التنفس Respiration

هي اكسدة المواد العضوية وخاصة السكريات لتنطلق طاقة والتي تدخل في مختلف العمليات الحيوية (ATP)والتي تستغل في تكوين الهيكل الكربوني Carbon Skeleton الذي تستند عليه اجسام النباتات كذلك العمليات الحيوية الاخرى

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow\rightarrow \quad 6CO_2 + H_2O + 678KCL$$

هذا يعني 180غم (1مول) من الكلكوز يتاكسد ب 192غم (6مول) من O_2 مطلقا 264غم (6مول) من H_2O و 678 كيلو كالوري حرارة. وهكذا فان كل غرام واحد من الكلكوز يستخدم في التنفس يطلق 3.74 كيلوكالوري حرارة.

معامل التنفس:Respiration Quotient (RQ)

RQ= جزيئاتCO_2 المنطلقة/ جزيئاتO_2 المستهلكة

اذا كان RQ يساوي واحد يعني ان الكاربوهيدرات هي المستخدمة في التنفس اما اذا كان RQ يساوي0.7 يعني المستعمل دهون اما اذا استخدم حامض عضوي مثل حامض الاوكزاليك فان ال RQ يساوي0.4 .اي بمعرفة RQ يمكن التعرف على نوعية المادة المستعملة في التنفس.

المركبات الغنية بالطاقة:Energy Rich Compounds

اهم هذه المركبات هي Pyrophosphate Compounds مثل ATPو (Uridine Triphosphate)UTP و(Guanosine Triphosphat)GTP و(Cytidine Triphosphate)CTP.هذه المركبات تمتلك طاقة وهي الطاقة الناتجة من اكسدة الكاربوهيدرات او البروتينات او الدهون والتي تحرر بشكل مركبات مثل (Adenosine Triphosphate)ATP.

لاتتم الاكسدة في خطوة واحدة بل في سلسلة طويلة من التفاعلات المنظمة التي يعتمد كل تفاعل فيها على التفاعل السابق كما ان O_2 لايشترك في معظم التفاعلات التأكسدية باستثناء الخطوة الاخيرة حيث تأكسد ايونات الهيدروجين بألاوكسجين الحر. قسمت التفاعلات الى ثلاث مراحل:

1. المرحلة الاولى غير الهوائية وتسمى Anerobic CHO Metabolism حيث تجري في معظم الانسجة الحية وتتكون من عدة خطوات لهدم النشا والسكريات الى مركب Pyruvic acid (C3). لاتحتاج المرحلة الى الاوكسجين. تحدث في السايتوبلازم عادة. وتشمل مايلي:

اولا: التحلل السكري Glycolysis وهو الهدم اللاهوائي للكربوهيدرات في الخلايا الحية وتنتهي التفاعلات بتكوين Pyruvic acid وLactic acid.

ثانيا: التخمر الكحولي Alcoholic Fermentation وهو هدم لاهوائي للكربوهيدرات يحدث في الخميرة وينتهي بتكوين كحول اثيلي Ethanol وCO_2(اكثرية الخمائر لاتستطيع تخمير النشأ لافتقارها لانزيمات amylase التي تحلل النشا لذا يعتمد صانعوا المشروبات الكحولية الى استعمال بذور الشعير النابتة أي البادرات المسماة Malt بدلا من البذور الجافة).

تفاعلات التحلل السكري والتخمر الكحولي تحدث بغياب الاوكسجين ولذلك الخلايا النباتية في حالة عدم توفر الاوكسجين تتنفس تنفسا لاهوائيا كما في المرحل البدائية من انبات البذور او في حالة كون غلاف البذور صلب او التربة غدقة.

