التمثيل الضوئي

Photosynthesis

1- تعريف التمثيل الضوئي:

تأتي كلمة Photosynthesis من Photo وتعني ضوء و Synthesis وتعني بناء، وهي ظاهرة فيزيولوجية تسمح بالالتقاط المباشر لجزء من الطاقة الضوئية بواسطة النبات حيث تخدم الطاقة الملتقطة بشكل أساسي في البناء الداخلي للجزيئات العضوية الكبيرة ابتداء من مواد رئيسة هي الغاز الكربوني الهوائي والماء ومعادن التربة، حيث أن إرجاع غاز الكربون في المركبات العضوية يتطلب التزود بالطاقة التي تتأمن عند النباتات الخضراء وبعض البكتريا بواسطة استعمال الطاقة الضوئية والصبغة المسؤولة من هذا التمثيل هي الكلوروفيل.

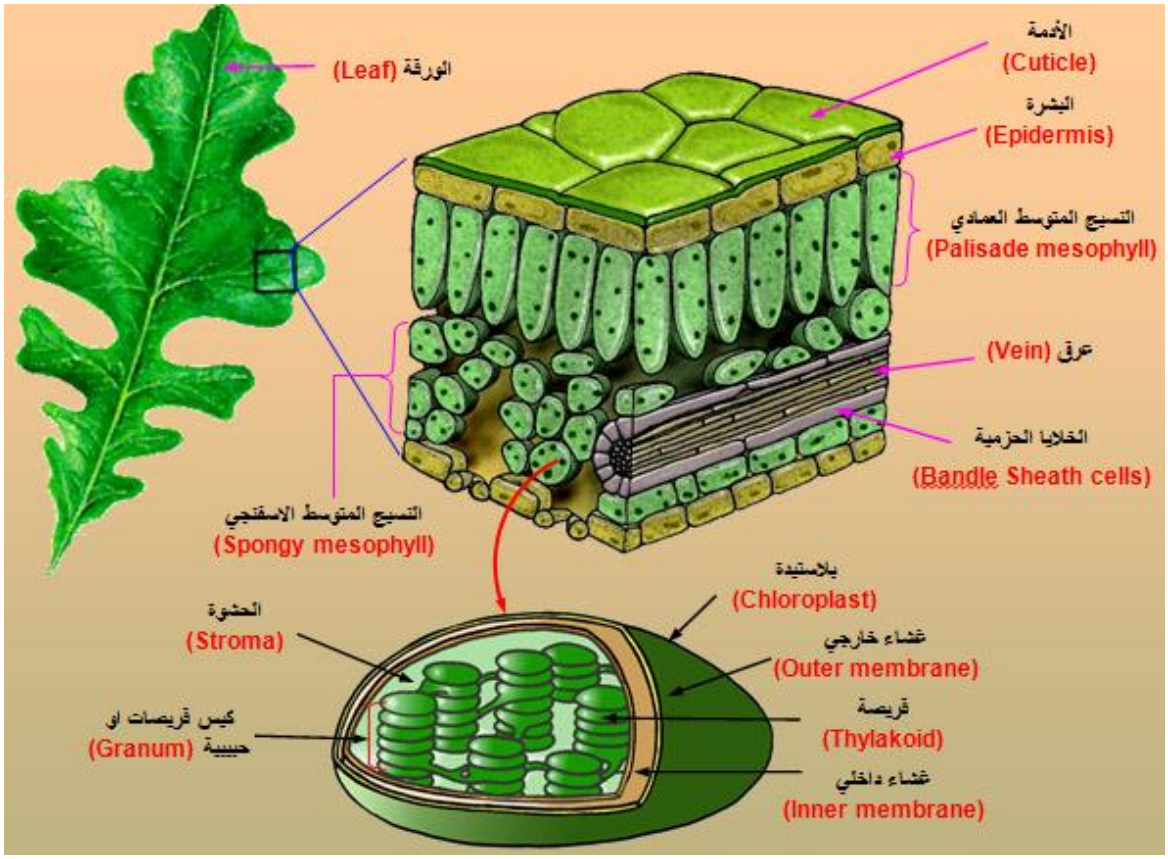
هذه الظاهرة الفزيولوجية بكل اتساعها هي أهم من كل ما يحدث في الوسط الحي، وإن إلغاء التمثيل الضوئي من منطقة من الأرض بالإستعمال المكثف للمواد الكيميائية السامة لنباتات الوسط تسب خللاً للتوازن البيئي وتتحول المنطقة إلى صحراء.

2-أهمية التمثيل الضوئي:

تعيش معظم الكائنات الحية على حساب الثروة المادية والطاقة الموجودة على الأرض والتي تعتبر الشمس المصدر الوحيد لها وأهم مصنع يستطيع تحويل الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس إلى طاقة كيميائية هي النباتات الخضراء التي تقوم بتخزين الطاقة على شكل مركبات عضوية معقدة يتكون منها تركيبها الخلوي. يستغل الإنسان والحيوان هذه المركبات العضوية في بناء أجسامها حيث يقومون بأكسدتها وتحويلها إلى طاقة حركية.

3-جهاز البناء الضوئي:

تتم معظم عمليات التمثيل الضوئي في الأوراق الخضراء حيث أن تركيبها التشريحي يساعدها في القيام بهذه العملية بكفاءة تامة، يحتوي بروتوبلازم خلايا الميزوفيل العمادية والإسفنجية على أعداد كبيرة من البلاستيدات الخضراء (الكلوروبلاست Chloroplases) بمعدل 100بلاستيدة في كل خلية تقريباً، وتعتبر كل كلوروبلاست جهازاً كاملاً يمكنه القيام بعملية التمثيل الضوئي بصورة مستقلة، إذ أنها تحتوي على كل الانزيمات والمركبات الضرورية للقيام بهذه العملية الحيوية الهامة.



