جامعة تكريت
كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية
المرحلة الرابعة

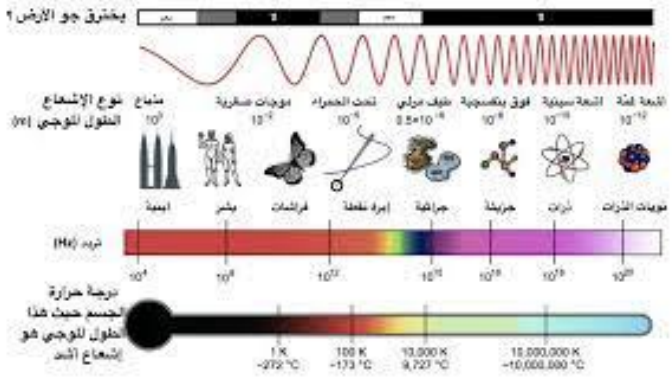
فسلجة نبات
Plant Physiology

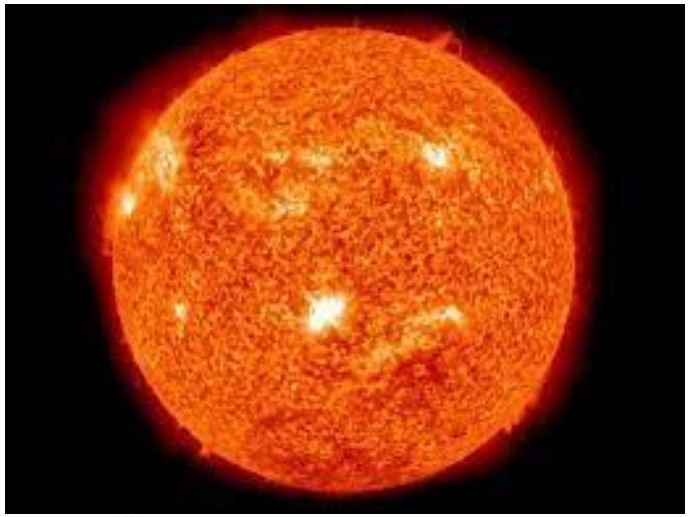
التمثيل الكاربوني (البناء الضوئي)
photosynthesis

المحاضرة الخامسة

د. فراس احمد درج

ما هو مصدر الطاقة الرئيس في الكون؟

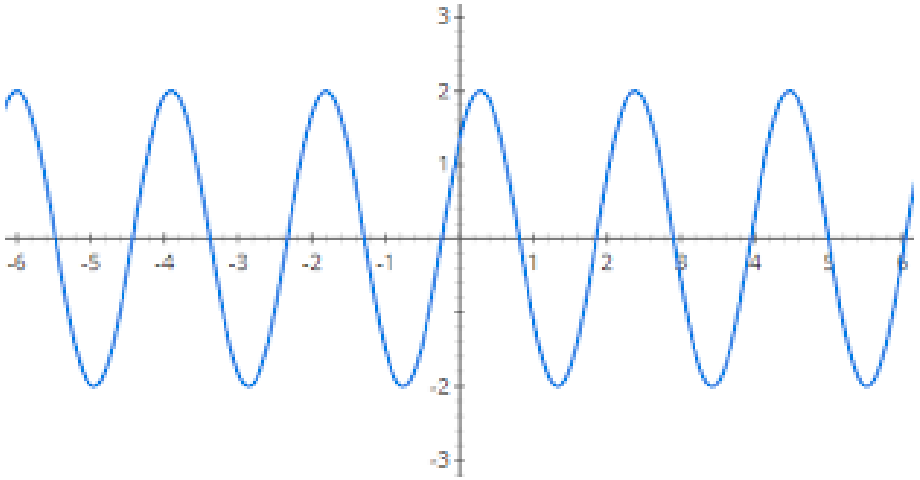




- الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة في الكون

- ضوء الشمس : عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات اطوال موجية متباينة وهذه الموجات تتألف من حزم من الفوتونات Photons تحمل طاقة تسمى الكوانتم Quantum وتختلف طاقة الموجات باختلاف التردد .

