الفسفرة الضوئية photo phosphorylation

اول من ذكر

ذكر الفسفرة الضوئية Photo phosphorylation هو الباحث Arnon عام 1954 حيث يبين من خلال تجاربه مقدرة البلاستيدات الخضراء المعزولة من النبات والمعرضة للضوء على تكوين مركبات الـ ATP الغنية بالطاقة وبهذا اثبت بان والمايتوكوندريا ليست هي الجزء الوحيد في الخلية الذي ينتج الطاقة.

لقد وجد من التجارب بان البلاستيدات الخضراء تستطيع أن تقوم بتفاعلين كيموضوئيين هما الفسفرة الضوئية الدائرية والغير دائرية وكما يلي:-

أ- الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photo phosphorylation:-

يحدث هذا النوع من الفسفرة في البكتريا التي تختلف ضوئياً (تصنع الغذاء بوجود الضوء) وفي هذا النوع من الفسفرة لا ينتج غاز O_2 كما أن تكوين الـ ATP لا يصاحبه أي تغير في مستلم الالكترونات أو مسلمها وان الالكترونات المنبعثة من الكلوروفيل قد ترجع إليه وحسب المعادلة التالية:

ب-الفسفرة الضوئية غير الدائرية .Noncyelic pho :-

يحدث هذا النوع من الفسفرة في النباتات الراقية والذي يتصاعد فيها غاز الأوكسجين ضمن النواتج النهائية كما أن تكوين الـ ATP يكون مرتبط بنقل الالكترونات من الماء الى المستلم النهائي للالكترونات $NADP^+$ ومن خلال عدة مركبات ناقلة للالكترونات وكما موضح أدناه:-

ضوء

$$2H_2o+2NADP^+ +3ADP+3H_3po_4 \xrightarrow{\text{ضوء}} O_2+3H_2o+2NADPH+2H^+ +3ATP$$

