

شعبة العلوم  
التجريبية

BAC

5

# العلوم الطبيعية

المجال المعرفي الثاني

## التحولات الطاقوية في الخلايا

تمهيد

لقد لاحظنا في الوحدات السابقة للمجال الأول أن تركيب البروتينات تحتاج إلى طاقة تحصل عليها خلايا العضوية من جزيئات ال ATP وعندما تدخل في مختلف التخصصات مثل عمل الإنزيمات والنقل العصبي والدفاع عن العضوية والحركة ... تحتاج أيضا إلى طاقة.

فما مصدر هذه الطاقة؟ وكيف يتم تحويلها لتشكيل جزيئات ال ATP؟

تذكير بالمكتسبات القبلية:



خصص المخطط التالي تدفق الطاقة الضوئية والتي مصدرها الشمس عبر الكائنات الحية انطلاقا من النباتات الخضراء التي تحولها إلى طاقة كيميائية كامنة بتركيب مادة عضوية تسمى السكريات ( تركيب ضوئي)، انتهاء بالحيوانات والتي تقوم بتحويل هذه الطاقة الكامنة إلى طاقة قابلة للاستعمال في شكل ATP ( تنفس ).

سنتناول بشكل تفصيلي مراحل هاتين الآليتين.

**أولا** تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة ( تركيب ضوئي ):

وضّح الجدول الموالي بشكل تفصيلي مراحل وشروط هذه الظاهرة على المستوى الجزيئي :

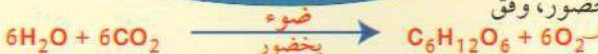


التفاصيل

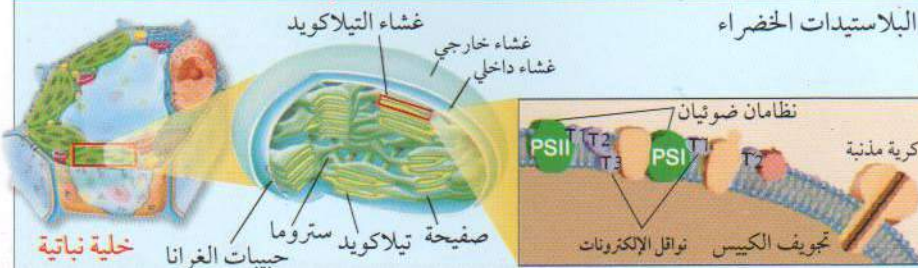
المراحل

تذكير بالمكتسبات القبلية:

تتمثل المظاهر الخارجية للتركيب الضوئي في أخذ ثاني أكسيد الكربون من الجو الخارجي وبالمقابل طرح الأكسجين. ويرفق ذلك بتركيب السكريات. وتتم العملية في وجود الضوء واليخضور، وفق المعادلة التقليدية التالية:



البلاستيدات الخضراء



2

المقر والبنية

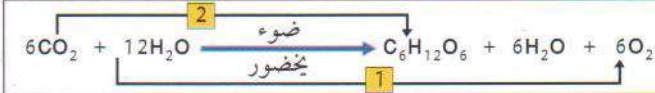


يتبين من الشكل أن الخلية النباتية تتميز بوجود الصانعات الخضراء إلى جانب احتوائها على كل مكونات الخلية بما فيها الميتوكوندري.

تتكون البلاستيدة الخضراء من غشائين: داخلي وخارجي. بداخلها أنشاءات أفقية للأغشية (صفائح) تحصر بينها حبيبات الغرانا. تتكون كل حبيبة غرانوم من مجموعة من كيسيئات متراكبة يسمى كل منها تيلاكوييد.

- ما فوق بنية التيلاكوييد

يتكون غشاء التيلاكوييد من النظامين الضوئيين PSI و PSII يحصران بينها سلسلة نواقل الإلكترونات تنتهي بكرة مذبة تعرف ب ATPase. تسمى هذه العناصر الغشائية في مجملها **السلسلة التركيبية الضوئية**.

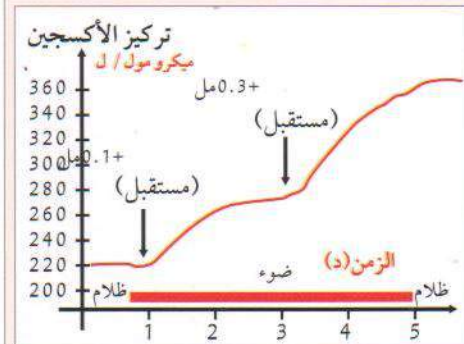


يمكن أن نستخلص من المعادلة وجود تفاعلين: 1- تفاعل أكسدة للماء

حيث يتفكك إلى بروتونات وإلكترونات وأكسجين يطرح إلى الخارج.

2- تفاعل إرجاع لغاز الفحم إلى جلوكوز. فالعملية تتطلب امتصاص غاز الفحم من الوسط الخارجي.

