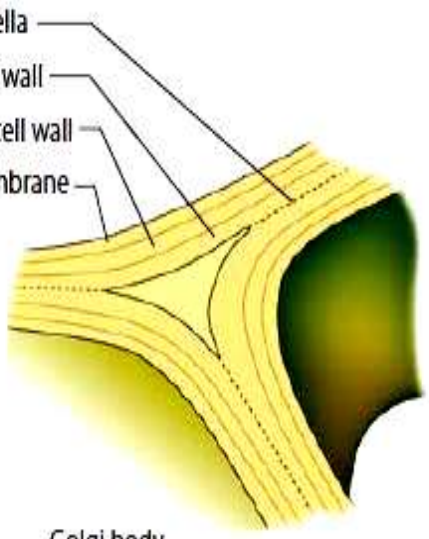
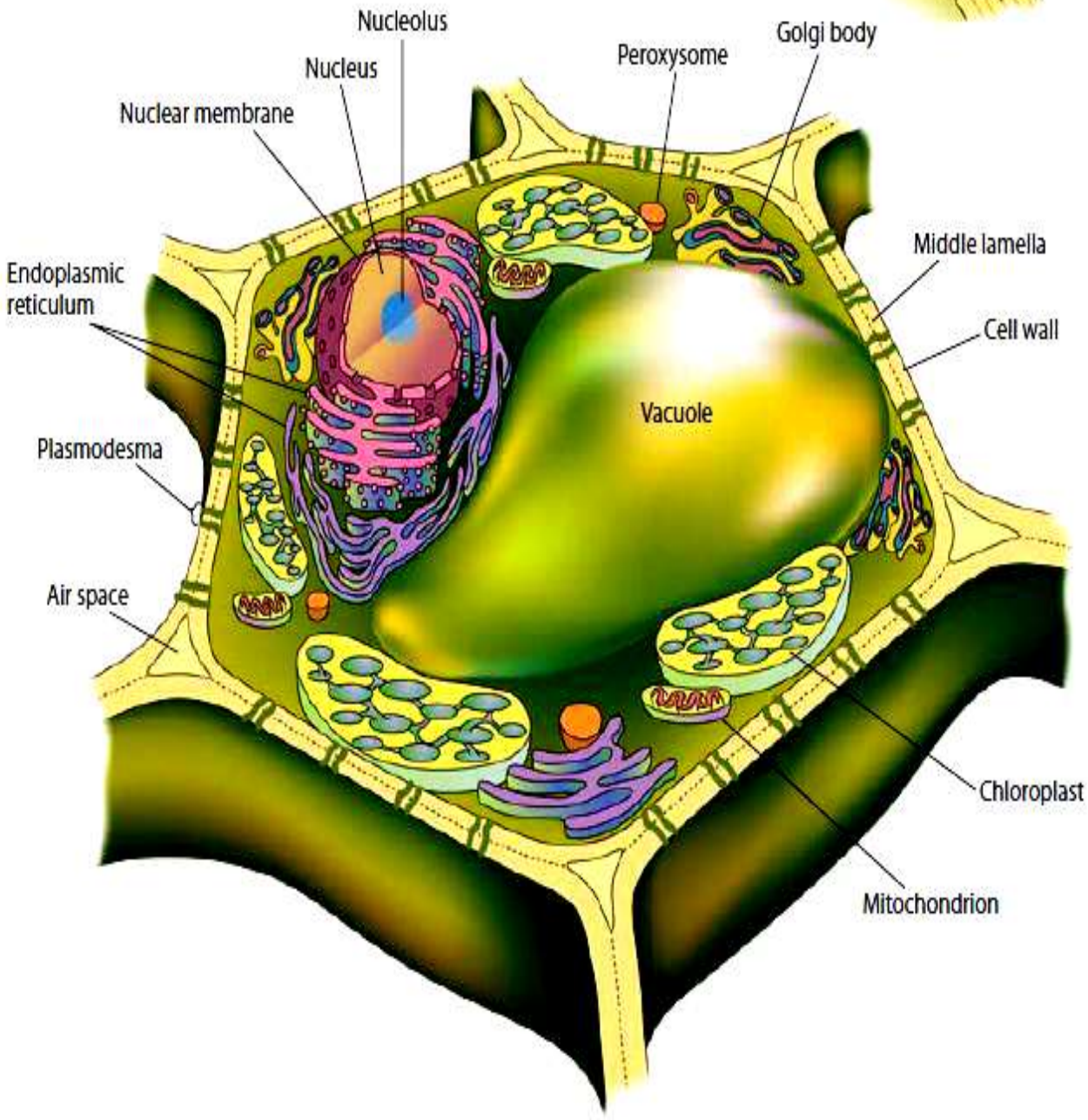
علم فسيولوجيا النبات

