تفاعلات الظلام في التركيب الضوئي

Dark Reactions of Photosynthesis

تحدث في الحشوة stroma او الـ matrix في الكلوروبلاست .

اساس تجارب Calven وBensen هو ان النبات يحول CO_2 في النهاية الى سكر كلوكوز $C_6H_{12}O_6$. ووجد ان عملية التركيب الضوئي الجارية لمدة قصيرة (سبع ثوان) من وجود $^{14}CO_2$ تسبب تكون (12) مركب وسطي مشع, وعند تقصير مدة التعرض الى CO_2 الى خمس ثوان فقط وجد ان معظم الاشعاع قد تركز في الحامض المسمى (3-PGA) 3- phosphoglyceric acid وبذلك يعد الـ PGA اول مركب ينتج في التركيب الضوئي .

يعد اكتشاف اول ناتج من التركيب الضوئي بدأ البحث عن المادة الاولية التي تتحد مع CO_2 لتكوين PGA وحصل Calvin على ادلة تبين ان السكر المتكون من خمس ذرات كاربون (Rudp) Ribulose -1,5-diphosphate هو المكتسب الاول لـ CO_2 اثناء عملية التركيب الضوئي وكان من تلك الادلة انه لاحظ تغير مهم في تركيز PGA و Rudp عند الظلام حيث يزداد تركيز PGA ويقل Rudp مما يدل على ان التفاعل او اتحاد CO_2 مع Rudp هو تفاعل غير معتمد على الضوء .

استمرت البحوث في معرفة الانزيم الذي يساعد في اتحاد CO_2 مع Rudp لانتاج جزيئتين منPGA وتم عزل الانزيم المثبت لـ CO_2 واعطى اسما وصفيا Ribulose diphosphate carboxylase وظهر هذا الانزيم في عدة نباتات .

دورة كالفن

استطاع كالفن ومساعداه اثبات تفاعلات بشكل سلسلة دائرية اطلق عليها اسم Calvin-Bensen Cycle وحازا عليها جائزة نوبل عام (1961) وبصورة عامة يكون التفاعل التالي

$$6CO_2+18ATP+12NADPH_2+12H_2O \longrightarrow \text{Fructose-6-p}+12NADP^+ +18ADP + 17H_3PO_4$$

هذا ويستعمل F-6-p في تكوين الكلوكوز والسكر والنشا والسيليلوز وغيرها.

اهمية الدورة

1- **وسيلة لتثبيت CO_2 (حدوث تفاعلات الظلام) والمحافظة على نسبته في الجو**
2- **وسيلة لتحرير O_2 والمحافظة على نسبته في الجو .**
3- **وسيلة لتنظيم تفاعلات الضوء وذلك باستغلال الطاقة (ATP) والقوة الاختزالية $NADPH_2$.**
4- **وسيلة لتكوين المواد العضوية كالكاربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات والقلويات العضوية وغيرها .**

