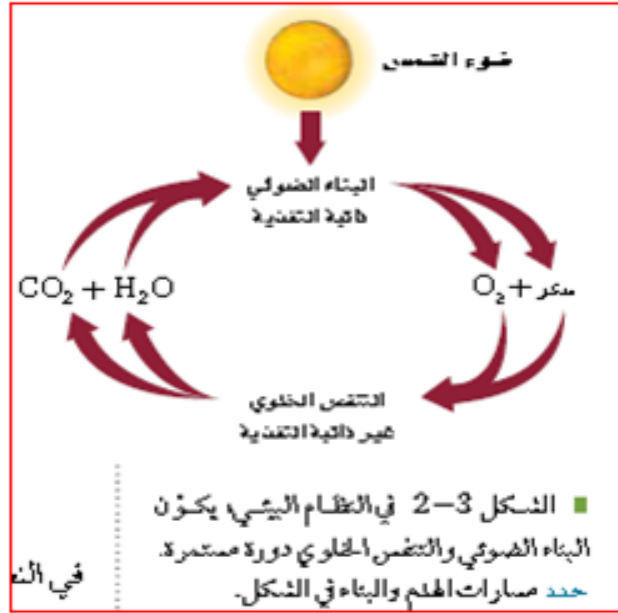


تستمد الكائنات الحية الطاقة من مصادر مختلفة لتستخدمها في بناء الجزيئات الضرورية للنمو والتكاثر ، ولنقل المواد داخل اجسامها وغير ذلك. تحصل الكائنات الحية على الطاقة اللازمة للقيام بهذه النشاطات عن طريق الغذاء بشكل رئيسي. فأثناء عملية التنفس الخلوي، تقوم الخلايا بتحطيم جزيئات الغذاء، أي المركبات العضوية التي تحتوي على طاقة كيميائية كامنة على شكل روابط بين الذرات المكونة لها، ويمكن لهذه الطاقة أن تنطلق بتحطيم الروابط عبر سلسلة من التفاعلات (تدعى الاستقلاب الهدمي Anabolism) كما يمكن استخدام الطاقة المتحررة بهذه الطريقة لتلبية متطلبات الخلية من الطاقة لتسيير العمليات المستهلكة لها في الجسم وبناء ما تحتاجه من مواد من خلال عمليات تدعى (الاستقلاب البنائي Catabolism).



تحولات الطاقة :

توجد الطاقة على أشكال عديدة مألوفة كالطاقة الحرارية والضوئية والكيميائية والكهربائية. ويمكن تحويل الطاقة أو تغييرها من شكل لآخر ، فعلى سبيل المثال يمكن للطاقة الكهربائية أن تتحول الى طاقة ضوئية وأخرى حرارية وهذا ما يعرف بالقانون الأول للديناميكا الحرارية، و ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية على ان الطاقة الحرة تتناقص في اثناء تحول الطاقة من شكل لآخر.

## التركيب الضوئي:

تعتبر عملية التركيب الضوئي أهم عملية إنتاجية على سطح الكرة الأرضية، إذ قدر بأن النباتات الموجودة على الكرة الأرضية تتركب من خلال هذه العملية ما يعادل 470 بليون طن من المواد العضوية كل سنة مستعملة في ذلك 690 بليون طن من CO<sub>2</sub> و 280 بليون طن من الماء وتحرر 500 بليون طن من الأوكسجين إلى الهواء، إن لهذا الأوكسجين المضاف إلى الهواء أهمية حيوية كبيرة نظراً لاستعماله من قبل كل من النباتات والحيوانات في عملية التنفس الهوائي.

تعتمد الحياة اعتماداً كلياً على الطاقة الشمسية التي تخزنها النباتات من خلال عملية التركيب الضوئي محولة إياها إلى روابط جديدة في جزيئات الغذاء المصنع من قبل النباتات.

إن المواد الأولية اللازمة لحدوث عملية التركيب الضوئي هي جزيئات بسيطة غير عضوية (CO<sub>2</sub> والماء) تدخل في تفاعلات التركيب الضوئي وتؤدي إلى تكوين جزيئات الغذاء الأكثر تعقيداً، في حين ينطلق غاز الأوكسجين كناتج ثانوي.

وتدعى الكائنات التي تستطيع القيام بعملية التركيب الضوئي بالكائنات ذاتية التغذية (autotrophs)، وذلك بالمقارنة مع الكائنات غيرية التغذية (heterotrophs) التي تحصل على غذائها جاهزاً من كائنات أخرى.

والنباتات ليست الكائنات الحية الوحيدة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، فالطحالب وبعض أنواع البكتيريا (السيانوبكتيريا) تستطيع القيام بهذه العملية.

تحتاج عملية التركيب الضوئي إلى آلية كيميائية معقدة، يمكن تلخيصها على النحو التالي:

1. مجموعة من التفاعلات تتضمن التقاط الطاقة الضوئية لإثارة الأصبغة الضوئية لتوليد المزود الآلي للالكترونات.
2. مجموعة من تفاعلات الأكسدة والارجاع التي تقترن فيها انتقال الالكترونات مع إنتاج كل من ATP و NADPH.