أي أن طبيعة التفاعلات الكيميائية في التركيب الضوئي هي تفاعلات **أكسدة وإرجاع**. تشتترط المرحلة الأولى وجود الضوء واليخضور، لذلك تسمى المرحلة الضوئية أو الكيموضوئية. أما المرحلة الثانية فتشتترط غاز الفحم دون الحاجة إلى الضوء لذلك تسمى المرحلة الظلامية أو الكيموحوية.



**أ- تفاعلات المرحلة الكيموضوئية**  
يوضح المنحنى التالي نتائج تجارب مدعمة بالحاسوب لمعلق التيلاكوييد معرض للضوء والظلام وضع فيه كاشف الفيروسيانور كمستقبل للإلكترونات (يكون بلون بني محمر في الحالة المؤكسدة، وبلون أخضر في الحالة المرجعة). حيث نلاحظ زيادة كمية الأكسجين المنطلق بزيادة كمية الفيروسيانور في وجود الضوء.  
- لكن ما علاقة الأكسجين المنطلق بإرجاع الفيروسيانور؟

- مصدر الأكسجين المنطلق:

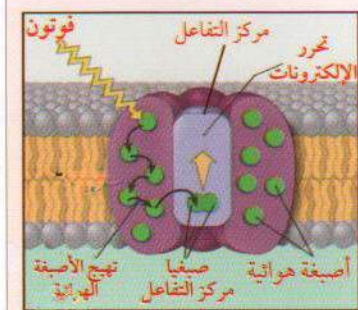
الأكسجين المنطلق	الجزئ المشع	الوسط
غير مشع	CO2	الأول
مشع	H2O	الثاني

نبين ذلك من خلال تجربة هيل الشهيرة: وضع معلق الكلوريل في وسطين أحدهما يحتوي على CO2 ذي أكسجين مشع بينما الماء غير مشع، والوسط الثاني يحتوي على H2O ذي أكسجين مشع بينما CO2 غير مشع. نتائج هذه التجارب موضحة في الجدول:

يتبين من خلال هذه النتائج أن مصدر الأكسجين هو الماء. وعليه فإن إرجاع الفيروسيانور يتم بتحلل الماء إلى أكسجين وبروتونات وإلكترونات تعمل على إرجاع الفيروسيانور كما يلي:



- دور الضوء واليخضور:



يتكون النظام الضوئي من الأصبغة اليخضورية وهي A و B وأشباه الكاروتين وهي تنظم في شكل أصبغة هوائية ومركز التفاعل. تلتقط الأصبغة الهوائية الفوتونات التي تعمل على تهيج أول صبغة P1 تنتقل فيها الإلكترونات من مستوى أدنى إلى مستوى أعلى. عند عودة الإلكترون إلى مستواه الأول تتحرر طاقة تنتقل إلى الصبغة المجاورة P2 فتتهيج بدورها بنفس الكيفية. وهكذا تندلع سلسلة من التهيجات على مستوى هذه الأصبغة الهوائية إلى أن تصل الطاقة إلى زوج نهائي من الأصبغة يسمى **مركز التفاعل** حيث بعد تهيجها يتحرر إلكترونين كما يبينه الشكل المقابل:



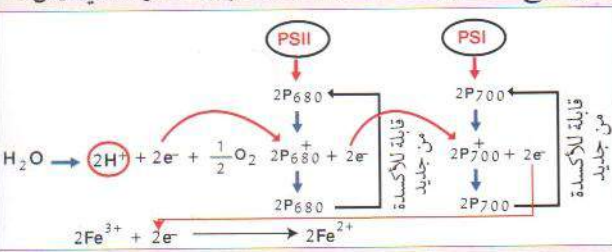
وبما أن هناك نظامان ضوئيان في غشاء التيلاكويد فإن عملية التأكسد تتم على مستويين بالشكل التالي:

- مستوى PSII حيث يرمز فيها لصبغتي مركز التفاعل ب  $2P_{680}$  نسبة إلى أعلى موجة يمكن أن يمتصها هذا النظام.
- مستوى PSI حيث يرمز فيها لصبغتي مركز التفاعل ب  $2P_{700}$  نسبة إلى أعلى موجة يمكن أن يمتصها هذا النظام.

إذن دور الضوء هو أكسدة اليخضور في النظامين الضوئيين.

لا يمكن للنظام الضوئي PSII أن يحرر الإلكترونات مرة ثانية بعد تأكسده إلا عند استعادة الإلكترونات التي فقدتها وهذا لا يكون إلا عن طريق الإلكترونات الناتجة عن تحلل الماء.

أما الإلكترونات المفقودة من طرف النظام الضوئي PSI فتعوض من الإلكترونات القادمة من النظام الضوئي PSII. بمعنى أن المرحلة الضوئية هي عبارة عن ضخ للإلكترونات مصدرها الماء ومحركها الضوء الذي ليس له القدرة على أكسدة الماء ولكن له القدرة على أكسدة اليخضور كما يوضحه المخطط المقابل.



فاليخضور هو مصدر الإلكترونات المرجعة للفيروسيانور. لكن هذا المركب خارجي لا علاقة له بالخلية يستعمل في التجارب لإيضاح ظاهرة الأكسدة والإرجاع.