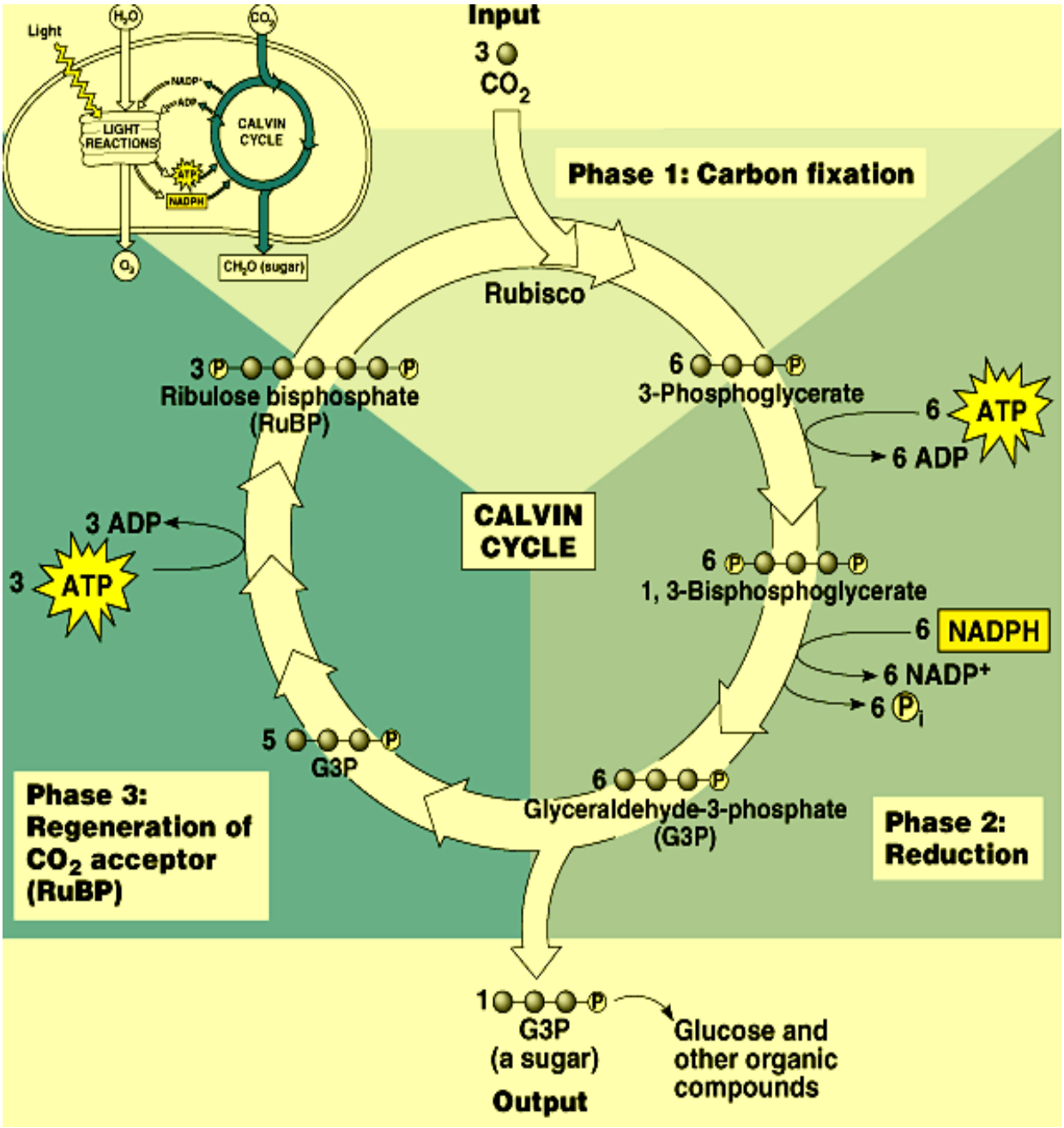
التفاعلات التالية تكون بشكل دورة تعيد نفسها