ما هو التردد؟



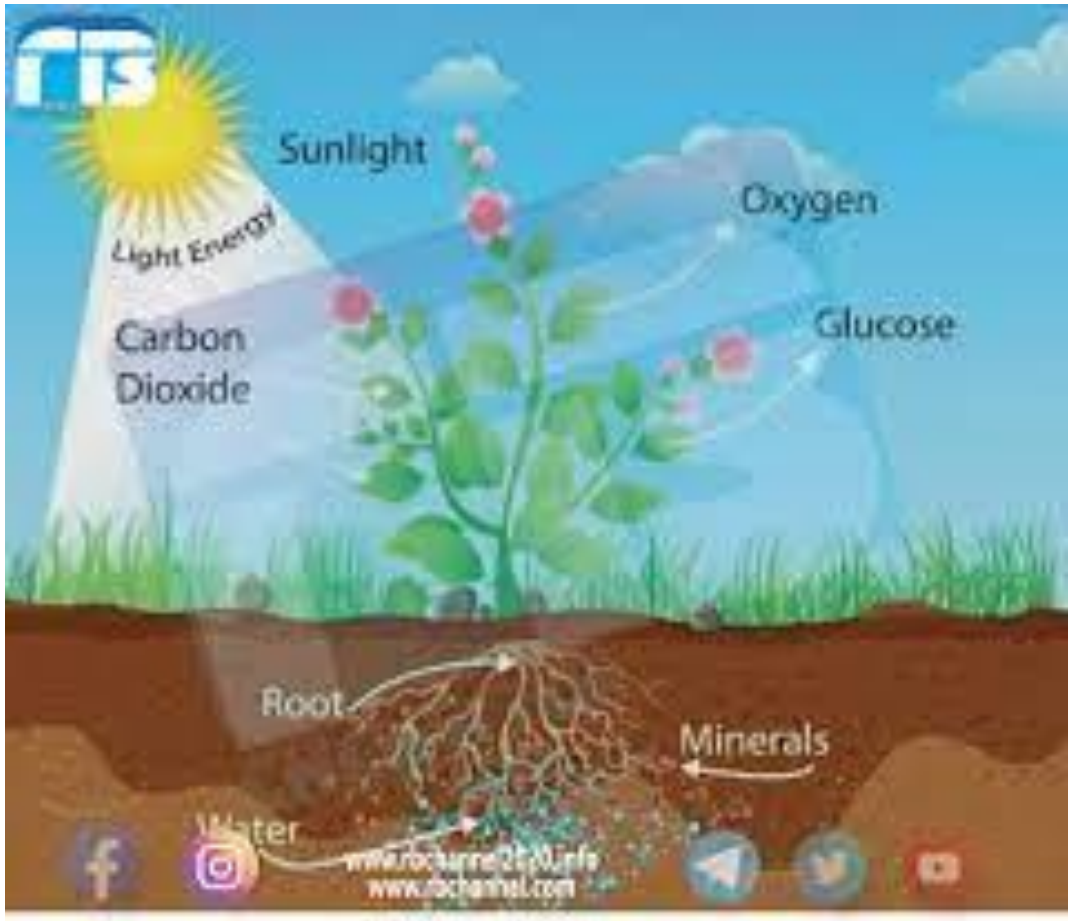
- هو عدد الموجات المارة في نقطة معينة بفترة زمنية محددة، تتناسب الطاقة التي يحملها الفوتون طرديا مع التردد .

تحول الطاقة الشمسية!

- تستخدم الطاقة الشمسية لتكوين الكربوهيدرات في النبات من CO_2 والماء عن طريق تكوين سلاسل من الهيدروكربون عند تثبيت الطاقة الضوئية في روابط كيمياوية من ذرات الكربون

- تتحول مرحلة الطاقة العالية للشمس High-grade energy الى مرحلة الطاقة المتوسطة Medium-grade energy في صورة جزيئات عضوية مخزونة في النبات يضيع جزء منها على شكل حرارة والقسم الاخر يتحول الى مرحلة الطاقة الواطئة Low-grade energy عندما يتغذى الانسان والحيوان على هذه النباتات.

تحول الطاقة الشمسية!