### ما هو المركب الحقيقي الذي يستقبل الإلكترونات المتحررة من اليخضور على مستوى التيلاكويد ؟

لقد أظهرت التجارب أن الإلكترونات تنتقل عبر سلسلة من النواقل تسمى السلسلة التركيبية الضوئية لتستقبل في النهاية من طرف مركب خاص يسمى  $NADP^+$  كما يوضحه المخط التالي:

1- تنتقل الإلكترونات من النظام الضوئي PSII إلى النظام الضوئي PSI عبر سلسلة من النواقل ( $T_1$  و  $T_2$  و  $T_3$ ) وفق تدرج متزايد في كمون الأكسدة والإرجاع.

إن كمون الأكسدة والإرجاع للماء =  $0.82$  + ميلي فولت بينما كمون الأكسدة والإرجاع ل  $NADP^+$  =  $0.40$  ميلي فولت.

بمعنى أن الماء لا يمكنه إرجاع  $NADP^+$ ، وحتى تتم العملية كان من اللازم أكسدة النظامين الضوئيين ومن ثم إرجاعهما من طرف إلكترونات الماء وفق نظام انتقال الإلكترونات كما يلي:

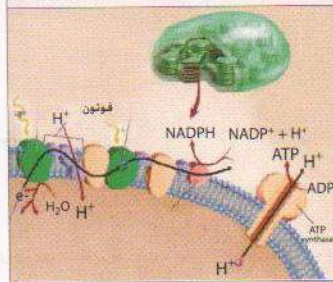
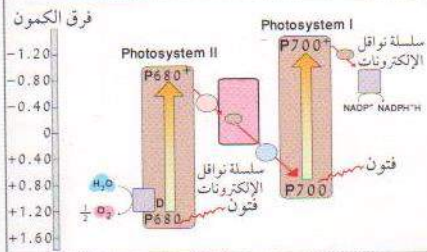
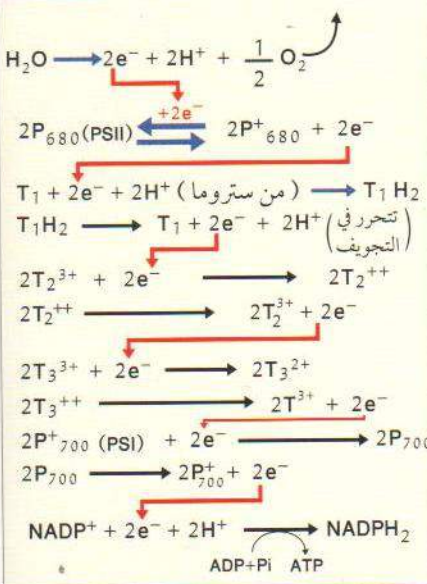
كمون أصغر (طاقته عالية) ← كمون أكبر ( طاقة منخفضة ) كما يبينه شكل المخطط المقابل:

نلاحظ من المخطط أن الماء لا يمكنه إرجاع  $NADP^+$  لكن بإمكانه إرجاع PSII لأن كمون الأكسدة والإرجاع لديه في مستوى أخفض من كمون الماء.

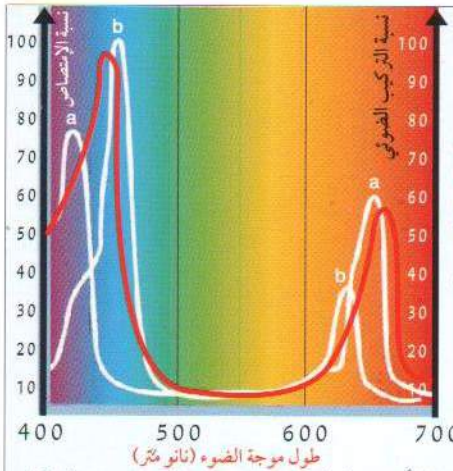
تعود أهمية نواقل الإلكترونات إلى امتصاص الطاقة العالية والناتجة عن الفرق في كمون الأكسدة والإرجاع بين الإلكترون المتحرر والنظام الضوئي ومن ثم استعمال هذه الطاقة المفقودة تدريجياً في ضخ البروتونات من الحشوة إلى تجويف التيلاكويد.

### 2- يؤدي سقوط الفوتونات على النظام الضوئي PSI إلى نفس المراحل السابقة تنتقل عبر سلسلة من الإلكترونات تتكون من ناقلين ( $T_1$ و $T_2$ ) لإرجاع مركب $NADP^+$ إلى $NADPH_2$ . وحتى يتم إرجاع $NADP^+$ من طرف PSI كان من اللازم أن يكون كمون الأكسدة والإرجاع لديه أقل من كمون $NADP^+$ ، أي في مستوى أعلى وهذا لا يكون إلا برفع طاقة الإلكترونات عن طريق الضوء بأكسدة PSI.

