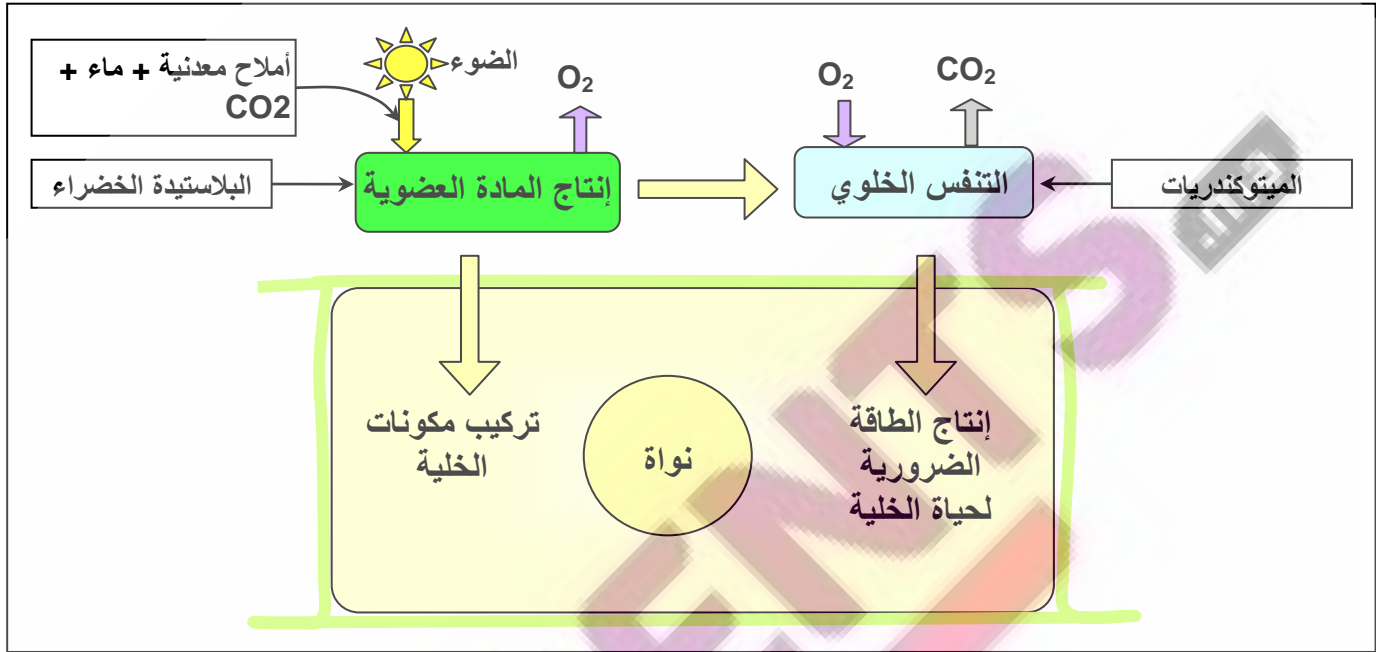


استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة

مدخل عام:



تنتج النباتات اليخضورية، المواد العضوية، من سكريات، دهنيات، وبروتينات، بواسطة ظاهرة التركيب الضوئي. خلال المرحلة المضاءة من التركيب الضوئي، يتم تحويل الطاقة الضوئية الملتقطة من طرف خلايا النبات، إلى طاقة كيميائية على شكل جزيئات ATP (الأدينوزين ثلاثي الفوسفات Adénosine Triphosphate) حسب التفاعل التالي :



خلال المرحلة المظلمة، تستعمل الطاقة المخزنة في ATP في تفاعلات تركيب المواد العضوية. تستعمل الخلايا المادة العضوية لتجديد مكوناتها من جهة، وللتزود بالطاقة اللازمة لنشاطها من جهة أخرى. وبما أن شكل الطاقة المستعملة من طرف الخلايا الحية هو ATP فلا بد من استخلاص الطاقة الكامنة في المواد العضوية المستهلكة لتصبح على شكل ATP ، يمكن بعد ذلك استعماله في مختلف الظواهر المستلزمة للطاقة، كالنقل النشط، الحركة، والتركيبات الخلوية.

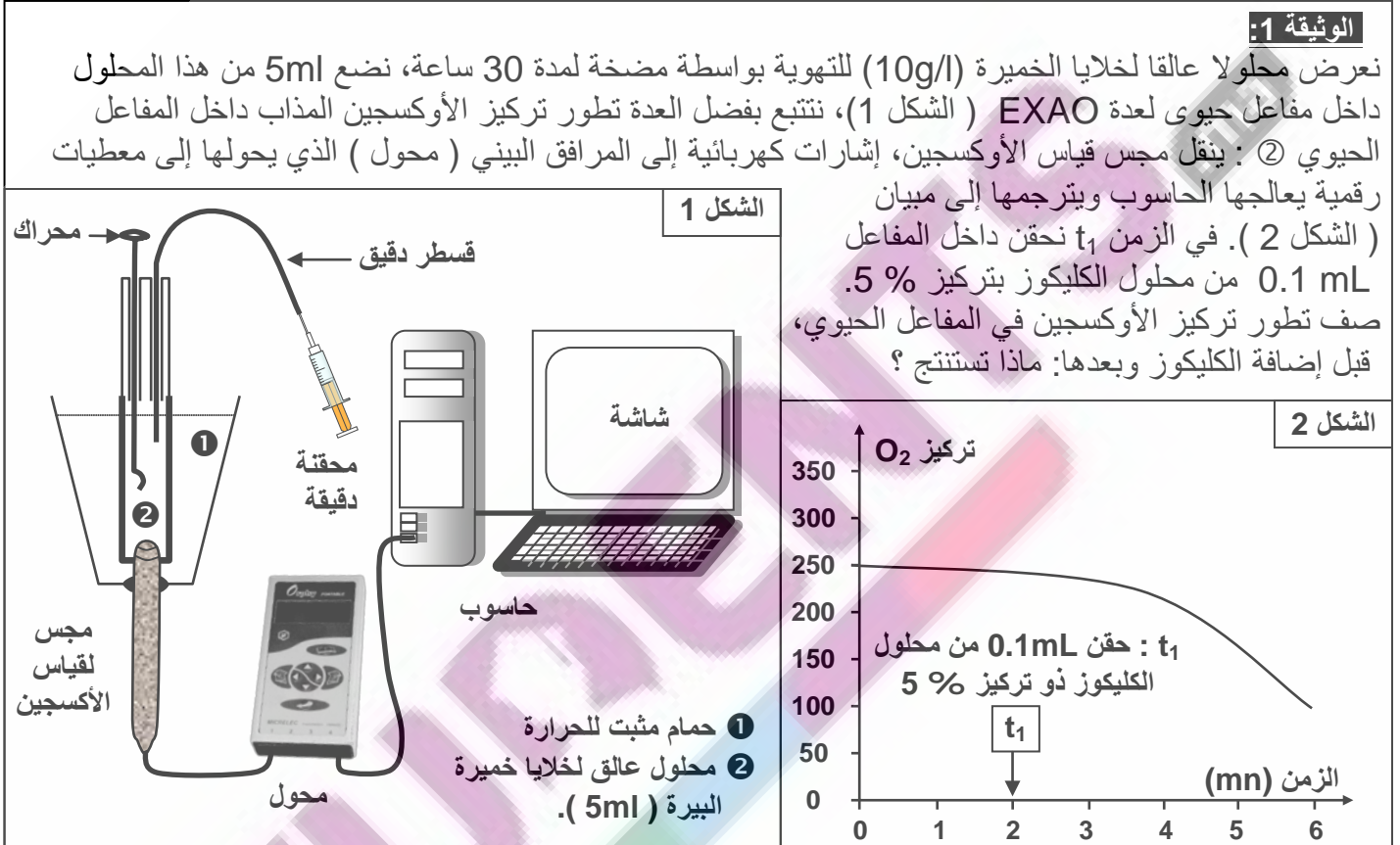
- 1) ما هي الظواهر الخلوية التي تمكن من استخلاص الطاقة على شكل ATP من المواد العضوية المستهلكة ؟
- 2) كيف تستفيد الخلية من ATP المستخلص ؟
- 3) كيف توظف المواد العضوية في بناء المادة الحية ؟

تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية

1 - الكشف عن أنماط التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية:

أ - التنفس ظاهرة خلوية لهدم الأغذية:

a - تجربة: أنظر الوثيقة 1.



b - تحليل واستنتاج:

قبل إضافة الكليكوز، تكون نسبة الأوكسجين مستقرة. مباشرة بعد إضافة الكليكوز، تنخفض نسبة الأوكسجين في الوسط. نستنتج من هذه المعطيات أن خلايا الخميرة تستهلك الأوكسجين لهدم الكليكوز. نقول ان أن خلايا الخميرة تننفس.

ب - التخمر ظاهرة خلوية أخرى لهدم الأغذية:

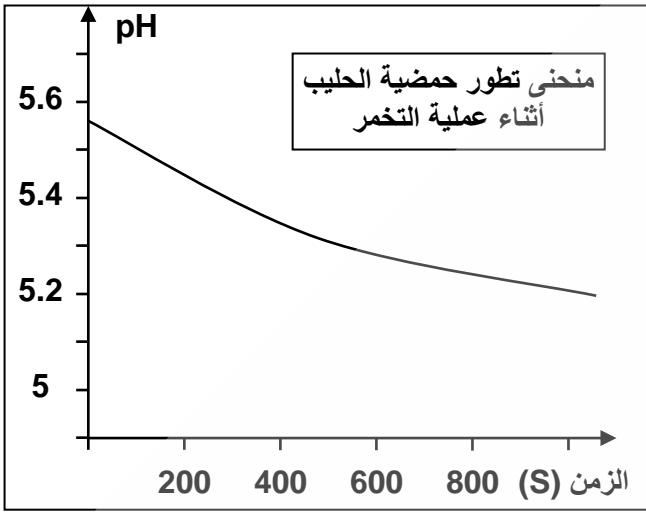
a - التخمر اللبني: (Fermentation lactique).

☒ تجربة : أنظر الوثيقة 2.

☑ تحليل واستنتاج : بعد 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (40°C) نلاحظ انخفاض قيمة ph أي

ارتفاع قيمة حمضية الحليب.

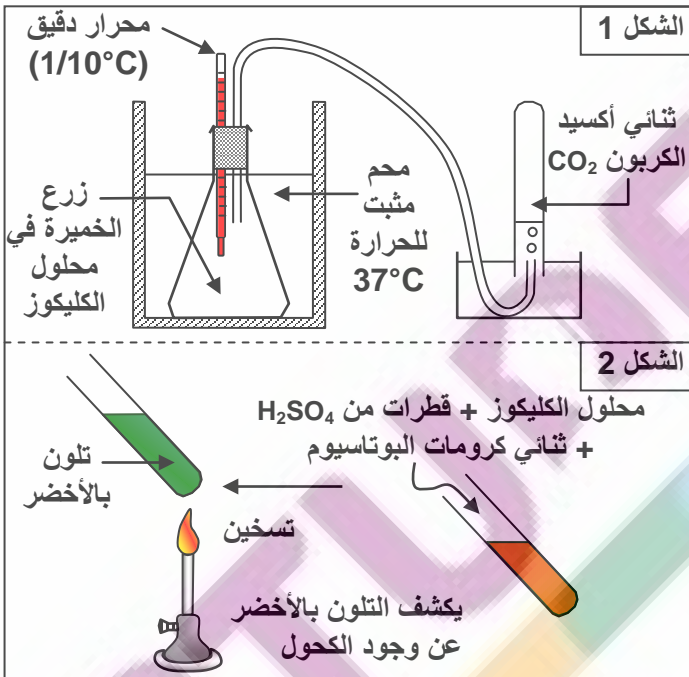
نستنتج من هذه الملاحظة أنه تم هدم الكليكوز المكون للاكتوز، وتحوله إلى حمض لبني Acide lactique، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ان عن ظاهرة التخمر اللبني



الوثيقة 2: نأخذ عينة من الحليب الكامل الطري ونفرغها في بوقال ذي حجم 250 ml. نحرص على ملء البوقال إلى آخره لطرده الهواء (للحصول على تفاعل حي لا هوائي) نضع داخل الحليب مقياس pH الذي نربطه بعدة EXAO قصد تتبع تطور حمضية الحليب أثناء عملية التخمير (تحول الكليكوز المكون للاكتوز إلى حمض لبنني، ويتم ذلك دون طرح CO₂) ، نترك التحضير لمدة 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (40°C)، بعد ذلك نتتبع تطور قيمة pH بواسطة عدة EXAO فنحصل على النتائج المبينة أمامه.
صف تطور المنحنى واستنتج العلاقة بين هذا التطور وهدم الكليكوز.

b - التخمير الكحولي: Fermentation alcoolique

☒ **تجربة:** أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3

* البروتوكول التجريبي : أنظر الشكل 1.

- نضع محلول الكليكوز في قارورة (5g/l) .
- نزرع الخميرة في محلول الكليكوز.
- نضع التحضير في ماء ساخن (37 °C) .

