

第四章 植物的呼吸作用

第一节 植物呼吸作用概述

第二节 呼吸代谢途径

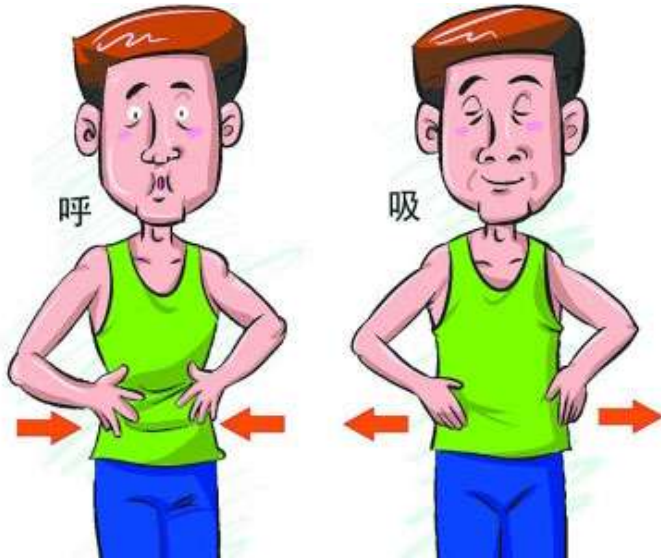
第三节 呼吸作用的调控

第四节 影响呼吸作用的因素

第五节 呼吸作用与农业生产



没有呼吸就没有生命



有机物+氧气=二氧化碳+能量

第一节 植物呼吸作用概述

一、植物呼吸作用的概念

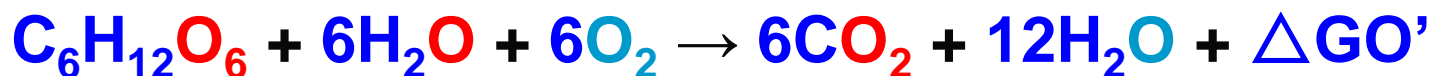
植物的呼吸作用：植物生活细胞内的有机物，在酶的参与下，逐步氧化分解并释放能量的过程。

两大类型：①有氧呼吸；②无氧呼吸

(一) 有氧呼吸

❖ **有氧呼吸(aerobic respiration)**: 生活细胞在O₂的参与下, 把某些有机物质彻底氧化分解, 放出CO₂和H₂O, 同时释放能量的过程。

葡萄糖作为呼吸底物的总反应式:



$$\Delta\text{G}^{\circ'} = -2870 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$\Delta\text{G}^{\circ'}$ 表示在pH7下标准自由能的变化



有氧呼吸是高等植物呼吸作用的主要方式

但在某些条件下,植物也被迫进行无氧呼吸





(二) 无氧呼吸

无氧呼吸(anaerobic respiration): 在无氧条件下,生活细胞把某些有机物质分解为不彻底的氧化产物,同时释放能量的过程。

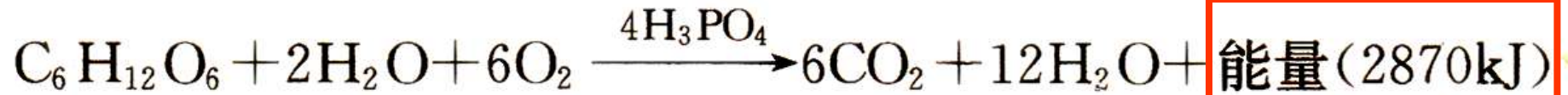
无氧呼吸产物:

- ①乙醇
- ②乳酸



比较:

有氧呼吸 (主要方式)