تفاعلات Glycolysis

Glucose or Fructose + ATP → Glucose -6-p → Fructose - 6-p → Fructose 1,6-dip

اويمكن ان يستخدم النشا او السكروز بدلا من

الكلكوز او الفركتوز

Fructose 1,6-dip → Dihydroxyacetone –p → α – glycero –p

المركب الاخير يلعب دور في تكوين الشحوم

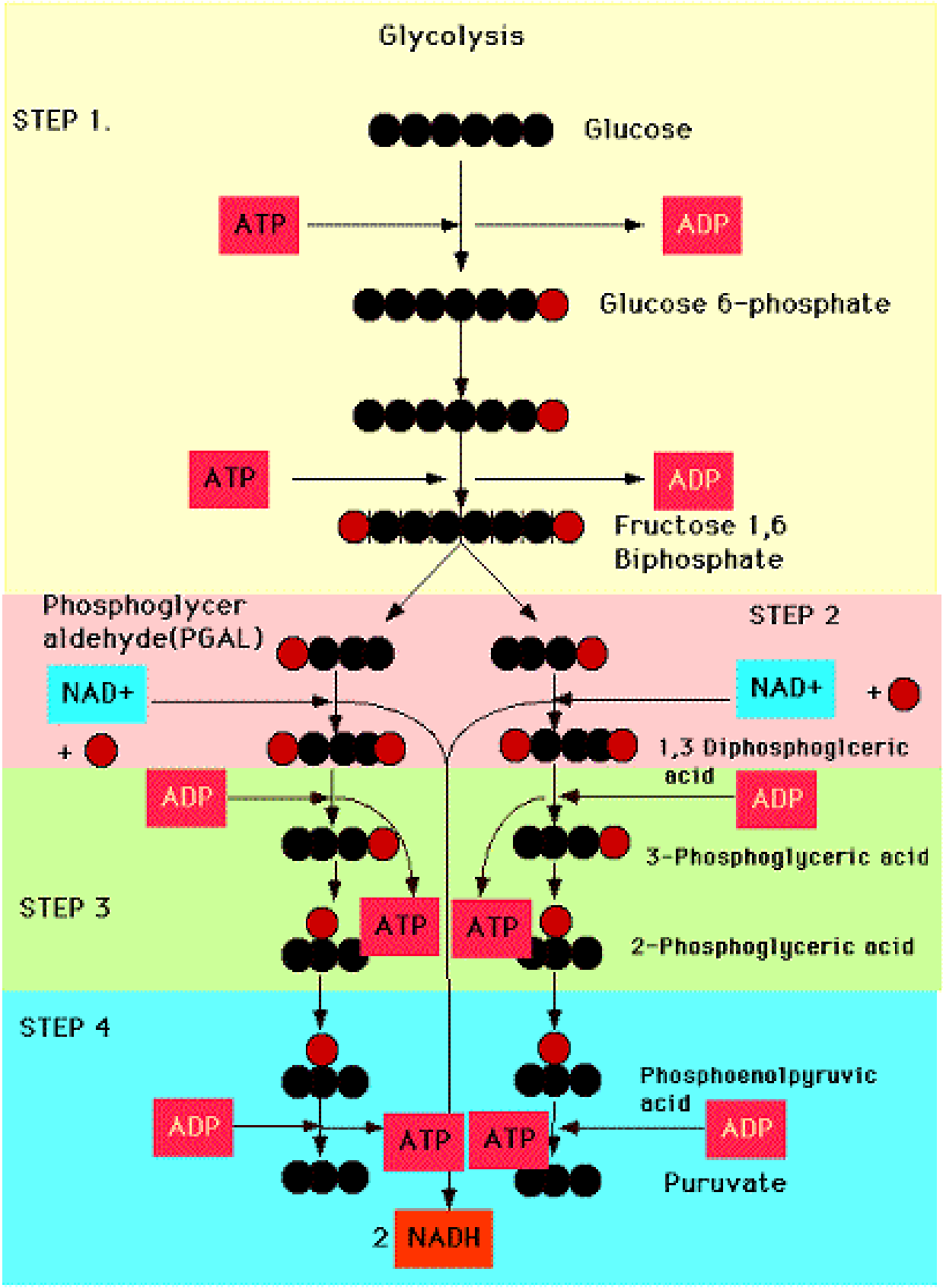
يمكن ان يحدث التفاعل الاتي

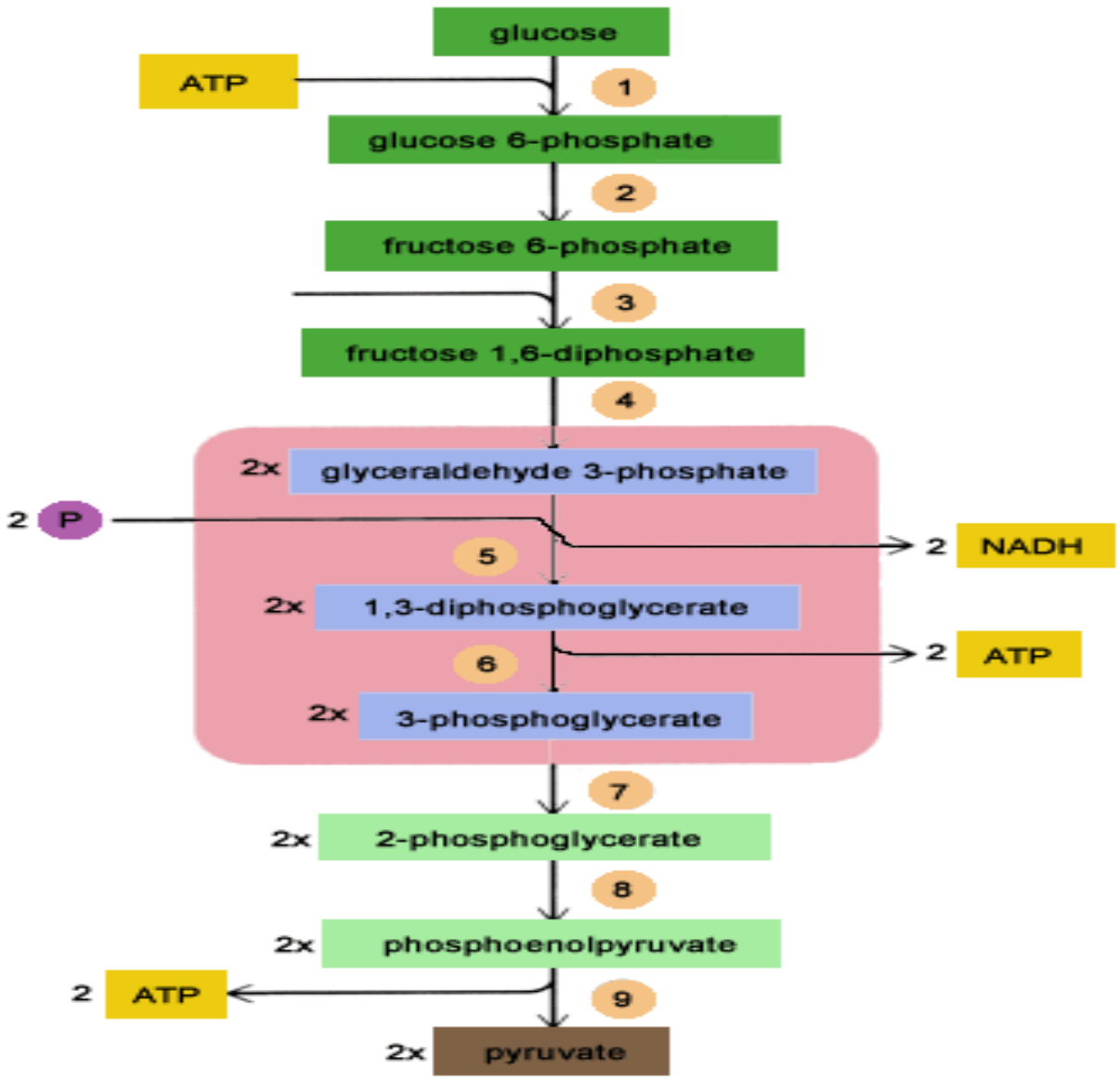
Fructose 1,6-dip → Glyceraldehyde – 3 – p → 1,3 – dip-glyceric acid →3 –p-glyceric acid → 2 –p-glyceric acid → phosphoenol pyruvic acid → pyruvic acid