* النتائج :

- انخفاض كمية الكليكوز في الوسط.
- طرح CO₂ في الأنبوب.
- ارتفاع طفيف لدرجة الحرارة.
- ظهور الكحول في وسط الزرع. (نكشف عن الكحول بواسطة التفاعل المبين في الشكل 2) .
- انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية، قارن بين التخمير اللبني والتخمير الكحولي.
- قارن بين مظاهر التنفس ومظاهر التخمير.

☑ **تحليل واستنتاج :**

التخمير اللبني هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك تكون الحمض اللبني دون طرح CO₂.



التخمير الكحولي هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك كحول هو الايتانول (Ethanol) مع طرح CO₂.



- تستعمل الخلايا الكليكويز كمستقلب طاقي، ويمكنها هدمه بطريقتين مختلفتين حسب ظروف :
- التنفس : في وسط حيويائي Aérobie (غني بالأوكسجين)، يتم الهدم الكلي للكلليكويز وتحويله إلى CO₂ وماء وهي مواد معدنية دون قيمة طاقة.
 - التخمر : في وسط حيلاهوائي Anaérobie (غياب الأوكسجين)، يخضع الكليكويز لهدم غير تام، وتحويله إلى جزيئات عضوية لا تزال تخزن الطاقة الكيميائية.

II - انحلال الكليكويز على مستوى الجبلة الشفافة. Le hyaloplasme

① تعرف البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

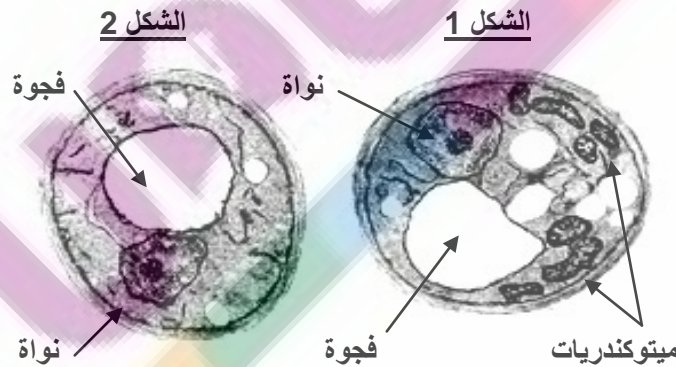
a - تجارب وملاحظات : أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: تجربة

خميرة البيرة فطر مجهري وحيد الخلية يمكن أن يعيش في وسط غني بالأوكسجين (وسط حيويائي) ووسط يفتقر للأوكسجين (وسط حيلاهوائي) توضع الخميرة في وسط غني بالأوكسجين يحتوي على الكليكويز فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر تضاعف كثيرا مع انخفاض كميتي الكليكويز والأوكسجين وارتفاع كميتي CO₂ و H₂O في الوسط وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر غنية بعضيات خلوية تسمى الميتوكوندريات (الشكل 1).

توضع الخميرة في وسط يفتقر للأوكسجين يحتوي على الكليكويز فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر زاد نسبيا مع انخفاض كمية الكليكويز وارتفاع كمية CO₂، مع تكون كحول الاثانول C₂H₅OH في الوسط، وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر تحتوي على ميتوكوندريات قليلة وضامرة (الشكل 2).

انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية حدد العلاقة بين وجود الميتوكوندريات، ووجود ثنائي الأوكسجين في الخلية، مبينا موقعي كل من التنفس والتخمر داخل الخلية.



b - تحليل واستنتاج :

يتبين من هذه المعطيات أنه في الظروف الحيوائية، أي خلال ظاهرة التنفس، يتطلب هدم الكليكويز وجود عضيات خلوية خاصة هي الميتوكوندريات (Mitochondries)، بينما في الظروف الحيلاهوائية، أي خلال ظاهرة التخمر، لا يتطلب هدم الكليكويز وجود الميتوكوندريات.

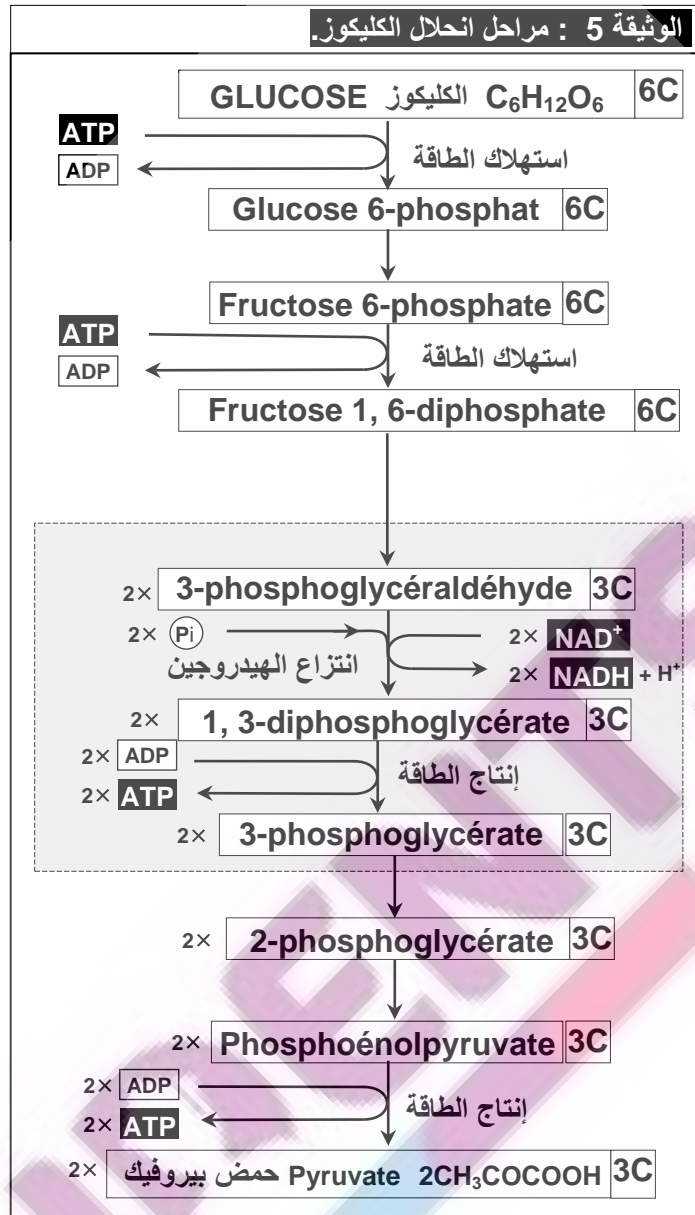
يبتدئ كل من التنفس والتخمر بمرحلة مشتركة تتم داخل الجبلة الشفافة، وهي انحلال الكليكويز (glycolyse). فتستمر تفاعلات التخمر في الجبلة الشفافة، بينما يتطلب التنفس تدخل الميتوكوندريات.