طبيعة الفسفرة الضوئية الغير دائرية:-

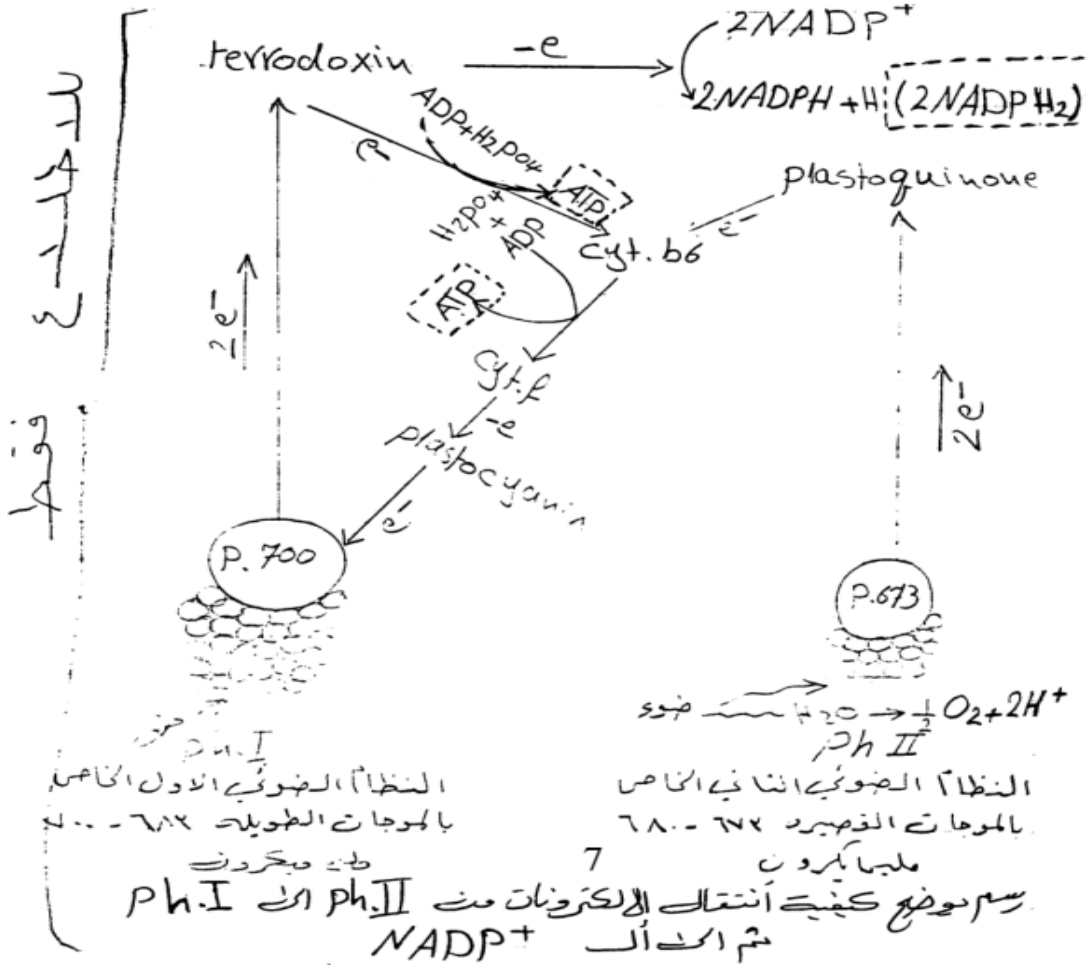
لقد توصل الباحث اميرسن Emerson الى أن كفاءة التركيب الضوئي تكون ضعيفة عند الموجات الضوئية الطويلة (الضوء الأحمر بطول أكثر من 683–680 مليمايكرون) في حين استعمال الموجات الضوئية القصيرة بطول اقل من (673–680 مليمايكرون) مع الموجات الضوئية الطويلة في نفس الوقت أدى الى زيادة معدل عملية التركيب الضوئي (وعرفت هذه الظاهرة بتأثير اميرسن Emerson effect) وأوضحت بأنه يوجد نوعين من التفاعلات الضوئية المتعاونة مع بعضها في عملية التركيب الضوئي وكما يلي :-

النظام الضوئي الأول photo system 1 :

يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذو الموجة الطويلة (683 مليمايكرون) فأكثر هذه الصبغات تشمل نوع خاص من كلوروفيل (a) يسمى 700 Pigment أو P700 يستطيع امتصاص الضوء ذو طول الموجة 700 مليمايكرون والكاروتينات الفعالة.

النظام الضوئي الثاني Photo system 2 :-

يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذو الموجة القصيرة اقل من (673–680) مليمايكرون والتي تشمل الشكل الأخر من كلوروفيل (a) وبقية كلوروفيل (b) فبعد امتصاص الطاقة الضوئية وتركزها في مجموعتين مختلفتين من كلوروفيل (a) داخل صفائح الكرانا أو البذيرات يحدث التالي وكما موضح بالرسم أدناه وكما يلي:-



تنطلق الالكترونات من جزيئات كلوروفيل a [(P700) (نظام ضوئي الأول)] نتيجة امتصاصها للطاقة الضوئية واثارتها الى جزيئات الفيرودكسين Ferredoxen تاركة جزيئات الكلوروفيل متأينة بشحنة موجبة ومن ثم تقوم جزيئات كلوروفيل (a) العادية (نظام ضوئي ثاني) بامتصاص الموجات الضوئية المختلفة وتتأين بشحنة موجبة نتيجة انطلاق الالكترونات منها وتركز الطاقة الممتصة فيها ثم تنتقل هذه الالكترونات عبر الحوامل حتى تستلم من قبل جزيئات الكلوروفيل المتأينة في مركز التفاعل الأول وهكذا فان جزئيات الكلوروفيل في كل من المركزين تمر بسلسلة متتابعة من التأين والتعادل حيث تتعادل جزيئات الكلوروفيل المتأينة بشحنة موجبة في مركز التفاعل الأول بالالكترونات المنطلقة من مركز التفاعل الثاني بينما تتعادل جزيئات الكلوروفيل المتأينة في مركز التفاعل الثاني بواسطة الالكترونات الناتجة من تحلل الماء.