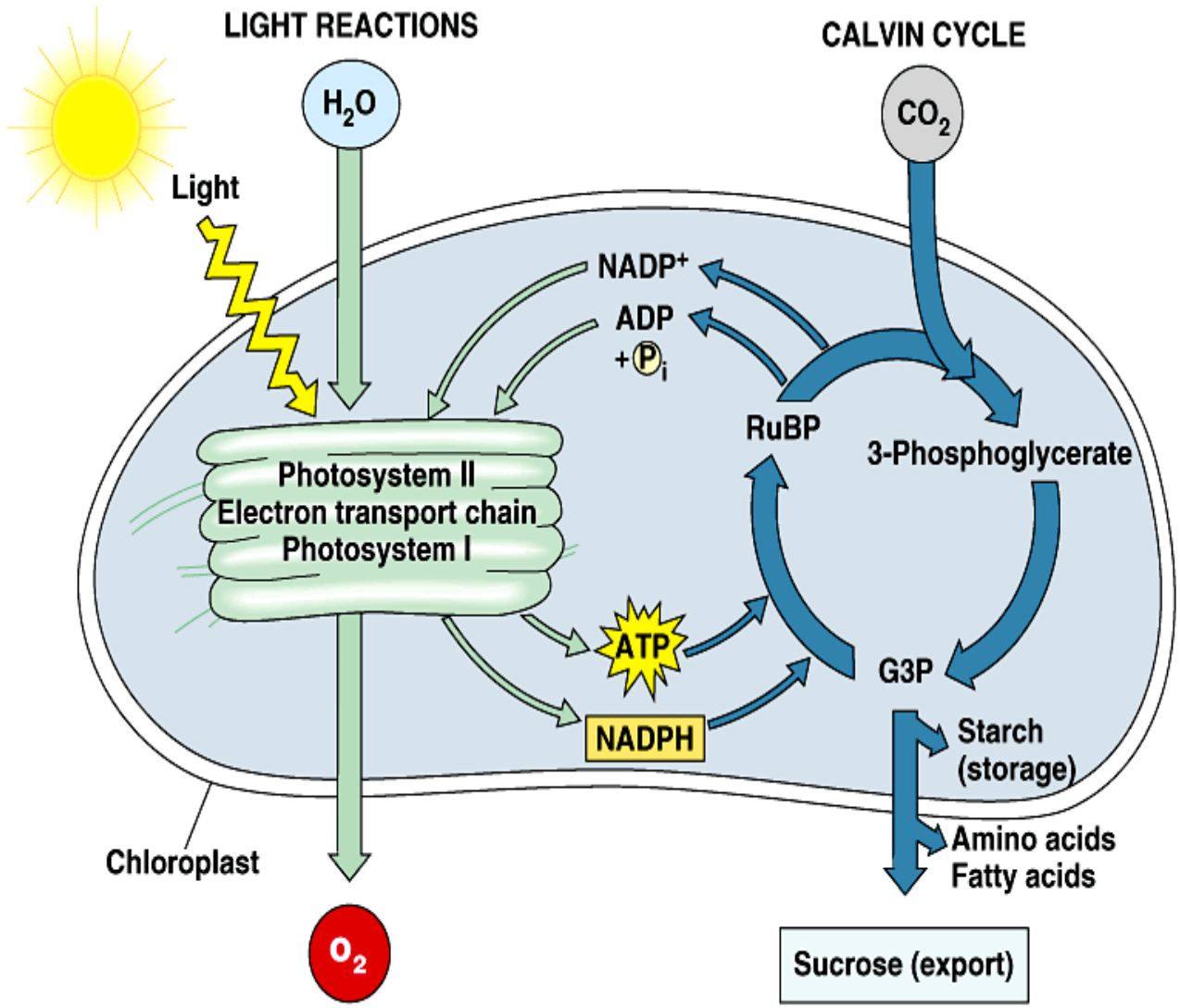
$$\text{Ribulose 1,5-di-p} \xrightarrow[\text{Ribulose 1,5-dip-carboxylase}]{CO_2\text{ ,Keto acid, }H_2O} \text{2-PGA} \xrightarrow[-H_2O]{\text{NADPH, ATP}}$$

$$\text{3-p-glyceraldhehyde} \longrightarrow \text{Xylulose 5-p} \longrightarrow$$

$$\text{Ribulose 5-p} \longrightarrow \text{Ribulose 1,5-di-p}$$

ممكن ان يتحول مركب 3-p-glyceraldehyde الى مركب Fructose 1,6-dip والذي سيفقد الفوسفيت ليتحول الى Fructose 6-pثم يعطي الاخير Sucrose. او يمكن ان يتحول مركب 3-p-glyceraldehyde الى P-dihydroxyacetone ثم الىSedaheptulose 1,7-p ثم الىSedaheptulose 7-p .


Light
H_2O
CO_2
NADP+
ADP
LIGHT REACTIONS
CALVIN CYCLE
ATP
NADPH
O_2
CH_2O (sugar)
Input
3
CO_2
Phase 1: Carbon fixation
Rubisco
3
Ribulose bisphosphate
(RuBP)
6
3-Phosphoglycerate
6
ATP
6 ADP
CALVIN CYCLE
3 ADP
3
ATP
6
1, 3-Bisphosphoglycerate
6
NADPH
6 NADP+
6 P_i
5
G3P
6
Glyceraldehyde-3-phosphate
(G3P)
Phase 3:
Regeneration of
CO_2 acceptor
(RuBP)
Phase 2:
Reduction
1
G3P
(a sugar)
Output
Glucose and
other organic
compounds



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

دورة كالفن هي ليست الدورة الوحيدة لتثبيت الكاربون كما لوحظ في عدة كائنات حية عدم تجمع السكر السداسي (الكلوكوز) من التركيب الضوئي وان نسبة تركيزR-dip-carboxylase العالية في الاوراق تسمح بحدوث التركيب الضوئي حتى في ظروف قلة CO_2 وعليه افترض وجود بدائل لتثبيت CO_2 واستمرت البحوث في هذا الاتجاه وسجلت ملاحظات:

1.ان اوراق قصب السكر والذرة تتطلب شدة ضوئية عالية لتعطي اعلى معدل للتركيب الضوئي.