② مراحل انحلال الكليكويز

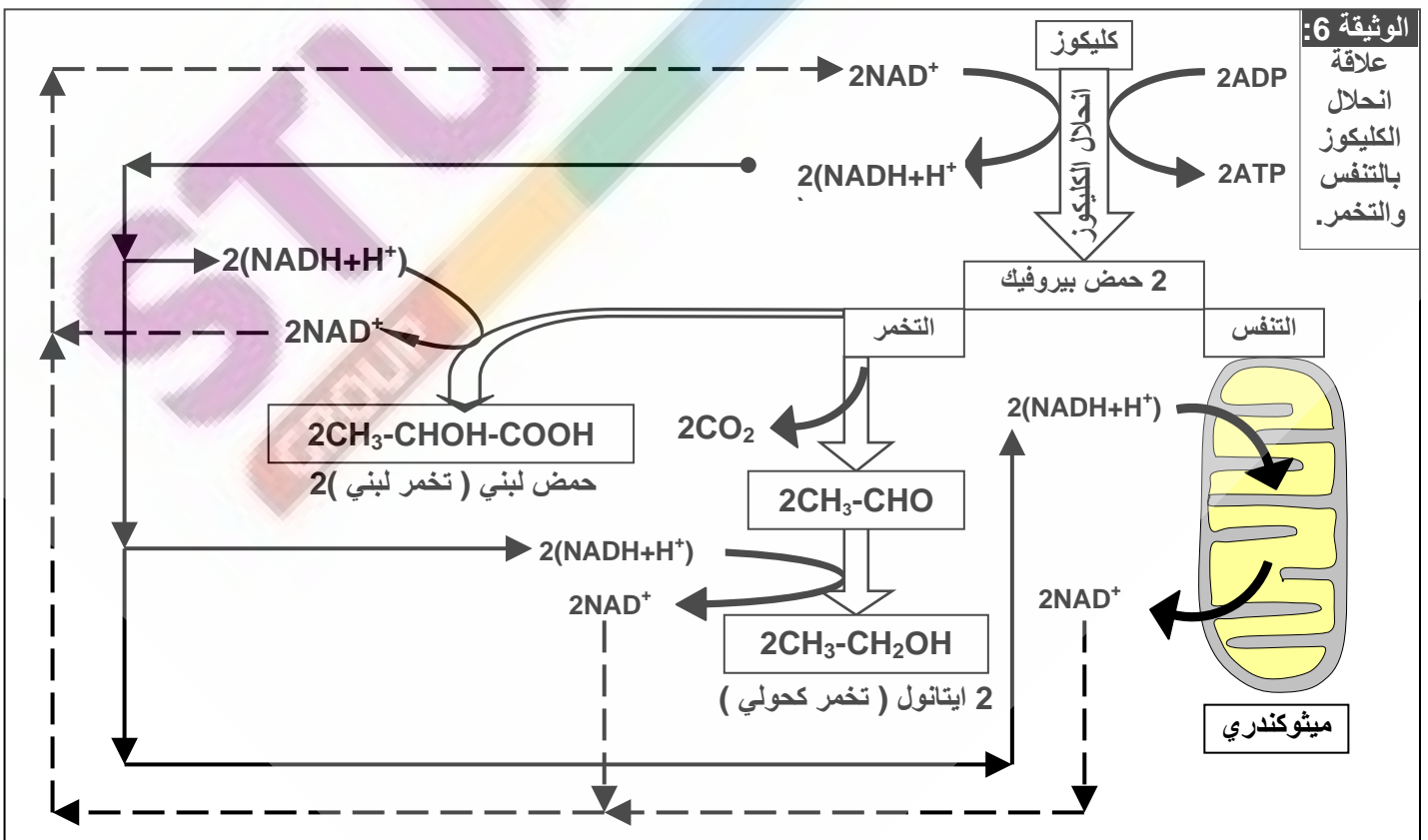
a - تفاعلات انحلال الكليكويز :

تعطي الوثيقة 5 والوثيقة 6، التفاعلات الكيميائية لانحلال الكليكويز. انطلاقا من هذه المعطيات، استخرج الأشكال الطاقية الناتجة عن انحلال الكليكويز.

الوثيقة 5 : مراحل انحلال الكليوز.



الوثيقة 6: علاقة انحلال الكليوز بالتنفس والتخمير.



b - استنتاج :

داخل الجبلة الشفافة ينحل الكليكوز حسب سلسلة من التفاعلات الكيميائية، المحفزة بأنزيمات نوعية. وهي تفاعلات غير مستهلكة للأوكسجين، وتتم على ثلاث مراحل:

• المرحلة الأولى:

يتحول الكليكوز فوسفات إلى فريكتوز ثنائي الفوسفات، بعد تثبيت مجموعة فوسفاتية آتية من ATP.

• المرحلة الثانية:

ينشطر الفريكتوز ثنائي الفوسفات إلى جزيئين من سكر ثلاثي فوسفات (2 غليسير ألدريد فوسفات). تخضع كل من هاتين الجزيئتين إلى انتزاع الهيدروجين (أكسدة)، بواسطة مستقبل للهيدروجين (NAD^+ = Nicotinamide adénine dinucléotide). الشكل المؤكسد NAD^+ يختزل ويحول إلى $NADH + H^+$ مع تقسفر جزيئي الغليسير ألدريد فوسفات، اللتان تتحولان إلى حمض غليسيريني ثنائي الفوسفات.

**• المرحلة الثالثة:**

تسلم جزيئتا الحمض الغليسيريني ثنائي الفوسفات، مجموعتيهما الفوسفاتية إلى ADP وتتحولان إلى جزيئين من حمض البيروفيك (Acide pyruvique $CH_3COCOOH$)، بينما يتحول ADP إلى ATP.

ملحوظة: لكي تستمر عملية انحلال الكليكوز، يجب إعادة أكسدة $NADH + H^+$. وتتم هذه الأكسدة، إما خلال التنفس الخلوي، عند وجود الأوكسجين، أو خلال التخمر في غياب الأوكسجين.

③ الحصيلة الطاقةية لانحلال الكليكوز:

ادن الحصيلة الطاقةية لانحلال الكليكوز هي تركيب جزيئين من ATP بالنسبة لكل جزيئة من الكليكوز.

III - التأكسدة التنفسية ودور الميتوكوندريات.**① ماذا يحدث على مستوى الميتوكوندري ؟ :**

a - تجارب : لمعرفة مصير حمض البيروفيك، أنجزت التجارب المبينة على الوثيقة 7.