فالنظامان الضوئيان يتعاونان في رفع طاقة إلكترونات الماء حتى تكتسب القدرة على إرجاع  $NADP^+$







3- يقوم أحد نواقل الإلكترونات بضخ البروتونات في تجويف الثيلاكويد إلى جانب تحلل الماء داخل هذا التجويف مما يزيد من تركيزها وتنخفض قيمة ال PH. إن تراكم البروتونات في تجويف الثيلاكويد يعمل على إحداث فرق في تركيزها على جانبي غشاء الثيلاكويد. وحسب نظرية ميتشل الكيمو اسموزية والتجارب التي أكدتها فإن هذه البروتونات تخرج من التجويف نحو الحشوة، لكن ذلك لا يكون إلا عبر الكريات المذنبة مما ينتج عنه عملية فسفرة تسمى الفسفرة الضوئية تنتهي بتشكيل جزئيات ال ATP.

### - لماذا نرى النباتات بلون أخضر؟

يتكون الضوء الأبيض ( ضوء الشمس ) من 7 ألوان مختلفة تسمى ألوان الطيف وهي عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية كل لون يحمل طول موجة معينة أقصرها البنفسجي والذي طول موجته 400 نانومتر ، وأطولها اللون الأحمر وطول موجته 700 نانومتر. يبين الشكل أعلاه منحني نسبة امتصاص الألوان المختلفة من طرف اليخضور A و B فنلاحظ أنها تكون عالية في الألوان ذات الأمواج القصيرة ( وهي البنفسجي والأزرق ) وبنسبة أقل عند الموجات الطويلة ( وهي البرتقالي والأحمر )، وشبه معدومة في اللون الأخضر. ويوضح المنحني باللون الأحمر نسبة التركيب الضوئي حيث هناك توازي مع منحني الإمتصاص أي كلما زاد الإمتصاص زاد التركيب الضوئي والعكس صحيح. وهذا هو تفسير سبب رؤية أوراق النباتات بلون أخضر لأنها تعكسه ولا تمتصه. وبالتالي فأنت ترى شيئاً بلون معين هذا يعني أنه امتص كل ألوان الطيف ماعدا ذلك اللون. ويمكن أن يكون لون الشيء مزيجاً من لونين وهذا يعني بأنه لا يمتص اللونين معا.

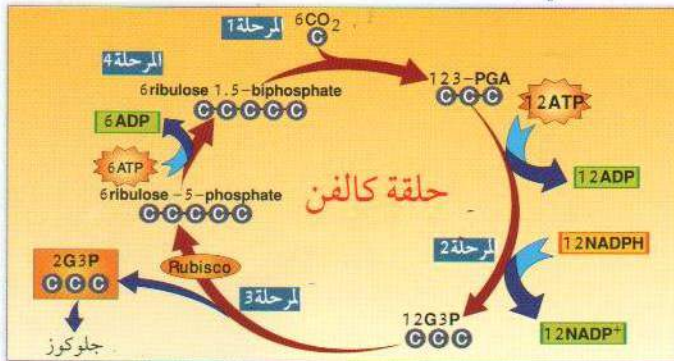
### حصيلة التفاعلات الكيمو ضوئية:



### - ماهو مصير NADPH2؟

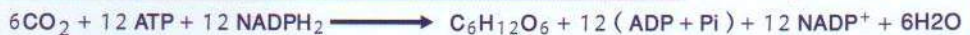
### ب- تفاعلات المرحلة الكيمو حيوية

على مستوى الحشوة أو ستر وما تحدث سلسلة من التفاعلات يتم فيها إدماج  $\text{CO}_2$  وإرجاع مركبات بينية عن طريق  $\text{NADPH}_2$  واستعمال طاقة ليتشكل في النهاية الجلوكوز. يتم إدماج 6 جزئيات من غاز الفحم ب 6 جزئيات لمركب خماسي يسمى Rudip ( $\text{Ribulose 1.5-Diphosphate}$ ) لتعطي كمرحلة أولى 12 جزئي  $\text{PGA}$  (حمض Phosphoglycerique) تتم فسفرته باستعمال ATP ثم إرجاعه عن طريق  $\text{NADPH}_2$  ليتشكل مركب  $\text{PGA}$  ( $\text{Phosphoglyceraldehyde}$ ) كمرحلة ثانية حيث يكون عدد جزئياته 12 بعدد 36 ذرة كربون. وفي المرحلة الثالثة تندمج جزئيتان من  $\text{PGA}$  إلى جلوكوز، والباقي يندمج في شكل 6 جزئيات ريبيلوز أحادي الفوسفات. وفي المرحلة الرابعة والأخيرة يسترجع مركب Rudip من جديد لتستأنف الدورة مع 6 جزئيات  $\text{CO}_2$  أخرى. يطلق على العملية **حلقة كالفن** والتي يوضحها المخطط التالي.