4-طبيعة الضوء:

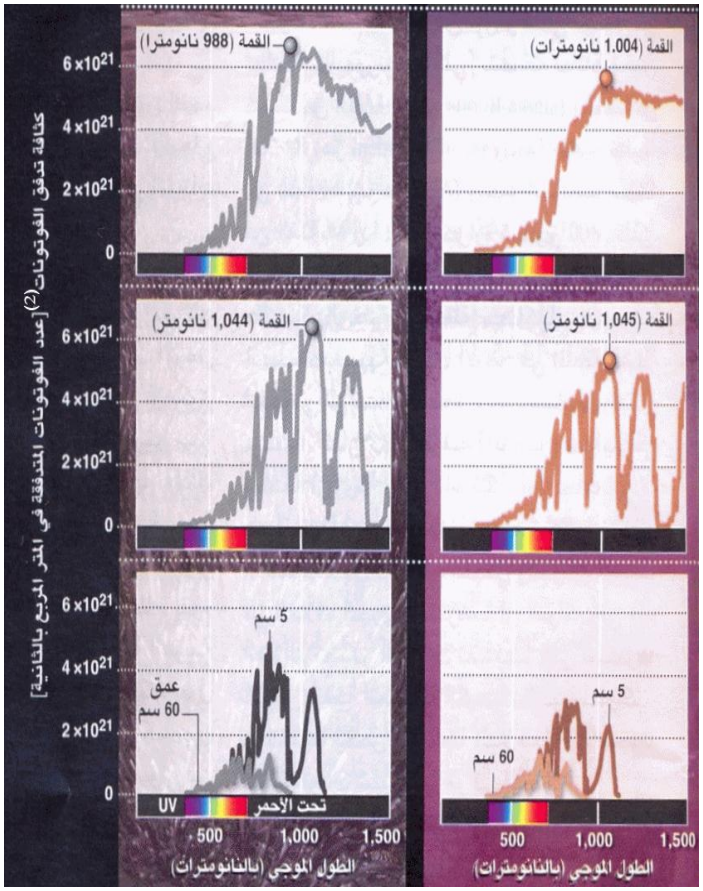
يعرف الضوء بأنه إشعاعات كهرومغناطيسية electromagnetic radiation يمكن إدراكها بواسطة عين الإنسان، ويشكل الطيف المرئي جزءاً صغيراً من هذه الإشعاعات. وتدل التغيرات المتكررة والمنتظمة لشدة الحقول المغناطيسية على مرور موجات الضوء.

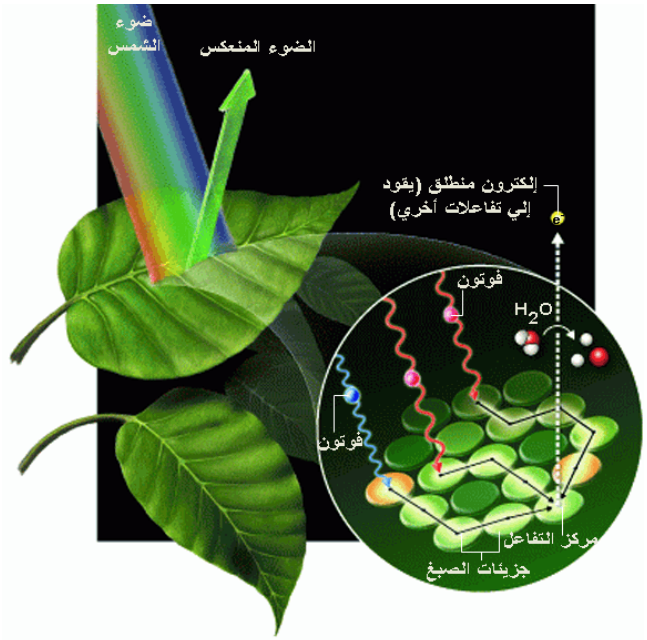
يستطيع الضوء المرور في الأشياء الصلبة (أنواع من البلاستيك)، وفي السوائل (الماء)، وفي الغازات (الهواء) وفي الفراغ (الطبقة الجوية بين الشمس والأرض) وتعتبر إحدى طرق تمييز الضوء هي بواسطة طول الموجات وهي المسافة بين قمة الموجة وقمة الموجة التي تليها ويقاس طول الموجة بالنانومتر.

تعتبر الموجات الضوئية مساراً لجزيئات متناهية في الصغر هي الفوتونات Photon التي يمكن تمثيل كل منها بكيس صغير مملوء بطاقة معينة تتوقف على نوع الضوء. تسمى طاقة الفوتون بالكوانتم Quantum، وتتناسب الطاقة عكساً

مع طول الموجة : فمثلاً تكون قيمة الكوانتم في الأشعة فوق البنفسجية ذات طول موجة 100نانومتر أكبر من قيمة الكوانتم في الأشعة البنفسجية ذات طول موجة 400 نانومتر ب 4 مرات.

تكون الذرات عند أقل مستوى طاقة لها حالة الإستقرار Ground state، عند تصادم الفوتونات بالصبغات النباتية تفقد طاقتها وتكتسب الصيغة هذه الطاقة فتتحرك الألكترونات الواقعة في مستويات مختلفة وترتفع إلى مستوى طاقة أعلى وتبتعد عن مدارها الأصلي وتصبح الصبغة في تهيج Excited state g لكن تواجد الإلكترونات في هذه الحالة لايبقى إلا لفترة قصيرة جداً تصل إلى جزء من الثانيى ثم لاتلبث أن تعود إلى مدارها الأصلي في الذرة فاقدة الطاقة التي كانت قد تلقتها على شكل حرارة أو ضوءّ و طول موجة طويل (أحمر) وهذا مايعرف بالفلورة Fluorescence إلا أن النبات لايستطيع الإستفادة من هذه الطاقة. لكن في حالة أستطاع الإلكترون الإنتقال إلى مستقبل إلكتروني مناسب تاركاً الذرة المثارة بشحنة موجبة فيمكن للنبات الإستفادة من طاقة هذا الإلكترون في التمثيل الضوئي.





5- التركيب الكيميائي للكلوروبلاست :

تتم عملية التمثيل الضوئي داخل البلاستيدات الخضراء التي تتكون ن جسيمات تحتوي 45_50% من وزنها ماء. محاط بجدر تغلف هذه الجدر الـ Stroma. التي هي عبارة عن هلام (gel) غني بالبروتينات يكون معظمها عبارة عن أنزيمات، كما تحتوي على أيونات ومركبات عضوية متنوعة مثل الMg,Po4 Organic،Sucres،Nucleotides....كما تحتوي على RNA،DNA وعلى بلاستوريبوزومات .كما يوجد بها حبيبات

من النشاء تسمح بتخزين الهكسوزات على شكل تجمعات وكذلك تحتوي على لبيدات غنية Plastoquinone يحتوي غلاف الكلوروبلاست على 60% لبيدات و40% بروتينات، وترتيب اللبيدات حسب أهميتها كما يلي:

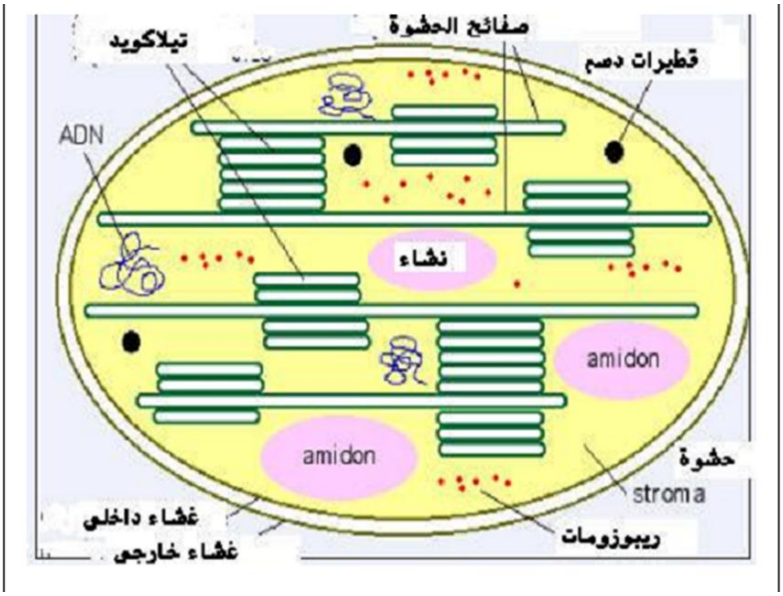
Galactolipides(وهي غليكولبيد يحوي 1أو عدة غالاكتوز)، phospholipidesو Sulpholipides، كما يحتوي نسبة ضئيلة من صبغة الكاروتينات .

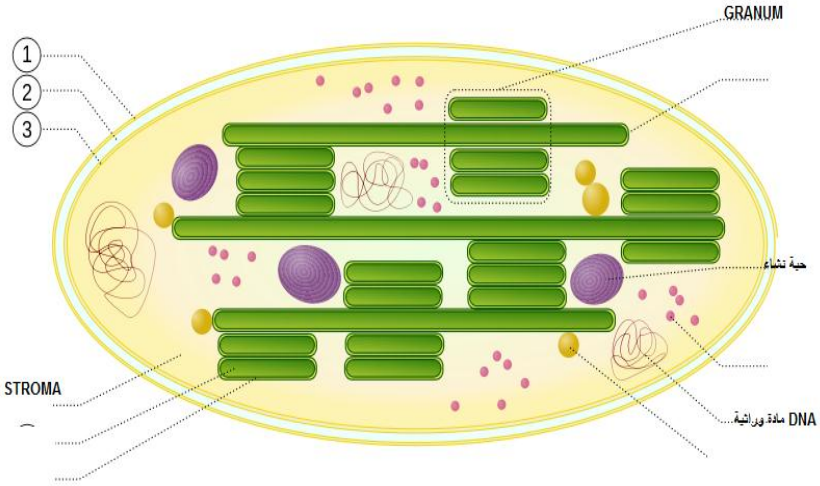
وتشير التحاليل إلى وجود عدد من السلاسل البوليببيدية وهي مختلفة عن تلك الموجودة في التيلاكوئيد Thylacoidas، من هذه البروتينات Galactosyltransferase الذي ينشط تمثيل الglycolipides الجدارية والنواقل التي تنظم مرور الجزيئات بين ال Stroma والهيالوبلازم.

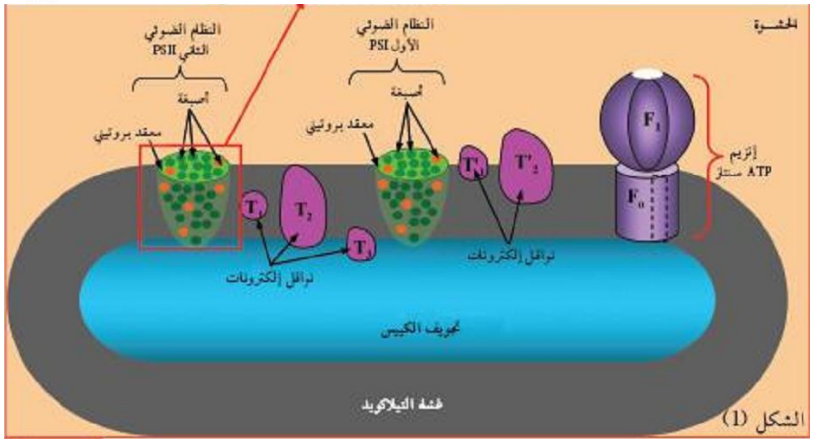
أما جدار التيلاكوئيد من 38% لبيدات و 12% من الصبغيات و 50% من البروتينات، واللبيدات الأكثر تواجداً هي ال galactolipides التي تشكل وحدها نصف اللبيدات الكلية ثم تأتي بعدها الـ Phospholipides والـ Sulpholipides، وتختلف نسبة هذه اللبيدات عن تلك الموجودة في الغلاف وتكون فيها سلاسل الأحماض الدهنية أقل إشباعاً والصبغيات الموجودة فيها هي الكلوروفيل والكاروتين التي تكون 10% و2% على التوالي من كتلة الجدار.

يملك الغلاف وجدر التيلاكوئيد سلسلة من نواقل الإلكترونات تسمى سلسلة التمثيل الضوئي photosynthetic، وتملك ATPase الذي يسمح بفضل الطاقة الملتقطة بإرجاع +NADP بواسطة الماء إلى NADPH ويسمح كذلك بفسفرة الADP إلى ATP وتسمى هذه الظاهرة الأخيرة بالفسفرة الضوئية Photophpsphorylation.

يوجد في كل كلوروبلاست 60 Granum يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كميائية تستعمل في التمثيل الضوئي.







6- أنزيمات الكلوروبلاست:

يوجد في الكلوروبلاست مجموعة كبيرة من الأنزيمات بعضها يوجد في ال Stroma والآخر في غلاف الكلوروبلاست وفي جدرالتيلاكوئيد يوجد ال Stroma:

*مجموعة أنزيمات تسمح بإرجاع غاز الكربون والنترات والسلفات في جزيئات عضوية ومثالها :

Ribulose-1-5- Biphosphate carboxylase الذي يمثل نصف البروتينات الStroma.

*يوجد في غلاف الكلوروبلاست أنزيم galactosyl transferase الذي يحفز تركيب ال glycolipides الجدارية، أما مكونات سلسة التركيب الضوئي فهي عبارة عن نواقل الإلكترونات التي تحفز تفاعلات الأكسدة والإرجاع، بعض هذه النواقل ينقل الإلكترونات فقط وبعضها ينقل الإلكترونات والبروتونات.

*تكون نواقل الإلكترونات عبارة عن بروتينات معدنية نذكر منها:

السيتوكرومات Cytochromesومنها ال Ferredoxine وهو عبارة عن بروتين يحوي ذرتي حديد وكبريت.