اثناء انتقال الإلكترون خلال هذه الحوامل يحصل فقد في الطاقة التي يحتويها الإلكترون وتتحول هذه الطاقة الى طاقة كيمياوية بشكل ATP وفي المرحلة الاخيرة ينتقل الإلكترون من الفيروكسين الى الـ Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate والذي يرمز له ($NADP^+$) والاخير يتحد مع ايون الهيدروجين مكوناً (NADPH) وكما موضح:-

$$NADP+H^+ + E^- \rightleftharpoons NADPH$$

إذن النتيجة النهائية لتفاعلات الضوء هو تصنيع القوة أو الطاقة البنائية ATP في عملية الفسفرة الضوئية وانتاج المركب الاختزالي $NADPH_2$.

ماهي نواتج تفاعلات الضوء وماهي فائدتها؟

نواتج تفاعلات الضوء هي:-

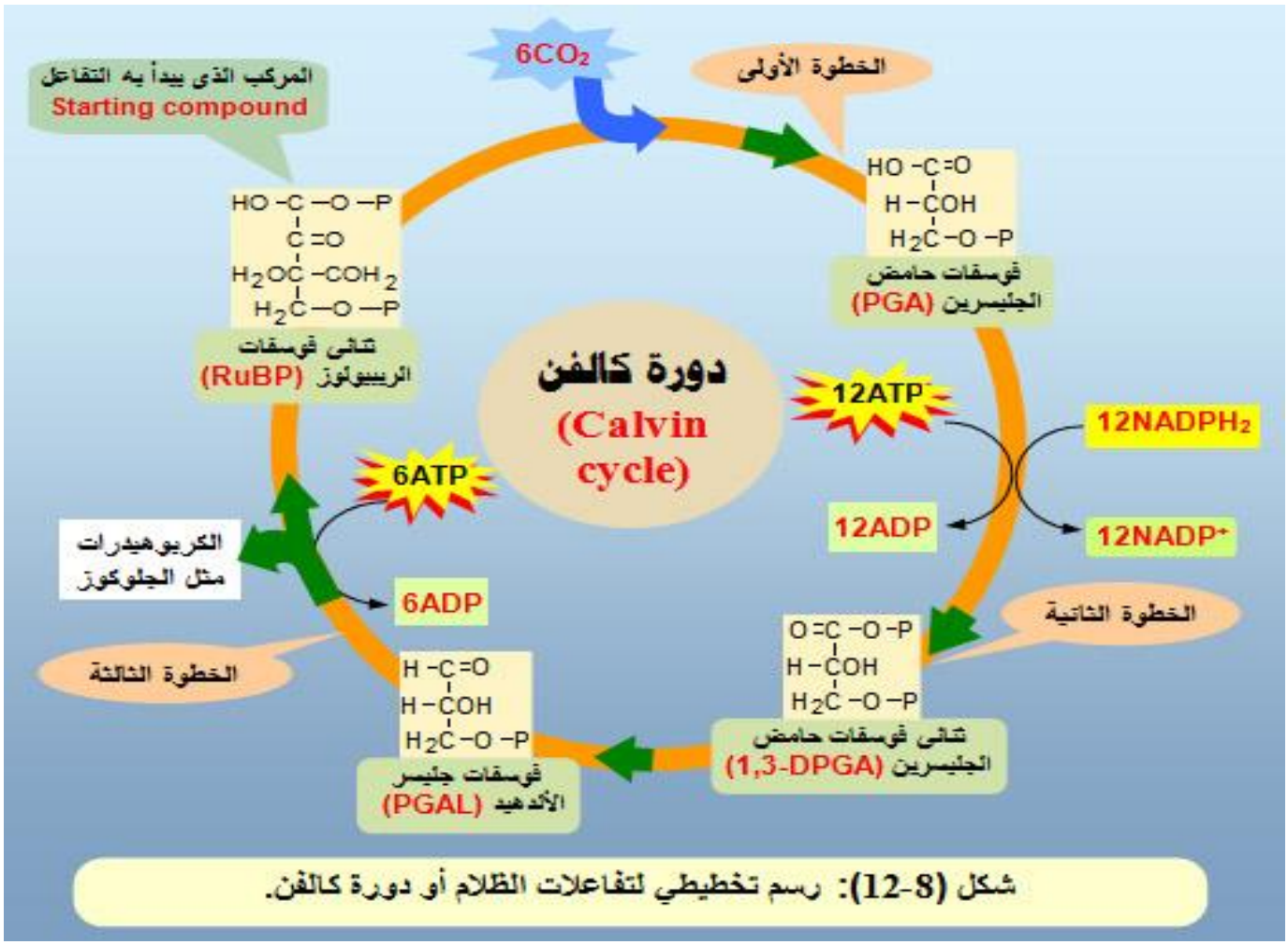
أ- ATP .