PLANT PHYSIOLOGY





DR. MAHMOOD AL SHAHEEN

2019 – 2020

المصدر :- كتاب علم فسيولوجيا النبات تأليف : د. فيصل عبد القادر السكري 1982

المحاضرة ألتاسعة

تفاعلات الظلام في التركيب الضوئي Dark Reactions:

1. تحدث تفاعلات الظلام في الحشوة **Stroma** او **Matrix** في البلاستيدة الخضراء.
2. تستمر بدون الحاجة للضوء المباشر ولكنها تعتمد على الطاقة (**ATP**) التي حصلت عليها من تفاعلات الضوء
3. أبطا من تفاعلات الضوء حيث تستغرق 1×10^{-3} من الثانية
4. تنتهي بتكوين حوامض عضوية وحامض الكاربوكسيليك **Carboxylic acid**

* أهمية تفاعلات الظلام هي تثبيت واختزال CO_2

* أول مركب يتحد مع CO_2 وهو السكر المكون من خمس ذرات كربون **Ribulose-1,5- diphosphate (Rudp)** وان اتحاده مع CO_2 غير معتمد على الضوء (أي يمكن ان يحدث في الضوء والظلام) ولكن التفاعلات التي تعقب ذلك وتختزل حامض الكليسيرين الفوسفاتي**phosphoglyceric (PGA)**-acid تعتمد على الضوء نتيجة اعتمادها على طاقة الـ **ATP** والـ $NADPH_2$ المتكونة في تفاعلات الضوء.

أول نواتج التركيب الضوئي:

بعد دراسات طويلة على طحلب الـ **Chlorella** واستعمال الكاربون المشع C^{14} في الـ CO_2 وتقصير فترة التعرض لهذا الغاز لمدة 5 ثوان وجد ان معظم الإشعاع قد تركز في حامض الكليسيرين المفسفر **(3-PGA)** او **3-Phosphoglyceric Acid** ، والإنزيم الذي يعمل على تثبيت CO_2 هو ريبولوز دايفوسفيت كاربوكسيليز **Ribulose Diphosphate Carboxylase** وان تثبيت CO_2 الى **3-PGA** عملية غير عكسية وان معظم CO_2 الممتص من قبل اغلب النباتات يتحد مع المركب **Rudp** .

دورة كالفن- بنسن (نباتات الـ C3) :