*أما نواقل الإلكترونات والبروتونات فهي (بلاستوكينون) Plastoquinon الذي يحوي ذرتي نحاس ويشكل 2%من محتويات جدار التيلاكوئيد، وكذلك ال Ferredoxine–NADP reductase وهو عبارة عن أنزيم محفز لنقل الإلكترونات والبروتونات على ال +NADP الذي يرجع إلى NADPH،

*يوجد على جدار التيلاكوئيد أنزيم الATPase الذي يحفز تركيب ال ATP المرتبط بنقل الإلكترونات بواسطة سلسلة التركيب الضوئي ، وهوبروتين مؤلف من قسمين:

–قسم محب للماء ويدعى عامل الربط Facteure de couplage الذي يمكن فصله بسهولة من جدار التيلاكوئيد.

–قسم كاره للماء مندمج في اللبيدات الجدارية التي تشكل بدون شك قناة البروتونات.

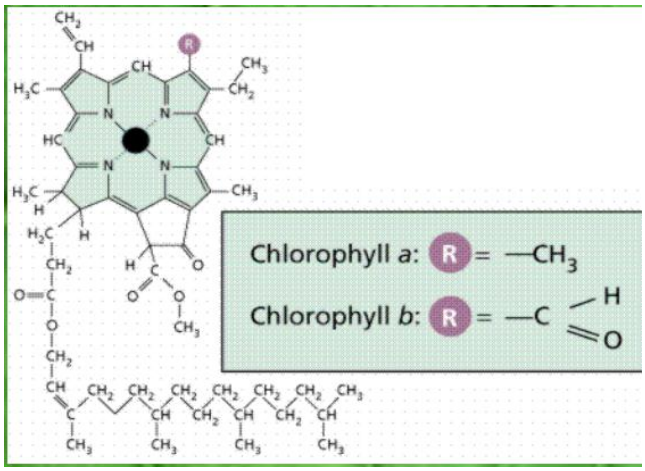
7– الصبغيات المشاركة في عملية التمثيل الضوئي:

تعتبر الصبغيات الموجودة داخل الكلوروبلاست من أكثر المركبات أهمية في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تستعمل في عملية التمثيل الضوئي وبناء الكربوهيدرات.

a) صبغات الكلوروفيل chlorophyll:

يعتبر الكلوروفيل وهو الصبغة الخضراء الموجودة في النبات من اهم الصبغات الفعالة في عملية التمثيل الضوئي .وقد أمكن التعرف على ثمان أنواع من الكلوروفيل حتى اليوم وهي كلوروفيل a،b،c،d،e بالإضافة للكلوروفيلات البكتيرية Bacteriochlorophylls (a,b) وكلوروفيلات البكتيريا الملونة Chlorobium chlorophylls.

وصبغات الكلورفيل هي عبارة عن مركبات كروموبروتينية Chromoproteines لاتختلف الأنواع المتعددة منها إلا بجزيئات صغيرة، ففي النباتات الراقية يوجد في جدار التيلاكوئيد نوعان من الكلوروفيل a،b تختلف عن بعضها بواسطة مجموعة تقع على النواة البيرولية في الموقع الثالث، هذه المجموعة عي مجموعة ميتيل (CH3) في الكلوروفيل a ومجموعة فورميل (CHO) في كلوروفيل b، وتكون الصيغة المجملة للكلوروفيل a هي C55 H72O5N4Mg والكلوروفيل b هي C55H70O6N4Mg.



بالإضافة للنباتات الراقية توجد هذه الكلوروفيلات عند الأشنيات الخضراء، أما عند الأشنيات البنية والحمراء فيكون مستبدلاً بصبغات مشابهة هي a،c.

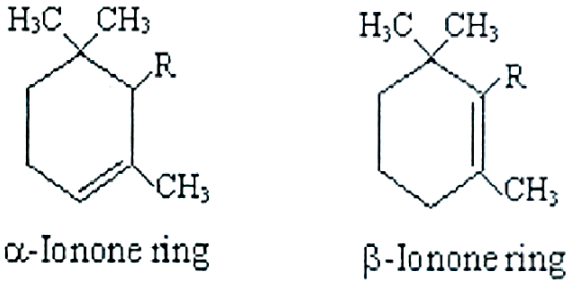
يمتص الكلوروفيل الطيف الأزرق والأحمر حيث يمتص كلوروفيل a الموجات $\lambda \leq 700$ نانومتر و λ b ≤ 680 نانومتر يأخذ الكلوروفيل a في العادة اللون الأخضر المزرق في حين يأخذ الكلوروفيل bاللون الأخضر المصفر.

b)الكاروتينوئيدات Carotenoides:

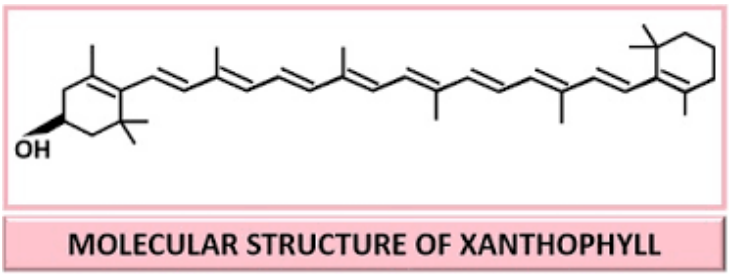
وهي صبغات محبة للدهون وغير ذوابة في الماء وذات لون أصفر أو برتقالي وتضم صبغة الكاروتين Carotene والكزانثوفيل xanthophylle. لاتنحل الكاروتينويدات في الماء لكنها تنحل في المذيبات العضوية مثل الإيتير أو الكلوروفورم.

أ-الكاروتينات Carotines: وهي عبارة عن جزيئات طويلة كارهة للماء متشكلة من وحدات Isoprene، تتمتع بالصيغة المجملة ($C_{40}H_{56}$) أي انها ذات 40ذرة كربون .الوحدات الثمانية من ال isoprene التي تكونها تشكل سلسلة ذات نهاية حلقية ويدل القسم الملون على مناطق الجزيئة ثنائية الروابط المتحدة ،وتمتلك الون البرتقالي أو الاحمر ،والكاروتينات الأكثر تواجداً هي:

α-Carotene و β-Carotene والليكوبين Lycopene وتختلف عن بعضها حسب الزمرتين الموجودتين في نهاية السلسلة الخطية المؤلفة منها ،وتوجد في الكلوروبلاست والكروموبلاست في الجزر، تمتص الكاروتينات الضوء في المنطقة الزرقاء البنفسجية من الطيف المرئي (400-500 نانومتر).