无氧呼吸



二、植物呼吸作用的生理意义

(1) 为植物生命活动提供能量（能量代谢的枢纽）

需呼吸作用直接提供能量的生理过程有：

离子的主动吸收、细胞的分裂和分化、有机物的合成和运输、种子萌发等。

不需要呼吸直接提供能量的生理过程有：

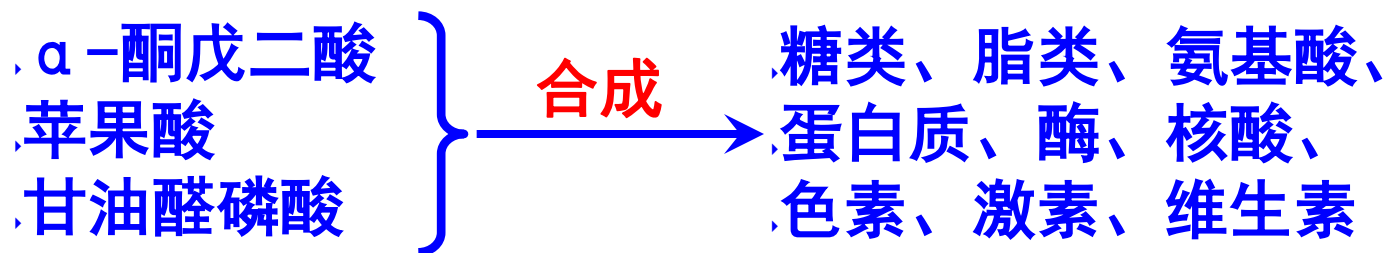
干种子的吸胀吸水、离子的被动吸收、蒸腾作用、光反应等。

呼吸放热可提高植物体温，有利于种子萌发、幼苗生长、开花传粉和受精等。



(2) 提供其他有机物合成的原料（物质代谢的枢纽）

呼吸作用产生一系列的中间产物，是植物体内多种物质（如氨基酸、蛋白质、核苷酸、核酸、脂肪等）合成的原料。



(3) 为代谢活动提供还原力

呼吸底物降解过程中形成的 $\text{NADH}+\text{H}^+$ 、 $\text{NADPH}+\text{H}^+$ 、 FADH_2 等可为脂肪、蛋白质生物合成，硝酸盐还原等生理过程提供还原力。