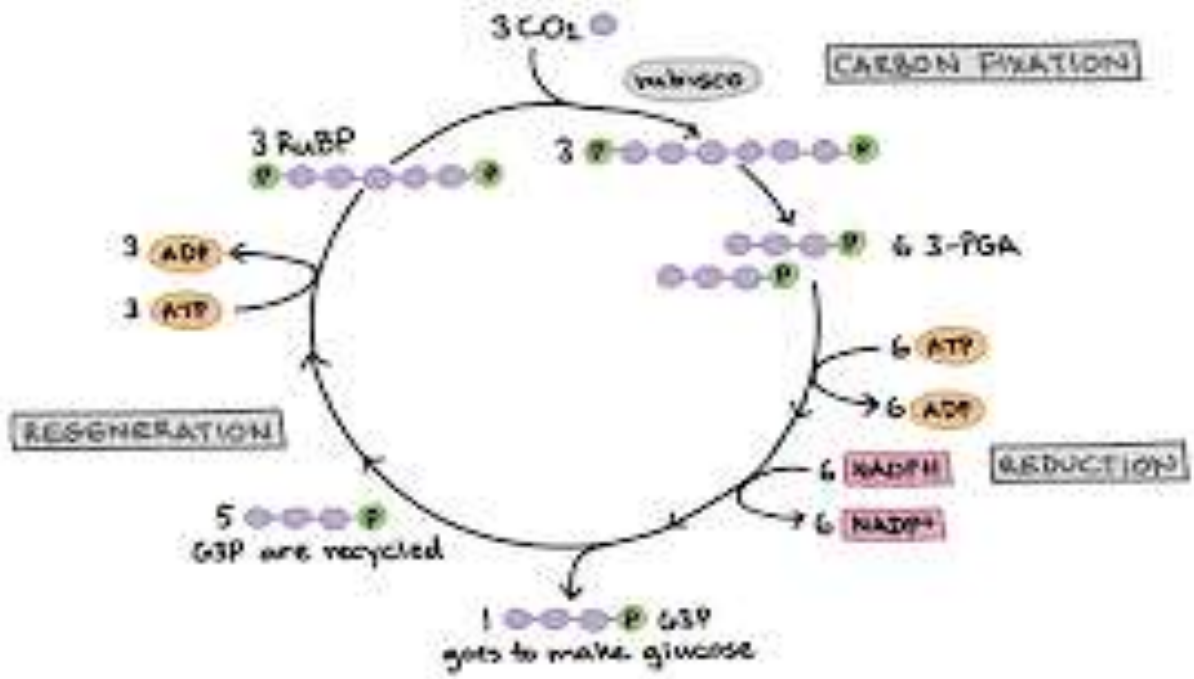
اكتشف هذه الدورة العالمان كالفن وبنسن عام 1961 وسميت دورة نباتات **C3** لان المركب الأول الناتج من تثبيت CO_2 يحوي على ثلاث ذرات كربون وهو حامض الكليسيرين المفسفر **3-Phosphoglyceric Acid (3-) PGA** الذي يتحول الى سكريات مفسفرة مختلفة والتي بدورها تمر بسلسلة من التفاعلات الكيمياوية حيث تتجدد منها جزيئة حامض الكليسيرين المفسفر ثانية من خلال جزيئة رايبولوز ثنائي الفوسفات .

ان دورة كالفن- بنسن تشمل اربعة مراحل هي :

1. يتحد CO_2 مع **Rudp** (سكر خماسي الكاربون- ثنائي الفوسفات يتكون داخل الخلية النباتية باستمرار) لتكوين جزيئتين من حامض الكليسيرين المفسفر **(3-PGA)** وهو مركب ثلاثي الكاربون .
2. يتم اختزال جزيئتين من **(3-PGA)** لتكوين الكليسير الديهايد المفسفر، سكر ثلاثي الكاربون مفسفر بمرحلتين تتضمن دخول **ATP** و $NADPH_2$ على التوالي وأثناء هذه العملية يتم تجديد **ADP** و**NADP** .

3. ان بعضا من جزيئات الكليسيرالدهايد المفسفر تتحول الى سكر الفاكهة ثنائي الفوسفات - **Fructose - 1,6 diphosphate** الذي يتحول قسم منه الى زايليولوز ، اما الجزيئات الاخرى من الكليسير الديهايد المفسفر فتتحد مع السيدوهبتولوز المفسفر مكونة جزيئة رايبوز مفسفر **Ribose-5-phosphate** وجزيئة **Xylulose-5-phosphate** ثم تتكون جزيئة الرايبيولوز المفسفر اما من جزيئة الرايبوز المفسفر او من جزيئة الزايليولوز المفسفر.