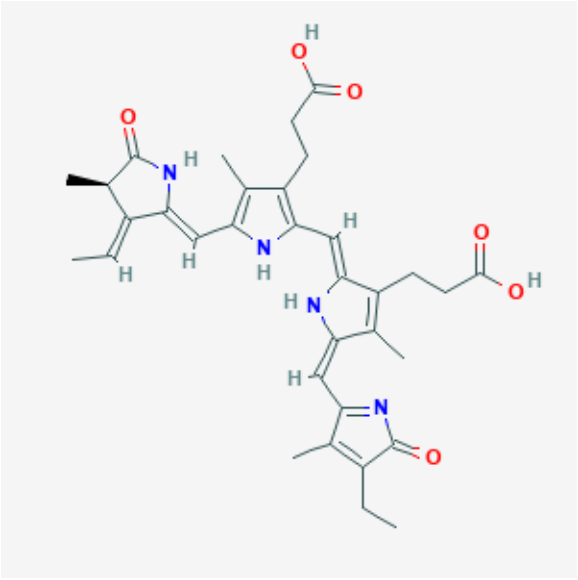
التراكيب الكيميائية لحلقات α و β أيونون الداخلة في تركيب الكاروتين



MOLECULAR STRUCTURE OF XANTHOPHYLL

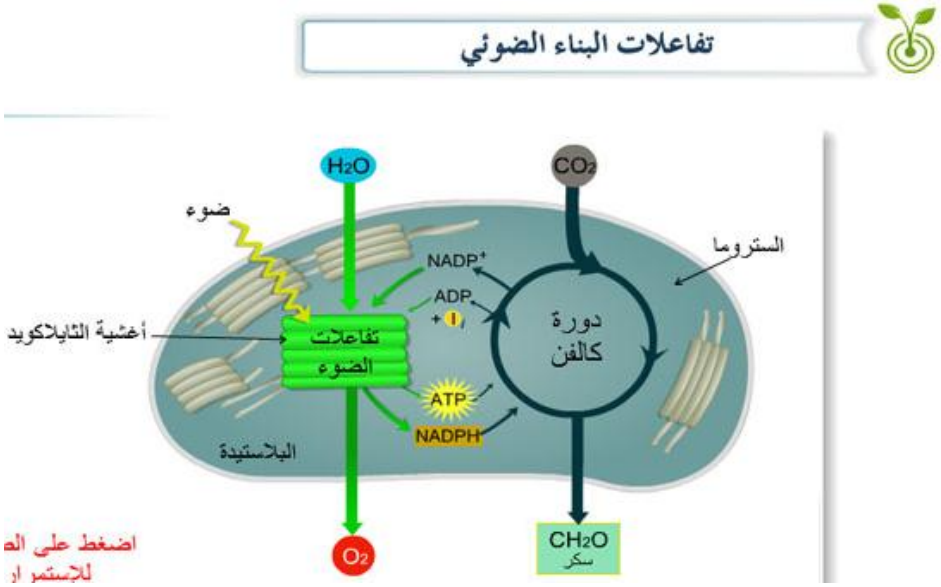
ب- الكزانثوفيلات Xanthophylle: وهي مشتقات مؤكسدة من الكاروتينات ذات لون أصفر أومائل للبني . يتوضع الأوكسجين فيها على شكل زمرة هيديروكسيل كربونيل أو كربوكسيل أو غيرها من الوظائف الأوكسجينية، تمتص الكزانثوفيل الضوء في المجال الواقع بين (380-550 نانومتر).

C-الفيكوبيلينات Phycobilines:



تحتوي الأشنيات الحمراء والبكتيريا الزرقاء بالإضافة للكلوروفيل a والكاروتينوئيدات، صبغات بروتينية أو الفيكوبيلين Phycobiline مثل phycoerythrine ذو اللون الاحمر وال Phycocyanine ذو اللون الأزرق المخضر وهي المسؤول عن لون الأشنيات .وتكون المجموعة البروتينية لهذه الصبغات عبارة عن نواة رباعية البيرول مفتوحة بدون معدن ،ويكون تركيبها مشابه لتركيب الصبغات الصفراوية التي تشتق من تخريب الهيموغلوبين.

9- مجموعة التفاعلات الضوئية في التمثيل الضوئي:



المرحلة الأولى: الفسفرة الضوئية Photophosphorelation: إن أهم مايحدث في التفاعلات الضوئية هو تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة قابلة للإستعمال فوراً في الإستقلاب الخلوي، وذلك بفسفرة ال ADP الداخلي بمساعدة H3Po4 الموجود في الوسط، تجري هذه التفاعل داخلياً وتؤخذ الطاقة اللازمة لهذا التركيب من الضوء الملتقط لذلك أخذت اسم الفسفرة الضوئية (لأنها تحصل بفضل الطاقة الضوئية)

ADP+ H3PO4—light energy Chlorophyll——→ ATP

يوجد نوعان من الفسفرة الضوئية:

1- الفسفرة الضوئية اللاحلقية: يؤدي سقوط الضوء على النظام ‖ إلى تأين الكلوروفيل b الذي يتحول إلى كلوروفيل b+ ويكون شرهاً للإلكترونات، تصبح هذه المستقبلات القوية للإلكترونات قادرة على انتزاع الإلكترونات من الماء وهي ظاهرة الأكسدة الضوئية للما Photooxidatione التي يمكن كتابتها بالشكل :

Photosystem ‖ { 2OH−

2H2o ——light——→ 2H+———→ H2o +1l2O2+2e

المرحلة الثانية: هي نقل الإلكترونات من النظام الضوئي II إلى النظام الضوئي I:

تربط هذه المرحلة بين النظامين الضوئيين حيث أن الطاقة الضوئية الآتية من فوتون ذو طول موجة 680≤ λ تجعل إلكتروناً من الكلوروفيل ينتقل إلى مستقبل Q هو بدون شك Plastoquione خاص ثم ينتقل الإلكترون عبر سلسلة من النواقل هي:

Plastoquinone——→ Cyt f——→ plastocyanine

حتى يصل الكلوروفيل a وينتج عن نقل الإلكترون سلسلة من طاقة الأكسدة والإرجاع تصبح إيجابية أكثر فأكثر وتحسب من المعادلة:

وقد وجد أنه خلال هذا النقل المتتابع للإلكترون فإنه تطرح في الوسط كمية كافية من الطاقة تمكن الفسفرة الضوئية من الاقتران بالأكسدة والإرجاع السابقين ويتحول بذلك ال ADP إلىATP .

يستبدل الكلوروفيل a الإلكترون الذي فقده أثناء التفاعل الكيموضوئي بإلكترون قادم من الماء في القسم الأول من السلسلة الممثلة ضوئيا.