اول مركب يتاكسد في مجرى التنفس هو

Glyceraldehyde – 3 – p

مركب **pyruvic acid** يدخل مجرى تفاعلات دورة **Krebs** ويتهدم تدريجيا الى CO_2 وماء. واذا كان الاوكسجين قليلا فأن $NADH_2$ قد يختزل حامض البايروفك الى **Lactic acid** بتاثير انزيم **Lactic dehydrogenase**


Glycolysis
STEP 1.
Glucose
ATP
ADP
Glucose 6-phosphate
ATP
ADP
Fructose 1,6
Biphosphate
Phosphoglycer
aldehyde(PGAL)
STEP 2
NAD+
NAD+
+
+
1,3 Diphosphoglceric
acid
ADP
ADP
3-Phosphoglyceric acid
STEP 3
ATP
ATP
2-Phosphoglyceric acid
STEP 4
Phosphoenolpyruvic
acid
ADP
ATP
ATP
ADP
Puruvate
2
NADH

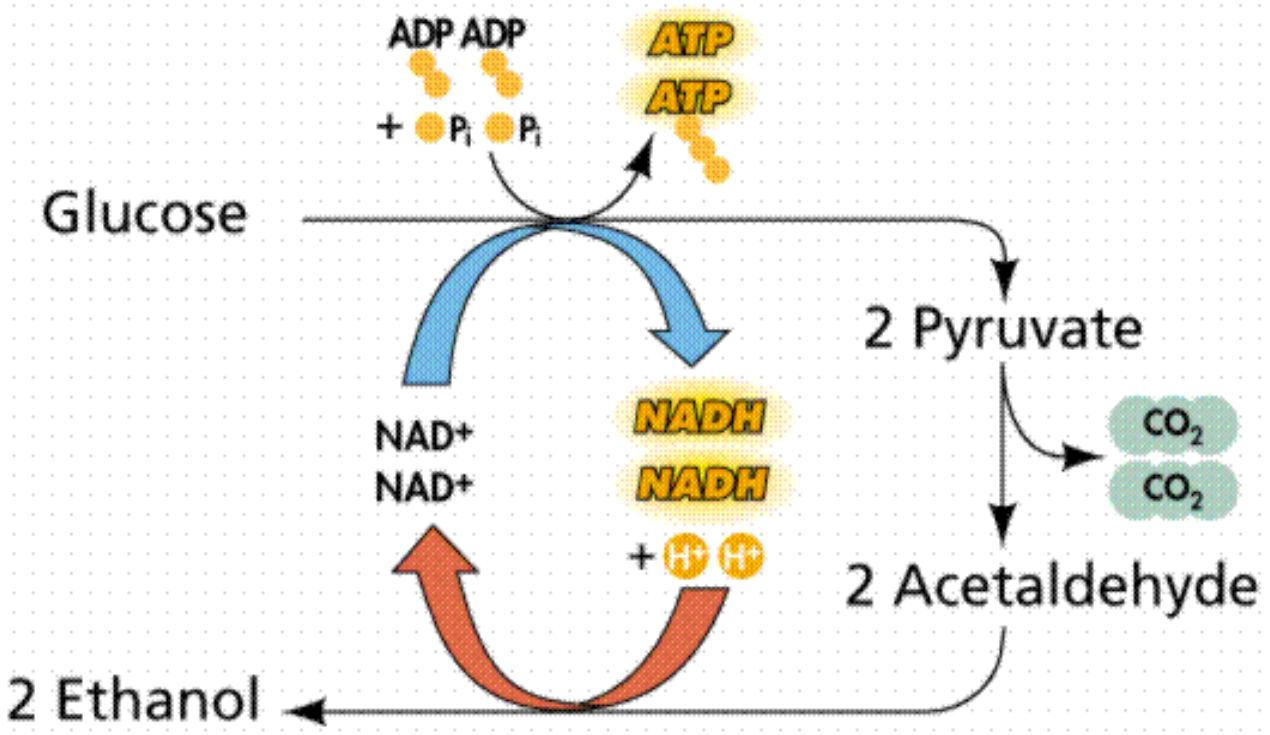


Pyruvic acid + NADH → lactic acid

او يحدث التفاعل التالي

Pyruvic acid →acteldehyde →C_2H_5OH

هنا يفقد البايروفك لجزيئة CO_2 لينتج استيل الديهايد ويتم التفاعل بوجود ATP وعنصر المنغنيز.



2. المرحلة الثانية الهوائية

وهي تتبع المرحلة الاولى حيث تتحطم جزيئات pyruvic acid الىCO_2 وعلى الرغم من عدم اشتراك الاوكسجين مباشرة الا انه يجب ان يتوفر الاوكسجين لاجل ان تستمر العملية وتشترك فيهاعدة حوامض عضوية مهمة وتسمى مجمل التفاعلات Krebs Cycle

دورة كريبس Krebs Cycle

يتحطم البايروفيت كليا على سطح الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا ويطلق على التفاعلات التي تؤكسد البايروفيت كليا اسم Krebs Cycle نسبة الى العالم الانكليزي Krebs والذي يصر على تسميتها Citric Acid Cycle نسبة للمركب Citric acid في الدورة وقد يطلق عليها ايضا اسم Tricarboxylic Acid Cycle (TCA Cycle) بسبب احتواء الحوامض في هذه الدورة على ثلاث مجاميع كاربوكسيلية (الدورة بقيت مجرد فرضية حتى عام 1950 حيث عزلت المايتوكوندريا من الخلايا النباتية واثبت وجود التفاعلات في المايتوكوندريا).