الوثيقة 7 : تجربة

نهرس خلايا كبد فأر في محلول عيار له $ph=7.4$ من أجل عزل الميتوكوندريات. نعرض الخليط لنبذ ذي سرعة كبيرة يمكن من الحصول على قعيرة culot من الميتوكوندريات.

نخلط جزءا من القعيرة بمحلول عيار ملائم، ونضعه في مفاعل إحيائي لعدة EXAO، ثم نتتبع على شاشة الحاسوب تطور تركيز ثنائي الأوكسجين (المبيان أمامه).

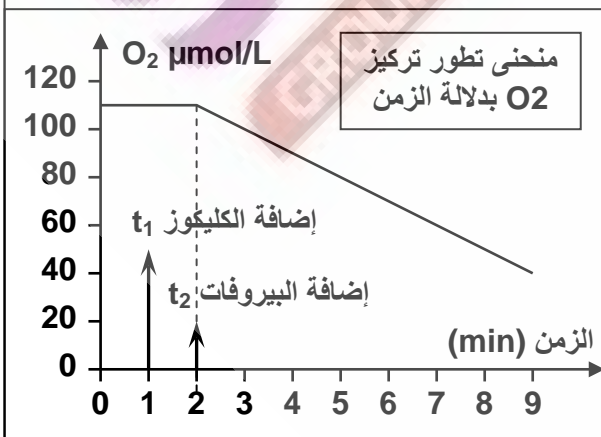
في الزمن t_1 نضيف إلى المفاعل الإحيائي كمية قليلة من الكليكوز، وفي الزمن t_2 نضيف كمية قليلة من حمض البيروفيك.

(1) حلل منحنى تطور تركيز O_2 بدلالة الزمن.

(2) على ماذا يدل تغير كمية O_2 في الوسط ؟

(3) ما هي الظاهرة الفيزيولوجية التي يعبر عنها المنحنى وأين تتم؟

(4) ماذا تستنتج بخصوص التفاعلات التي تتم داخل الميتوكوندري؟



b - تحليل واستنتاج :

(1) قبل t1 يكون استهلاك الأوكسجين من طرف الميتوكوندريات ضعيف جدا، وعند إضافة الكليكوز في الزمن t1 لا يتغير استهلاك الأوكسجين. أما عند إضافة حمض البيروفيك فان نسبة استهلاك الأوكسجين ترتفع.

(2) يدل تغير كمية الأوكسجين في الوسط على كون الميتوكوندريات تستعمله خلال نشاطها.

(3) الميتوكوندريات تستهلك الأوكسجين يعني أن الأمر يتعلق بظاهرة التنفس الخلوي.

(4) نستنتج أن الميتوكوندريات لا تستعمل الكليكوز مباشرة، بل تستعمل ناتج انحلال الكليكوز، الذي هو حمض البيروفيك.

إن التفاعلات الكيميائية التي تطرأ على حمض البيروفيك بوجود الأوكسجين، داخل الميتوكوندري، تشكل التأكسيدات التنفسية وهي تفاعلات حيوائية.

c - خلاصة :

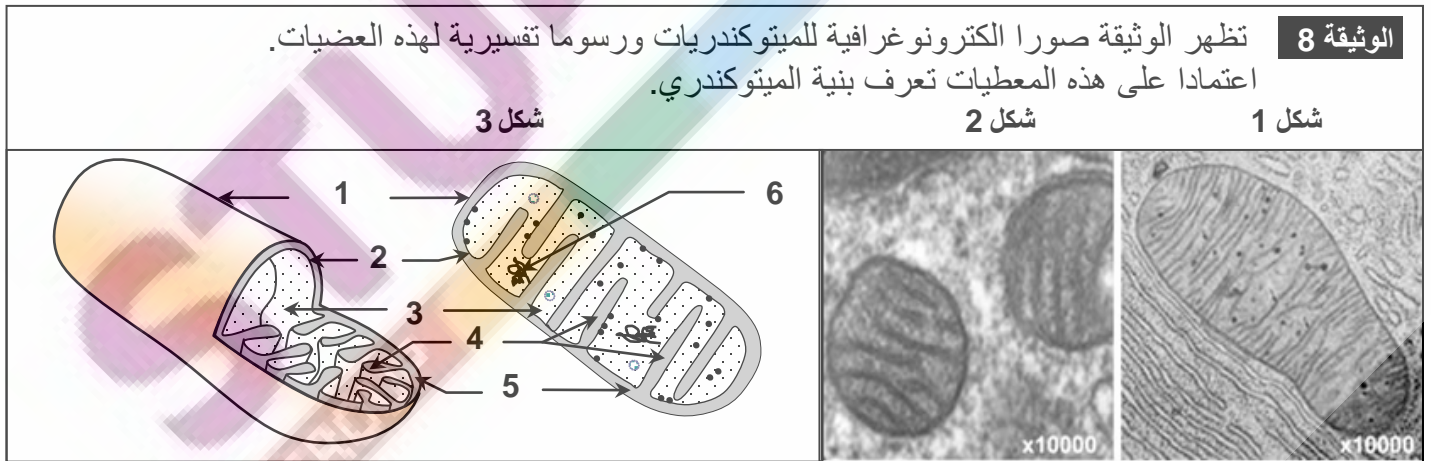
يتعرض مستقلب الكليكوز إلى تفكيك :

- الأول خارج الميتوكوندري على مستوى الجبلة الشفافة، و لا يحتاج إلى الأوكسجين، و يسمى انحلال الكليكوز. (glycolyse)

- الثاني على مستوى الميتوكوندري و يحتاج إلى الأوكسجين و يسمى التأكسيدات التنفسية. و يعتبر حمض البيروفيك هو المستقلب الذي يتعرض للتأكسيدات التنفسية.

② بنية ومكونات الميتوكوندريات :

a - فوق بنية الميتوكوندري : أنظر الوثيقة 8.



الشكل 1 = ملاحظة الكترولوجرافية لمقطع طولي للميتوكوندري.