المرحلة الثالثة: وهي نقل الإلكترونات من النظام الضوئي I إلى ال +NADP: في هذه المرحلة يتم إرجاع ال +NADP إلى NADPH حيث أن الطاقة الاتية من فوتون ضوئي ذو طول موجة $\lambda \leq 700nm$ تحول إلكترون الكلوروفيل a إلى المستقبل الأولي من النظام الضوئي I. ويظن أنه بروتين يحوي حديد وكبريت Ferredoxine، ويمر الإلكترون أيضاً بسلسلة من طاقات الأكسدة والإرجاع حيث تنتقل من المستقبل الاول X إلى Ferredoxine ثم إلىFerredoxine– NADP+ redoctase ثم إلى المستقبل النهائي للإلكترونات الذي هو +NADP. يستبدل الكلوروفيل a الإلكترون المفقود أثناء التفاعل الكيموضوئي بواسطة الإلكترون الذي يحمله ال Cytochrome F إلى ال Plastocyanie والذي جاء من الكلوروفيل b وتم نقله بواسطة الجزء الثاني من السلسلة الممثلة ضوئياً:

يمكن تلخيص المعادلة المجملة لهذه التحولات والتفاعلات المتعاقبة بالآتي:

$$2H_2O + NADP^+ + ADP + H_3PO_4 \rightarrow ATP + NADP + H^+ + 1/2\ O_2 + H_2O$$

2–الفسفرة الضوئية الحلقية :

يوجد في جدار التيلاكوئيد نموذج آخر من نقل الإلكترونات لا يطبق إلا نظام ضوئي واحد هو النظام Iحيث تمر الإلكترونات المطرودة بسبب الإضاءة من الكلوروفيل aإلى المستقبل الأولي X وإلى ال Ferredoxine، وبدل أن يتحول الإلكترون إلى ال NADP فإنه يتوجه إلى ال Cytochrome ثم إلى الكلوروفيل a عبر سلسلة السيتوكرومات لذلك تحقق الإلكترونات حلقة مغلقة تحرر خلالها طاقة كافية في الوسط من أجل أن ترتبط بها فسفرة ال ADP. تتميز الفسفرة الحلقية عن اللاحلقية بمايلي:

1) تدخل تفاعل ضوئي واحد PI.

2) لايحصل تحرر للأوكسجين .

3) لا يحصل إرجاع لل NADP.

تعتمد الأهمية النسبية لهذين النموذجين على كمية ال NADP+ المتاحة في الكلوروبلاست، فإذا كانت ضعيفة عند ذلك يغلب النقل الحلقي. وإذا كانت مرتفعة يغلب النقل اللاحلقي.

10) التفاعلات المظلمة لعملية التمثيل الضوئي (تثبيت Co2 وإرجاعه):

تجري هذه التفاعلات دون الحاجة إلى وجود الضوء كونها تعتمد على مركبات الطاقة الناتجة في المرحلة الضوئية ويتم فيها تثبيت غاز Co_2 وتركيب الكربوهيدرات عبر سلسلة من التفاعلات ويستخدم لتثبيت الكربون الطاقة المخزنة أثناء التفاعلات الضوئية مثل (ATP،NADPH).

تختلف مسارات إرجاع غاز Co_2 حسب النوع النباتي والبيئة التي تعيش فيها، وقد تم تقسيم النباتات حسب مسار إرجاع الكربون إلى ثلاث مجموعات :- النباتات ثلاثية الكربون C3 – النباتات رباعية الكربون C4– والنباتات العصارية ويرمز لها CAM.

سنقوم بدراسة إرجاع الكربون في النباتات ثلاثية الكربون C3 حيث تشكل هذه المجموعة معظم النباتات الموجودة على سطح الأرض ،حيث يتم تثبيت وإرجاع Co2 عندها في عملية التمثيل الضوئي عبر حلقة معقدة تجري تفاعلاتها بواسطة عدد كبير من الانزيمات ضمن ستروما الكلوروبلاست تدعى حلقة كالفن Calvin، إرجاع الغاز الكربوني عند النباتات ثلاثية الكربون في حلقة كالفن Calvin cycle:

أ- طور تثبيت غاز الكربون (Co_2) :

لقد أوضح Calvinومساعدوه أن Co_2 يندمج بثبيته على مستقبل يحوي 5 ذرات كربون وهو ريبوز 5-1ثنائي الفوسفات Ribulose 1-5 diphosphate (RuBP) معطياً مركباً وسطياً ذو 6 ذرات كربون الذي ينشطر بوجود الماء إلى جزيئتين من حمض 3فوسفو غليسريك 3- Phosphogleceric acid(PGA)

يتوسط التفاعل السابق أنزيم ريبولوز 1-5- ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز / أوكسيجيناز Ribulose 1-5- Carboxylase /diphate Oxygenase أو إختصار (Rubisco) وهو أنزيم مطبق بشكل واسع في عملية التمثيل الضوئي.

ب- طور الإرجاع :

ترجع الجزيئات في الستروما Stroma إلى سكريات ثلاثية الكربون مثل Phosphoglycer- 3 حيث تستبدل في هذا التفاعل إحدى زمر الفوسفات بذرة هيدروجين وتنتقل كل زمر الفوسفات السابقة و NADP و ADP ثانية إلى التفاعلات الضوئية يمكن أن تتحول إلى Bisphosphoglycerate-1-3 ثم إلى Phosphoglycer aldehyd -