$$\text{Pyruvate} + NAD^+ \rightarrow\rightarrow \text{Acetyl COA} + CO_2$$

في هذا التفاعل يتأكسد البايروفيت ويتم التفاعل بوجود Lipoic acid و Mg^{+2} و FAD وPyruvate dehydrogenase complex وهذه الخطوة تتم قبل الدخول لدورة كريبس لتنتج مركب عالي الطاقة هو Acetyl COA

$$\text{Acetyl COA} + \text{Oxaloacetate} \rightarrow\rightarrow \text{Citrate(Citric acid)} \rightarrow\rightarrow$$
$$\text{Isocitric acid} \rightarrow\rightarrow \alpha\text{-Ketoglutarate} \rightarrow\rightarrow \text{Succinyl COA} \rightarrow\rightarrow$$

Succinate → → Fumarate → → Malic acid → → Oxaloacetate

ثم تعاد الدورة بتفاعل Oxaloacetate مع Acetyl COA

التفاعل من Isocitrate الىα-Ketoglutarate يسمى تفاعل Oxidative decarboxylation وفي التفاعل يزال CO_2 ليذهب للمايتوكوندريا ويزال ذرتين H^+ حيث ياخذه NAD^+ ليكون $NADH_2$

التفاعل من α-Ketoglutrate الى Succinyl COA يسمى تفاعل Oxidative decarboxylation وفي التفاعل يفقد CO_2 ويزال ذرتينH^+ حيث ياخذه NAD^+ ليكون $NADH_2$

التفاعل من Malic acid الىOxaloacetate ايضا يتكون خلاله NADH

قسم من مركب α-Ketoglutarate يستغل لتكوين الحامض الاميني glutamic acid ولهذا فان تكوين البروتينات يعتمد على TCA

اذن اكسدة مول واحد من الكلكوز بطريق glycolysis ودورة TCA يكون مولين pyruvate وكل مول pyruvate يحرر ثلاث مولات CO_2 ويكون اربعة مولات $NADH_2$ ومول واحد $FADH_2$ وهذه ال Coenzymes المختزلة يجب ان تعاد اكسدتها في المرحلة الثالثة في سلسلة نقل الالكترونات.