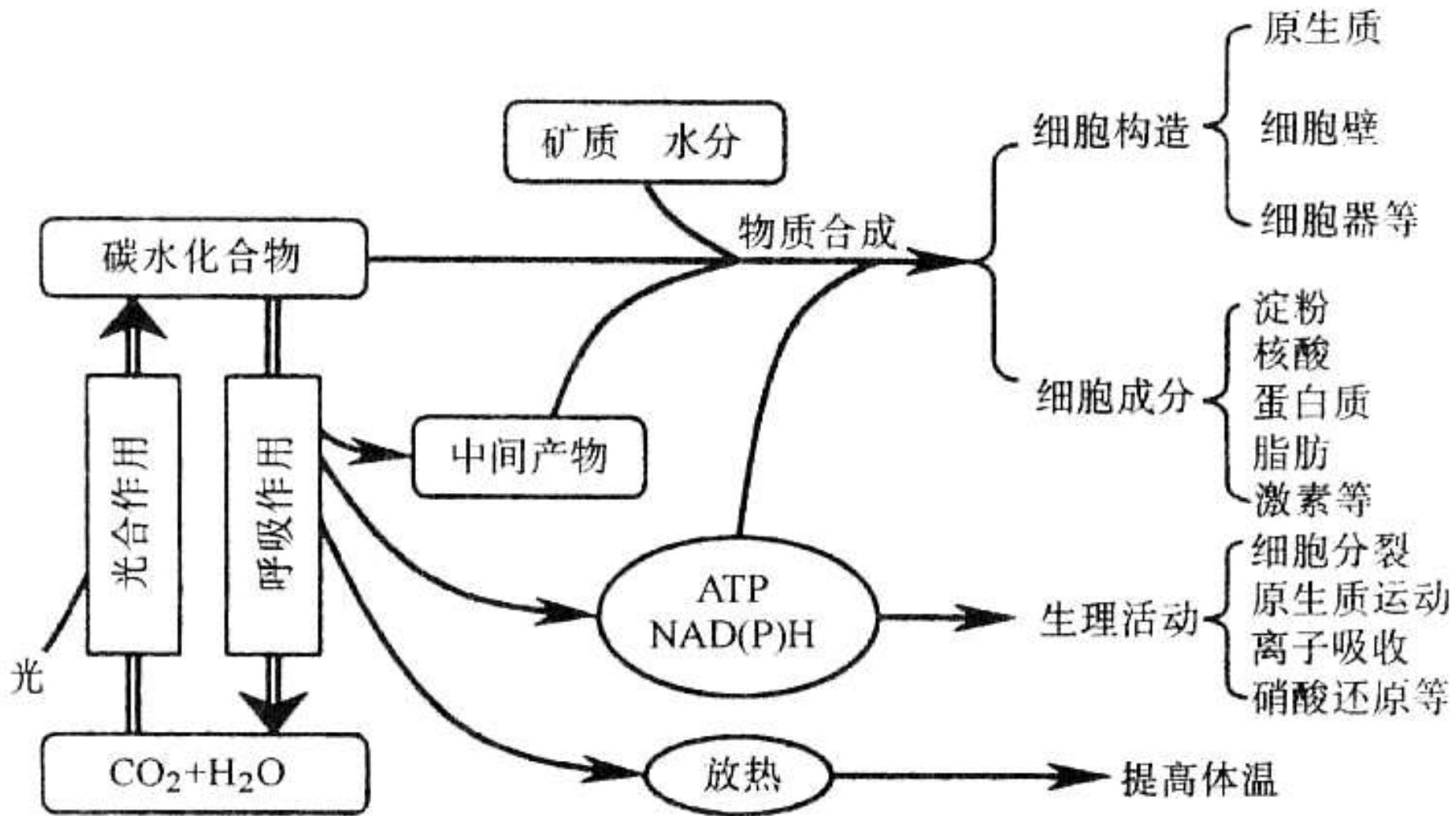
(4) 提高抗病免疫能力

植物受到病菌侵染时，受侵染部位呼吸速率急剧升高，以通过生物氧化**分解有毒物质**；

受伤时，通过旺盛的呼吸作用，**促进伤口愈合**，使伤口迅速木质化或栓质化，以阻止病菌的侵染

呼吸作用的加强还可**促进具有杀菌作用的绿原酸、咖啡酸的合成**。





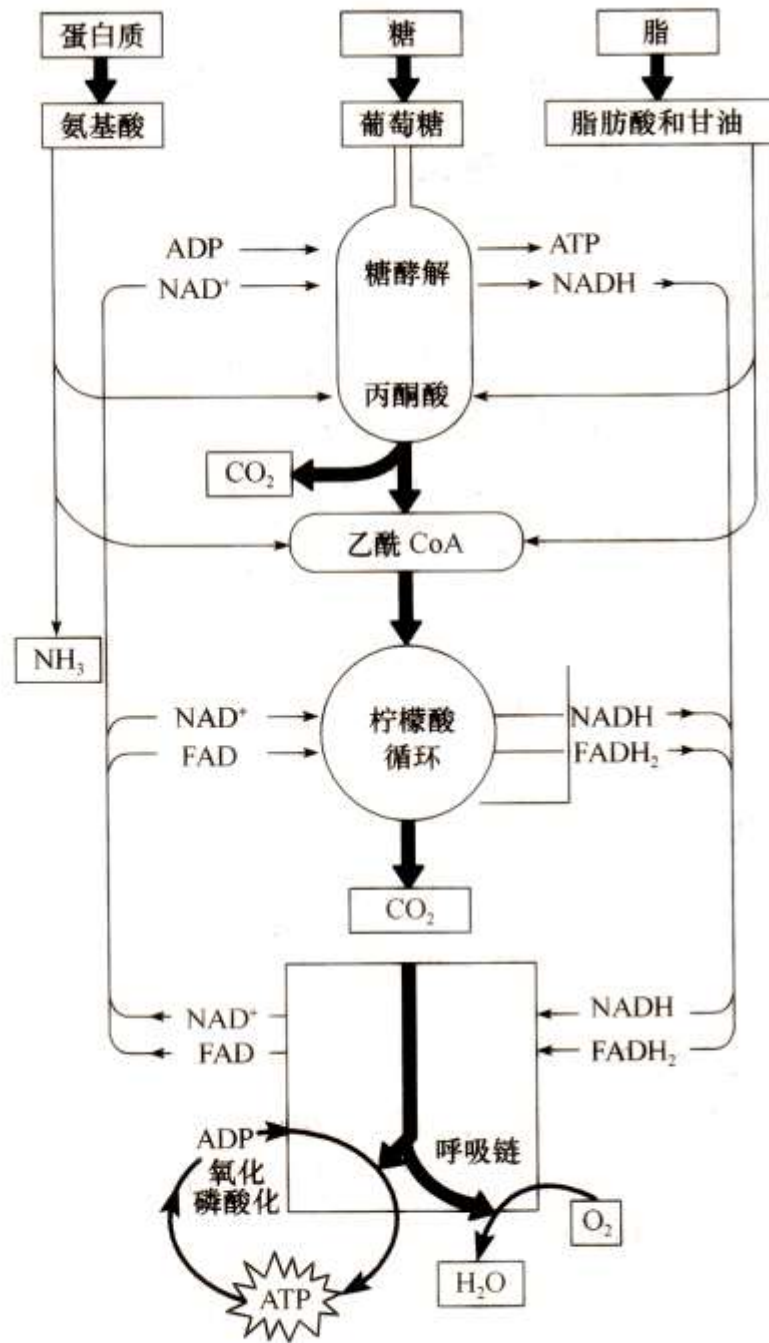
三、植物呼吸作用的总过程

