التنفس Respiration :-

ان عملية التمثيل الضوئي تنتج عنها السكريات فقط وأهم السكريات التي تتكون هي الكلوكوز والفركتوز و 70% سكروز . اما المواد الاخرى الموجودة في النبات فتنتج بعملية التنفس كالبروتينات والاحماض الدهنية والاحماض الامينية والاصباغ وغيرها . فعملية التنفس هي عملية هدم وبناء في نفس الوقت، وفي عملية التنفس تتحرر الطاقة التي تستخدم في الحركة والبناء . فالتنفس الاوكسجيني هو سيل من التفاعلات التأكسدية والاختزالية تتأكسد فيه مادة التفاعل وتنتهي بتحرير Co_2 والماء وطاقة وحسب المعادلة الاتية :-

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energy}$$

ان هذه الطاقة يتبخر جزء قليل منها على شكل حرارة لكن الجزء الاعظم منها تحتفظ به الخلايا النباتية بشكل مركبات غنية بالطاقة (ATP وغيرها) .

ان كل تفاعل من تفاعلات التنفس يساعده انزيم او يدخل فيه عوامل مساعدة وان تجزئة الجزيئات الكبيرة من المواد الكيمياوية العضوية بخطوات متعاقبة تعطي الخلية الفرصة في اقتناص الطاقة المتحررة اثناء اكسدة الجزيئة الكبيرة الى مجموعة من المركبات الوسطية التي تعتبر اساسية في بناء الخلية **وبعض هذه المركبات الوسطية تتحول الى الاتي**:-

1- الحوامض الامينية التي تدخل في تركيب البروتينات .

2- الى نيوكليويتدات Nucleotides التي تدخل في تركيب DNA و RNA .

3- الحوامض الدهنية التي تدخل في تركيب الدهون او الشحوم Lipids .

4- الى مصادر كاربونيه للعديد من الصبغات كالبورفرين والسايتوكرومات والستيرولات .

5- تستخدم الطاقة في الامتصاص ونقل الماء والمواد الغذائية داخل جسم النبات .

6- تستعمل الطاقة في الازهار وتكوين الثمار والبذور .

7- تستعمل هذه الطاقة في بناء الهيكل الكاربوني Carbon skeleton التي تستند الية اجسام النباتات .

كيمياء التنفس الحيوية Biochemistry of respiration :-

تبدأ عملية التنفس بالكلوكوز وهو البنية الاساسية لكل من السكروز والنشأ ويتحلل على ثلاث مراحل تتضمنها عملية التنفس وهي :-

1- Glycolysis التحلل السكري .

2- Kreb's cycle دورة كربس .

3- Electron transport chain سلسلة نقل الالكترونات .

