Chapitre 6: Nutrition carbonée

التغذية الكربونية La nutrition Carbonée

مقدمة

لقد ساهم العديد من العلماء التوصل إلى حقيقة التفاعلات التي تتم خلال عملية البناء الضوئي أهمهم العالم blackman سنة 1905 و Hill سنة 1937.

تحتوي النباتات الخضراء على صبغات البناء الضوئي التي تتأثر بالأشعة الضوئية، و نتيجة لاستجابة هذه الصبغات للضوء يتمكن النبات من القيام بعملية البناء الضوئي.

يجب معرفة أن الضوء هو المهم في عملية البناء الضوئي. و يمكن تصورأن الشعاع الضوئي يشبه تيارا من الجسيمات المتناهية في الصغر ويسمى كل جسيم فوتون photon و عند اصطدام هذه الجسيمات بالكلوروفيل تنتقل طاقتها الضوئية إلى إلكترونات الكلوروفيل و بذلك تدفع جزيئات الكلوروفيل إلى إحداث التفاعل الكيميائي الضوئي. والطاقة التي يحتويها الفوتون تسمى كوانتم quantum.

التمثيل الضوئي هو العملية المسؤولة عن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية على مستوى النبات، بمعنى آخر: عملية تصنيع المادة العضوية (السكريات) من ضوء الشمس. يحدث على مستوى البلاستيدات الخضراء، وهي عضيات خلوية متخصصة، تسمح باستهلاك ثاني أكسيد الكربون والماء لإنتاج الأكسجين والجزيئات العضوية مثل الجلوكوز.

1. تعريف التركيب الضوئي

تأتي كلمة Photosynthèses من Photo وتعني ضوء، Synthèses 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 بالاستعمال المكثف للمواد الكيميائية السامة لنباتات الوسط تسبب خللاً للتوازن البيئي وتتحول المنطقة إلى صحراء.