- تتكون الطاقة المخزونة في النباتات من اتحاد CO_2 مع الماء وذلك باستخدام الطاقة الضوئية من قبل الكلوروفيل بحيث عند تحلل المادة الجافة للحاصل النهائي للنبات نجد ان 90 – 95% منها تتكون من الكربون والماء اي ان المادة الجافة تمثل 5 -10% فقط التي تتكون من النتروجين والفسفور والعناصر الاخرى التي يتم الحصول عليها من التربة والاسمدة

التمثيل الكربوني

- التمثيل الكربون : عبارة عن عملية معقدة تحدث في الكائنات الحية الحاوية على الكلوروفيل.

- يحدث اختزال ضوئي للكربون الموجود في CO_2 من قبل الهيدروجين الذي مصدره الماء باستخدام طاقة مصدرها ضوء الشمس وكما ف المعادلة:

$$6CO_2 + 12H_20 \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

ما هو مصدر الاوكسجين الناتج من عملية التمثيل الكربوني؟

- ان النباتات الخضراء ذاتية التغذية اي انها قادرة على تكوين غذائها بنفسها بتحويل CO_2 اللاعضوي الى مواد عضوية سكرية بواسطة الطاقة داخل البلاستيدات الخضراء

- ان عملية التمثيل الكربوني عملية معقدة لخصت بالمعادلة :

- $$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ما هو مصدر الاوكسجين الناتج من عملية التمثيل الكربوني؟

- من توازن المعادلة (2) فان مصدر الأوكسجينين الناتج قد يكون من ثان اوكسيد الكربون او الماء اوكلاهما معا.

- ولكن باستخدام النظائر المشعة امكن اثبات ان الأوكسجين الناتج مصدره الماء فقط ، فقد استخدم نظير الأوكسجينين المشع(O^{18}) في جزيئة الماء بدلا من (O^{16}) اي باستخدام جزيئة ماء معلمة بالنظير المشع (H_2O^{18}) (كما ف المعادلة 3)

- وعند فحص الأوكسجينين المتحرر تبين بانه من النظير المشع وهذا يثبت بان مصدره الماء وليس ثان اوكسيد الكربون، اما اذا تم تعليم الأوكسجين في ثان اوكسيد الكربون بالنظير المشع فان الاوكسجين المتحرر كان من النوع غير المشع O^{16} وبذلك وضعت معادلة الجديدة بتوازن جديد كما في المعادلة الاولى

جهاز التمثيل الكربوني (البلاستيدات الخضراء)

- تجري عملية التمثيل الكربوني في البلاستيدات الخضراء Chloroplast الموجودة في بروتوبلازم الخلايا النباتية الحية.

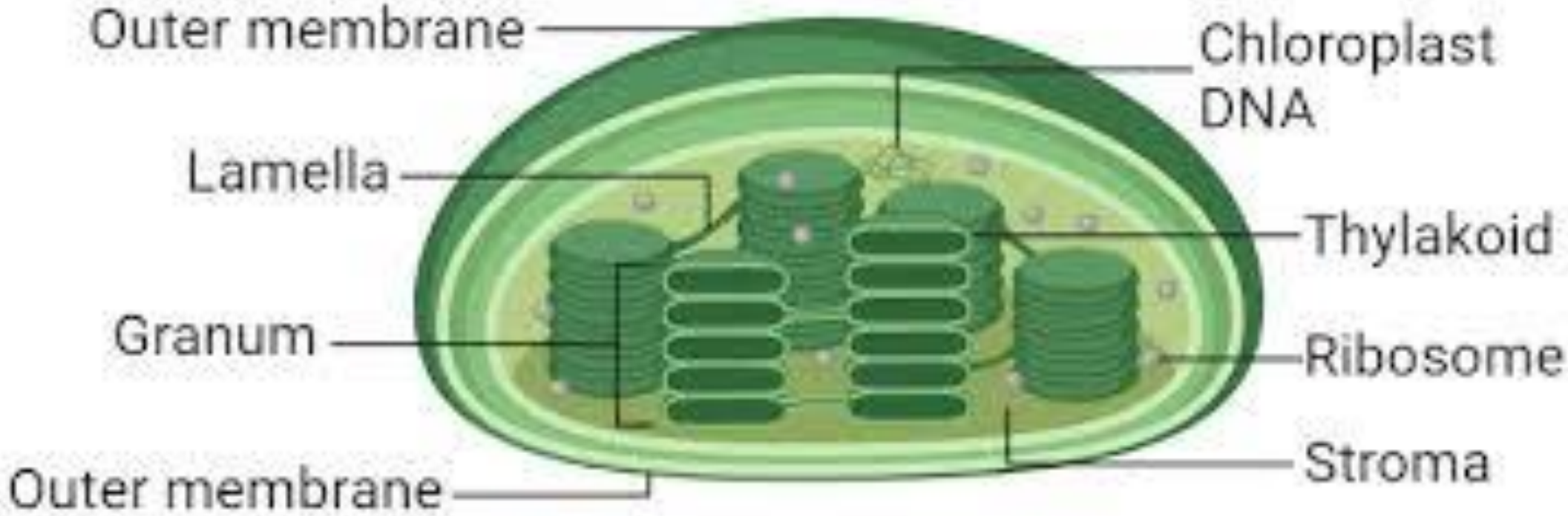
- تحاط البلاستيات الخضراء بغشائين خارجي وداخلي تسمى Limiting Membrane يمتد الغشاء الداخل الى الداخل ويؤدي الى تكوين نظام غشائي داخلي معقد ذو تركيب بروتيني لبيدي ترتبط كل من الكلوروفيل والصبغات الاخرى بالجزء البروتيني منها.