المرحلة الاولى :-

التحلل السكري Glycolysis

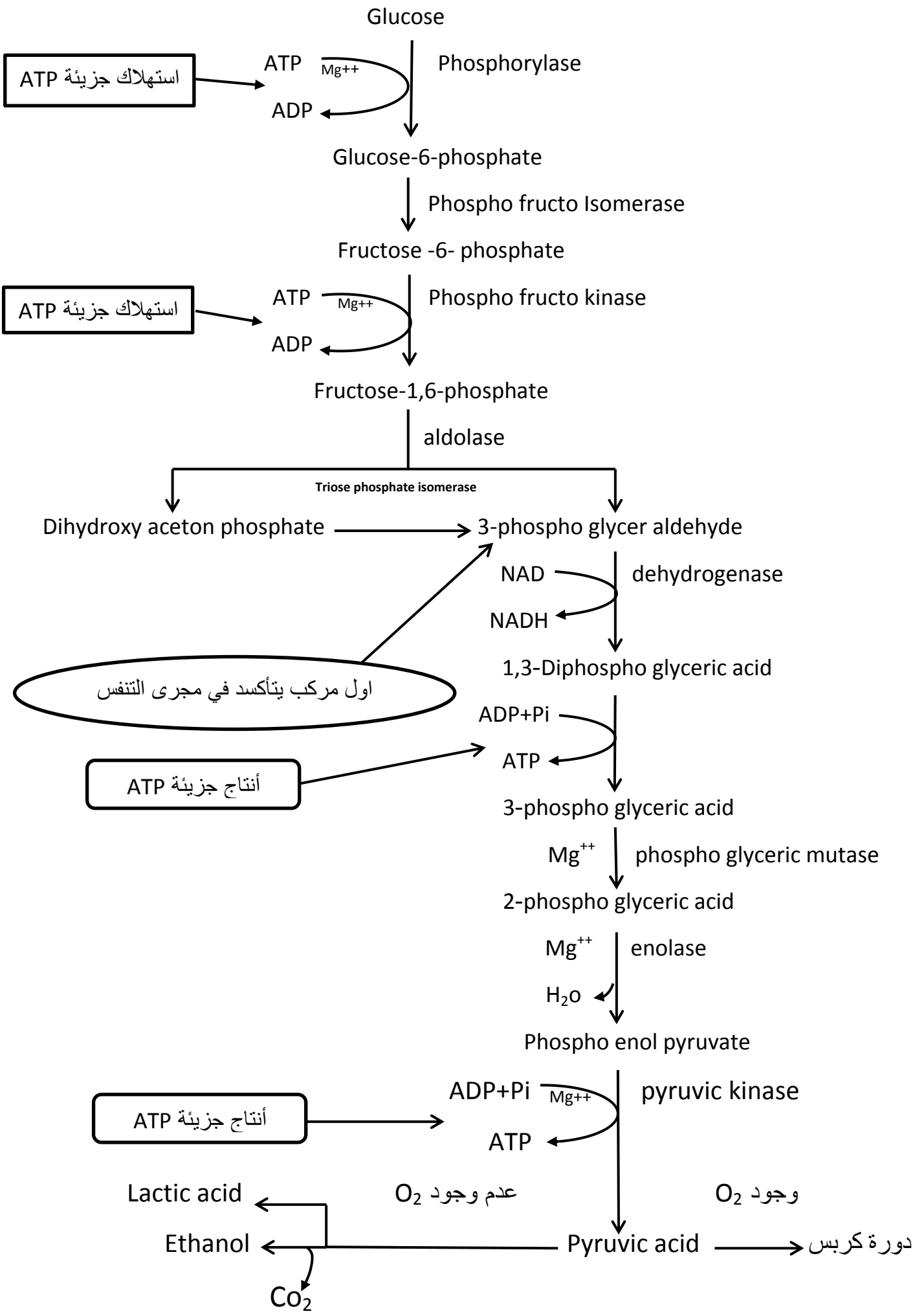
في هذه المرحلة يتم تحلل جزيئة الكلوكوز الغنية بالطاقة الى جزيئتين من حامض البايروفيك الفقيرة بالطاقة . وتحدث هذه العملية في السايتوبلازم وليس في اجزاء الخلية الاخرى وينتج قسم قليل من الطاقة (2ATP) في هذه المرحلة . ولا تحتاج الى الاوكسجين حيث تسمى بالتنفس اللاهوائي . وان الخلايا النباتية تتنفس لا هوائياً في الحالات التالية :-

1- في بداية انبات البذور كما هو في بذور البزاليا او الذرة الصفراء او غيرها من البذور ذات الغلاف الصلب الذي يمنع دخول الاوكسجين بكمية كافية للبذور وبذلك تتنفس لا هوائياً لأكسدة المواد الغذائية المخزونة بداخلها .

2- يحدث التنفس اللاهوائي بجذور النباتات المزروعة بالترب المشبعة بالماء او الغدقة حيث تفتقر هذه الترب للأوكسجين وبذلك لا تستطيع التنفس الهوائي .

وفي الحالتين اعلاه لا يمكن للحامض البايروفي ان يدخل المرحلة الهوائية للتنفس بل يعاني من عملية decarboxylation فاقداً ذرة CO_2 ليتحول الى الكحول الاثيلي (Ethanol) او قد يختزل الى الحامض اللبني (Lactic acid) .

المخطط التالي يوضح تحول السكر الى جزيئتين من الحامض البايروفي


Glucose
ATP
Mg++
ADP
Phosphorylase
استهلاك جزيئة ATP
Glucose-6-phosphate
Phospho fructo Isomerase
Fructose -6- phosphate
ATP
Mg++
ADP
Phospho fructo kinase
استهلاك جزيئة ATP
Fructose-1,6-phosphate
aldolase
Triose phosphate isomerase
Dihydroxy aceton phosphate
3-phospho glycer aldehyde
NAD
NADH
dehydrogenase
1,3-Diphospho glyceric acid
اول مركب يتأكسد في مجرى التنفس
ADP+Pi
ATP
أنتاج جزيئة ATP
3-phospho glyceric acid
Mg++
phospho glyceric mutase
2-phospho glyceric acid
Mg++
enolase
H2o
Phospho enol pyruvate
ADP+Pi
Mg++
ATP
pyruvic kinase
أنتاج جزيئة ATP
Lactic acid
عدم وجود O2
وجود O2
Ethanol
Pyruvic acid
دورة كربس
Co2

اهمية التنفس اللاهوائي :-

1- بداية مرحلة اكسدة الكربوهيدرات .