2.تركيز CO_2 اللازم للحصول على اعلى معدل للتركيب الضوئي في هذه النباتات يكون قليلا اذا ما قورن بمعظم النباتات الاخرى.

3.هذه النباتات تستطيع القيام بالتركيب الضوئي بكفاءة عالية في درجات الحرارة المرتفعة نسبيا (35C).

4.عملية التركيب الضوئي فيها لا تثبط بوجود O_2 (كما الحال في نباتات C3) .

5.هذه النباتات تثبت CO_2 الى حامض ذي اربعة ذرات كاربون (Malic acid , Aspartic acid , Oxaloacetic acid) .

هذه النتائج ايدها Hatch , Slack في استراليا ووجد ان الناتج الاول من تثبيت CO_2 في اوراق قصب السكر هو Oxaloacetic acid وسميت هذه النباتات C4 وفيها يجري التفاعل التالي بمساعدة انزيم (PEP-carboxylase) phosphenol pyruvate carboxylase

Phosphenol +CO2+H2O ⟶ Oxaloacetic acid + pyruvic acid
Pyruvic acid

هذا التفاعل يتم بمساعدة انزيم PEP carboxylase

6.هذه النباتات تظهر خصائص تشريحية للورقة حيث تمتلك نوعين من الانسجة الكلوروفيلية وهي خلايا الـ bundle sheath وخلايا النسيج المتوسط وتحوي الاولى PI والثانية تحوي كلا من PI , PII ، كما ان كلوروبلاست الـ bundle sheath تحتوي على تركيز عالي من انزيم R-dip-carboxylase في حين تحتوي كلوروبلاست الميزوفيل على نسبة عالية من انزيمات PEP-carboxylase .

وتعد عملية تثبيت CO_2 في الـ C4 او ما تسمى (Dicarboxylic acid) طريقة كفوءة لتحويل CO_2 الى مواد عضوية ويمكن القول ان C4 او ما يسمى Hatch-slack plants تمتاز بما يلي :

1.تستطيع اجراء التركيب الضوئي بكفاءة عالية بوجود تراكيز واطئة من CO_2 .

2.شدة الاضاءة اللازمة لاعطاء اعلى معدل للتركيب الضوئي هي عالية .

3.تستطيع انجاز التركيب الضوئي بكفاءة عالية في درجات حرارة عالية (35C°) .

4 .قابليتها العالية لنقل المواد الكاربوهيدراتية .

5.عدم نشاط عملية التنفس الضوئي photorespiration في C4 plants مقارنة بـ C3 plants (وهي عملية تحدث في الـ bundle او جسيمات اخرى بسبب انزيم Glycolic acid oxidase .

6.تستطيع نباتات C4 المقاومة والعيش في ظروف عسيرة بسبب قلة الماء حيث تتم عملية التركيب الضوئي حتى في حالة غلق الثغور وقلة CO2 .

تثبيت CO_2 في النباتات العصارية Succulents

هذه النباتات تفتح ثغورها في الليل وتثبيت CO_2 الى الاحماض العضوية وخصوصا malic acid .

بسبب ان نباتات عائلة crassulaceae ذات عمليات حيوية غير اعتيادية لذلك اطلق عليها Grassulacean acid metabolism (CAM) ووجد ان اول ناتج من تثبيت CO_2 في هذه النباتات هو الـ malate كما ان احماض citrate و Isocitrate تشتق من هذا الحامض بتفاعلات دورة Krebs .

كما ان انزيم PEP carboxylase هو المسؤول عن تثبيت CO_2 في الليل بعكس نباتات C4 plants الذي يكون فيها انزيم PEP carboxylase ذو الفة واطئة في الليل وان انزيم Ru-dip-carb يكون فعالا في النهار .

تثبيت CO_2 في الظلام في الجذور

فضلا عن تثبيت CO_2 المعتمد على الضوء بالتركيب الضوئي فان CO_2 يمكن ان يثبت بالجذور في النباتات في الظلام والطاقة اللازمة لذلك فهي ATP و $NADPH_2$ الناتجة من التنفس .

وفيها يتكون Oxaloacetate (OAA) بمساعدة انزيم PEP carboxylase ثم تختزل OAA الى حامض malate ثم ازالة مجموعة الكاربوكسيل من الماليت لتكوين Pyruvate .