4. في المرحلة الرابعة تجري عملية الفسفرة على جزيئة الرايبولوز المفسفر بواسطة جزيئة **ATP** لتكوين جزيئة الرايبولوز ثنائي الفوسفات **Rudp** حيث تكون عندئذ مهيأة لاتحاد مع CO_2 وإعادة الدورة .



ملاحظـــات:

- يستعمل **Fructose - 6 - phosphate** في تكوين الكلوكوز والسكروز والنشا والسيليلوز ... الخ .
- بعض النواتج المتكونة مثل الفركتوز والسكروز والنشا قد تتجمع داخل البلاستيدة خضراء دون ان تنتقل الى بقية أجزاء الخلية ولهذا تتكون حبيبات النشا وتكبر ثم تهدم الـ **Grana** وتضمحل الصبغات.
- ان التفاعل التالي يبين اتحاد ست جزيئات منCO_2 وتكوين جزيئة واحدة من الفركتوز بصورة عامة :

$$6CO_2+18ATP + 12NADPH_2+12H_2O \rightarrow \text{Fructose-6-Phosphate}+12NADP+18ADP+17H_3PO_4$$

- تعتبر دورة كالفن - بنسن وسيلة لتكوين المواد العضوية كالكربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات والقلويات العضوية وغيرها.

دورة سلاك - هاج (دورة نباتات C4) :

أجراها العالمان سلاك وهاج في استراليا على بعض نباتات العائلة النجيلية مثل الذرة وقصب السكر، وسميت بدورة C4 لان ناتج تثبيت CO_2 هو مركب يحوي على أربع ذرات كربون وهو حامض الاوكزالواستيك **Oxaloacetic acid** وتبين ان **80%** من الكاربون المشع C^{14} تتركز في الحوامض اوكزالك

واسبارتك والمالك بينما 10% وجد في (PGA) مما يدل على ان الـ PGA ليس أول ناتج في عملية تثبيت الـCO_2 في هذه النباتات ، والإنزيم المساعد في عملية التثبيت هو فوسفواينول بايروفيت كاربوكسيليز phospho Enol Pyruvate Carboxylase ذو الألفة العالية اتجاه CO_2 وترمز له (PEP) .

- تتطلب نباتات الC4 شدة إضاءة عالية لتعطي أعلى معدل للتركيب الضوئي مقارنة بالـ C3 .
- كما تحتاج الى تركيز قليل نسبيا من CO_2 للوصول الى أعلى معدل للتركيب الضوئي مقارنة بنباتات C3 .
- تستطيع نباتات C4 المقاومة والعيش في ظروف عسيرة من قلة الماء وانغلاق الثغور.
- تتمكن نباتات C4 من القيام بعملية التركيب الضوئي بكفاءة عالية في درجات الحرارة المرتفعة نسبيا(35مْ) مقارنة بالنباتات الاخرى التي يقل فيها معدل التركيب الضوئي فوق درجة 25 مْ .
- ان نباتات C4 كفوءة التركيب الضوئي ولا تثبط هذه العملية بوجود الاوكسجين.
- تمتلك نباتات C4 في أوراقها نوعين من الأنسجة الكلوروفيلية هما خلايا النسيج المتوسط Mesophyll وخلايا الـ Bundle Sheath .
- تسمى دورة نباتات الـ C4 (دورة سلاك هاج) بدورة الحامض ثنائي الكربوكسيل Dicarboxylic acid وهي طريقة كفوءة لتحويل CO_2 الى مركبات عضوية وان معظم CO_2 المثبت الى PGA في الـC4 يأتي من عملية الDecarboxylation للحامض Dicarboxylic Acid ولذلك فان إنزيم Rudp-Carboxylase لا يشكل أهمية كبرى في تثبيتCO_2 القادم من الهواء.
- بلاستيدات خلايا الميزوفيل حاوية على كرانا متطورة وتمتلك كلا النظامين P-I و P-II في حين تحتوي بلاستيدات الـ Bundle Sheathعلى النظام الضوئي الأول (P-I) فقط .