2- تكوين قسم من القوة الاختزالية بشكل $NADH + H^+$.

3- تكوين قسم من الطاقة بعملية Substrate level phosphorylation بشكل ATP .

4- بداية تكوين بعض المركبات الحيوية كالمركبات الفينولية وذلك من المركب فوسفواينول بايروفيت Phosphoenol pyruvate .

تحطيم الحامض البايروفي :-

تتم عملية تحطيم الحامض البايروفي وفق اربعة مسارات مختلفة حسب وجود او غياب الاوكسجين وكما مبين في الاتي :-

1- يتحول الحامض البايروفي بعملية التخمر الى كحول اثيلي وثاني اوكسيد الكاربون .

2- يتحول الحامض البايروفي الى بناء حامض اميني مثل Alanine

$$\text{Pyruvic acid} + \text{Glutamic acid} \xrightarrow{\text{Glutamic transaminase}} \text{Alanine} + \text{Keto glutamic acid}$$

وهذا التفاعل مهم في الخلايا النشطة لتكوين البروتينات

3- يتحطم الحامض البايروفي الى حامض اللاكتك (قليل الحصول في النباتات لكنه شائع في الانسجة الحيوانية) .

4- في حالة توفر الاوكسجين فأن الحامض البايروفي يدخل دورة كربس وهي المرحلة الهوائية للتنفس .

<u>المرحلة الثانية :-</u>

دورة كربس Kreb's cycle

وهي تتبع المرحلة الاولى حيث تتحطم جزيئة حامض البايروفي الى CO_2 و H_2O وتمتاز بما يلي :-

1- احتياجها للأوكسجين .
2- حدوثها في المايتوكوندريا .
3- تحريرها الطاقة بنسبة اكبر من التحلل السكري .

اذن تحدث دورة كربس في المايتوكوندريا وبتوفرالاوكسجين وفيها يتحطم البايروفك كلياً على سطح الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا ويطلق على مجموع التفاعلات التي تؤكسد مركب البايروفك كلياً بـ Kreb's cycle (دورة كربس) نسبة لمكتشفها العالم الانكليزي كرب (kreb) غير انه يصر على تسميتها بدورة حامض الستريك citric acid cycle بسبب وجود المركب citric acid كمركب وسطي في هذه الدورة . كما ان هذه الدورة قد تسمى بدورة الحامض ثلاثي الكاربوكسيل Tri carboxylic acid (T.C.A) بسب ان بعض الحوامض في هذه الدورة هي حوامض ثلاثية لمجاميع الكاربوكسيل .

وتحتاج تفاعلات هذه الدورة الى عدة عوامل مشاركة (Co – factors) هي :-

1- Co – A.SH : ضروري في تغذية النباتات (يقوم بنقل مجاميع الاسيل) .

2- NAD : Nictoti amide adenine dinucleotide (اكسدة – اختزال) .

3- FAD : Flavine adenine dinucleotide (اكسدة – اختزال) .

4- Liopic acid : عامل نمو ضروري مشتق من الحامض الدهني (octanoic) .

5- TPP : Thiamine pyrophosphate (ازالة او نقل مجاميع الالديهايد) .

6- ADP : Adenosine diphosphate .

7- H_3PO_4 : حامض الفسفوريك مجهز للفسفور .

8- ايونات العناصر الغذائية: Mg^{++} و Mn^{++} و Fe^{++} ...

وباختصار فان اكسدة مول واحد من الكلوكوز بطريقة الكلايكوليسس وT.C.A يتكون مولين من حامض البايروفيك وكل مول يحرر ثلاث مولات من CO_2 ويكون اربع مولات من ($NADH + H^+$) ومول واحد من ($FADH_2$) كما ان هذه الـ Coenzyme المختزلة يجب ان تعاد اكسدتها في سلسلة نقل الالكترونات .