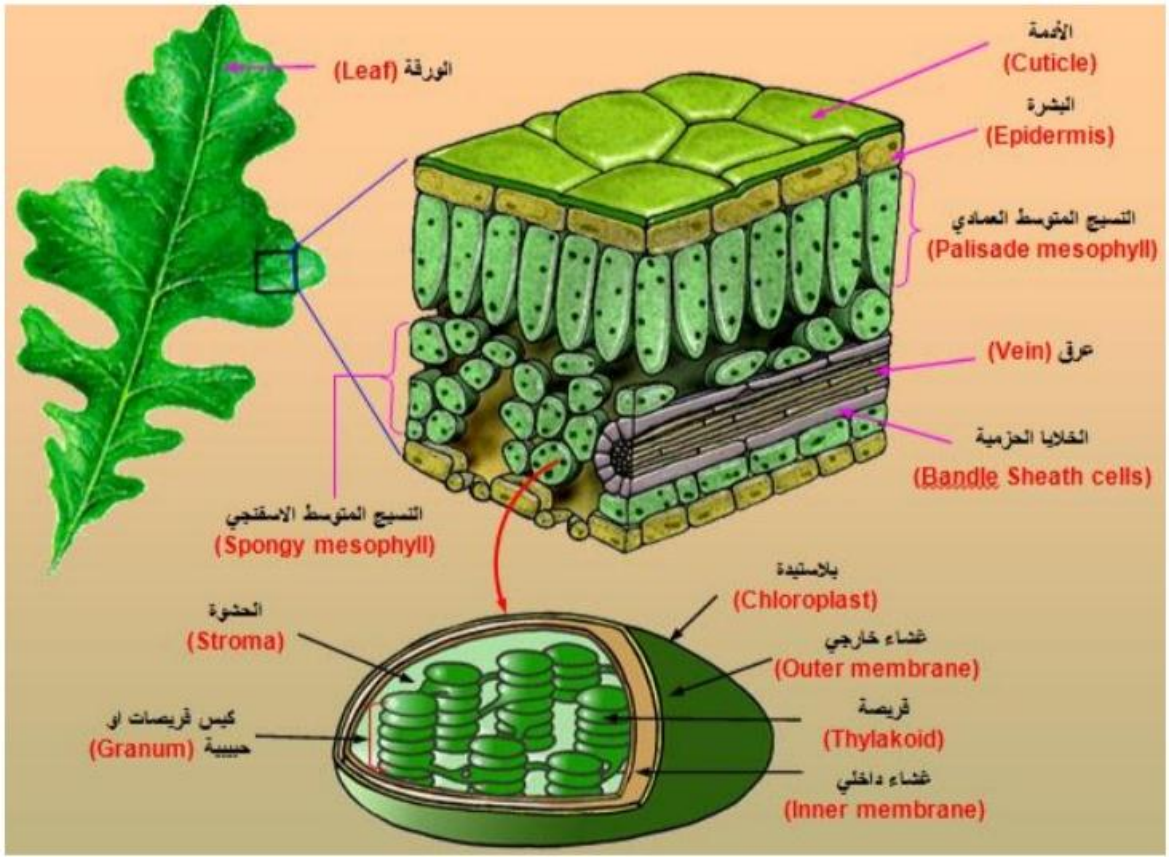
2. أهمية التمثيل الضوئي

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.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

3. الموقع

يحدث التمثيل الضوئي بشكل رئيسي على مستوى الأوراق (أنظر الشكل 1)، على مستوى أنسجة الحاجز الموجودة تحت البشرة العلوية والتي تجمع الفوتونات الضوئية. يتم إعطاء خصائص الخلايا المسؤولة عن التمثيل الضوئي لها بواسطة البلاستيدات الخضراء، التي تمتلكها والتي تحتوي على أصباغ مستقبلة للضوء: الكلوروفيل والأصباغ المرتبطة بها.



شكل 1: موقع التركيب الضوئي وتركيب البلاستيدة

تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصانعات الخضراء. للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالتالي:

- تراكيب غشائية داخلية تشكل أكياس مسطحة: التيلاكوئيد.
- تجويف داخلي :الحشوة stroma، محددة بغشاء بلاستيدي داخلي.
- يضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي.
- يفصل الغشاءين البلاستيديين فراغ بين غشاءين.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

جزء الصانعة الخضراء	أهم المكونات الكيميائية
أغشية التلاكويد	أصبغة يخضورية أصبغة أشباه الجزرين نواقل الإلكترونات نوعان من الأنظمة الضوئية (PSI وPSII) إنزيم ATP سنتاز (الكرية المذنبة)
الحشوة	مواد أيضية لتركيب الجزيئات العضوية مرافقات إنزيمية ($NADP^+$ وNADPH) Pi وADP, ATP إنزيمات متنوعها أهمها ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco

4. التركيب الكيميائي للصانعات الخضراء

تتكون البلاستيدات الخضراء من جسيمات تحتوي 45_50 % من وزنها ماء. محاط بجدر تغلف هذه الجدر الـStroma التي هي عبار ة عن هلام (gel) غني بالبروتينات يكون معظمها عبارة عن أنزيمات، كما تحتوي على أيونات ومركبات عضوية متنوعة مثل الPO4 Mg, Nucleotides ،Sucres،Organic.....كما تحتوي علىDNA ، RNA وعلى بلاستوريبوزومات . كما يوجد بها حبيبات من النشاء تسمح بتخزين الهكسوزات على شكل تجمعات وكذلك تحتوي على لبيدات غنية Plastoquinone، يحتوي غلاف الكلوروبالست على 60 % لبيدات و40 % بروتينات، وترتيب اللبيدات حسب أهميتها كما يلي:

Galactolipides :وهي (غليكولبيد يحوي 1أو عدة غلاكتوز)، phospholipides و Sulpholipides ،كما يحتوي نسبة ضئيلة من صبغة الكاروتينات.

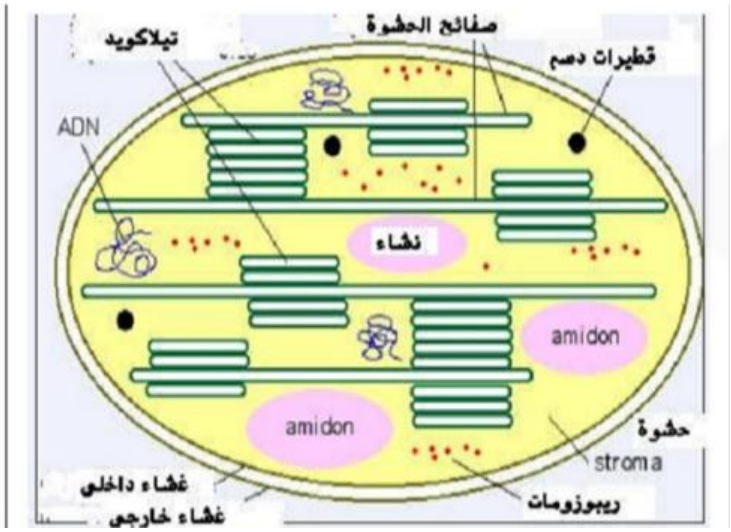
وتشير التحاليل إلى وجود عدد من السلاسل البوليببيدية وهي مختلفة عن تلك الموجودة في التيلاكوئيد Thylacoidas، من هذه البروتينات Galactosyltransferase الذي ينشط تمثيل الglycolipides الجدارية والنواقل التي تنظم مرور الجزيئات بين ال Stroma والهيالوبالزم.