### حصيلة المرحلة الكيمو حيوية:

كما لاحظنا سابقاً إنها عملية إرجاع  $\text{CO}_2$  لتركيب سكر الجلوكوز وهي تشترط وجود  $\text{ATP}$  و  $\text{NADPH}_2$



### ما هي العلاقة بين المرحلتين؟

تشرط المرحلة الكيمو حيوية وجود الضوء بطريق غير مباشر بمعنى وجود الضوء من أجل تزويدها ب:  $\text{ATP}$  و  $\text{NADPH}_2$  من المرحلة الكيمو ضوئية. وكذلك فإن استمرار المرحلة الكيمو ضوئية مشروط باستمرار المرحلة الكيمو حيوية لأن تراكم  $\text{NADPH}_2$  وعدم أكسدته يمنع من إرجاعه في السلسلة التركيبية الضوئية وبالتالي توقف العملية.



## ثانياً تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة إلى طاقة كيميائية قابلة للاستعمال ( تنفس ):

يعني التنفس الآليات التي تسمح بتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الجلوكوز إلى طاقة كيميائية قابلة للاستعمال من طرف خلايا العضوية. وتتم عملية التحصل على هذه الطاقة إما في وجود الأكسجين حيث يتفكك فيها الجلوكوز كلياً ( تنفس هوائي )، أو في غيابه حيث يتفكك جزئياً ( تنفس لاهوائي أو تخمر ).

1 في حالة وجود الأكسجين يوضح الجدول الموالي بشكل تفصيلي مراحل وشروط هذه الظاهرة على المستوى الجزيئي:

### تذكير بالمكتسبات القبلية:

تتمثل المظاهر الخارجية للتنفس في أخذ الأكسجين من الوسط الخارجي وطرح المقابل  $CO_2$  وتحرر طاقة حرارية. وذلك وفق المعادلة التقليدية التالية:



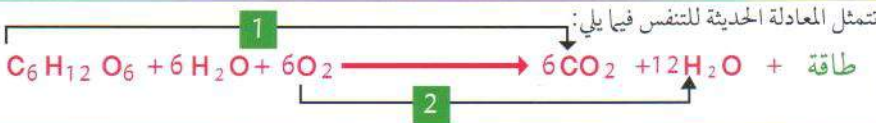
1  
إيضاح المظهر  
الخارجي للعملية  
وشروط حدوثها



2  
المقر والبنية

### الميتوكوندري:

تحتوي الخلية الحيوانية على كل المكونات فيما عدا الصانعات الخضراء. تتكون الميتوكوندري من غشائين: داخلي وخارجي كما يبينه الشكل أعلاه. يشتمل الغشاء الداخلي إلى الداخل مشكلاً ما يسمى بالأغراف الهدف منها **زيادة سطح الأكسدة التنفسية**. بقية الفراغ يسمى الحشوة أو ستروما وهو عبارة عن سائل يحتوي على مركبات عضوية وإنزيمات تنفسية ومرافقات إنزيمية:  $ADP$ ,  $P_i$  و  $FAD$ ,  $NAD$ .  
- ما فوق بنية الميتوكوندري: يتكون الغشاء الداخلي من سلسلة نواقل الإلكترونات تسمى **السلسلة التنفسية**، تنتهي بكمية مذبة ( $ATPase$ ).



3  
معادلة التنفس

### نستخلص من المعادلة وجود تفاعلين:

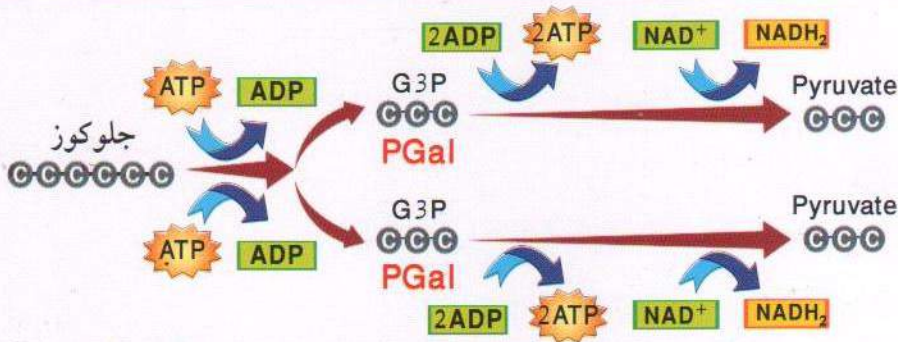
- 1- تفاعل أكسدة للجلوكوز إلى غاز الفحم يطرح إلى الخارج.
- 2- تفاعل إرجاع للأكسجين إلى ماء أي أن العملية تتطلب امتصاص الأكسجين من الوسط الخارجي. طبيعة التفاعلات الكيميائية في التنفس هي كذلك تفاعلات أكسدة وإرجاع. لا تتطلب عملية التنفس شروطاً خاصة سوى توفر الأكسجين.

### أ- التحلل السكري (Glycolyse)

قبل دخول الجلوكوز إلى الميتوكوندري تحدث به سلسلة من التحولات تنتهي إلى تشكيل حمض البيروفيك يطلق على الظاهرة **التحلل السكري** والذي يمكن توضيحه وفق مخطط الصفحة الموالية: يتبين من المخطط أن جزيئة الجلوكوز تنجزاً إلى مركبين يتكون كل منهما من ثلاث ذرات كربون يطلق عليها  $PGal$  ( فوسفو غليسيرالدهيد ) يتطلب ذلك استعمال طاقة تقدر إجمالاً بـ  $2ATP$ .