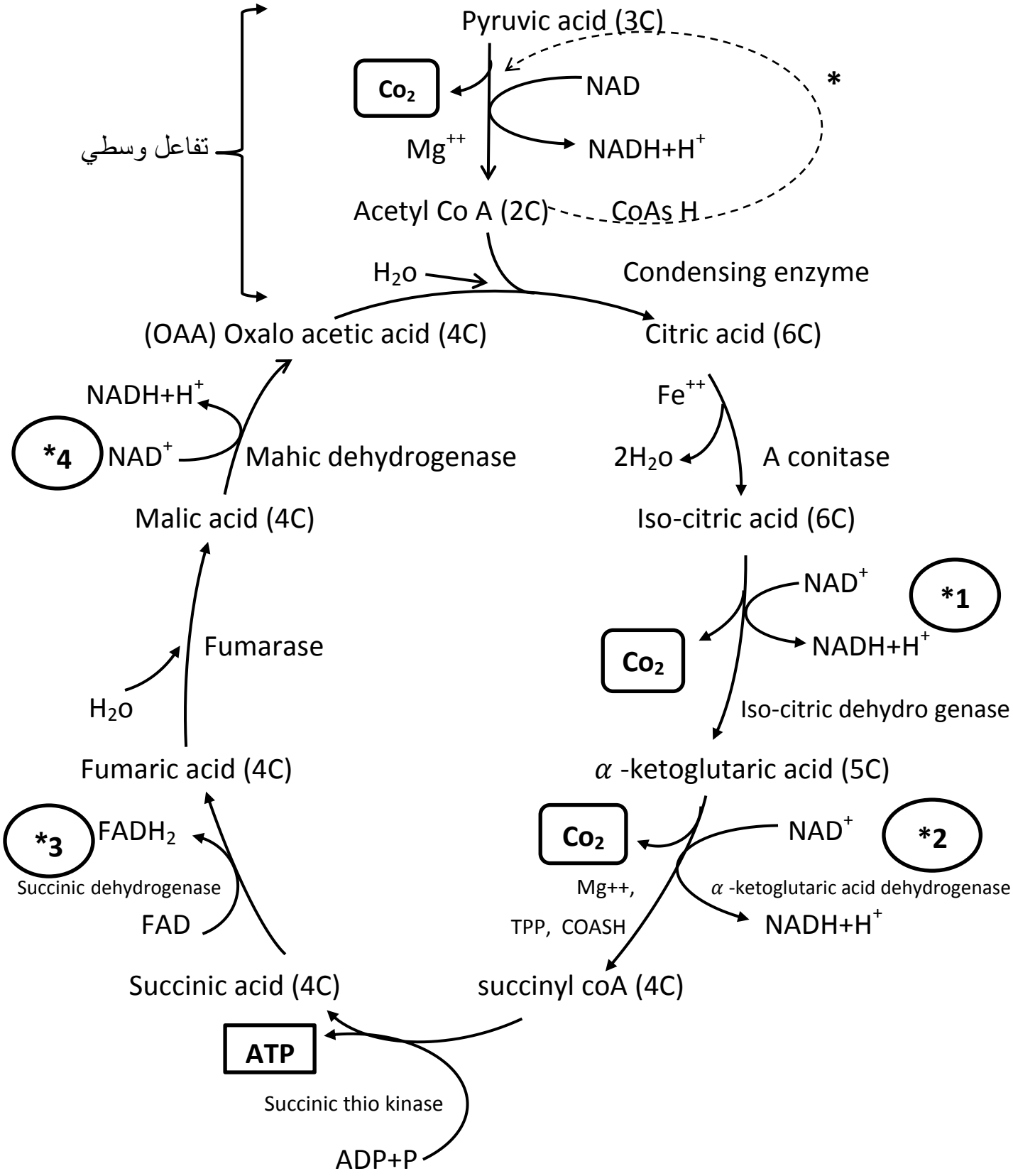
<u>اهمية دورة كربس :-</u>

1- مصدر لتكوين البروتينات والاحماض الامينية حيث ان قسماً من حامض α_ketoglutaric acid يستغل في تكوين الحامض الاميني Glutamic acid كما ان المركب (OAA) قد يتحول الى الحامض الاميني Asparatic acid .