أما جدار التيلاكوئيد من 38 % لبيدات و 12 % من الصبغيات و 50 % من البروتينات، هي واللبيدات ألكثر تواجدا ال galactolipides التي تشكل وحدها نصف اللبيدات الكلية ثم تأتي بعدها الـ Phospholipides و الـ 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 .

Chapitre 6: Nutrition carbonée

يملك الغلاف وجدر التيلاكوئيد سلسلة من نواقل الإلكترونات تسمى سلسلة التمثيل الضوئي photosynthétique، وتملك ATPaseالذي يسمح بفضل الطاقة الملتقطة بإرجاع NADP+ بواسطة الماء إلى NADPH ويسمح كذلك بفسفرة ال ADPإلى ATP وتسمى هذه الظاهرة الأخيرة بالفسفرة الضوئية Photophosphorylation .

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



شكل 2: التركيب الكيميائي للصانعة الخضراء chloroplaste

5. الصيغة

$$nCO2 + nH2O \xrightarrow{\text{الكلوروفيل}} CH2O)\,n + nO2 + nH2O$$

إن التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي يمكن تلخصيها في المعادلة الإجمالية التالية:

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

- ✓ أن تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي هي تفاعلات أكسدة وإرجاع.
- ✓ أن الأكسدة تتم في غشاء التيلاكويد لأنها تتطلب وجود اليخضور بينما يتم الإرجاع في الحشوة Stroma.
- ✓ أن اختلاف دور كل من التيلاكويد والحشوة يعود إلى اختلاف تركيبهما الكيميائي.

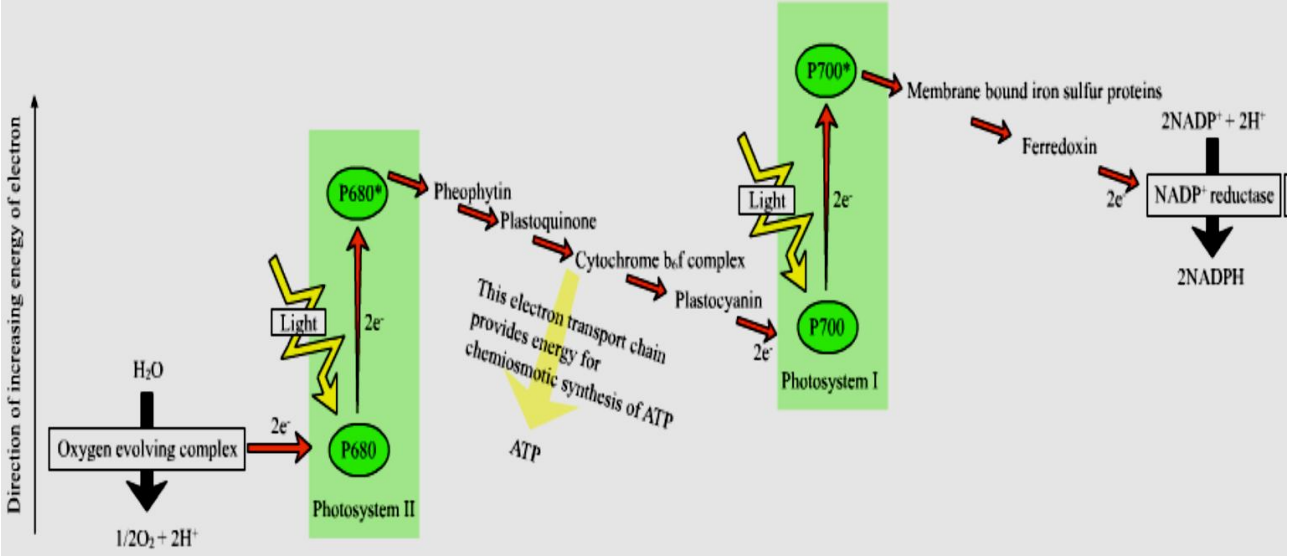
6. تفاعلات البناء الضوئي:

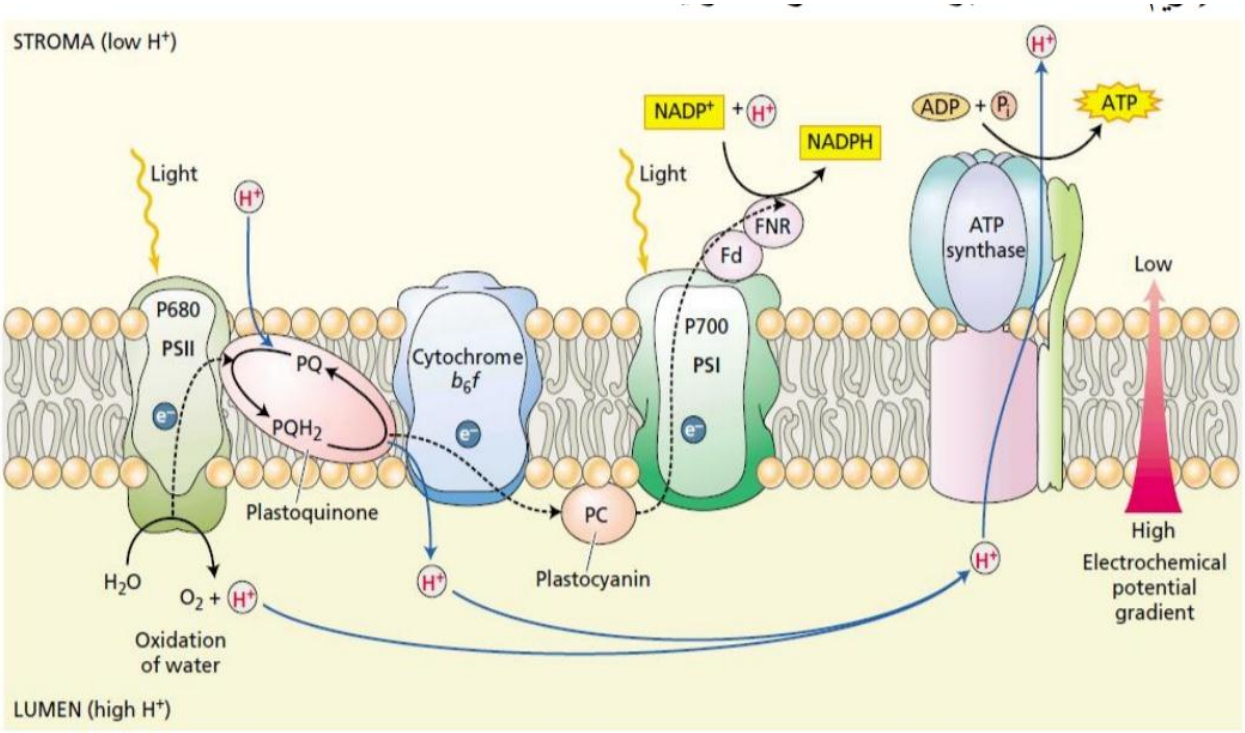
يتم تنفيذ عملية التمثيل الضوئي على مرحلتين رئيسيتين، مرحلة الضوء ومرحلة الظلام.

- ❖ المرحلة الواضحة عبارة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية الضوئية، والتي تعتمد على الضوء، والتي يتم خلالها نقل الإلكترونات عبر نظامي (PSI وPSII) لإنتاج ATP (جزيء غني بالطاقة) و

Chapitre 6: Nutrition carbonée

$NADPH , H^+$. وبالتالي فإن مرحلة الضوء تسمح بشكل مباشر بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.