植物呼吸作用的总过程：使有机物质逐步氧化分解并释放能量的过程，涉及到①物质转化和②能量转化两个方面。



物质转化

能量转化



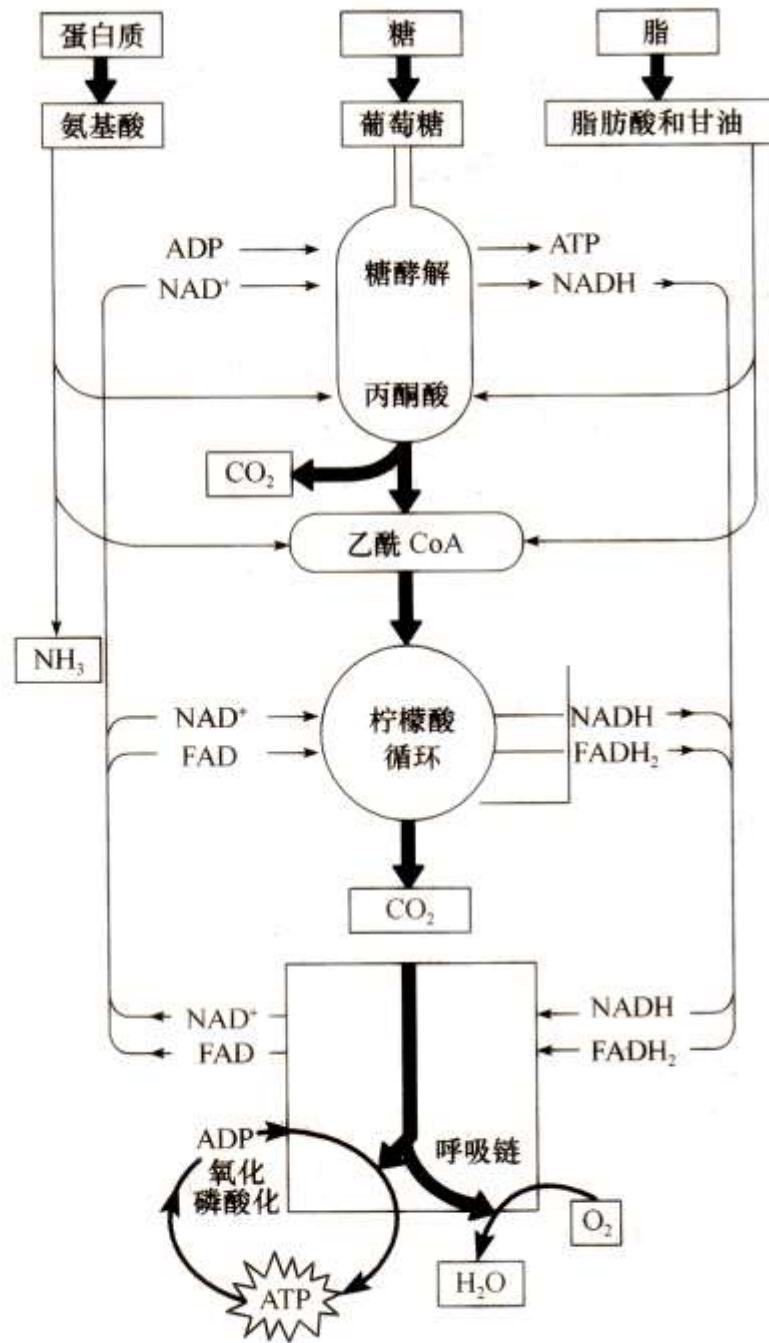
物质转化：表现在呼吸底物的逐步氧化降解。

能量转化：包括ATP的生成和热能的释放。

图 4-1 植物呼吸作用的全过程

物质
转化

能量
转化



呼吸底物(呼吸基质):
呼吸作用中,被氧化分解的有机物。

碳水化合物、脂肪、
蛋白质及有机酸都可作为**呼吸底物**。

图 4-1 植物呼吸作用的全过程