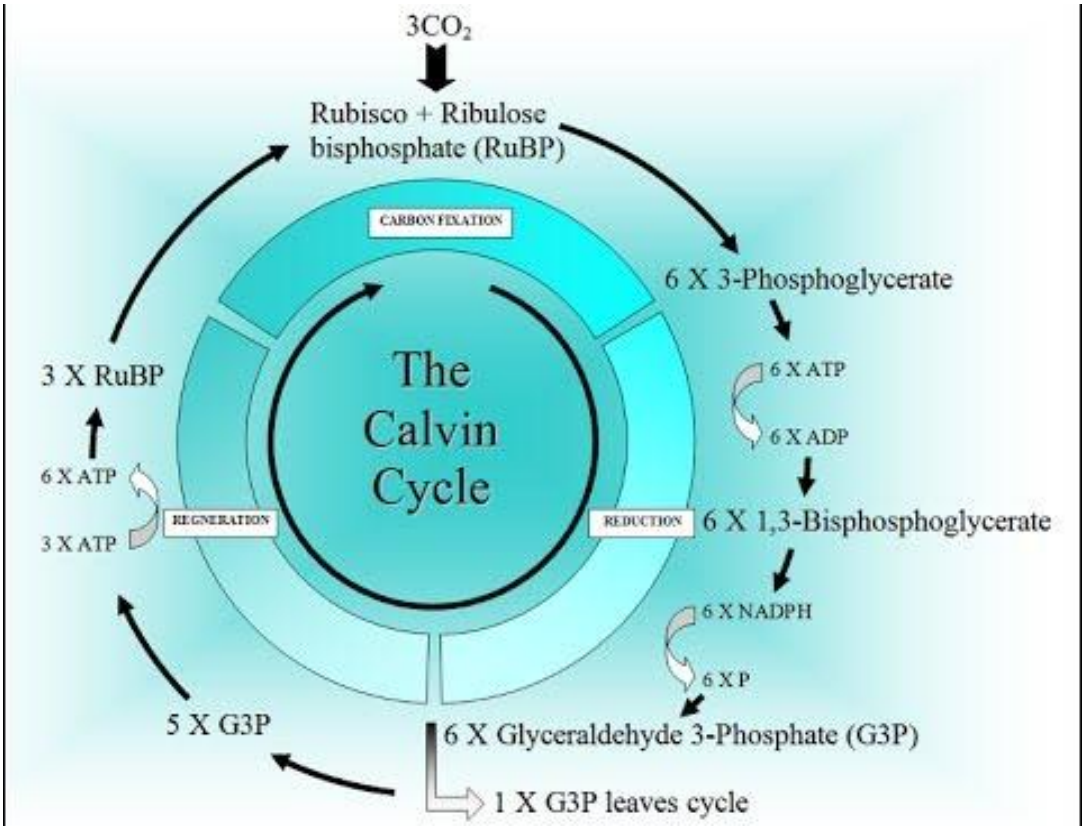
3 إلى السكر الكيتوني Dihydroacetone phosphate أي أن السكر الثلاثي الناتج يمكن أن يوجد في حلقة كالفن في كلا الشكلين .

تستعمل هذه الجزيئات ثلاثية الكربون في تصنيع الهكسوزات المسفرة مثل فركتوز 1-6 ثنائي الفوسفات (6 -1 fructose diphosphate) والذي يتحول بدوره إلى غلوكوز -1- فوسفات الذي يمكن أن يدخل في تركيب النشاء . كما تستعمل في إعادة تخليق المستقبل C5 حسب حلقة من التفاعلات تسمى حلقة كالفن.

تخزن السكريات في الستروما على شكل جزيئات ضخمة هي النشاء لأن تراكم جزيئات التريوز أو الهكسوز في الستروما يسبب ارتفاعاً خطراً للضغط الأسموزي في هذا الجزء من الخلية، لذلك فالنشاء لايغير اسموزية الستروما وبالتالي تظهر حبيبات النشاء غير ذوابة وغالباً كبيرة الحجم.

ج - تجديد تصنيع المستقبل الأولي لغاز Co_2:

يستعمل الـ ATP والـ NADPH المنتجة خلال الطور الضوئي لإرجاع ال PGA إلى تريوز Triose. كذلك فإن الـ ATP يتدخل في تصنيع النشاء وإعادة تخليق المستقبل C5 بفسفرة Ribulose -5- phosphate .



11- تأثير الظروف البيئية في عملية التمثيل الضوئي:

يسيطر على عملية التمثيل الضوئي عدة عوامل بيئية هي الضوء والحرارة ومحتوى الهواء من Co2 و O2 وكذلك عوامل أخرى ترتبط بمرحلة تطور النبات

11- 1-الضوء:

1-1- تأثير شدة الضوء:

لايمكن أن يحدث التمثيل الضوئي بدون ضوء، وتكون شدة الظاهرة متوازية مباشرة مع شدة الضوء على الأقل حتى 4000لوكس وعندما تزداد شدة الضوء يصل التمثيل الضوئي إلى فعالية مستقرة وتكون الإضاءة القوية جداً قاتلة حتى للتمثيل الضوئي.

تتوافق منطقة الإضاءة من (0حتى 500 لوكس) مع الإضاءات الطبيعية المعتادة والأكثر أهمية، لكن يجب الأخذ بعين الاعتبار نقطة التعادل، حيث أنه في إضاءات ضعيفة جداً يكون التمثيل الضوئي قليل الفعالية وتغلب التبادلات الغازية التنفسية على تبادلات التمثيل الضوئي، في إضاءات أعلى قليلاً (لكنها أيضاً ضعيفة) تتوازن الظاهرتان الفيزيولوجيتان تماماً(التنفس والتمثيل الضوئي) وتكون قيمة Co_2 المتحرر بواسطة التنفس مساوية لكمية Co2 الممتصة بواسطة التمثيل الضوئي .كذلك تكون كمية O_2 المتحرر من عملية التمثيل الضوئي مساوية لكمية O2 الممتصة بواسطة التنفس . ويقال إن النبات قد وصل إلى نقطة التعادل. في هذه النقطة لا يوجد تبادل غازي بين النبات والوسط. وتتراوح نقطة التعادل لنبات السبانخ والبندورة من 700حتى 1000لوكس بينما لا تتجاوز 100لوكس عند نبات الظل.

كذلك يمكن التمييز بين مجموعتين من النباتات:

– نباتات ذات نقطة تعادل ضعيفة مثل النجيليات الاستوائية (قصب السكر، الذرة) وتتميز بفعالية تمثيل ضوئي عالية وهي من النباتات رباعية الكربون C4.

– نباتات ذات نقطة تعادل عالية حيث إن فعاليتها في التمثيل الضوئي تكون أقل وتنفسها الضوئي أحياناً أعلى (حالة الكثير من ثنائيات الفلقة في المناطق المعتدلة)، فيما وراء نقطة التعادل فإن التبادلات الغازية للتمثيل الضوئي تخفي بشكل كامل التبادلات التنفسية.

– ينبغي الإشارة إلى أن نباتات عباد الشمس لا تختلف عن نباتات الظل في نقطة التعادل فقط. بل تكون القيم المثالية للإضاءة عند نباتات عباد الشمس أعلى بكثير من نباتات الظل. وبالعكس فإن نباتات الظل تصاب بضرر كبير عندما تتعرض لإضاءة أكبر من حد معين نتيجة الأكسدة الضوئية وتخريب الكلوروفيل ويصاحب ذلك إنخفاض في التمثيل الضوئي، كما تكون الإضاءة المثالية لمثل هذه النباتات ضعيفة جداً مثلاً ربع الإضاءة الشمسية المباشرة. وتجدر الإشارة إلى انه لا يستعمل من الطاقة الضوئية إلا 1–2% في التمثيل الضوئي (تبلغ متوسط إضاءة الشمس المباشرة على ورقة نباتية 10×103 إلى 103×20 لوكس) بينما ضوء القمر ليس إلا 0،2 لوكس.

