الانزيمات الخاصة بتفاعلات البناء الضوئي مثل الكلور والذي يؤدي نقصه اعاقة نقل الالكترونات من الماء الى الكلوروفيل وقد يكون نقص عنصر مؤثر على بناء الكلوروفيل نفسه كما في حالة نقص الحديد او النيتروجين او المغنيسيوم.

6. الانزيمات

تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الانزيمات الخاصة بها وكفائتها وحدوث أي خلل بها يثر على معدل العملية

7. تراكم المنتجات

يؤدي تراكم المنتجات الكاربوهيدراتية الناتجة من عملية البناء الضوئي الى بطء عملية البناء.

8. الأوكسجين Oxygen

هناك عدد من الأسباب حول التأثير السلبي للأوكسجين في عملية البناء الضوئي أهمها:

أ. الأوكسجين ضروري لعملية التنفس وهذه تتنافس مع عملية البناء الضوئي على بعض المركبات الوسطية المهمة المشتركة للعمليتين.

ب. قد يتنافس الأوكسجين مع 2CO على الهيدروجين وبالتالي يختزل الأوكسجين بدلا من CO_2 .

ت. قد يحصل تنافس بين الأوكسجين و CO_2 على المواقع الفعالة لأنزيم Rubisco إذ يكون هذا التنافس لصالح الأوكسجين.

9. الملوثات Pollutants

تنتشر الملوثات بدرجة كبيرة في المناطق الصناعية والتي تؤثر كثي ا ر في أيض النبات وخاصة في عملية البناء الضوئي.

10. الكلوروفيلChlorophyll

هو أحد العوامل الرئيسة في إنجاز عملية البناء الضوئي. حيث يعتقد انه كلما زادت نسبة الكلورفيل في النباتات ازدادت عملية التركيب الضوئي.

المصادر

- اساسيات فسيولوجيا النبات ، 2008 ، حشمت سليمان الدسوقي
- عماد فسيولوجيا النبات ، 1998 ، عمادالدين وصفي
- الأسس العلمية لادارة وإنتاج وتحسين المحاصيل الحقلية ، 2018 ، اياد حسن علي و محمد عويد غدير