2- مصدر للطاقة حيث ان المركب Succinyle COA يكون مشحون بالطاقة وفعال لذلك تستعمل تلك الطاقة في اتحاد الفوسفات (P) مع ADP لتكوين مركب الـ ATP او الـ GTP .

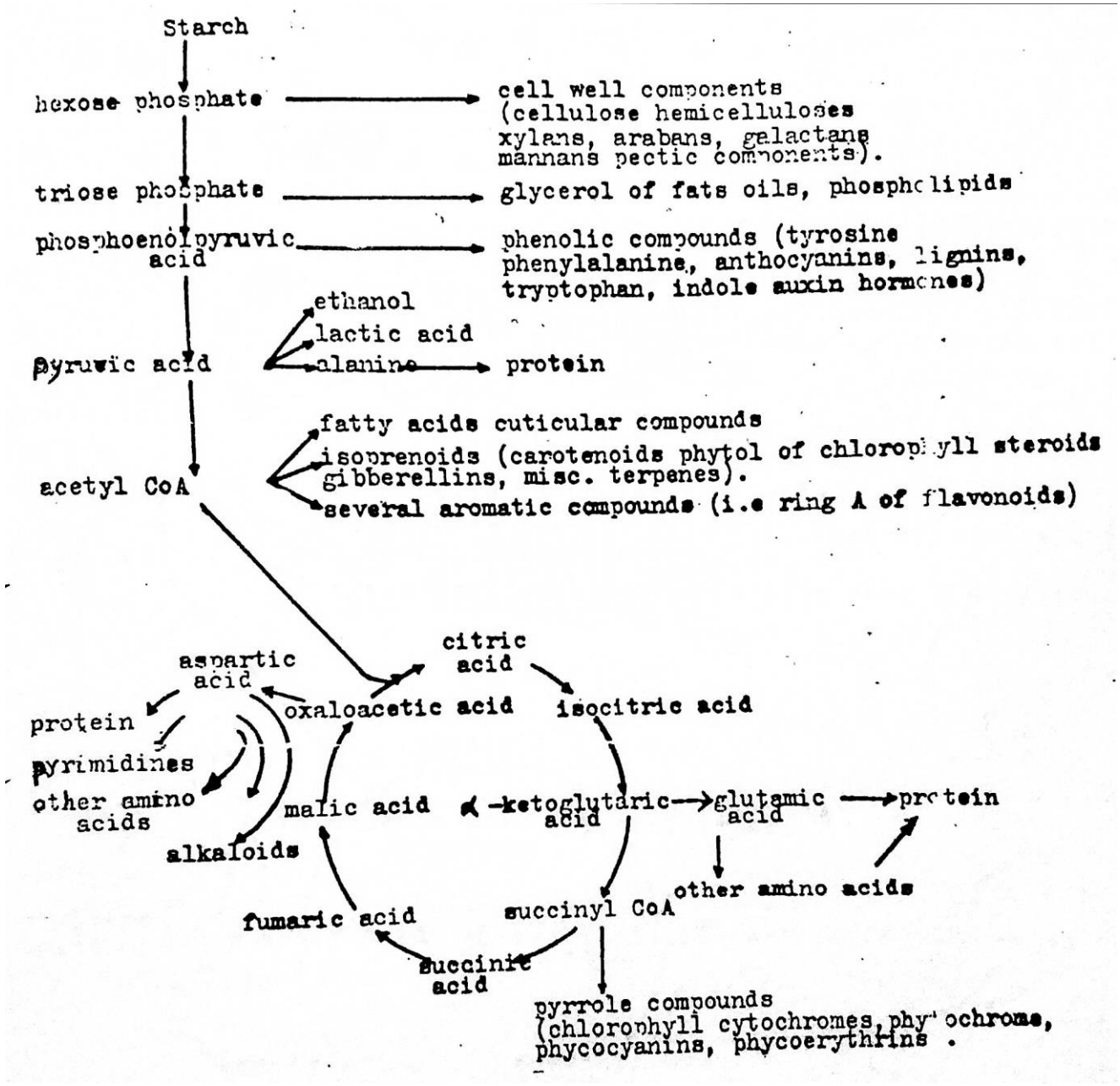
3- مصدر لتكوين القوة الاختزالية بشكل ($NADH+H^+$) التي تفيد في تفاعلات بناء المواد الخلوية المختلفة .