1–2 – نوعية الضوء :

من المعروف النبات لايستعمل إلا قدراً ضئيلاً من الأشعة الضوئية الساقطة على أوراقه. وتكون ذروة امتصاص صبغة الكلوروفيل للطيف الضوئي في المنطقة الحمراء والزرقاء، بينما تكون ذروة امتصاص صبغة الكاروتينوئيدات في المنطقة الزرقاء. وينعكس معظم الضوء في المنطقة الخضراء. لذلك تبدو الأوراق بلون أخضر. لذلك يكون المعدل الأعلى للتمثيل الضوئي عند طول موجات المنطقة الحمراء والزرقاء وأقل معدل في المنطقة الخضراء.

11–2– تأثير تركيز Co_2 في الوسط:

يعتبر محتوى الهواء من Co_2 أحد العوامل الثلاثة الهامة المحددة للتمثيل الضوئي عند النباتات، وباستثناء الإضاءة المنخفضة (أقل من 100لوكس) والحرارات المنخفضة (أقل من 5مْ) فإن محتوى الهواء من Co2(0،03 %) يكون محدداً بشكل كبير ويبدأ الحد المثالي عند 0،1 % ولاتصبح ساماً إلا إذا تجاوز 2إلى 5% .

تبلغ نقطة التعادل لغاز الكربون (أي عندما يكون التمثيل الضوئي مساوياً للصفر) حداً منخفضاً جداً (0،005% أو 50 ppm) يعادل محتوى 0،03 %من Co_2 0،16 مغ كربون/ل ،وبما أن كل 1غ من المادة الجافة تحوي 450 إلى 500ذرة الكربون، نرى أن لتصنيع 1غ من المادة الجافة يجب على النبات أن يستخلص Co_2 من حوالي 3000ليتر من الهواء، وعندما ينعدم تركيز Co_2 في الوسط تنعدم كثافة التمثيل الضوئي ،فإنه فوق عتبة معينة تصبح كثافة هذه الظاهرة مستقلة عن تركيز Co_2 في الوسط

11–3–تأثير درجة الحرارة:

تعتبر الحرارة إحدى العوامل الهامة المحددة للتمثيل الضوئي، وكما هو الحال في كل الفعاليات الإستقلابية ،يلاحظ تأثيراً إيجابياً لدرجة الحرارة في هذه الظاهرة حتى 30مْ يكون تثبيط هذه الظاهرة أكثر وضوحاً بارتفاع درجة الحرارة،

ويمكننا القول أن درجة الحرارة المناسبة للتمثيل الضوئي هي 25م° .يعود التأثير الضار للحرارة المرتفعة على برتوبلازم الخلايا وخاصة الأنزيمات الموجودة بها كما ان قلة ذوبان Co_2 في بخار الماء الموجود في غرفة الثغر يخفض ما يصل منه إلى البلاستيدات الخضراء، كما أن ارتفاع درجة الحرارة يجعل لبيدات وبروتينات الغشاء الخلوي أكثر سيولة مما يؤثر في حركة النواقل الأنزيمية المسؤولة عن نقل الإلكترونات التي قد تبتعد عن بعضها البعض حتى لمسافات متناهية في الصغر، إلا أنها قد تبتعد عن بعضها البعض ممايسبب تثبيط الإنتقال الإلكتروني وانخفاض التمثيل الضوئي.

11-4- تأثير الماء:

للماء أهمية كبيرة تعادل أهمية العوامل السابقة وأي نقص يؤدي إلى انخفاض شديد في فعالية التمثيل الضوئي، ويعتبر نقص الماء والظروف الحرارية العالية هما العاملان المسؤولان بشكل رئيسي عن ضعف التمثيل المسجل في المناطق نصف الجافة والحارة والباردة، وكما نعلم فإن الماء ضروري لبناء المواد العضوية أثناء عملية التمثيل الضوئي كما أن وجوده ضروري لعمل الأنزيمات ونشاط التفاعلات الكيميائية، كما يؤدي نقص الماء إلى إغلاق الثغور وبالتالي انخفاض دخول CO_2إلى الورقة عبر الثغور مما يخفض عملية التمثيل الضوئي

11-5- تأثير الأوكسجين في الوسط:

إن تحرر الأوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي لمعلق من الخلايا الخضراء المضاءة قد تتثبط جزيئاً بواسطة أوكسجين الوسط. وقد وجد أن الزيادة في تركيز الأوكسجين (21%) تسبب حصول عملية التنفس الضوئي التي تؤدي إلى ضياع المواد العضوية. أما نقص الأوكسجين فيؤدي إلى حصول التنفس اللاهوائي وتشكل مركبات ضارة قد تكون السبب في إختلال عملية التمثيل الضوئي.

11-6- عوامل مرتبطة بالنبات:

يتم دخول Co_2 إلى مراكز التمثيل الضوئي أي الكلوروبلاست بواسطة انتشار جزيئاته من الوسط الخارجي نحو الفراغات الهوائية في البارانشيم عبر الثغور الموجودة على البشرة، لذلك فإن انفتاح الثغور بشكل منتظم يؤمن للنبات وسيلة فعالة لتنظيم دخول Co_2 في شدة ضوئية عالية ،حيث تحدد كمية Co_2 في شدة ضوئية عالية ،حيث تحدد كمية Co_2 المتاحة في الهواء شدة التمثيل الضوئي .كما أن مرور Co_2 من الهواء الداخلي إلى أنزيمات الكلوروبلاست يحدث انحلاله في السائل البروتوبلازمي، مما يطبق توازناً دقيقاً بين الصيغ الحامضية الملحية ل Co2(أملاح كربونات أو بيكربونات). كذلك فإن عدداً كبيراً من النباتات توجه أوراقها نحو الضوء بطريقة تعرض أكبر قدر من المسطح

الورقي إلى الأشعة الشمسية وبذلك تلتقط النباتات أكبر قدر من الأشعة ومن Co_2. وفي حال الإضاءة القوية فإن النباتات تغير توجه أوراقها حتى تخفض تعرضها للإضاءة القوية. وأخيراً يمكن القول إن شدة التمثيل الضوئي لـ م^2 من المسطح الورقي تكون كبيرة بقدر ما يكون للنباتات مسطح ورقي متطور.

وظيفة

ماهو التنفس الضوئي Photorespiration؟

يطلب من كل طالب تحضير الجواب مع الرسوم المعبرة

{ نهاية الجلسة }