3. سلسلة حلقيه من التفاعلات التي تستخدم الطاقة من ATP والالكترونات من NADPH لتثبيت CO<sub>2</sub> على شكل مركبات عضوية.

تعرف المجموعتان الأولى والثانية من هذه التفاعلات باسم التفاعلات الضوئية لأن الطاقة الضوئية هي التي تسيروها مباشرةً.

أما المجموعة الثالثة من التفاعلات فتعرف بالتفاعلات المظلمة لأنها لا تتضمن الاستخدام المباشر للطاقة الضوئية.

تتم التفاعلات الضوئية في أغشية التيلاكويدات في البلاستيدات الخضراء، وهي أغشية تحتوي على الصبغات التي تلتقط الطاقة الضوئية. أما التفاعلات المظلمة فتتم في المادة الأساسية (stroma) في البلاستيدات الخضراء.

يعتبر الكلوروفيل من أهم صبغات التمثيل الضوئي عند الكائنات ذاتية التغذية الذي يستطيع امتصاص كل من الضوء الأحمر والأزرق من الطيف الضوئي. يتألف جزيء الكلوروفيل من جزئين مميزين الأول عبارة عن تركيب حلقي معقد يعرف بالبورفيرين (porphyrin) يحتوي ذرة مغنسيوم في مركزه وهو يمثل الجزء النشط في جزيء الكلوروفيل إذ أنه يلتقط الطاقة الضوئية. أما الجزء الآخر فهو سلسلة طويلة تعرف بالفيتول (phytol) كارهة للماء.

يتميز من الكلوروفيل عدة أنواع a,b,d,... التي تظهر أطيايف امتصاص مختلفة إلى حد ما فيما بينها، ويعد الكلوروفيل أ الصبغة الرئيسية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، أما بقية الأنواع فتعمل كصبغات مساعدة له.

يحتوي الضوء المرئي الذي تمتصه النباتات على أطوال موجات غير تلك التي يمتصها الكلوروفيل، وحتى لا تضيع هذه الطاقة سدى، فإن النباتات تمتلك صبغات أخرى مساعدة تمتص ألوان الضوء الأخرى وتقوم بتحويلها إلى الكلوروفيل a ، من أهم هذه الصبغات المساعدة الكاروتينيدات (carotenoids) والموجودة في جميع النباتات الخضراء.

يميز من الكاروتينيدات ثلاثة انواع من الاصبغة ( الكاروتين وهو صباغ برتقالي اللون ،والليكوبين احمر اللون والزانثوفيل اصفر اللون ) ، للكاروتينيدات طبيعة دهنية لذلك لا تنحل بالماء.

تتألف الكاروتينيدات من سلاسل هيدروكربونية طويلة تنتهي بتراكيب حلقيه في نهايتها. وتعمل الكاروتينيدات كدرع يحمي صبغة الكلوروفيل من الضرر الناتج عن العوامل المؤكسدة القوية التي تتكون بطريقة مباشرة أو غير مباشرة نتيجة التعرض لكثافات ضوئية شديدة، كما تعتبر مصدرا للفيتامينات خاصة الكاروتين بيتا الذي يشكل طليعة الفيتامين d. تمتص الكاروتينيدات الضوء في المجال الازرق .

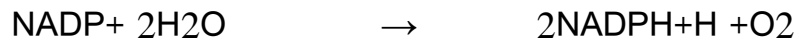
وبالإضافة إلى الصبغات السابقة، تحتوي الطحالب الحمراء والطحالب الخضراء المزرققة على مجموعة أخرى من الصبغات المساعدة تعرف بالفايكوبيلينات (phycobilins) ومنها الصبغة الحمراء المعروفة بالفايكوايريثرين (phycoerythrin) والصبغة الزرقاء المعروفة بالفايكوسيانين (phycocyanin) وتمتص هذه الصبغات موجات الضوء ذات الأطوال التي لا يمتصها الكلوروفيل بشدة، ثم تنتقل هذه الموجات إلى الكلوروفيل a لاستخدامها في عملية التركيب الضوئي.

الية التركيب الضوئي : تتضمن مرحلتين:

## 1 - مرحلة التفاعل الضوئي

ويتم فيها امتصاص الطاقة الضوئية بوساطة جزيئات اليخضور وتحويلها لطاقة كيميائية تخزن مؤقتاً في جزيئات الطاقة ATP اضافة لتفاعلات النقل الالكتروني التي تؤدي الى ارجاع NADP، وتحدث هذه المرحلة في أغشية الكبيسات للسانعة الخضراء . ويوفر كل من الناتجين الضوئيين ما يتطلبه تثبيت غاز CO2 من طاقة ومن قوة إرجاعيه. تدعى مجموعة تفاعلات المرحلة الضوئية بتفاعل هل Hill والتي يمكن تمثيلها على الشكل التالي :

صانعات خضراء



## الضوء

تقسم الأصبغة الموجودة في الصانعات الخضراء الى نظامين ضوئيين يتعاونان معاً ويعملان على التوالي في اتمام التفاعل الضوئي وهما:

1- النظام الضوئي الأول: وفيه يبلغ اليخضور أوج امتصاصه للضوء عند طول الموجة 700 نانومتر.