شكل 3 (a-b) التدفق الالكتروني في الانظمة الضوئية في تفاعلات الضوء

- المرحلة المظلمة هي دورة كالفن الأنزيمية غيرالمعتمدة على الضوء والتي يتم فيها استخدام ATP و $NADPH , H^+$ لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات. يسمح هذا الجزء الثاني بامتصاص ثاني أكسيد الكربون.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

أولا: مجموعة التفاعلات الضوئية

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)

$$ADP + H_3PO_4 \xrightarrow{\text{light energy Chlorophyll}} ATP$$

يوجد نوعان من الفسفرة الضوئية:

1- الفسفرة الضوئية اللاحلقية: يؤدي سقوط الضوء على النظام I 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 :

$$\text{Photosystem I } \{ 2OH^-$$

$$2H_2o \xrightarrow{\text{light}} 2H^+ \longrightarrow H_2o + 1/2O_2 + 2e$$

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 $\lambda \leq 680$ تجعل إلكتروناً من الكلوروفيل ينتقل إلى مستقبل Q هو بدون شك Plastoquione خاص ثم ينتقل الإلكترون عبر سلسلة من النواقل هي:

$$\text{Plastoquinone} \longrightarrow \text{Cyt f} \longrightarrow \text{plastocyanine}$$

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.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

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 700nm≤ λ 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 I احيث 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.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

ثانيا: التفاعلات المظلمة لعملية التمثيل الضوئي

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 acid Phosphogleceric -3(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 1-3-Bisphosphoglycerate ثم إلى Phosphoglycer aldehyd –

Chapitre 6: Nutrition carbonée

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

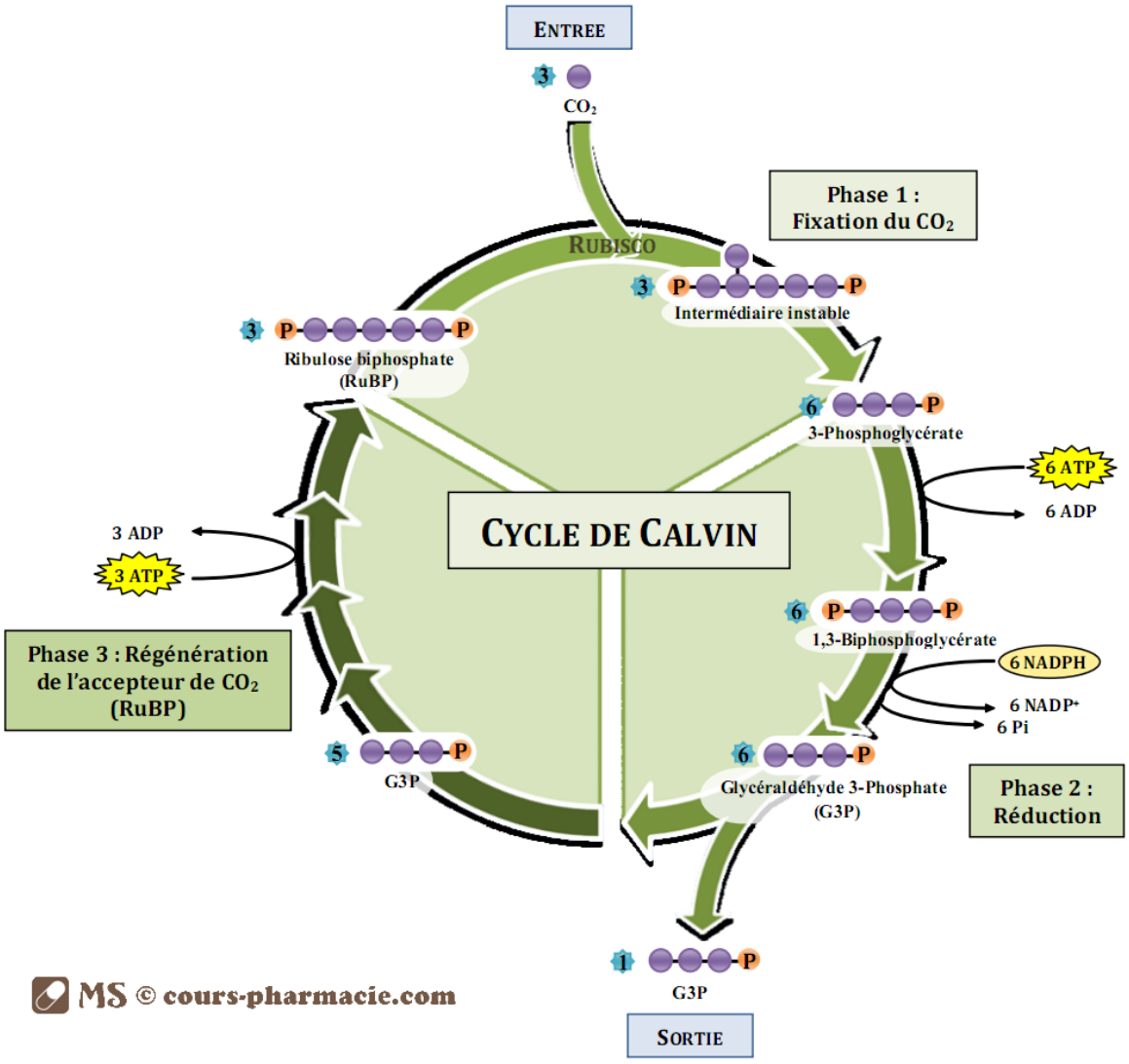
تستعمل هذه الجزيئات ثلاثية الكربون في تصنيع الهكسوزات المسفرة مثل فركتوز 1-6 ثنائي الفوسفات (1- 6 fructose diphosphate) والذي يتحول بدوره إلى غلوكوز -1- فوسفات الذي يمكن أن يدخل في تركيب النشاء . كما تستعمل في إعادة تخليق المستقبل C5 حسب حلقة من التفاعلات تسمى حلقة كالفن.