4- في حالة عدم تحول الـ Succinyle COA الى المركب Succinic فقد يستغلها النبات في تكوين المركبات الحيوية المهمة في الكائنات الحية مثل صبغات البورفرين والكلوروفيل والسايتوكرومات وكذلك الفايكوبلين والفايتوكرومات .



* تعني تفاعلات اكسدة أي ازالة الهيدروجين

Kreb's Cycle دورة كربس



علاقة تفاعلات دورة كريبس والكلايكوليسس بتكوين المركبات التي تساهم في النمو

<u>المرحلة الثالثة</u>

سلسلة انتقال الالكترونات Electron transport chain (E.T.C.)

ان ذرات الهيدروجين في ($NADH+ H^+$) الناتجة من الكلايكوليسس ودورة كربس لا تستطيع الاتحاد مباشرةً بالاوكسجين لتكوين الماء . اذ يجب ان تمر بسلسلة من التفاعلات تحدث في المايتوكوندريا في اجزاء دقيقة تسمى Oxysomes المرتبطة بالغشاء الداخلي للمايتوكوندريا .

ان الـ $NADH+H^+$ تفقد الالكترونات التي اكتسبتها من المواد المتفاعلة مثل

(3- Phosphoglycer aldehyde و pyruvic acid و Iso- citric acid و α- ketoglutaric acid و succinic acid و Malic acid) ثم تحولها الى الـ FAD وبذلك تصبح مؤكسدة وتستطيع اكتساب الكترونين جديدين من المواد الحيوية المختلفة بمساعدة انزيم dehydro genase .

ترافق سلسلة انتقال الالكترونات (E.T.C) عملية حيوية تسمى الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation بواسطة هذه العملية الطاقة الناتجة من انتقال الالكترونات تعمل على ربط جزيئة الفسفور بـ ADP لتكوين ATP . لان هذه الطاقة ناتجة من انخفاض الفولتية الكهربائية كلما انتقلت من مركب لأخر يمتلك ألفه اعلى لكسب الالكترونات .

انواع عملية انتاج الطاقة :-

1- الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation تحصل في المايتوكوندريا .

2- Sub strat level phosphorylation (الفسفرة على مستوى مادة التفاعل) تحدث اثناء التحلل السكري ودورة كربس .

3- الفسفرة الضوئية Photophosphorylation تحصل اثناء التمثيل الضوئي في الكلوروبلاست .

معامل التنفس (R.Q) Respiratiory Quotient :-

هو النسبة بين CO_2 المتحرر بعملية التنفس و O_2 المستهلك حيث ان

$$R.Q = \frac{CO2 \text{ المتحرر}}{O2 \text{ المستهلك}}$$

■ **R.Q** في البذور الغنية بالكربوهيدرات مثل حبوب الحنطة والشعير = 1 .

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$R.Q = \frac{CO2}{O2} = \frac{6}{6} = 1$$

■ **R.Q** في الانسجة الغنية بالدهون كالسمسم والكتان تكون اقل من 1 .

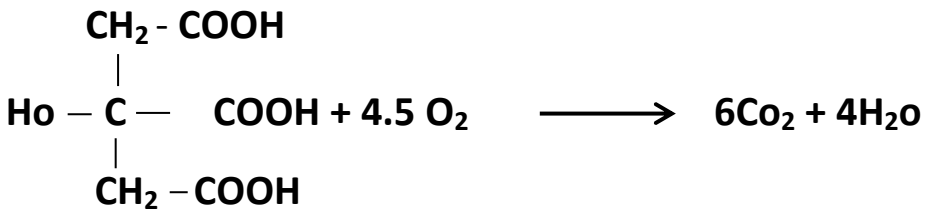
$$C_{18}H_{34}O_2 + 25.5\ O_2 \longrightarrow 18CO_2 + 17\ H_2O$$

Oleic acid

$$R.Q = \frac{18}{25.5} = 0.71$$

■ **R.Q** في الانسجة الخازنة للبروتينات كالباقلاء والفاصوليا وفول الصويا تكون اقل من واحد ايضاً .