下一节：呼吸代谢途径

一、底物氧化降解途径

糖酵解途径

乙醇发酵和乳酸发酵

三羧酸循环

戊糖磷酸途径

脂肪氧化及乙醛酸循环途径

二、呼吸电子传递链和氧化磷酸化

呼吸电子传递链

氧化磷酸化

三、末端氧化酶类

物质转化

能量转化

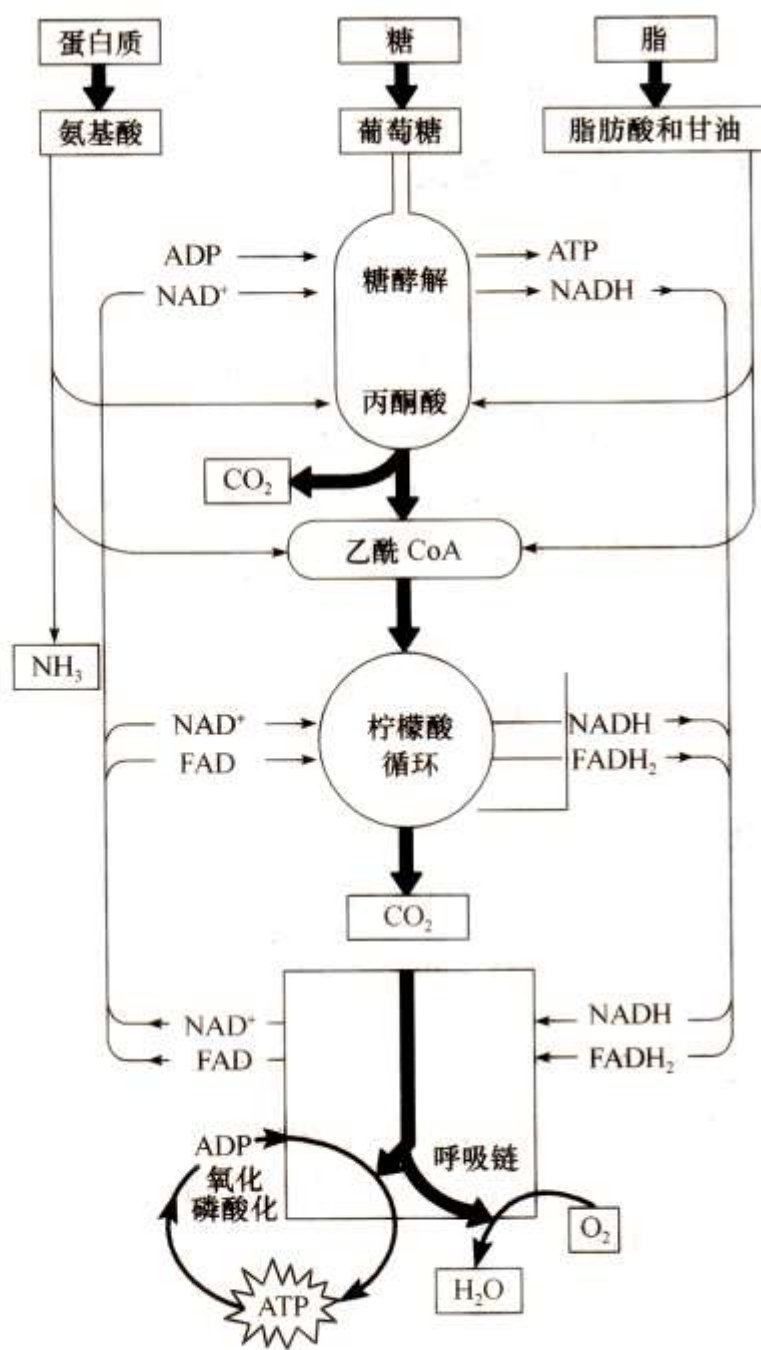


图 4-1 植物呼吸作用的全过程

第二节 呼吸代谢途径

- 一、底物氧化降解途径
- 二、呼吸电子传递链和氧化磷酸化
- 三、末端氧化酶类
- 四、呼吸代谢的多样性