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 .

Chapitre 6: Nutrition carbonée



شكل 4: دورة كالفن

الملخص: كل ثلاث دورات من كالفن تثبت ثلاثة جزيئات من CO_2 والصافي هو جزيئة واحدة من 3PGald. اي ان متطلبات تثبيت جزيئة واحدة من CO_2 هي جزيئتين من NADPH وجزيئتين من ATP .أما جزيئة ATP الثالثة تستعمل في استعادة تخليق (régénération) مركب RuBP .

7. العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

أولا العوامل الخارجية

❖ **تركيز CO_2**: تركيز CO2 في الجو ضئيل حوالي 0.03 % حجما وهي كمية ثابتة تقريبا لكنها توفر الكمية المطلوبة للطحالب والنباتات لعملية البناء الضوئي.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

- **درجة الحرارة:** تؤثر درجة الحرارة كثيرا في عملية البناء الضوئي بالرغم من أنها نشطة في مدى يتراوح بين 0 أقل من 60 م.
- **الضوء:** هناك مجموعة العوامل الضوئية المؤثرة في عملية البناء الضوئي وهذه تشمل الضوء المنعكس

Reflected و الممتص Absorbed والنافذ Transmitted فضلا عن شدة ونوعية الضوء وفترة الإضاءة المتاحة والتأثير المدمر للضوء.

- **الماء والعناصر الغذائية:** بالرغم من أن عملية البناء الضوئي لاتحتاج إلى كمية كبيرة من الماء بالمقارنة مع تلك الكميات المطلوبة لاستمرار الحياة والفعاليات الحيوية الأخرى فأن العجز في الماء إنما يؤثر في مجمل النظام الحي وبالتالي يؤثر في البناء الضوئي بصوة غير مباشرة.
- **الأوكسجين:** هناك عدد من الأسباب حول التأثير السلبي للأوكسجين على عملية البناء الضوئي أهمها:

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

- قد يتنافس الأوكسجين مع CO_2 على الهيدروجين وبالتالي يختزل الأوكسجين بدلا من CO_2
- قد يحصل تنافس بين الأوكسجين و CO_2 على المواقع الفعالة لأنزيم Rubisco؛ إذ يكون هذا التنافس لصالح الأوكسجين.

- **الملوثات:** تنتشر الملوثات بدرجة كبيرة في المناطق الصناعية والتي تؤثر كثيرا في أيض النبات وخاصة في عملية البناء الضوئي.