2- النظام الضوئي الثاني: وفيه يبلغ اليخضور أوج امتصاصه للضوء عند طول الموجة 680 نانومتر.

ويتكون النظام الضوئي من تجمع 200-300 جزيء من اليخضور وأصبغة مساعدة كالكاروتينات والكسانتوفيلات وناقل الالكترونات، وتختلف نسبة اليخضور a, b في النظامين فنسبة اليخضور a في النظام الأول أعلى بينما اليخضور b أعلى في النظام الثاني .

1- في النظام الضوئي الأول:

تقتنص جزيئات اليخضور الطاقة الضوئية (الفوتونات) فتتهيج مما يؤدي الى انطلاق الكترونات منها غنية بالطاقة. ينتقل بعض منها في سلسلة نواقل للإلكترون عائداً الى اليخضور نفسه (نقل دائري) محرراً الطاقة التي تستخدم في بناء ال ATP . وينتقل البعض الأخر الى مركب  $NADP^+$  الذي يرجع بشوارد الهيدروجين الناتجة من تحلل الماء الى  $NADPH.H$  (نقل غير دائري).

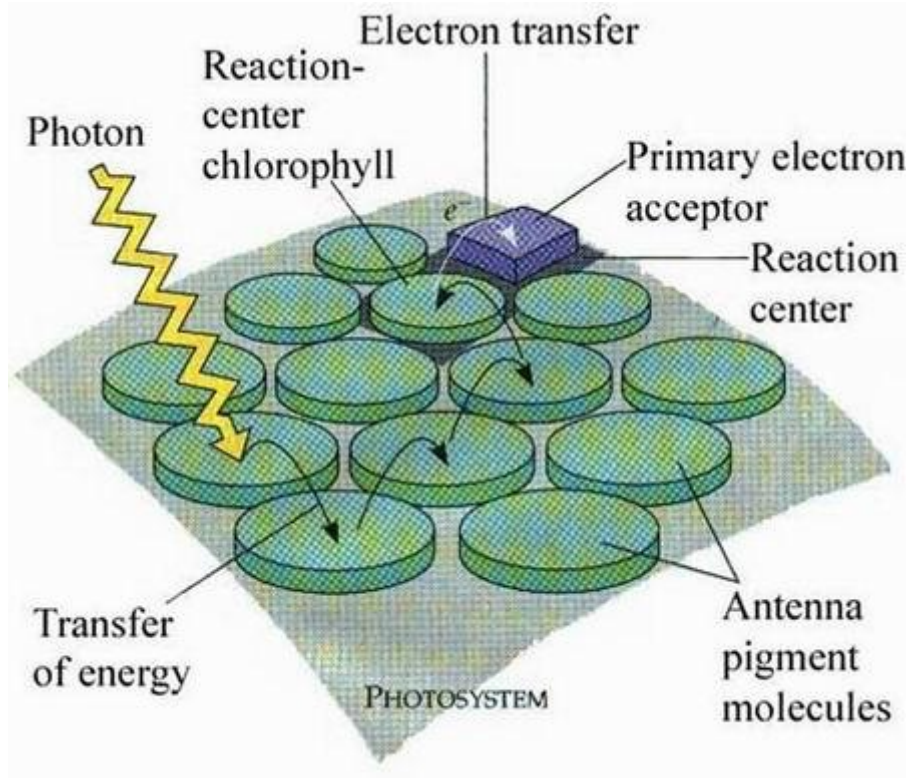
3- في النظام الضوئي الثاني:

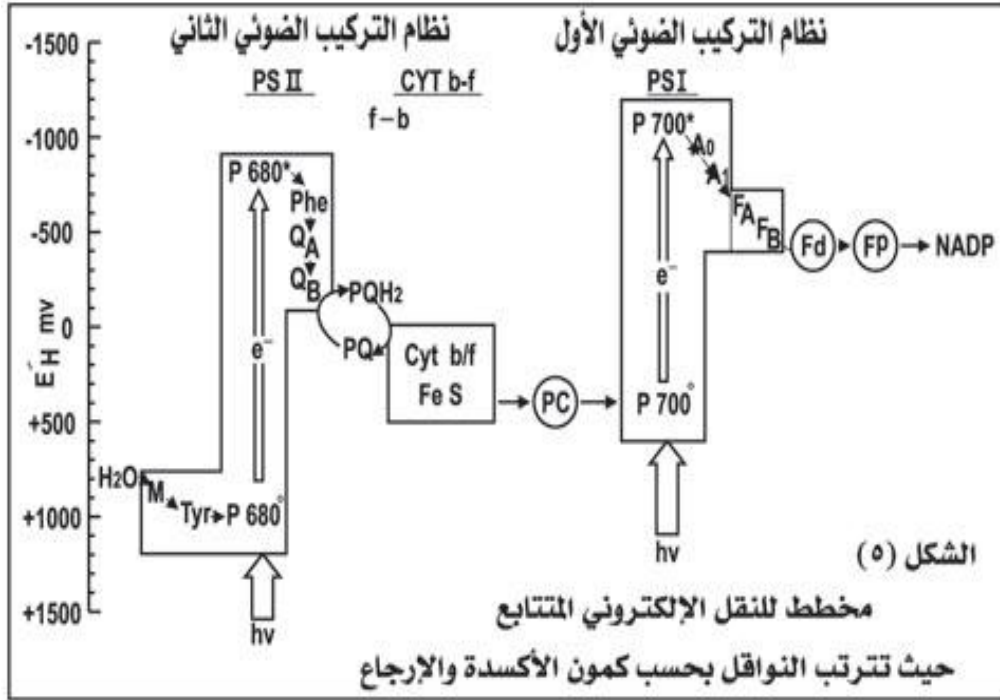
تقتنص جزيئات اليخضور الطاقة فتتهيج وتتطلق منها الكترونات غنية بالطاقة تنتقل في سلسلة نواقل للإلكترون فتحرر منها الطاقة التي تستخدم في بناء ال ATP وتنتهي الى اليخضور في النظام الضوئي الأول لتعوضه ما فقده من الكترونات ثم يتحلل الماء ضوئياً . وهكذا تكون نتائج التفاعلات الضوئية هي :

1- تكوين مركب الطاقة ATP .

2- ارجاع مركب  $\text{NADP}^+$  الى  $\text{NADPH.H}$ .

3- - انطلاق الأوكسجين من تحلل الماء

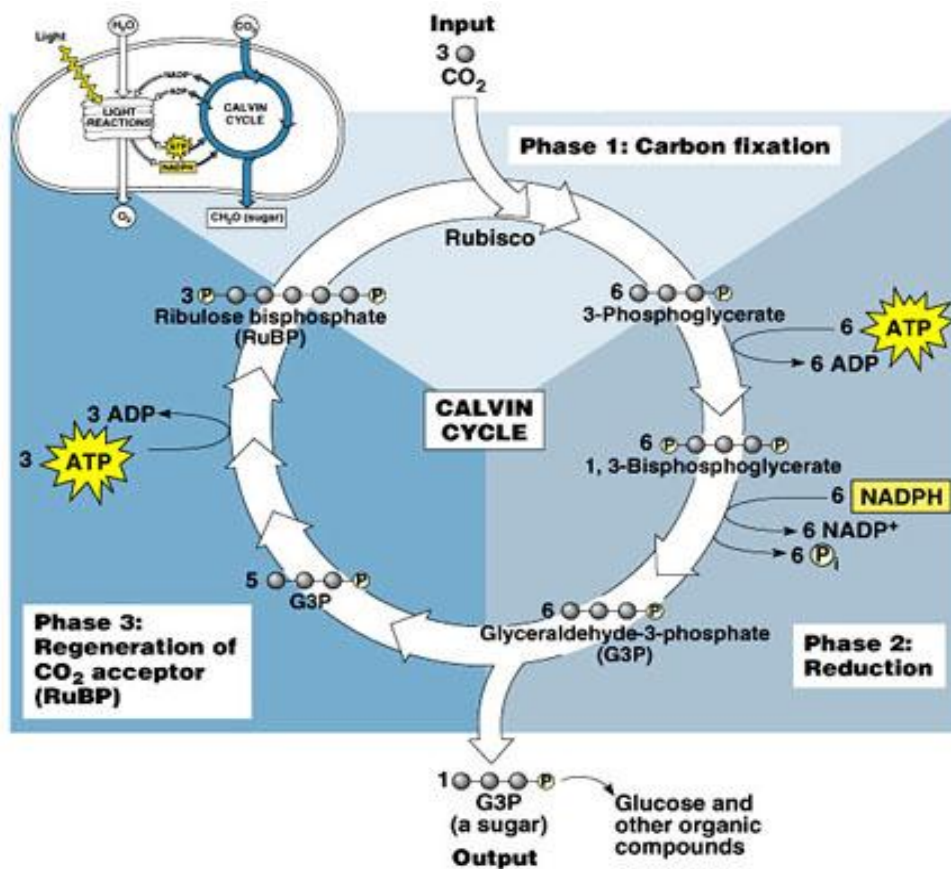
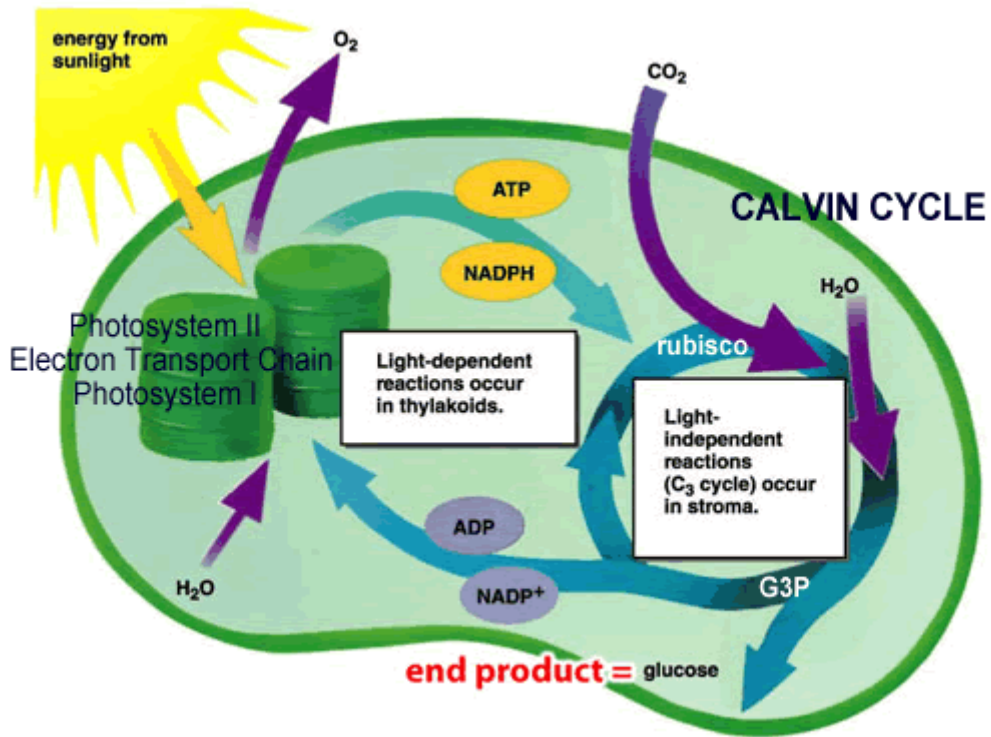