一、底物氧化降解途径

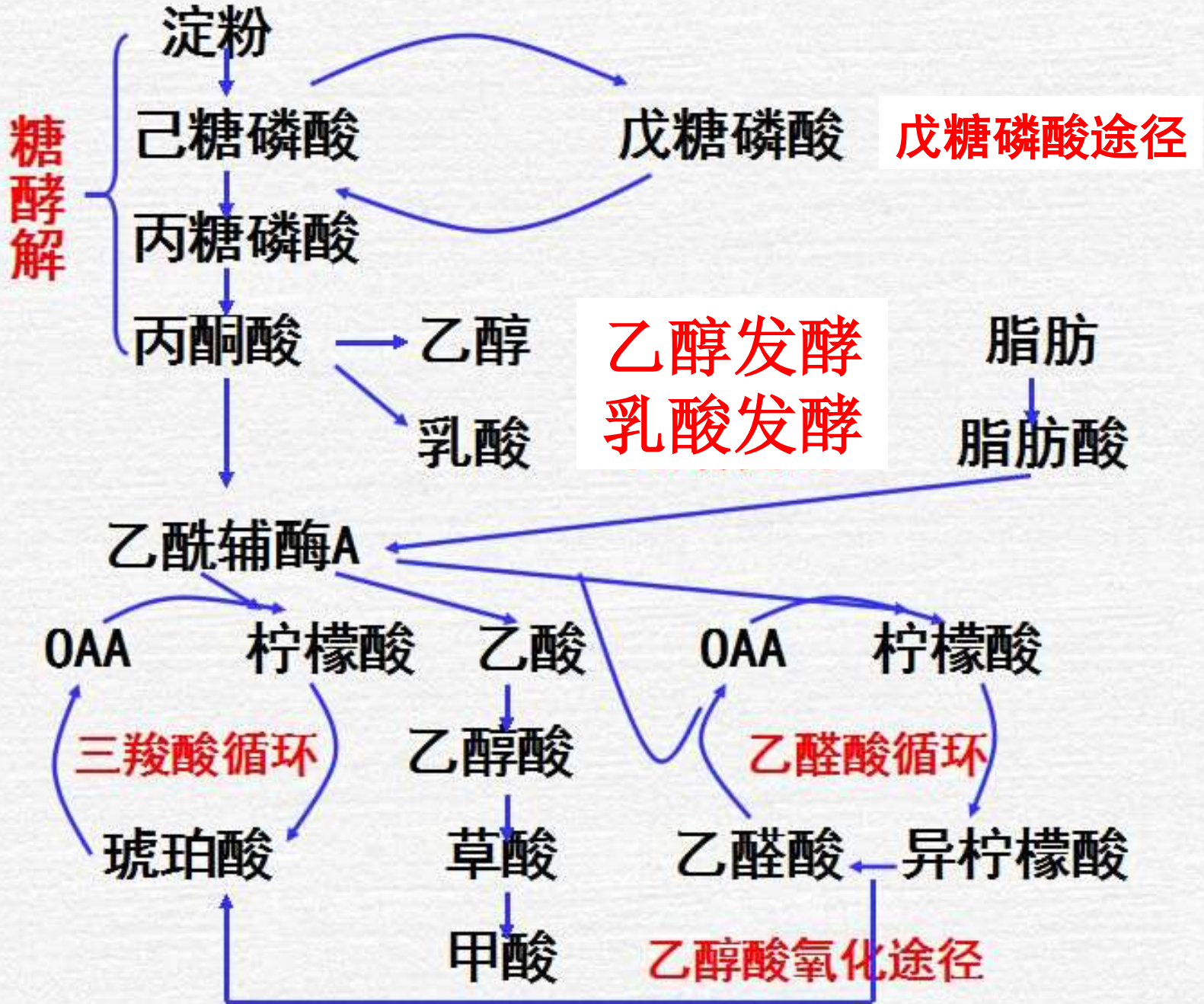
糖类物质是植物呼吸的主要底物，呼吸作用实际上是细胞内糖类物质逐步氧化降解的过程。

包括以下多种途径：

- 1、糖酵解途径 (EMP) --- 在**细胞质**进行
- 2、乙醇发酵和乳酸发酵 --- 在**细胞质**进行
- 3、三羧酸循环 (TCA) --- 在**线粒体**进行
- 4、戊糖磷酸途径 (PPP) --- 在**细胞质**进行
- 5、乙醛酸循环 --- 在**乙醛酸体、线粒体**进行