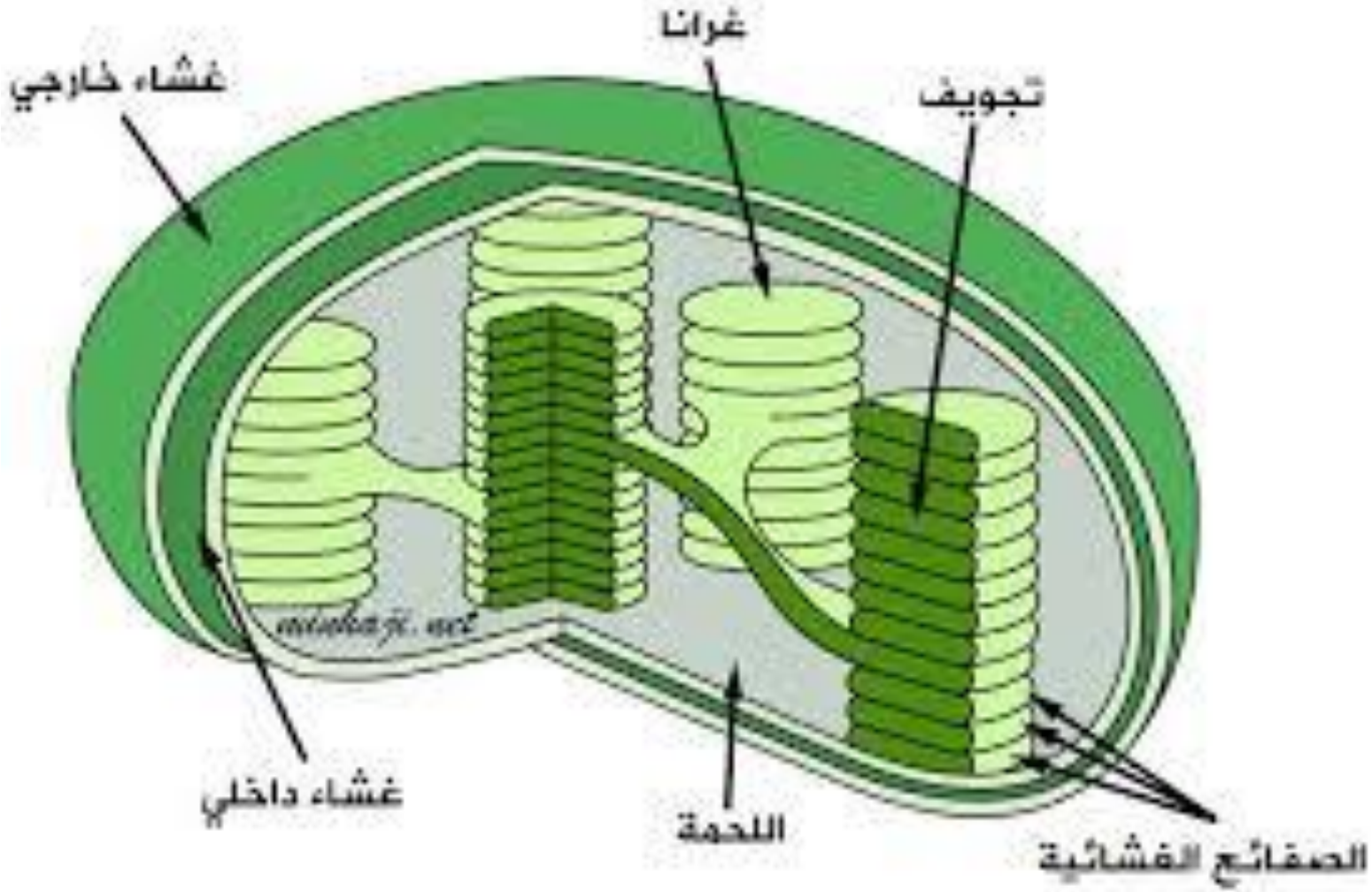
جهاز التمثيل الكربوني (البلاستيدات الخضراء)