ب- $NADPH_2$.

فوائدها:- تستخدم كمفتاح لتفاعلات الظلام لاحقاً.

ثانياً:- التفاعلات غير المعتمدة على الضوء (تفاعلات الظلام):-

وتسمى أيضا بتفاعلات تثبيت واختزال الـ Co_2 . ومن خلال التجارب تبين بان الـ Co_2 يتحد مع مركب خماسي ذرات الكاربون يعرف بـ (رايبيلوز ثنائي الفوسفات) Ribulose 1,5 diphophate الذي يرمز له (rudp) وذلك بمساعدة انزيم Ribulose diphophate carboxylase ويرمز له rudp carboxylase ليكون مركباً وسطي غير مستقر سرعان مايتحول الى جزيئتين من حامض الكليسريك المفسفر Phophoyly ceric acid والذي يرمز له (PGA) وهو يمثل الناتج الأول الفعلي لعملية التركيب الضوئي بعد ذلك يمر (PGA) بمرحلتين تفاعليتين تختزل فيها مجموعة الكاربوكسيل COOH الى مجموعة الديهايد CHO .

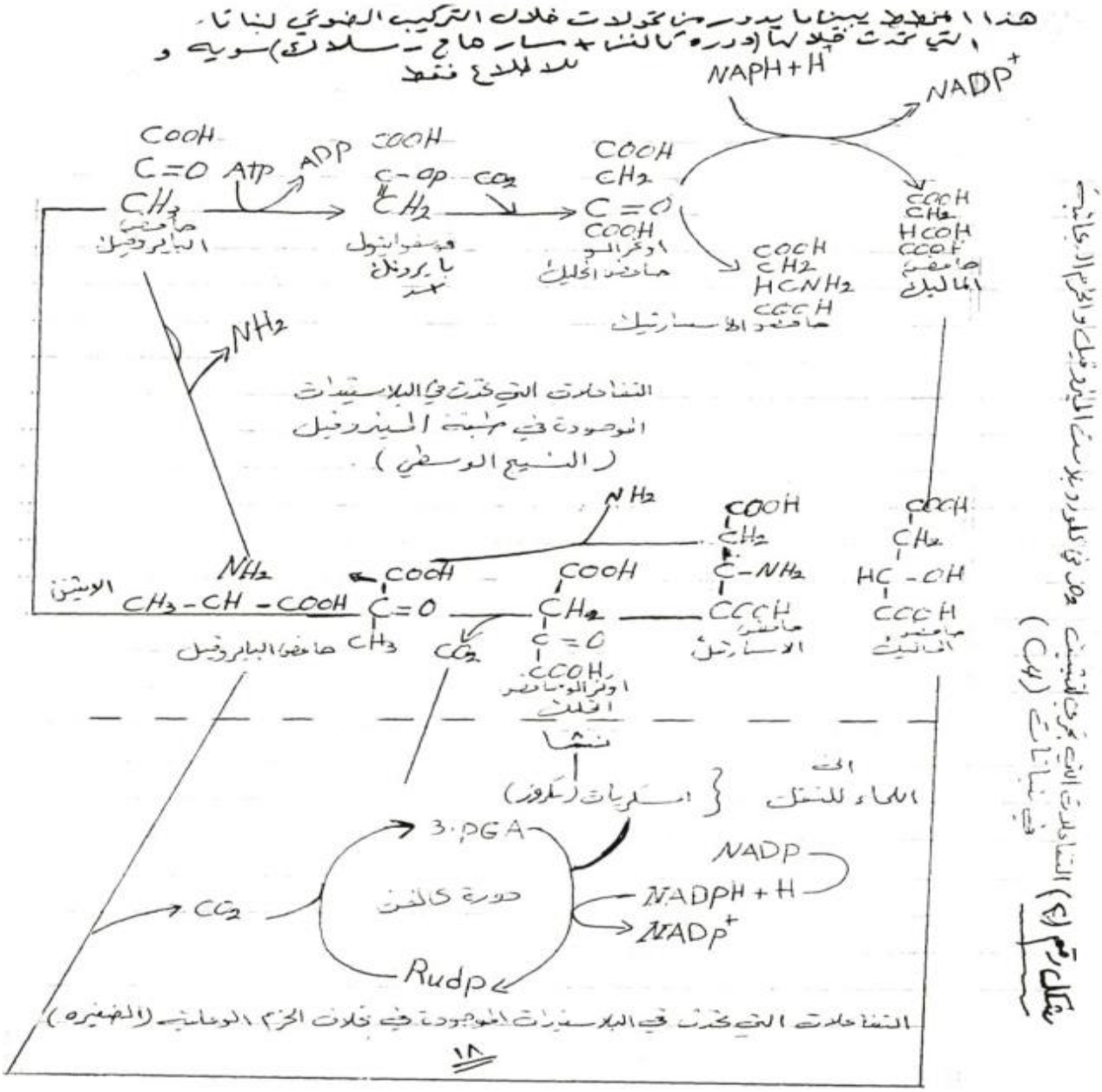


شكل (8-12): رسم تخطيطي لتفاعلات الظلام أو دورة كالفن.

وهذه العملية الاختزالية تتطلب وجود طاقة وقوة اختزالية وهذا ماقد تم تجهيزه خلال تفاعلات الضوء، فالطاقة تأتي من ATP والقوة الاختزالية من الـ $NADPH_2$ وكما موضح أدناه:-