■ **R.Q** في الانسجة الخازنة للأحماض العضوية المؤكسدة مثل Citric تكون اكثر من 1 لأن عند اكسدتها الى CO_2 والماء تحتاج الى كمية قليلة من O_2 لإنجاز الاكسدة الكلية، حيث ان المادة العضوية نفسها تحتوي في تركيبها على كمية لا باس بها من الاوكسجين .



citric acid

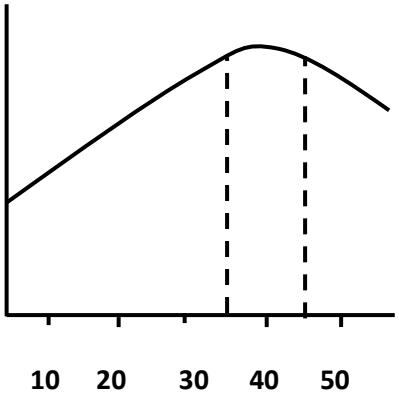
$$R.Q = \frac{6}{4.5} = 1.3$$

فائدة تعيين R.Q

حتى يعطينا فكرة عن نوعية المواد المخزونة في الانسجة النباتية المختلفة والتي تستخدم في عملية التنفس . وقد اكدت الابحاث ان الكربوهيدرات تستغل اغلبها في التنفس . اما البروتينات والدهون فقد تدخل في التنفس ايضاً ولكن في ظروف معينة تدخل في عمليات اخرى كالخزن مثلاً .

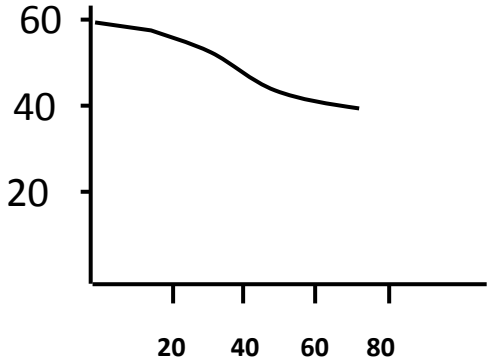
العوامل المؤثرة في التنفس Factors affecting rate of respiration:-

1- درجة الحرارة :- يزداد معدل التنفس بزيادة درجة الحرارة ويعتقد بأن اعلى معدل للتنفس يحصل بين درجتي 35 – 45 م° كما في الشكل الاتي:-



2- الاوكسجين:- وجود او عدم وجود الاوكسجين يحدد نوع التنفس . وهو ضروري جداً لأكسدة مادة التنفس .

3- ثاني اوكسيد الكاربون :- زيادة تركيز Co_2 يؤدي الى خفض معدل التنفس ويحتمل بأن Co_2 يسبب غلق الثغور وبذلك يمنع تبادل الغازات .



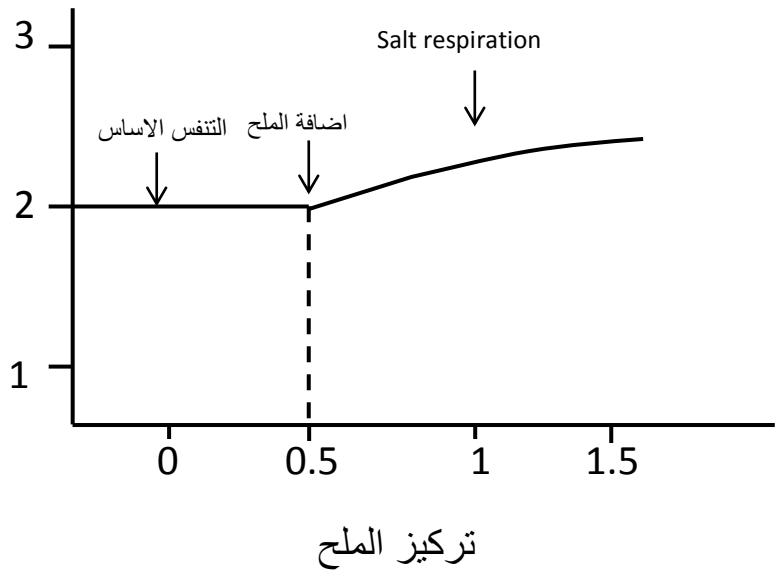
4- الضوء :- ان العلاقة بين الضوء ومعدل التنفس غير مباشرة حيث يعتقد ان الضوء يزيد من تركيز السكر بسبب التمثيل الضوئي وهذا يؤدي الى زيادة معدل التنفس .