底物氧化降解多途径示意图



(一) 糖酵解(EMP)途径

糖酵解：指**淀粉、葡萄糖或果糖**在细胞质内一系列酶参与下，转变为**丙酮酸**的过程。

十步，4个阶段：

- (1) 葡萄糖的活化与异构化
- (2) 己糖裂解为丙糖磷酸
- (3) 甘油醛-3-磷酸的脱氢氧化
- (4) 贮能



十步，4个阶段：

(1) 葡萄糖的活化与异构化

葡萄糖

不可逆

1



葡萄糖-6-磷酸

2

果糖-6-磷酸

不可逆

3



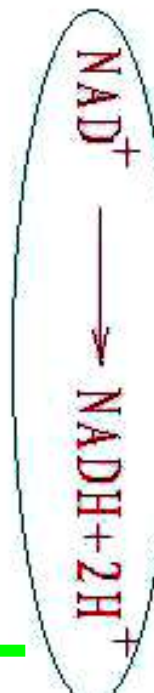
果糖-1,6-二磷酸

(2) 己糖裂解为丙糖磷酸

4

5

3-磷酸甘油醛 \rightleftharpoons 磷酸二羟丙酮



(3) 甘油醛-3-磷酸的脱氢氧化

1,3-二磷酸甘油酸



7

(4) 贮能

3-磷酸甘油酸

8

2-磷酸甘油酸

9

磷酸烯醇式丙酮酸



10

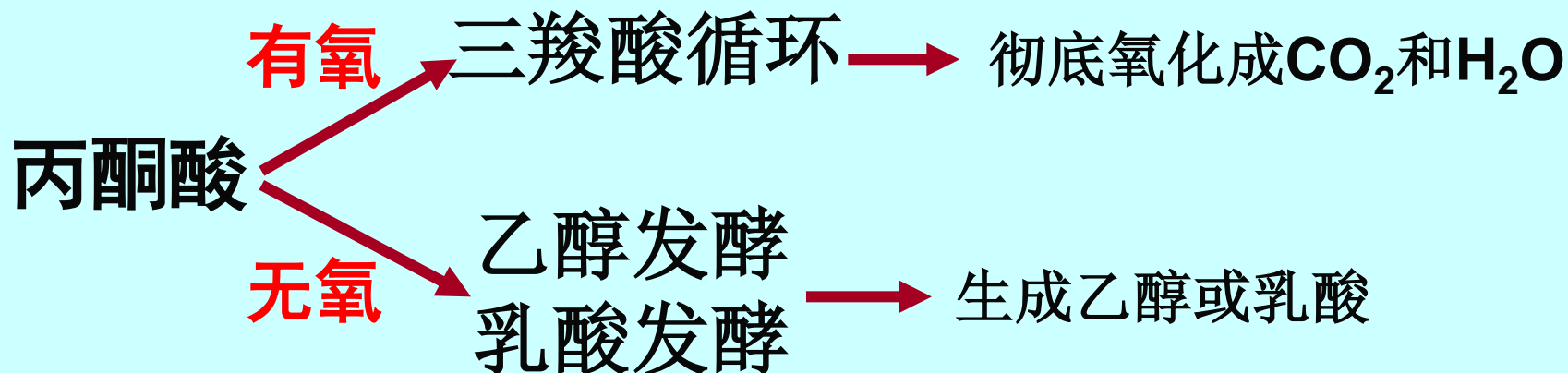
不可逆

丙酮酸

均为2分子

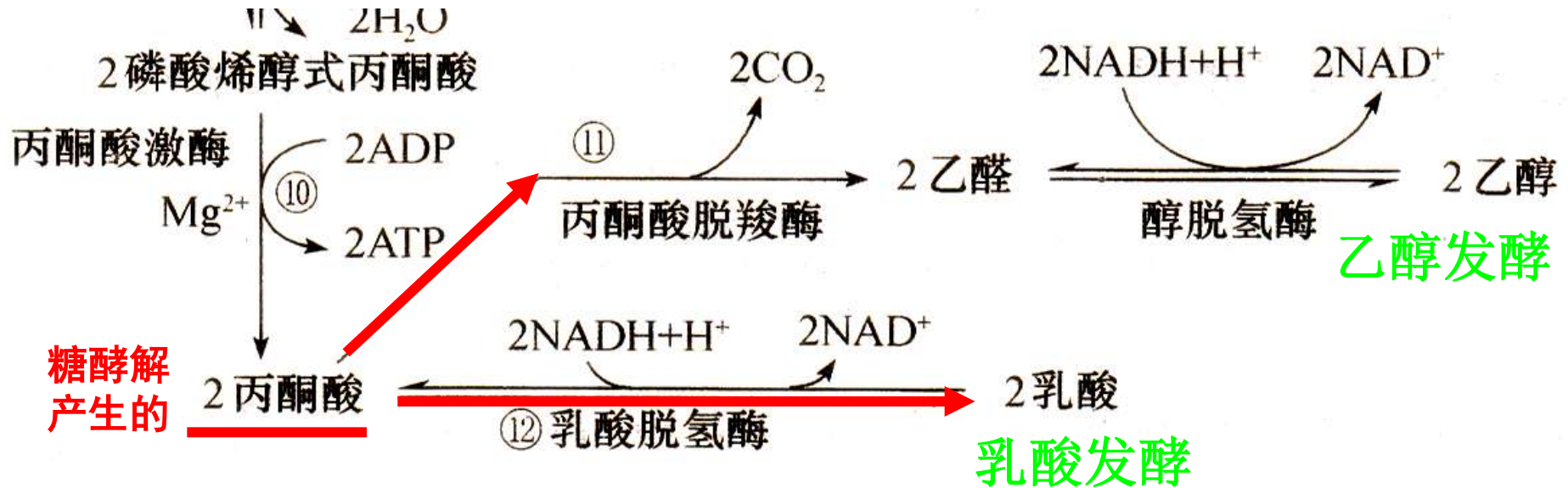
糖酵解的作用

- ①在淀粉、葡萄糖、果糖等转变为丙酮酸的过程中产生一些**中间产物**,通过它们可**与其他物质建立代谢联系**。
- ②糖酵解的底物水平磷酸化生成了少量**ATP**,同时生成了**还原力NADH**,NADH可在线粒体中被氧化生成ATP。
- ③糖酵解是有氧呼吸和无氧呼吸的共同途径。