- يتكون النظام الداخل الغشائي من صفائح غشائية او أقراص غشائية مرتبة بشكل مجاميع تحوي المجموعة الواحدة مابين 5-50 قرص مرتبة الواحدة فوق الاخرى مكونة ما يسمى الكرانا او الكرانم Granum **والكرانا عبارة عن منطقة مركزة بالكلوروفيل والتي يحدث فيها تفاعل الضوء .**

- تمتد بعض الصفائح الغشائية مابين مجاميع الكرانا والتي تسمى بالصفائح مابين الكرانا Intergranal lamella او صفائح الستروما Stromal lamella.

- يملأ البلاستيدات الخضراء مادة ذات طبيعة بروتينية تسمى الستروما Stroma وهي المنطقة الاقل تركيزا وذات لون فاتح و يحدث فيها اختزال ثان اوكسيد الكربون في تفاعل الظلام لاحتوائها على الانزيمات الخاصة بالتمثيل الكربوني وتثبيت CO_2.


Outer membrane
Chloroplast DNA
Lamella
Thylakoid
Granum
Ribosome
Stroma
Outer membrane


غشاء خارجي
غرانا
تجويف
غشاء داخلي
اللحمة
الصفائح الغشائية

الضوء المستخدم في عملية التمثيل الكربوني

- ان الضوء المستخدم في عملية التمثيل الكربوني هو الضوء المرئي الذي يشمل الموجات الضوئية التي تتراوح اطوالها الموجية ما بين 400-700 ملي مايكرون

- ان الحد الادنى للضوء المرئي 400 ملي مايكرون يمثل المنطقة الزرقاء البنفسجية بينما الحد الأعلى 700 ملي مايكرون يمثل نهاية المنطقة الحمراء من الطيف.

لماذا لا يتم استخدام الموجات الضوئية الاقل من 400 او الاكثر من 700 مليمايكرون في التمثيل الكربوني؟

- ان الضوء ينتقل بشكل حزم على هيئة دقائق تسمى الكوانتم والطاقة الموجودة في الفوتون تتناسب طرديا مع التردد، لذلك فانه كلما كانت قيمة التردد عالية كلما كانت الطاقة التي تحملها الموجة الضوئية عالية ايضاً، وكلما كان طول الموجة كبيراً كلما كانت قيمة التردد صغيرة وتحمل طاقة اقل في الكوانتم.

لماذا لا يتم استخدام الموجات الضوئية الاقل من 400 او الاكثر من 700 مليمايكرون في التمثيل الكربوني؟

- ان الفوتونات في الموجات الواطئة الاطوال الموجية اقل من 400 مليمايكرون تكون طاقتها عالية لذلك فانها تسبب تلف الكلوروفيل.