ولانتاج جزيئة واحدة من سكر سداسي الكاربون يحدث اتحاد جزيئتين من الكليسر الديهايد المفسفر لتتكون جزيئة واحدة من سكر سداسي الكاربون المفسفر والتي تمر فيها بعد بمرحلة انفصال مجموعة الفوسفات عنها لتكون جزيئة سكر سداسية الكاربون حرة وهكذا وبعد ذلك تتحول هذه الجزيئة الى خماسية أو سداسية أو سباعية لتعود بعدها لتكون (rudp) مرة ثانية، والذي يتميز بتواجده بصورة مستمرة وبتراكيز عالية ولفترات طويلة في الخلية النباتية في حين (PGA) لا يتواجد بتراكيز عالية ولفترات طويلة وسرعان مايتحول الى مركبات أخرى كالسكريات السداسية الكاربون مثل سكر العنب (glucose) وسكر الفاكهة (fructose) والتي يمكن أن تتواجد بتراكيز عالية في الخلية النباتية ولفترات طويلة. الباحثان كالفن وبنسن Calvin and Bensen اكتشفا بان التفاعلات الكيموحرارية السابقة الذكر والتي تجري خلال الظلام لتثبيت Co_2 تحدث بشكل دائري واطلقا عليها اسم (دورة كالفن) Calvin cycle وكما هو موضح بالشكل رقم (1) .