## 2- مرحلة التفاعل اللاضوئي: (حلقة كالفن)

ويتم فيها ارجاع غاز ثاني أكسيد الكربون الى المركبات الكربوهيدراتية (السكريات) وتحدث في حشوة الصانعة الخضراء لتوفر الأنزيمات والمواد اللازمة حيث يتم ارجاع غاز ثاني أكسيد الكربون وتثبيته في مركبات عضوية.

ويتطلب ذلك وجود مركبي الطاقة الناتجين في التفاعلات الضوئية وهما ATP و NADPH.H. تتم التفاعلات اللاضوئية بشكل حلقي .





## نواتج التركيب الضوئي:

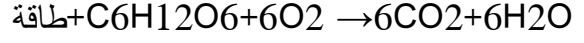
بينت التجارب بأن قسماً من سكر العنب يتأكسد في عملية التنفس محرراً الطاقة المخزنة فيه ليستفيد منها النبات في عملياته الحيوية، وقسم آخر يتحول الى سكر قصب أو نشاء أو سيللوز في النبات، وقسم ثالث يتحول الى مركبات عضوية هامة كالدهم والبروتينات . اذ تتحول بعض الجزيئات ثلاثية الكربون في حلقة كالفن الى حموض دسمة تتفاعل مع الغليسول لتعطي مواد دسمة، وبعضها يتفاعل مع مركبات آزوتية يمتصها النبات من التربة معطياً حموضاً أمينية تعطي بارتباطها مع بعضها البروتينات في النبات.

## التنفس الخلوي Respiration:

ينتج عن عملية البناء الضوئي مركبات عضوية (السكريات) بها طاقة كيميائية مخزونة على هيئة روابط كيميائية. هذه المركبات العضوية تستغلها خلايا النبات والحيوان، إذ تقوم بتكسيورها وتخزن الطاقة الناتجة على هيئة روابط فوسفاتية ذات طاقة عالية في مركب ثلاثي فوسفات الأدينوزين triphosphate Adenosine والذي يرمز له اختصاراً بالرمز (ATP) وهذه هي ما يعرف بالتنفس الخلوي.

يعد التنفس الخلوي الذي يحدث معظم تفاعلاته في الميتوكوندريا جزء من النشاطات الكيميائية للخلايا والذي يعرف بالأبيض الهدمي حيث يوفر الطاقة المطلوبة لعمليات الأيض البنائي والمركبات الوسيطة الناتجة من سلسلة التفاعلات كمركبات بادئة لعمليات البناء (مواد خام).

والتنفس عملية أكسدة للمواد الغذائية واختزال للأوكسجين لتكوين الماء فمثلاً سكر الجلوكوز عندما يدخل في التنفس الهوائي يكون إجمالي التفاعل لأكسدته على النحو التالي:



وهذا التفاعل منتج لطاقة تساوي 686 سعر/جزء. من المواد الغذائية التي تستخدم في التنفس النشاء والسكروز والجلوكوز وغيرها من السكاكر والمواد الدهنية والأحماض العضوية وتحت ظروف معينة قد تستعمل البروتينات كمواد أولية للتنفس.