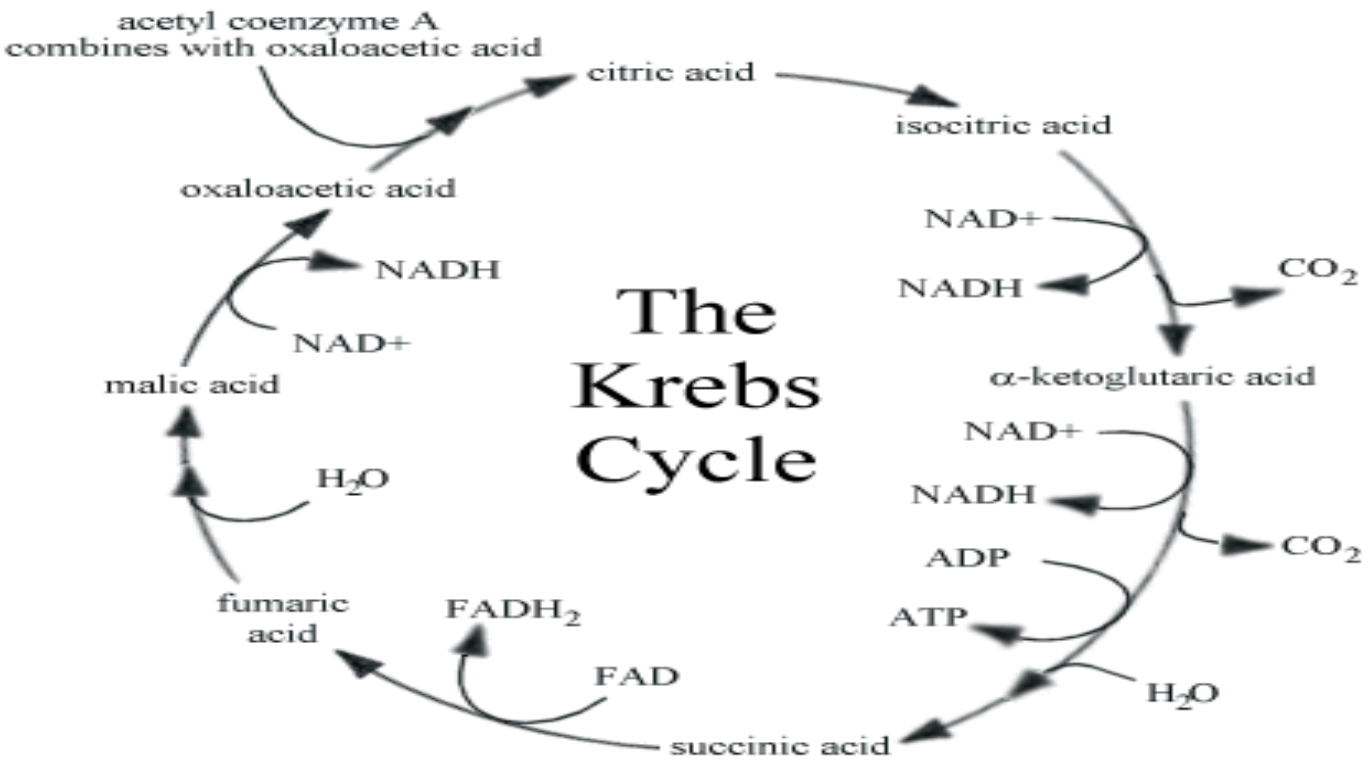
اهمية دورة كربس

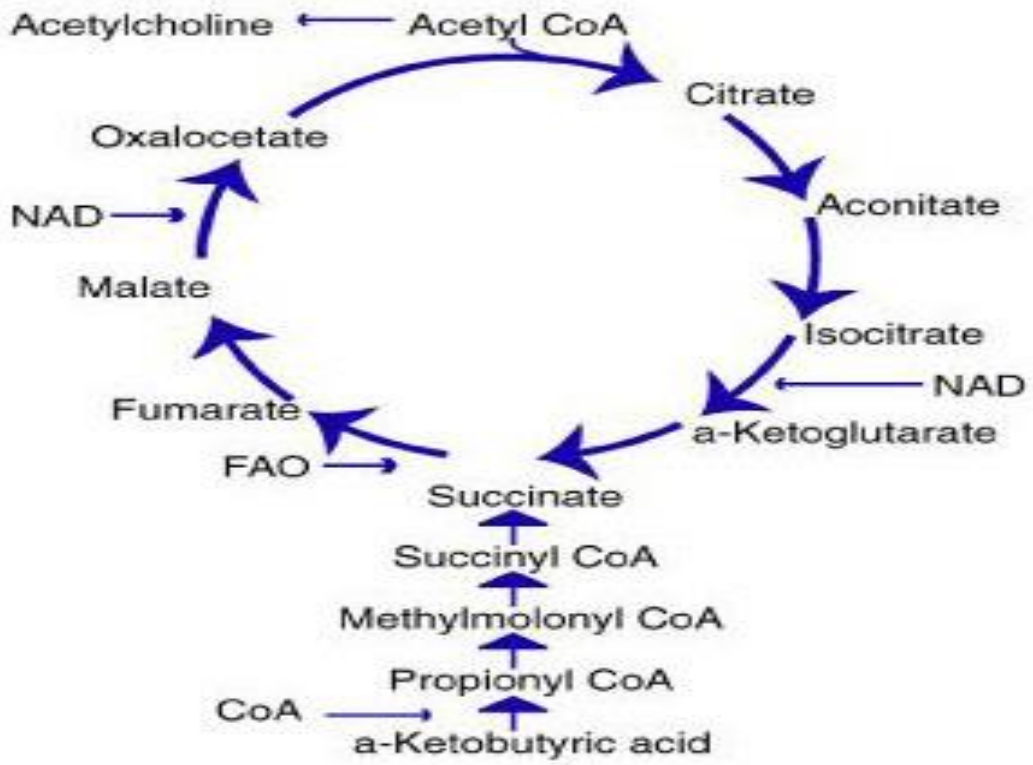
1. في حالة عدم تحول Succinyl COA الى Succinic acid فقد يستغلها النبات في تكوين مركبات مهمة مثل الصبغات كالكلوروفيل والسايتوكرومات والفايتوكرومات.

2. المركب Oxaloaceate قد يتحول الى الحامض الاميني Aspartic acid وبذلك تتكون بروتينات.

3. مصدر لتكوين قوة اختزالية NADH التي تفيد في تفاعلات البناء.

4. مصدر لتكوين ATP بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation عندما يعاد اكسدة الفائض من $NADH_2$ بعملية سلسلة نقل الالكترونات.





3. المرحلة الثالثة الهوائية

وهي ترافق المرحلة الثانية عادة حيث تعاني ذرات الهيدروجين المنزوعة من الحوامض العضوية (في المرحلة الثانية) عدة تفاعلات تأكسدية اختزالية واخيرا تتحد ذرات الهيدروجين مع الاوكسجين مكونة الماء وتسمى هذه التفاعلات سلسلة نقل الالكترونات. في هذه المرحلة فان الطاقة المتحررة تخزن في مركبات الطاقة مثل (ATP) بعملية Oxidative Phosphorylation.

كلا من Krebs Cycle وسلسلة نقل الالكترونات وعملية انتاج الطاقة Oxidative Phosphorylation تجري في المايتوكوندريا.