لكن من خلال التجارب اللاحقة تبين بان دورة كالفن ليس هي المسار الوحيد لتثبيت Co_2 في النبات، فقد توصل الباحثان هاج وسلاك Hatch and Clack الى دورة جديدة لتثبيت Co_2 في النبات عرفت بمسار هاج – سلاك Hatch clack pathway حيث يتم خلالها تثبيت Co_2 مع مركب ثلاثي ذرات الكاربون هو فوسفواينول حامض البايروفيك phosphoenole Purovic acid والذي يرمز له (PEPA) بمساعدة انزيم phosphoenole pyrurvate carboxylase ويرمز له (PEPA carboxylase) مؤدياً الى تكوين مركب رباعي ذرات الكاربون هو اكزالوحامض الخليك Oxalo acetic acid والذي يمثل الناتج الاولي لعملية التركيب الضوئي لهذه النباتات علماً بان الاخير يعاني من عدم الثبات والاستقرار ويتحول الى حامض الماليك (Malic acid) وحامض الاسبارتيك (Aspartic acid) وكما موضح بالشكل:-



وبعد ذلك يمر كل من حامض الماليك والاسبارتيك بسلسلة من التفاعلات بضمنها تلك الخاصة بدورة كالفن – بنسن تنتهي بتكوين سكر سداسي الكاربون وكما سبق الذكر وكما موضح بالشكل (2). تسمى النباتات التي يسود فيها هذا المسار لتثبيت Co_2 نباتات (C4) في حين يطلق على النباتات التي يسود فيها مسار كالفن فقط نباتات (C3) والاخير هو الشائع من خلال التجارب تبين بان نباتات (C4) تختلف تشريحياً عن نباتات (C3) فالاولى تحوي نوعين من البلاستيدات هما:-

أ- البلاستيدات الموجودة في غلاف الحزم الوعائية الورقية (الضفيرة) والتي تتميز بأنها كبيرة الحجم وخالية من البذيرات ويحدث فيها تراكم نشا.

ب- البلاستيدات الموجودة في النسيج الوسطي (الاسفنجي أو الميزوفيلي) والتي تتميز بأنها اصغر من الاولى وتحوي بذيرات ولا يحدث فيها تراكم نشا.

في حين نباتات (C3) تحتوي نوع واحد من البلاستيدات هو نوع (ب) فقط كما تتميز خلايا النسيج الوسطي الميزوفيل لنباتات (C4) بالنشاط العالي لانزيم (PEPA carboxylase) في حين خلايا غلاف الحزمة (الضفيرة) تتميز بالنشاط العالي لانزيم (Rudp carboxylase) .

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 نوع واحد 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.
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 .

ماهو الفرق بين دورة كالفن ومسار هاج – سلاك لتثبيت الـ CO_2 .

دورة كالفن	مسار هاج – سلاك
1- الCO_2 يتحد مع السكر خماسي ذرات الكربون هو رايبيلوز داي فوسفات RUDP .	1- الCO_2 يتحد مع مركب ثلاثي ذرات الكربون هو فوسفاينول حامض البرونيك يرمز له PEPA .
2- يتم التفاعل السابق بوجود انزيم Rudp Carboxylas .	2- PEPA Carboxylas .
3- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي مركب ثلاثي ذرات الكربون هو فوسفو جلرك اسد ويرمز له PGA .	3- الناتج الاول لعملية التركيب الضوئي مركب رباعي ذرات الكربون هو اوكزالو حامض الخليك .
4- تحدث في نباتات C3 و C4 .	4- تحدث في نباتات C4 فقط .
5- تحدث في معظم النباتات .	5- تحدث في عدد قليل من النباتات .

مع ان البناء الضوئي يصور على انه يؤدي الى تكوين السكريات السداسية فانه قد يؤدي ايضا الى تراكم الكثير من المواد الاخرى مثل النشا والدهون وبصورة غير مباشرة حتى البروتينات وقد يصور هذا كما موضح في المخطط التالي :-