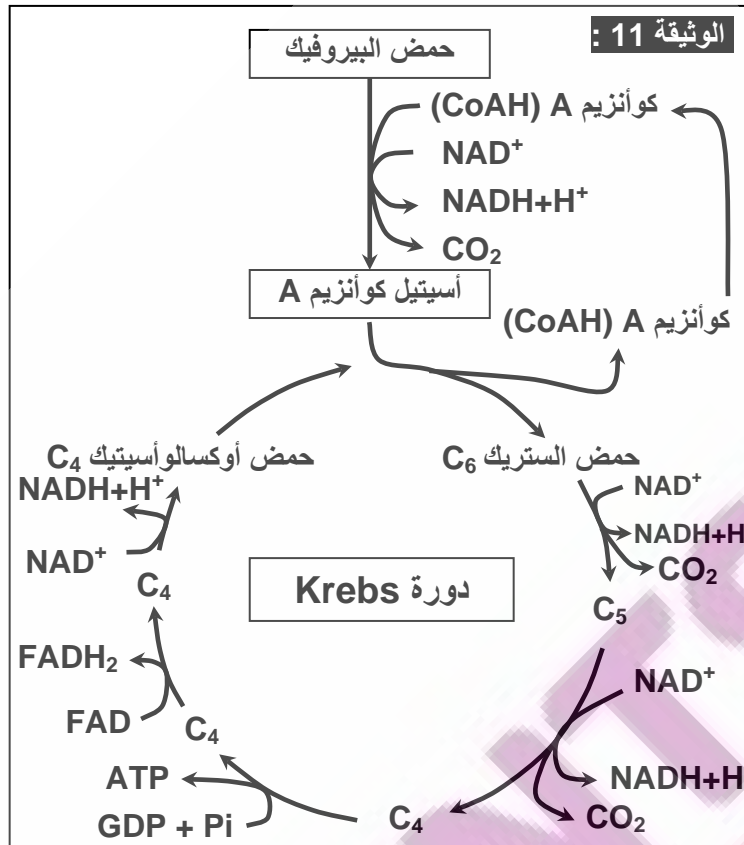
الشكل 2 = ملاحظة الكترولوجرافية لمقطع عرضي للميتوكوندري.

الشكل 3 = رسم تخطيطي تفسيري لفوق بنية الميتوكوندري.

عناصر الشكل 3 من الوثيقة: 1 = غشاء خارجي . 2 = غشاء داخلي . 3 = ماتريس . 4 = أعراف .

5 = حيز بيغشائي . 6 = ADN.

تعتبر الميتوكوندري من عضيات الخلية، وتتكون من غشاء مزدوج، يحيط بمادة عديمة اللون تسمى ماتريس (matrice)، تتخللها تفرعات للغشاء الداخلي تسمى أعراف (crêtes).



b - المرحلة الثانية: دورة Krebs. انظر الوثيقة 11.

- هي دورة بيوكيميائية تتكون من سلسلة من تفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين.
- ينضم أسيتيل كوانزيم A إلى حمض أوكسالوأسيتيك (C4)، ليعطي حمض الستريك (C6).
- يحرر الكوانزيم A، قصد تثبيت شق لأستيل جديد.
- يخضع حمض الستريك لتفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين، بتواجد أنزيمات خاصة، لنحصل في الأخير على حمض الأوكسالوأسيتيك، هذا الأخير يعاود التفاعل مع أسيتيل كوانزيم A.
- خلال دورة Krebs يتم تحرير CO₂، واختزال جزيئة NAD و FAD



وتركب جزيئة ATP انطلاقا من أكسدة جزيئة GDP.

التفاعل الإجمالي لهدم حمض البيروفيك في الميتايريس:

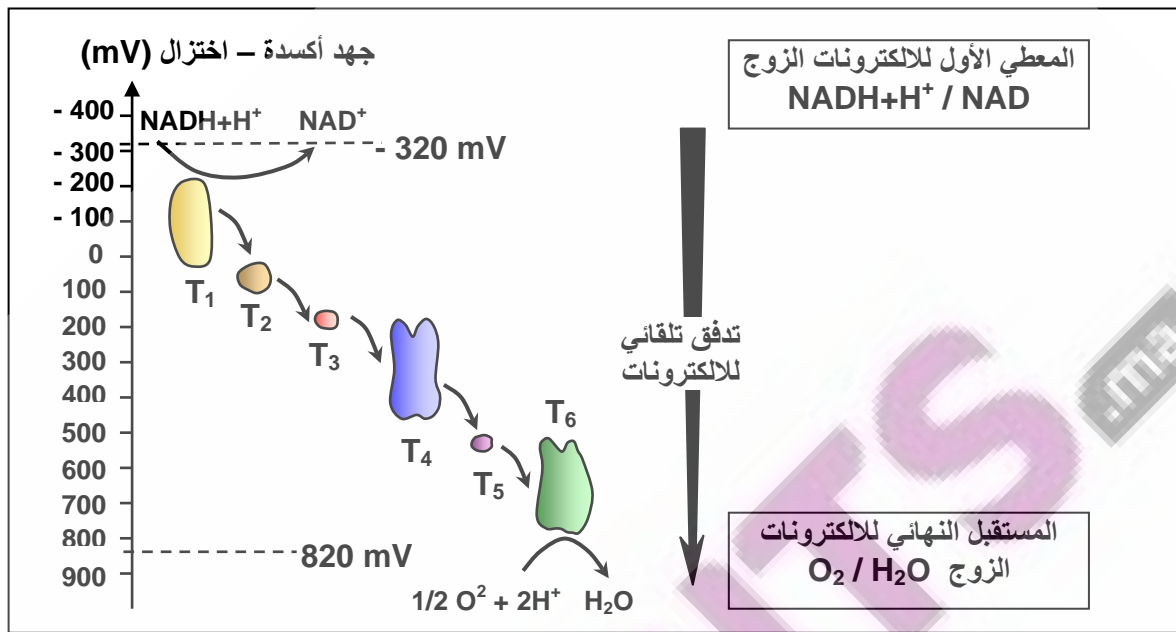


c - المرحلة الثالثة: مصير NADH+H⁺ و FADH₂.

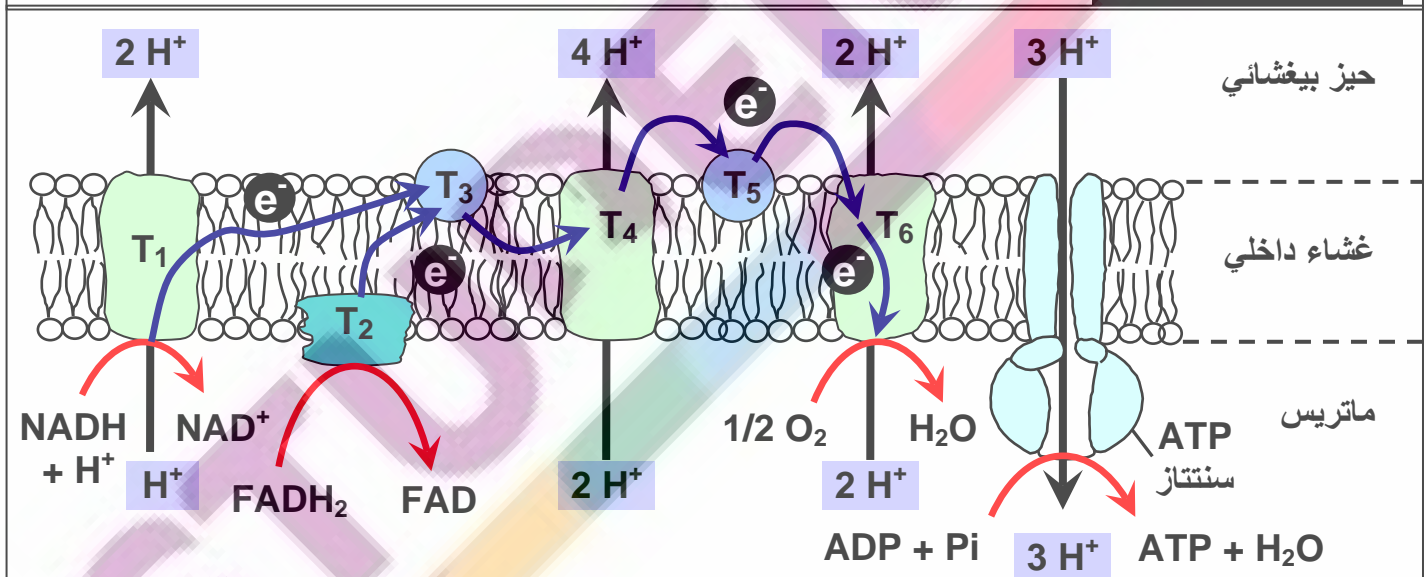
☒ انطلاقا من الوثيقة 12، والوثيقة 13، وضح كيف تحصل الأكسدة التنفسية، وأبرز أهميتها في تكون ممال البروتونات H⁺ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكوندري.