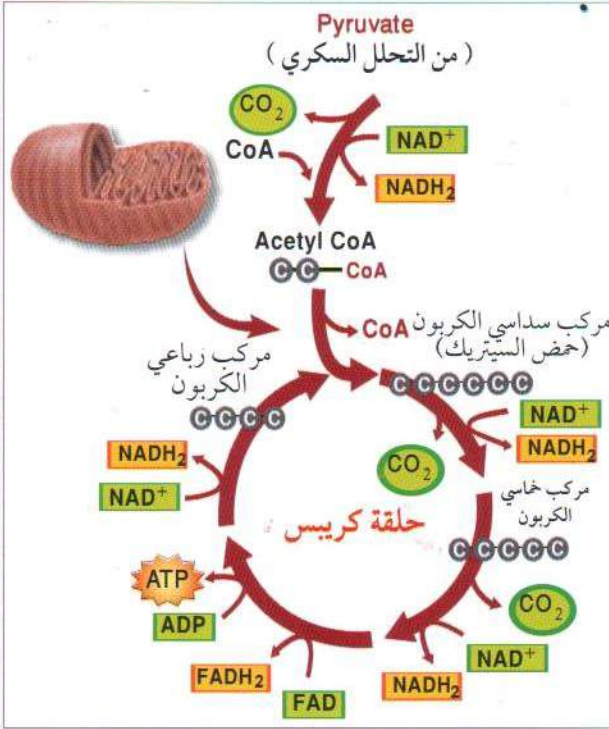
4  
مراحل التنفس





يتحول مركب PGal إلى حمض بيروفيك (Pyruvate) مروراً بمركبات بينية وهي: APG و PEP محرراً طاقة تسمح بتشكيل 2ATP وإرجاع 2NAD<sup>+</sup> إلى 2NADH<sub>2</sub>.

**معادلة التحلل السكري:**  $C_6H_{12}O_6 + 2 (ADP + P_i) + 2NAD^+ \rightarrow 2ATP + 2NADH_2 + 2$  حمض بيروفيك



العملية **حلقة كريس** حيث تكون معادلتها كالآتي:



**ج- الفسفرة التأكسدية**

لقد أظهرت التجارب أن NADH<sub>2</sub> و FADH<sub>2</sub> يتأكسدان عبر سلسلة من النواقل توجد ضمن الغشاء الداخلي للميتوكوندري تسمى **السلسلة التنفسية** حيث تقوم البعض منها باستعمال جزء من طاقة الإلكترونات في ضخ البروتونات إلى الفراغ بين الغشائين بينما ينتهي المطاف بالإلكترونات إلى إرجاع الأكسجين كما يوضحه الشكل في الصفحة الموالية.

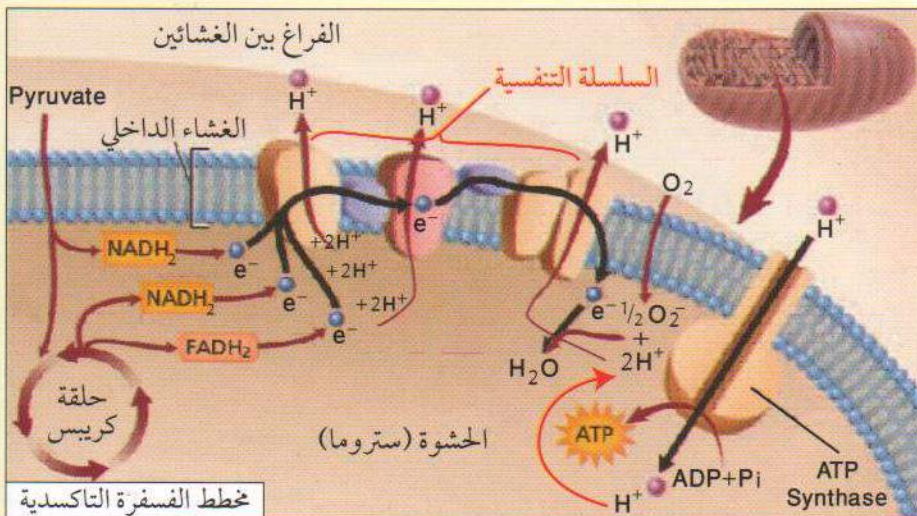
يرفق بالسلسلة التنفسية عملية فسفرة تسمى الفسفرة التأكسدية تسمح بتشكيل جزيء ATP على مستوى الكريات المذنبة حيث تتدفق البروتونات عبرها من الفراغ بين الغشائين العالي التركيز بالبروتونات إلى الستروما لترتبط بجزيئات الأكسجين المرجعة مما يسمح بتركيب جزيئات الماء.