تعد الخلايا الحية ديناميكية، تكسر المواد وتعيد بناء المواد باستمرار حسب الحاجة ولا تتوقف عن القيام بذلك إلا عندما يكون معدل الهدم أعلى من معدل البناء وتصل الخلية إلى طور الشيخوخة. على العموم فالتنفس الخلوي جزء من آليات الشغل الكيميائي الحيوي. وللتبسيط وسهولة معالجة الموضوع اعتاد العلماء على تمييز نوعين من التنفس الخلوي: فهو إما أن يكون هوائياً وإما أن يكون لاهوائياً حسب وجود الأوكسجين ونوع الكائن الحي.

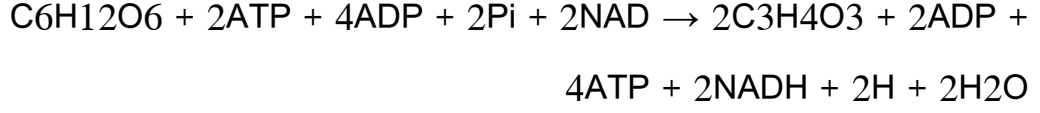
### **التنفس الخلوي الهوائي Aerobic Respiration:**

هذا النوع من التنفس هو السائد في النباتات الخضراء والحيوانات الراقية ويشتمل على مجموعة من التفاعلات المتتالية يمكن تقسيمها للتبسيط إلى ثلاث مراحل رئيسية هي التحلل السكري ودورة كربيس وسلسلة نقل الإلكترونات.

#### **1- التحلل السكري Glycolysis:**

وهو مجموعة من التفاعلات المتتابعة في تسع خطوات يتم بموجبها شطر جزيء الجلوكوز ذي الست ذرات من الكربون إلى جزيئين من مركب ذي ثلاث ذرات من الكربون وهو حمض البيروفيك. هذه التفاعلات تتم في سيتوبلاسم الخلية إذ أن الأنزيمات اللازمة لإتمام هذه التفاعلات موجودة في السيتوبلاسم وهذه المرحلة من التنفس موجودة في جميع الكائنات الحية. إن هذه المرحلة من التنفس الخلوي تتم في عدة خطوات كما هي موضح في الشكل التالي .

إن ناتج تفكك الجلوكوز هو: جزيئان من حمض البيروفيك وجزيئان من (NADH + H) وأربعة جزيئات من ATP بينما استخدمت الخلية جزيئين من ATP لتهيئة جزيء الجلوكوز وخلصه التفاعلات السابقة هي:

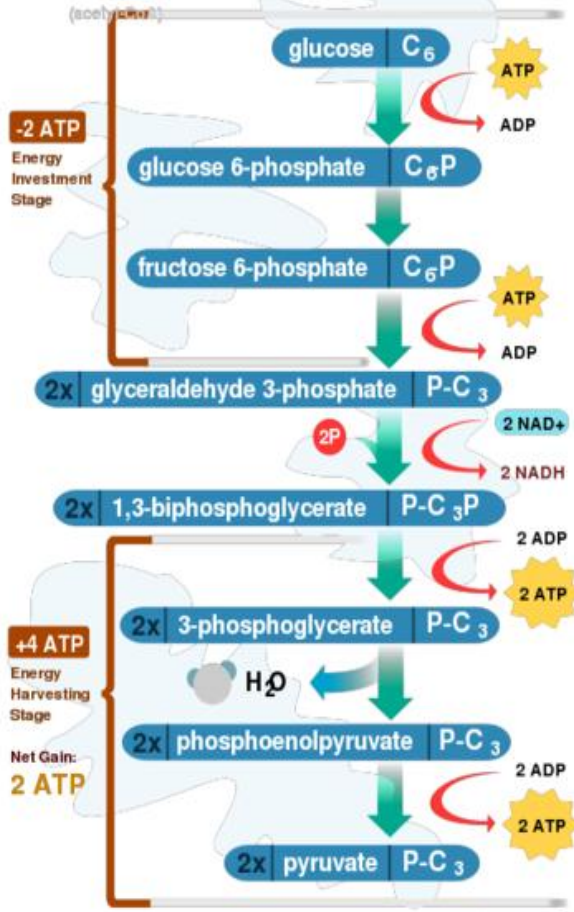


## 2-أكسدة حمض البيروفيك :

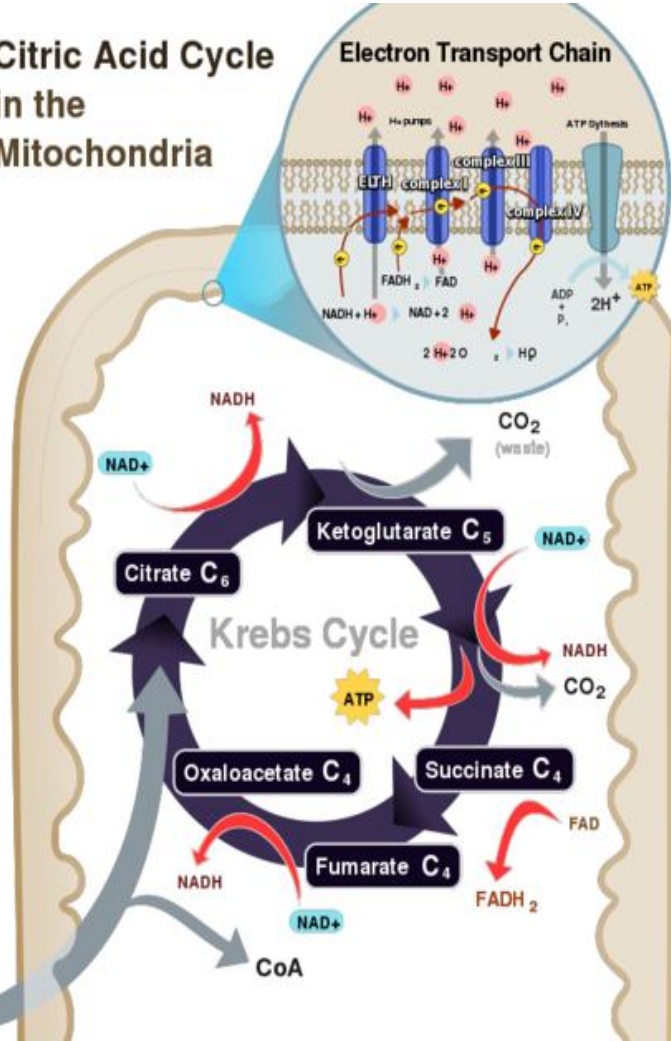
في خطوة تمهيدية بعد دخول البيروفات إلى الميتوكوندريا وقبل بدء دورة كريبس يحدث تفاعل لحمض البيروفيك يتم فيه نزع جزيء ثاني أكسيد الكربون وأكسدته بنزع ذرتي هيدروجين واتحاد الجزء المتبقي وهو المجموعة الأسيتيلية مؤقتاً مع مساعد إنزيمي، لينتج أسيتيل المساعد الإنزيمي أ (Acetyl CoA) كما في المعادلة التالية والشكل رقم ( )



### Glycolysis in the Cytoplasm



### Citric Acid Cycle in the Mitochondria



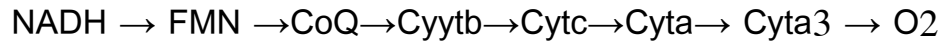
### 3- دورة كريبس Krebs cycle:

تعرف هذه الدورة باسم آخر وهو دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA) أو باختصار (TCA) لأن بعض الأحماض الموجودة في الدورة تحوي ثلاث مجموعات كربوكسيلية. تبدأ الدورة بمادة التفاعل الأساسية وهي أستيل المساعد الإنزيمي أ حيث يتحد مع الحمض العضوي رباعي ذرات الكربون أكسالوأستيك ليتكون الحمض العضوي سداسي ذرات الكربون السيتريك ويتحرر المساعد الإنزيمي أ ليتحد مع مجموعة أسيتيلية أخرى.

#### 4- سلسلة نقل الإلكترونات Electron Transport Chain:

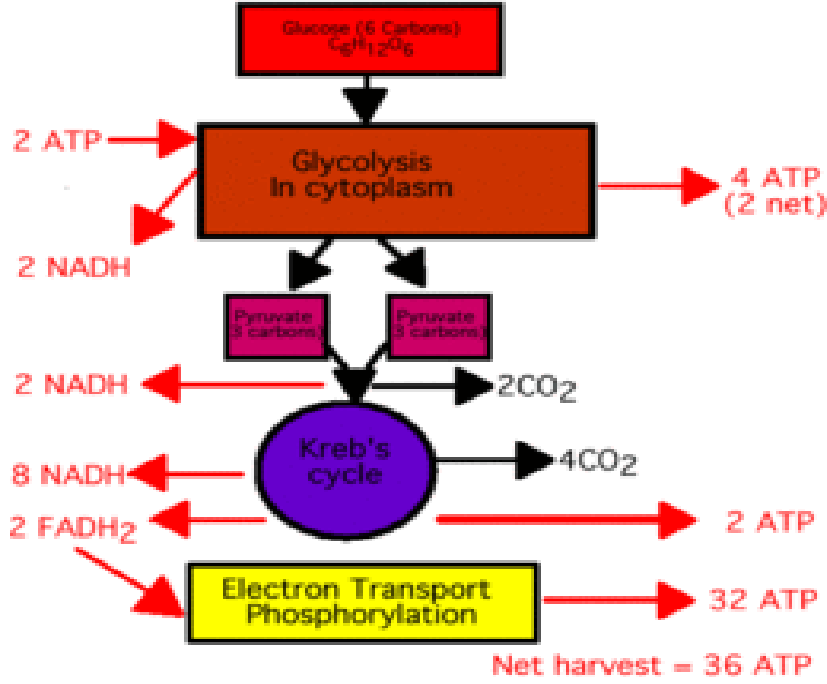
تتألف سلسلة نقل الإلكترونات من مجموعة من المركبات الناقلة للإلكترونات حيث تكون هذه النواقل مراكز (ويوجد منها عدة آلاف) في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. تترتب هذه النواقل في المركز الواحد بطريقة معينة بحيث تنتقل الإلكترونات خطوة تلو الأخرى من مركب ذي جهد تأكسدي اختزالي منخفض (أي من الصعب اختزاله حسب قوانين الديناميكا الحرارية) إلى مركب آخر ذي جهد تأكسدي اختزالي أعلى من سابقه حيث ينتهي المطاف بالإلكترونات إلى الأوكسجين الذي يتصف بجهد تأكسدي اختزالي عال بالنسبة لهذه المركبات المكونة لسلسلة نقل الإلكترون، وهنا يتحد الأوكسجين مع أيونات الهيدروجين لتكوين الماء. ويعتقد أن الترتيب متتابع بحيث يكون نقل الإلكترون في اتجاه واحد وحسب فرق الجهد. وكل مركب لا يتقبل الإلكترونات إلا من المركب الذي يسبقه فقط.