الوثيقة 12:

يتم نقل الإلكترونات من الزوج $\text{NADH}+\text{H}^+/\text{NAD}^+$ إلى الزوج $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ بواسطة تفاعلات أكسدة-اختزال، عبر السلسلة التنفسية، وذلك بشكل تلقائي حسب تبدل الجهد أكسدة - اختزال.



الوثيقة 13: الأكسدة التنفسية



✓ خلال تفاعلات أكسدة الكليكوز، يتم اختزال NAD^+ و FAD ، لتعطي $\text{NADH}+\text{H}^+$ و FADH_2 . ادن هذه جزيئات ناقلة للبروتونات والإلكترونات، يجب أن تعود إلى حالتها المؤكسدة. تتم أكسدة هذه المتقبلات داخل الغشاء الداخلي للميتوكوندري. حيث تطرح البروتونات H^+ في الحيز البيغشائي، بينما تسلم الإلكترونات إلى نواقل توجد على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري، وتكون السلسلة التنفسية (la chaîne respiratoire).

إن الإلكترونات تتدفق انطلاقاً من المعطي الأول $\text{NAD}^+/\text{NADH}+\text{H}^+$ إلى المستقبل النهائي وهو الزوج $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$. يسمى هذا التدفق الأكسدة التنفسية.

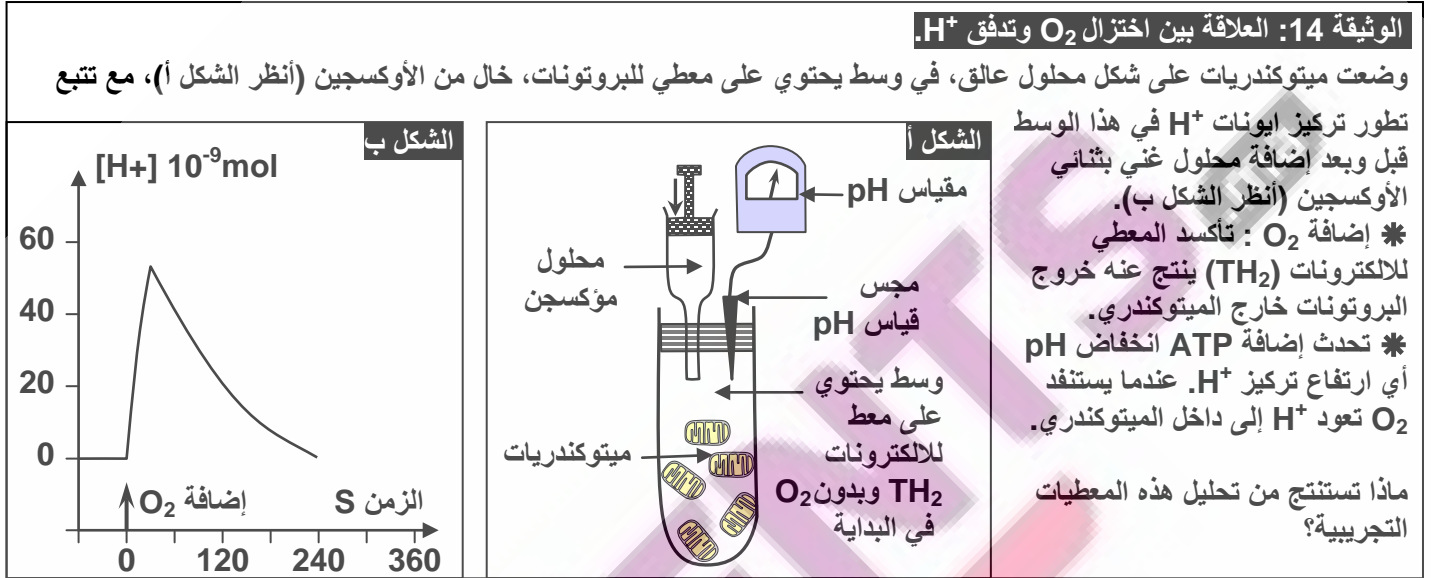
يتفاعل الأوكسجين المختزل O^{2-} مع 2H^+ ، ليعطي جزيئة الماء، وتتم هذه العملية داخل ماتريس الميتوكوندري.



خلال مرور الالكترونات من أول معط $\text{NADH} + \text{H}^+$ إلى آخر متقبل O_2 ، يتم طرح بروتونات H^+ داخل الحيز البيغشائي، فيرتفع بذلك تركيز H^+ في هذا الحيز، مما يترتب عنه ممال للبروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي.

② اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد: a - معطيات تجريبية:

التجربة الأولى: أنظر الوثيقة 14.



تحليل معطيات التجربة الأولى:

قبل إضافة O_2 ، تركيز H^+ في المحلول ضعيف (pH مرتفع). وبعد إضافة O_2 إلى الوسط، تم تسجيل ارتفاع سريع في تركيز H^+ (انخفاض PH)، ثم بدأ يتراجع تدريجياً.