**معادلة  
الفسفرة  
التأكسدية:**





الفراغ بين الغشائين



المرحلة	عدد ATP	عدد NADH <sub>2</sub>	عدد FADH <sub>2</sub>
التحلل السكري	2	2	0
نزع الكربون التأكسدي	/	2	0
حلقة كريس	2	6	2
الحصيلة الإجمالية	4	10	2
الحصيلة الطاقوية بال ATP	4	30	4

= 38 ATP



## 2 في حالة غياب الأكسجين

**2) في حالة غياب الأكسجين** لاحظنا من خلال معادلة التحلل السكري أن نتائج هذه العملية والتي تتم في الهبولى إرجاع  $2\text{NAD}^+ + 2\text{NADH}_2$  وتشكل حمض البيروفيك ومن ثم تتأكسد في الميتوكوندري لتعطي 3 جزيئات ATP. لكن في غياب الأكسجين فإن العملية تتوقف هنا ويشكل تراكم  $\text{NADH}_2$  الزيادة من حموضة الوسط نتيجة ارتفاع تركيز البروتونات مما يجعله وسطا غير مناسب للنشاط الإنزيمي. وعند الإنسان تسبب له حموضة الدم (Acidose) التي تؤدي به إلى الموت الحتمي. لهذا تلجأ العضوية إلى التخلص من هذه الحموضة بأكسدة  $\text{NADH}_2$  إلى  $\text{NAD}^+$  وتحويل حمض البيروفيك إما إلى حمض لبن أو كحول وتسمى العملية بالتخمير أو التنفس اللاهوائي وترجع بذلك جزئيات من ATP الناتجة عن التحلل السكري.

أ- التخمير الكحولي: تلجأ بعض الكائنات الدقيقة مثل فطر الخميرة إلى

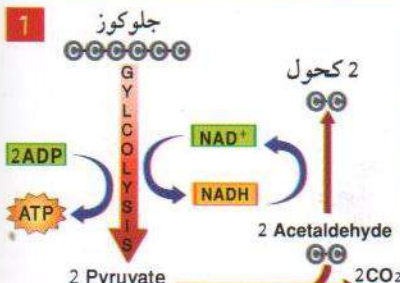
هذا النوع من التخمرات إلى تحويل حمض البيروفيك أولاً إلى مركب أستالدهيد بنزع جزيئة ثاني أكسيد الكربون ثم إرجاع هذا المركب إلى كحول عن طريق  $\text{NADH}_2$  كما يبين ذلك المخطط 1. يستفاد من هذا النوع من التخمرات في صناعة أنواع الخبز والكحول الذي يستعمل في صناعة مختلف أنواع الخمر كما يستعمل كمطهر في المجال الطبي ...

ب- التخمر اللبني (التخمر اللاكتيكي) : نفهم جيدا معنى التخمر

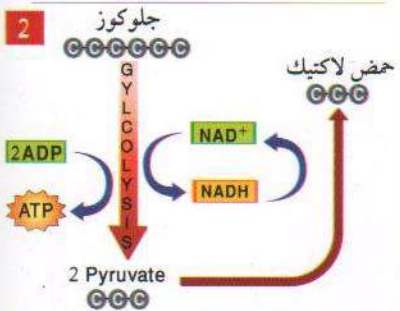
اللبني عندما نذكر بعض مشتقات الحليب التي نحبها مثل الجاهوت والجبن واللبن والرايب وجبن البيتزا (Cheddar)...والتي هي منتج نشاط بكتيريات تعيش في الحليب، حيث تقوم بتحويل حمض البريوفيك إلى حمض لبن وفق المخطط 2. نلاحظ كذلك

حدوث التخمر اللبني عند الإنسان في حالة القيام بجهد عضلي قوي حيث تصبح كمية الأسجين الموجودة في الدم غير كافية لمساييرة الجهد العضلي وبالتالي لا تحدث أكسدة تامة للجلوكوز في الميتوكوندري، ونتيجة تراكم  $NADH$  فإن ذلك يؤدي إلى خطر خوصة الدم لذلك تلجأ الخلايا العضلية إلى التخمر اللبني والذي يؤدي إلى تراكم حمض اللبن فيتسبب في شبه شلل مؤقت وألم حاد للعضلات عند القيام بأدنى حركة خاصة في اليوم الموالي للجهد العضلي القوي. يزول هذا المشكل العضلي تدريجيا بعد تحويل حمض اللبن من طرف الكبد إلى حمض البيروفيك من جديد.

جلو کوز



جلو کوز 2





### 3 المردود الطاقي

يتمثل المردود الطاقي ما تستفيده الخلية من طاقة فعلية في شكل ATP من الطاقة الكلية الكامنة في الجلوكوز. حيث يتم قياس ذلك بالنسبة المئوية. إن الحرق الكلي ( الأكسدة التامة ) لمول واحد من سكر الجلوكوز خارج العضوية يحرق طاقة حرارية تقدر ب 2861 كيلو جول وذلك وفق المعادلة التقليدية:



أما الأكسدة التامة لنفس الكمية من الجلوكوز داخل الخلية فتعطي 38 ATP. بما أن مول ATP يعطي 30.5 كيلو جول أي تستفيد الخلية من  $38 \times 30.5 = 1159$  كيلو جول. وهذا يعني أن المردود الطاقي للخلية يساوي:

$$1160 / 2860 \times 100 = 40.5 \%$$

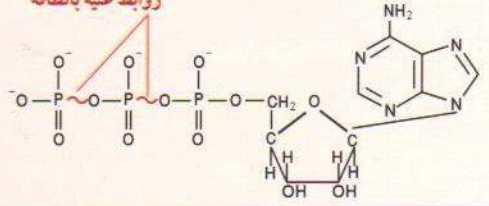
وبالتالي فإن ما تستعمله الخلية فعليا من الجلوكوز هو فقط 40.5 % والباقي (1700 KJ) يطرح في شكل إشعاع حراري يستفيد منه الجسم في تثبيت درجة حرارته. وهو يعتبر أحسن مردود طبيعي مقارنة مع المردود الطاقي لمحركات السيارات والتي تذهب معظم الطاقة المستخرجة من البنزين في شكل حرارة تزيد من تسخين المحركات لهذا يستعمل فيها نظام التبريد. في حين أن الميتوكوندري تستخرج هذه الطاقة ببطء وفي ظل حرارة معتدلة بفضل عمل الإنزيمات.

**ج- الحصيلة الطاقيّة للتخمّر:** ما دام مركب  $\text{NADH}_2$  لا يتأكسد في المتوكندري وأن التنفس يتوقف عند التحلل السكري، لذلك فإن الحصيلة الطاقيّة لهذه الظاهرة تمثل فقط في 2ATP.

**- لماذا استعمال ATP كمصدر للطاقة بدلا من أي مركب آخر ؟**

حسب تسميته أدينوزين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Triphosphate)، يتربك من الأدينوزين ( سكر ريبوز + أدينين ) مرتبط بثلاثة أحماض فوسفورية على التسلسل كما يوضحه الشكل ادناه. وهو أحسن مركب حامل للطاقة تستعمله جميع الكائنات الحية حيث عند تفكك مول واحد منه يحرق طاقة تقدر ب: 30.5 كيلو جول. وهذه الطاقة تأتي أساسا من عملية الفسفرة التأكسدية والتي تتم في مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري. فعند عبور البروتونات عبر الكريات المذنبة تتحرر طاقة عالية جدا لا يمكن لأي مركب أن يقتنصها بمردود عالي إلا ATP انطلاقا من  $\text{ADP} + \text{Pi}$ . حيث تكون الروابط بين جزئيات الفوسفات غنية بالطاقة. لذلك يعتبر المورد الأساسي لكل التفاعلات البيوكيميائية التي تحتاج إلى طاقة.

#### روابط غنية بالطاقة



**ما مصدر الطاقة الكامنة ؟ وكيف يتم تحويلها في شكل ATP ؟**

**خلاصة المجال الثاني:**

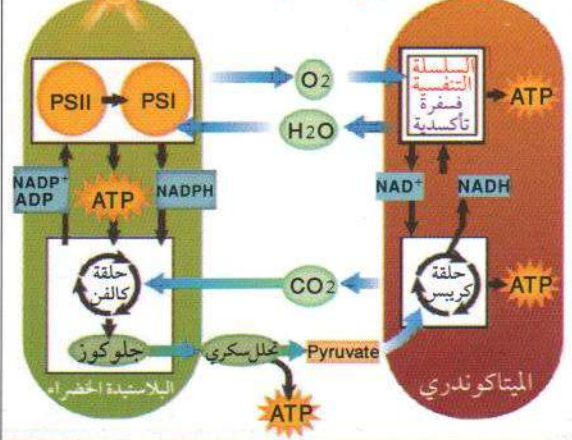
يلخص الجدول التالي مقارنة بين الظاهرتين، يتبعه رسم تخطيطي يبرز العلاقة بينهما.

المواصفات	التركيب الضوئي	التنفس
المقر	الغشاء الداخلي للتيلاكويد	الغشاء الداخلي للميتاكوندري
التفاعلات الكيموحيوية	$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{E}$
مرافقات الإنزيم المرجعة	$\text{NADP}^+$	$\text{NAD}^+$ أساسا ثم $\text{FAD}^+$
سلسلة نواقل الإلكترونات	السلسلة التركيبية الضوئية	السلسلة التنفسية
الفسفرة	الفسفرة الضوئية	الفسفرة التأكسدية

نستنتج من خلال المعادلتين أن الظاهرتين متعاكستان ومتكاملتان:

- **متعاكستان:** الأولى بنائية ( تركيب الجلوكوز لتخزين الطاقة ) والثانية هدمية ( هدم الجلوكوز لاستخراج الطاقة ).
- **متكاملتان:** نهاية كل ظاهرة هي منطلق للظاهرة الأخرى وأن كل منهما لا تتم إلا بالأخرى.

#### العلاقة بين التركيب الضوئي و التنفس



2010-123



حي الكنيان، عمارة أ، مدخل 10 محل 23، المحمدية، الجزائر.  
الهاتف: 021 82 00 15 / 021 82 96 37 / 021 82 96 37، الفاكس: 021 82 96 37.  
البريد الإلكتروني: clicedition@gmail.com