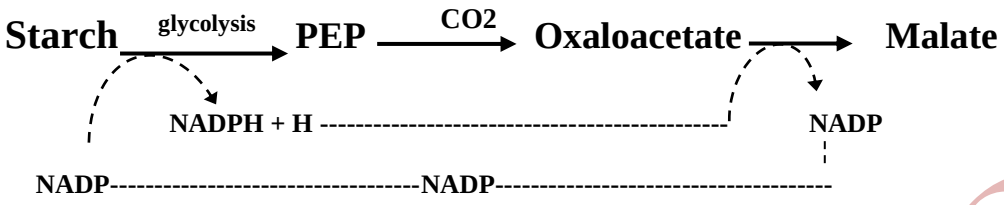
تثبيت CO_2 في النباتات العصارية (Succulents) :

بعض النباتات التي تعيش في المناطق القاحلة تمتلك أوراقا غضة وتكون نسبة سطح النبات الى حجمه صغيرة ، كما تمتاز بمعدل واطئ للنتح وتسمى بالنباتات العصارية (Succulents) ، هذه النباتات تفتح ثغورها ليلا عادة وتثبت CO_2 الى ألأحماض العضوية وخاصة حامض الماليت Malate acid ولكون نباتات عائلة أل Crussulaceae ذات عمليات حيوية غير اعتيادية لذا أطلق عليها نباتات أل (CAM) وتعني Crussulacean Acid Metabolism .

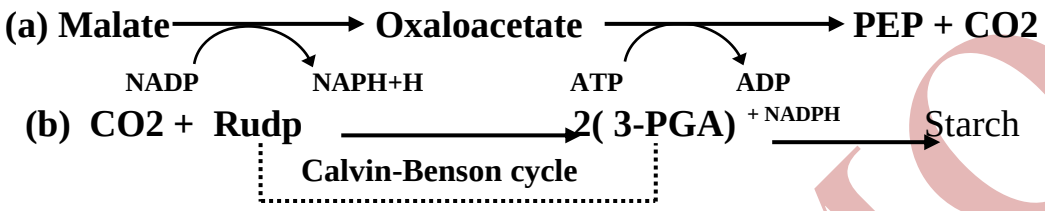
تمتلك نباتات ال(CAM) خلايا غلاف الحزمة (Bundle sheath) التي تشبه خلايا الميزوفيل بعكس نباتات ال C4 Plants ، ووجد أن أول ناتج ثابت من تثبيت CO_2 في نباتات (CAM) هو المركب Malate وتشتق أحماض الستريت (Citrate) وألآيزوستريت (Isocitrate) من حامض الماليت بتفاعلات دورة كربس كما ظهر ان الإنزيم PEP Carboxylase هو المسئول عن تثبيت CO_2 في الليل بعكس نباتات ال C4 Plantsالتي يكون فيها إنزيم PEP Carboxylase ذو ألفة واطئة لCO_2 في الليل ، كما ان إنزيم Rudp

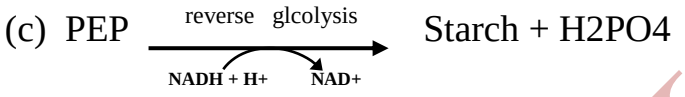
Carboxylase يكون فعالا في النهار ودوره مشابه لدوره في خلايا ال**Bundle sheath** في نباتات ال**C4** أي إعادة تثبيت CO_2 المفقود من ألأحماض العضوية مثل **Malate** :

Darkness (Stomates opens) :



Day light (Stomates Closed) :





خلاصة تفاعلات تثبيت CO_2 في نباتات ال(CAM)

DR.MAHMOOD