يرجع ارتفاع تركيز H^+ في الوسط، بعد إضافة O_2 ، إلى انتقال النواقل (TH_2) أي (FADH_2 ، NADH_2) من حالتها المختزلة إلى حالتها المؤكسدة حسب التفاعل التالي:



يرجع انخفاض تركيز H^+ في الوسط بعد ذلك، إلى استنفاد O_2 اثر تفاعله مع الالكترونات والبروتونات، حيث يعتبر المتقبل النهائي للبروتونات والالكترونات، حسب التفاعل التالي:



التفاعل الإجمالي بعد إضافة O_2 للوسط هو :



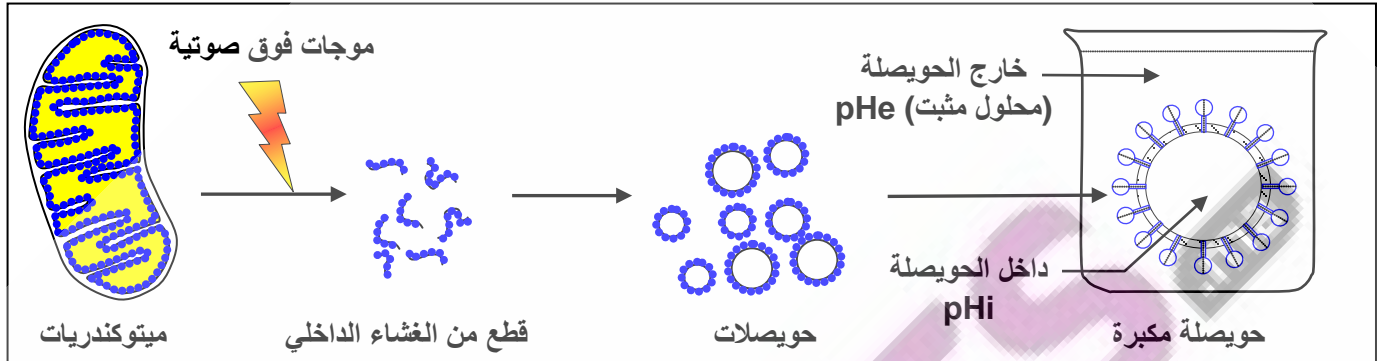
التجربة الثانية :

للكشف عن شروط إنتاج ATP على مستوى الكرات ذات شمراخ، نقوم بالتجارب المبينة على الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الكشف عن دور الكرات ذات شمراخ (نقل البروتونات والتفسفر المؤكسد لجزيئة ATP).

*** التجربة a:**

بعد عزلها، تخضع الميتوكوندريات لفعل الموجات فوق الصوتية مما يؤدي إلى تقطيعها وجعل أعراف الغشاء الداخلي تتقلب وتكون حويصلات مغلقة، تكون الكرات ذات شمراخ المرتبطة بها موجهة نحو الخارج. توضع هذه الحويصلات بحضور ADP و Pi في محاليل مثبتة تختلف من حيث pH. المعطيات والنتائج التجريبية مبينة على الرسم أسفله:



- إذا كان pH الداخلي (pHi) أصغر من pH الخارجي (pHe)، يلاحظ تفسفر ADP.
- إذا كان pH الداخلي (pHi) يساوي pH الخارجي (pHe)، يلاحظ انعدام تفسفر ADP.

*** التجربة b:**

DNP (2,4dinitrophénol) مادة ذوابة في الدهون، بحضور هذه المادة يصبح الغشاء الداخلي للميتوكوندري نفوذا للبروتونات، في هذه الحالة يلاحظ أن اختزال الأوكسجين يتم بصفة عادية بينما يتوقف تفسفر ADP. انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية استخرج شروط تركيب ATP داخل الميتوكوندري. ثم أبرز العلاقة بين اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد.

تحليل معطيات التجربة الثانية:

✓ تبين التجربة a أن فسفرة ADP إلى ATP، يتم على مستوى الكريات ذات شمراخ (ATP Synthétase). وتتطلب هذه الفسفرة وجود فارق في تركيز H^+ بين الحيز البيغشائي والماتريس، حيث يفوق تركيزه في الحيز البيغشائي، تركيزه في الماتريس.

✓ تبين التجربة b أن الغشاء الداخلي للميتوكوندري ضروري لإنتاج ATP، فهو المسؤول عن خلق الفارق في تركيز H^+ ، بين الحيز البيغشائي والماتريس، هذا الفارق في التركيز يعتبر ضروريا لفسفرة ADP إلى ATP من طرف الكريات ذات شمراخ.

b - خلاصة:

عند وجود متقبل للالكترونات (O_2)، تتم أكسدة ($FADH_2$, $NADH_2$) (معط لالكترونات)، الشيء الذي يعطي طرح للبروتونات H^+ ، فترتفع نسبتها داخل الحيز البيغشائي. بفعل اختلاف تركيز H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكوندري، تتدفق هذه البروتونات إلى الماتريس عبر الكرات ذات شمراخ، والتي تستغل طاقة التدفق لتنتج ATP من خلال تثبيت مجموعة فوسفاتية على جزيئة ADP. تسمى هذه العملية التفسفر المؤكسد Phosphorylation oxydative.

☒ أحسب المردود الطاقى للتنفس، علما أن الطاقة الإجمالية التي يمكن استخراجها من مول واحد من الكليكوز، تحت درجة حرارة 37°C ، وبوجود الأوكسجين، هي: 2860 KJ ، وأن حلمأة مول واحد من ATP، يؤدي إلى تحرير طاقة تساوي 30.5 KJ .

☒ بما أن مول واحد من الكليكوز يركب 38 ATP ، فالطاقة التي يحررها مول واحد من الكليكوز هي:
 $1159\text{ KJ} = (30.5 \times 38)$

ادن المردود الطاقى للتنفس هو:

$$40,5\% = 100 \times \frac{1159}{2860}$$

ب - المردود الطاقى للتخمر:

☒ أحسب المردود الطاقى للتخمر، علما أن استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز في حالة التخمر اللبني، يحرر فقط جزيئتين من ATP.

☒ المردود الطاقى للتخمر هو:

$$2.13\% = 100 \times \frac{(2 \times 30.5)}{2860}$$

② مقارنة وتفسير:

- أثناء التنفس يتحلل المستقلب (الكليكوز) كلياً، فيطرح مجموع الطاقة الكامنة فيه، على شكل طاقة كيميائية (1159 KJ)، وطاقة حرارية (1701 KJ)، مع تكوين حثالة معدنية ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) خالية من الطاقة.
- أثناء التخمر، لا يتحلل المستقلب (كليكوز) كلياً وبالتالي لا يطرح إلا جزء من الطاقة الكامنة (167 KJ)، جزء منها على شكل طاقة كيميائية (61 KJ)، وجزء على شكل طاقة حرارية (106 KJ)، مع حثالة عضوية (حمض لبني)، مازالت تحتوي على طاقة كامنة. $= (2860 - 167)/2 = 1346.5\text{ KJ/ac.lactique}$