5- تركيز مادة التنفس :- وهي المواد الغذائية التي تتأكسد في التنفس وتنطلق منها الطاقة وتتوقف عملية التنفس على وجود مادة التنفس في حالة ذائبة وغالباً ما تكون هذه المواد من السكريات، فكلما زادت ازداد معدل التنفس .

6- نوع وعمر النبات :- يختلف معدل التنفس باختلاف النباتات، وذلك لوجود اختلافات مورفولوجية بين هذه النباتات. وكلما تقدم النبات بالعمر قل معدل تنفسه بسبب قلة فعالية الانزيمات .

7- الجروح والاضرار الميكانيكية الاخرى :- ان خدش النبات يسبب ازدياد معدل التنفس، فقد لوحظ ان نسبة الاوكسجين الممتصة من قبل درنات البطاطا المقطوعة نصفين اكثر من نسبة امتصاصه في الدرنات الكاملة، وقد يعزى السبب الى زيادة نسبة السكر، غير ان اكثر الاسباب احتمالاً هو زيادة فعالية الانزيمات المؤكسدة (Laccase peroxidase) الذبول الشديد يسبب زيادة معدل التنفس مع عدم فهم الاسباب، مبيدات الاعشاب واصابة النباتات بالأمراض الطفيلية تسبب زيادة معدل التنفس وخاصة قرب الانسجة المصابة .

8- العناصر الغذائية وبعض المواد السامه :- بعض الايوانات مثل (K^+) تزيد من معدل التنفس وان (CN^-) تقلل من معدل التنفس، وقد يعزى السبب الى ان المواد الكيمياوية قد تحفز او تثبط عمل الانزيمات الداخلة في التنفس . وقد لاحظ Lundegardh ان اضافة الملح للماء الموجود فيه نسيج نباتي حي يسبب زيادة معدل التنفس واسماه بالتنفس الملحي Salt respiration .



9- نسبة الرطوبة في النسيج النباتي :- وجد ان زيادة رطوبة البذور حتى (14%) تسبب ارتفاعاً واضحاً في معدل تنفسها لذلك ينصح بجعل رطوبة البذور عند خزنها تصل الى الحد الادنى (4%) حيث يقل معدل التنفس .

الفرق بين التنفس والتركيب الضوئي

التنفس	التركيب الضوئي
1- يستهلك O_2 ويحرر Co_2 .	**1-** يحرر O_2 ويستهلك Co_2 .
2- تحدث ليلاً ونهاراً والضوء غير ضروري .	**2-** تحدث بوجود الضوء الذي يعتبر ضروري .
3- تحول الطاقة الكيمياوية الكامنة الى طاقة حركية .	**3-** تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية .
4- المواد الاولية لها هي الكلوكوز و O_2.	**4-** المواد الاولية هي Co_2 و H_2O .
5- الكلوروفيل غير ضروري .	**5-** الكلوروفيل ضروري .
6- تحصل في السايتوبلازم والمايتوكوندريا .	**6-** تحصل في الكلوربلاست .
7- تعتبر عملية Exergonic لتحريرها الطاقة.	**7-** تعتبر عملية Endogonic لاستهلاكها الطاقة .
8- عملية هدمية .	**8-** عملية بنائية .
9- تسبب قلة وزن النبات .	**9-** تسبب زيادة وزن النبات .
10- تحدث فيها عملية decarboxylation .	**10-** تحصل بها عملية Carboxylation
11- يخرج منها الماء .	**11-** تتطلب الماء لحدوثها .
12- هدم مول واحد من كلوكوز يتحرر 38 مول ATP .	**12-** تكوين مول واحد من كلوكوز تتطلب 18 مول ATP .

الفرق بين التنفس اللاهوائي والتنفس الهوائي

التنفس اللاهوائي	التنفس الهوائي
1- يحدث في السايتوبلازم .	**1-** يحدث في المايتوكوندريا .
2- غير اقتصادي في انتاج الطاقة للخلية.	**2-** اقتصادي في انتاج الطاقة للخلية .
3- انتاج 2ATP من كل جزيئة سكر .	**3-** انتاج 36ATP من كل جزيئة سكر .
4- عدم الحاجة للأوكسجين .	**4-** يحدث بوجود الاوكسجين .
5- الكفاءة 31% .	**5-** الكفاءة 70% .
6- ينتج عنه CO_2 و H_2O ومركبات ذات طاقة عالية .	**6-** ينتج عنه الكحول الاثيلي .