سلسلة نقل الالكترونات Electron Transport Chain (ETC)

ذرات الهيدروجين في ال $NADH_2$ الناتجة من ال Glycolysis وال TCA cycle لاتستطيع مباشرة الاتحاد مع الاوكسجين لتكون الماء بل يجب ان تمر بسلسلة من التفاعلات قبل ان يتكون الماء وتسمى سلسلة نقل الالكترونات. وان التحول يبدء من المواد ذات الطاقة الاختزالية الواطئة الى المواد ذات الطاقة الاختزالية العالية (زيادة الالفة لكسب الالكترونات).السلسلة يمكن ان تسمى ايضا Cytochrome System. ان $NADH_2$ تفقد ايونات الهيدروجين التي اكتسبتها من المواد المتفاعلة مثل Glyceraldehyde 3-p وPyruvate و Isocitrate و α- ketoglutarate و Malate وتحولها الى Flavoprotein (FAD) ثم الى مركب اخر يسمى Coenzyme Q (قد يعرف ايضا Ubiquinone) ثم يحول هذا المركب الالكترونات الى احد انواع السايتوكروم الحاوية على الحديد وهي Cyt b و Cyt c و Cyt Oxidase على التوالي. ويسلم السايتوكروم الاخير زوج الكترونات الى الاوكسجين ليتكون الماء ويتطلب الامر مولين من كل نوع من السايتوكروم لنقل زوج الالكترونات.

تصاحب الTCA عملية حيوية مرتبطة بها تسمى الفسفرة التاكسدية Oxidative Phosphorylation وبواسطة هذه العملية فان الطاقة المتحررة بالتنفس تحرر بشكل طاقة كيميائية مفيدة للخلايا الحية.

عملية انتاج الطاقة (الفسفرة التاكسدية) Oxidative Phosphorylation

تصاحب عملية ETC عملية حيوية مرتبطة بها تسمى الفسفرة التاكسدية وبواسطة هذه العملية فان الطاقة المتحررة بالتنفس تخزن بشكل طاقة كيمياوية مفيدة للخلايا الحية ، واهم اشكال هذه الطاقة هي ATP .

ميكانيكية الفسفرة افترضت عدة فرضيات :

1. فرضية Chemical Coupling Hypothesis

خلاصة هذه الفرضية هي تكوين مركب بروتيني ذو طاقة عالية High Energy Phosphrylated Protein اثناء انتقال الالكترونات ثم انتقال الفوسفات الى ADP لتكوين ATP .

$$A_{red} + I + B_{ox} \rightarrow A_{ox}\tilde{} I + B_{red}$$

~ اصرة ترمز للطاقة

2. فرضية Chemiosmotic Coupling Hypothesis

افترضت من قبل Mitchell (1961) وهي تؤكد ان المركب البروتيني المسمى (HEPP) لا يتكون بل يتكون ATP في اغشية المايتوكوندريا الداخلية والكرانا في الكلوروبلاست بطريقة اخرى حيث يفترض ان

ايونات الهيدروجين تنتقل خارج المايتوكوندريا عندما تحدث عملية نقل الالكترونات اما ايونات الهيدروكسيل فتتجمع داخل المايتوكوندريا نفسها (ويتكون ATP وذلك بتحليل جزيئات الماء) وبما ان تكوين ATP يؤدي لتكوين ماء ايضا لذلك يزداد تكوين ATP كلما ازيلت جزيئات الماء الى هيدروجين وايونات هيدروكسيل .

3. فرضية Conformational Coupling

مبنية على حدوث تغيرات تركيبية في الغشاء الداخلي خلال عملية انتقال الالكترونات تؤدي الى تكوين ATP

من الجدير ذكره ان عدد مولات ATP الناتجة من اكسدة مول واحد من الكلوكوز الى CO_2 وماء هي (38) وكما يلي :

$$C_6H_{12}O_6 + 6CO_2 + 38ADP + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 38ATP + 44H_2O$$

واذا علمنا ان كل مول ATP يمتلك طاقة مقدارها 8000-10000 سعرة لذلك يكون 304000 سعرة قد خزنت بشكل طاقة كيمياوية.