- ان الفوتونات في الاطوال الموجية العالية اكثر من 700 مليمايكرون تكون طاقتها قليلة لذلك فانها تكون غير قادرة على اثارة الكلوروفيل وتزودها بطاقة غير كافية لاجراء عمل ية البناء الضوئي.

تفاعلات التمثيل الكربوني

➢ تفاعلات الضوء : Light reactions

وهي تفاعلات تعتمد على وجود الضوء وتسمى بالتفاعلات الكيميائية الضوئية، يتم في هذه التفاعلات تثبيت الطاقة الضوئية بواسطة الكلوروفيل وتجزئة الماء بفعل الطاقة المثبتة لانتاج مركب الطاقة ATP والمركب المختزل NADPH وتتم هذه التفاعلات في الكرانا.

➢ تفاعلات الظلام : Dark reactions

وهي تفاعلات كيميائية انزيمية لا تعتمد على الضوء بل انها تحدث في الضوء والظلام دون ان تكون معتمدة على وجود الضوء، ويتم في هذه التفاعلات استخدام مركبات الطاقة والمركبات المختزلة والانزيمات لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون وتحويلة الى السكريات.

جامعة الحرية

تقسم النباتات بحسب مسار تفاعل الظلام وتثبيت ثاني اوكسيد الكربون

❖ نباتات ثلاثية الكربون C3 Plants

هي النباتات التي تتم فيها عملية التمثيل الكربوني بتثبيت CO_2 في تفاعل الظلام بحيث يكون الناتج الاول بعد دخول CO_2 في التفاعل مركب يحتوي على ثلاث ذرات كربون وهو PGA Phosphpglyceric acid وبمساعدة الانزيم RuBPcar المسمى RuBPcarboxylase و يجري تفاعل الظلام في هذه النباتات في خلايا النسيج المتوسط Mesophyll، ومن هذه النباتات الرز والحنطة.

❖ نباتات رباعية الكربون C4 plants

وهي النباتات التي تتم فيها عملية التمثيل الكربوني بتثبيت CO_2 في تفاعل الظلام بحيث يكون الناتج الاول بعد دخول CO_2 في التفاعل مركب يحتوي على اربع ذرات من الكربون وهو مركب Oxaloacetate وبمساعدة الانزيم PEPcar PEPcarboxylase و يجري تفاعل الظلام في هذه النباتات اولا في خلايا النسيج المتوسط ثم ينتقل الى خلايا غلاف الحزمة Vascular cells.

جوانب المقارنة بين نباتات ثلاثية الكربون ورباعية الكربون

- تحتوي نباتات رباعية الكربون على بلاستيدات خضراء في خلايا غلاف الحزمة الوعائية بينما لا تحتوي هذه الخلايا على بلاستيدات خضراء في نباتات ثلاثية الكربون .

- تختلف البلاستيدات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط لنباتات رباعية الكربون من الناحية الكيميوحيوية عن نباتات ثلاثية الكربون.

- البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا غلاف الحزمة الوعائية في نباتات C4 تكون اكبر وفيها Grana اقل تطورا من البلاستيدات في خلايا النسيج المتوسط

- تثبيت CO_2 في نباتات رباعية الكربون يتم بمساعدة انزيم PEPcar الذي يكون احماض رباعية الكربون في خلايا النسيج المتوسط ثم تنتقل هذه الاحماض الى خلايا غلاف الحزمة لأكمال الدورة ، اما في نباتات ثلاثية الكربون فان تثبيت CO_2 يتم بمساعدة انزيم RuBPcar لتكوين مركب ثلاثي الكربون في خلايا النسيج المتوسط فقط.

- يعد انزيم PEPcar ذو قوة جذب اقوى لثاني اوكسيد الكربون من انزيم RuBPcar لذلك فان انزيم PEPcar يعمل بكفاءة اعلى في التراكيز المنخفضة من CO_2.

- تستخدم نباتات C4 طاقة اكثر من الطاقة التي تستخدمها نباتات C3 في تثبيت جزيئة واحدة من CO_2.

العوامل المؤثرة في التمثيل الكربوني

- الضوء
- تركيز ثنائي أوكسيد الكربون
- درجة الحرارة
- الماء
- عمر الورقة وحالة العناصر
- محتوى النبات من الكلوروفيل