ثانيا العوامل الداخلية

- **الكلوروفيل:** هو أحد العوامل الرئيسة في إنجاز عملية البناء الضوئي.
- **تراكم نواتج عملية البناء الضوئي:** أن تراكم نواتج عملية البناء الضوئي بدرجة كبيرة يكون مصاحبا بهبوط في سرعة هذه العملية وزيادة في سرعة عملية التنفس.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

ماهو الفرق بين نباتات C3 و C4

نباتات C3	نباتات C4
1-تنتمي لها معظم النباتات .	1- تنتمي لها عدد قليل من النباتات.مثل قصب السكر،والذرة ،الحشائش ، الاعشاب الاستوائية .
2-نباتات هذه المجموعة غير متأقلمة للمناطق الصحراوية وشبه الصحراوية .	2-نباتات هذه المجموعة متأقلمة للمناطق الصحراوية وشبه الصحراوية .
3- تحتوي على نوعين من البلاستيدات توجد في خلايا النسيج الاسفنجي للورقة .	3- تحتوي على نوعين من البلاستيدات الاول يوجد في غلاف الحزم الوعائية او مايسمى بالضفيرة والثاني يوجد في خلايا النسيج الاسفنجي للورقة .
4- لاتستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عاليةعند توفر تراكيزواطئة من الCO_2 (نقل كفائة التراكيز الواطئة).	4- تستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عاليةعند توفر تراكيزواطئة من الCO_2.
5- كفائتها تقل في درجات الحرارة العالية .	5-تستطيع انجاز التركيب الضوئي في درجات الحرارة العالية .
6- عدد فتحات الثغور الورقية كبير وتفقد الماء كثيرا.	6- عدد فتحات الثغور الورقية قليل وتفقد الماء قليلا.
7- لاتحتاج الى شدة ضوء عالية للوصول الى اعلى معدل لعملية التركيب الضوئي .	7- تحتاج الى شدة ضوء عالية للوصول الى اعلى معدل لعملية التركيب الضوئي (لان شدة الضوء اوتوماتيكيا عالية للعيش في الصحراء).
8- تحدث عملية التركيب الضوئي في خلايا ميزوفيل الورقة .	8- تحدث عملية التركيب الضوئي في خلايا ميزوفيل الورقة والحزم الوعائية .
9- تحدث فيها عملية التنفس الضوئي التي تقلل من كفاءة التركيب الضوئي .	9- لاتحدث فيها عملية التنفس الضوئي.
10- تحدث فيها عملية التركيب الضوئي بموجب دورة كالفن فقط .	10- تحدث فيها عملية التركيب الضوئي بموجب دورة كالفن زائدا مسار هاج- سلاك.

Chapitre 6: Nutrition carbonée

11- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي هو مركب يحمل ثلاث ذرات كاربون هو فوسفوأينول بروفك أسد ويرمز له PGA .	11- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي هو مركب رباعي ذرات الكاربون هو اوكزالو حامض الخليك .
12-سرعة النتح : اكبر (450-950 غم ماء /غم وزن جاف).	12-سرعة النتح : اصغر (250-350 غم ماء /غم وزن جاف).
13- سرعة عملية البناء الضوئي العظمى : اصغر (15-40 ملغم CO_2 / دسم^2/ ساعة) .	13- سرعة عملية البناء الضوئي العظمى : اكبر (40-80 ملغم CO_2 / دسم^2/ ساعة) .
14- سرعة النمو العظمى : اصغر (0،5-2 غم وزن جاف / دسم^2) .	14- سرعة النمو العظمى : اكبر (4-5 غم وزن جاف / دسم^2) .

ماهو الفرق بين تفاعلات الضوء والظلام .

الضوء	الظلام
1- تحتاج الى وجود الضوء .	1- تحتاج الى وجود الضوء .
2- سريعة.	2- بطيئة .
3- غير حساسة للحرارة .	3- حساسة .
4- تحدث في البذيرات والصفائح مابين البذيرات .	4- تحدث في الحشوة .
5- النواتج هي ATP . و$NADPH_2$.	5- سكريات او مواد كربوهيدراتية .
6- يحدث خلالها التفاعلات الخاصة بالماء وانشقاقه ضوئيا .	6- يحدث خلالها تثبيت واختزال ثاني اوكسيد الكربون .
7- نواتج تفاعلات الضوء هي مفتاح تفاعلات الظلام .	7- نواتج تفاعلات الظلام لاتؤثرعلى تفاعلات الضوء .
8- تنتج طاقة بشكل ATP وقوة اختزالية بشكل $NADPH_2$.	8- تستهلك الطاقة والقوة الاختزالية السابقة الذكر .
9- تحدث خلالها عملية الفسفرة الضوئية .	9- لاتحدث .
10- تفاعلات كيموضوئية .	10- تفاعلات كيموحرارية .