تم التعرف على ستة نواقل للإلكترون رئيسية تضم ما بينها نواقل وسطية لا تقل عن التسعة نواقل من أبرزها إنزيم سيتوكروم أكسيداز (Cytochrome oxidase) والفلافوبروتين (Flavoproteins)، ينقل الإلكترون إلى المرافق الإنزيمي كيو ثم يتدرج في نظام السيتوكروم حيث يصل إلى الأوكسجين في الترتيب العام التالي (دون ذكر للنواقل الوسيطة):



وقد اقترح عدة نماذج (موديلات) لتوضيح المسار الذي تجري فيه هذه الإلكترونات والترتيب الذي تتخذه هذه المركبات كما في الشكل .



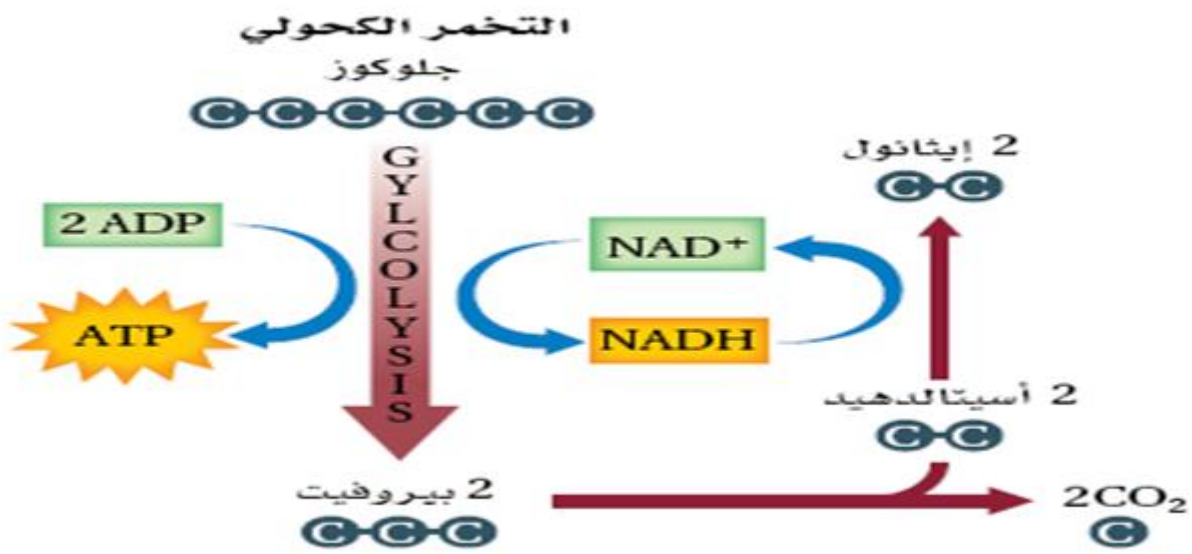


### التنفس الخلوي اللاهوائي Anaerobic Respiration:

في غياب الأوكسجين الذي يعد المستقبل النهائي للالكترونات فإن عملية نقل الالكترونات في السلسلة تتوقف، وبالتالي تتوقف دورة كريبس، لذا فإن عملية الحصول على الطاقة من الغلوكوز تقتصر على التحلل السكري حيث أن الناتج النهائي في التحلل السكري يتحول إلى مركبات أخرى تستغل NADH وبالتالي يتيسر NAD لكي تتم الدورة له.

من أمثلة التنفس الخلوي اللاهوائي ما يعرف بعملية التخمر أو التخمر الكحولي Fermentation حيث يتحول حمض البيروفيك إما إلى أسيت الدهيد مع فقد جزيء ثاني أوكسيد الكربون ومن ثم يتحول الأسيت الدهيد بواسطة NADH المتكون أولاً في التحلل السكري إلى كحول إيثيلي Ethyl alcohol الشكل رقم ( ) كما في عملية تخمر سكر العنب بواسطة الخميرة وإما وبدرجة أقل شيوعاً في النبات إلى حمض اللبن (لاكتيك) Lactic acid.

!Error



!Error