(二) 乙醇发酵和乳酸发酵

在无氧条件下:

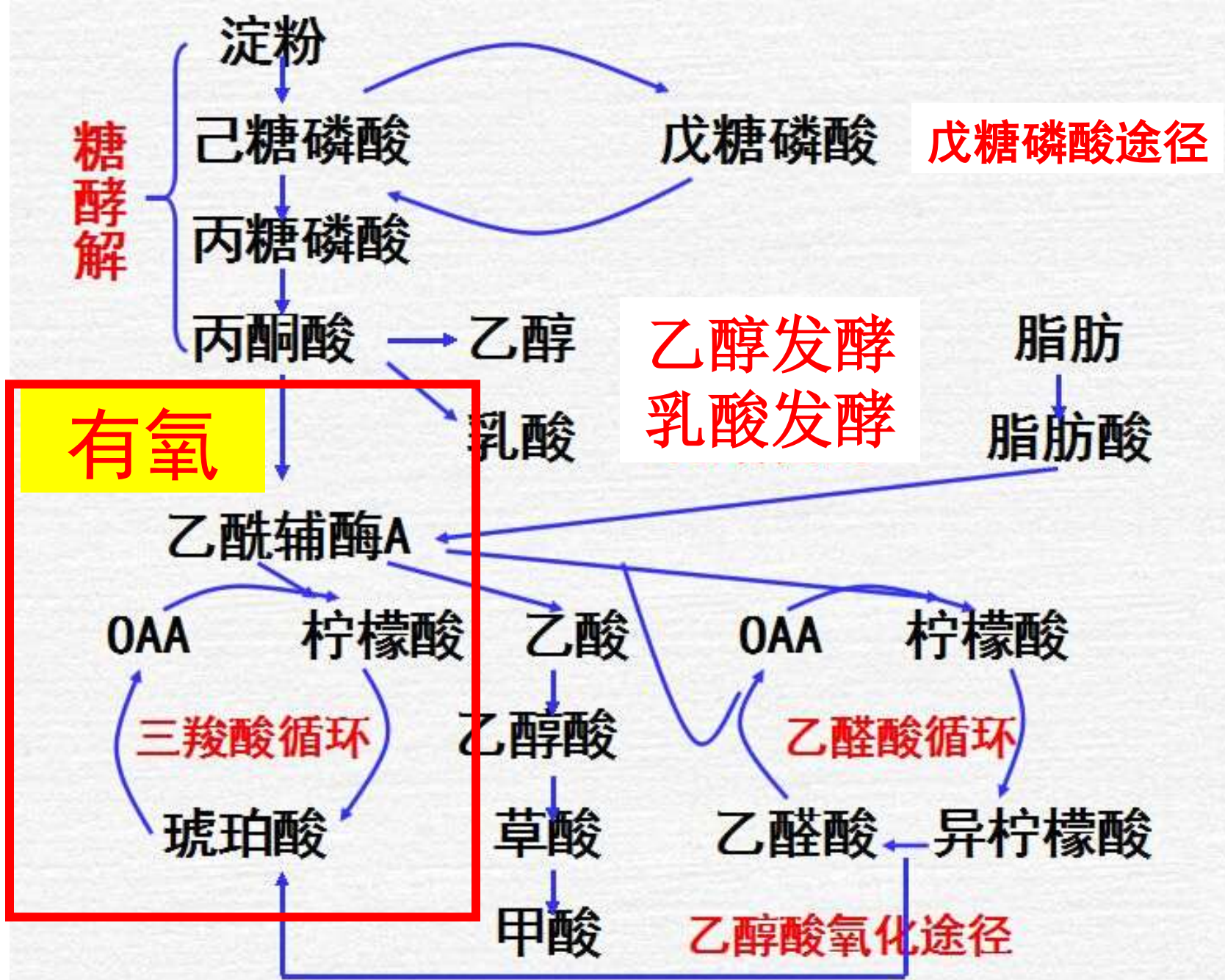


结论:

①从化学过程看,植物的无氧呼吸是糖酵解和乙醇发酵或乳酸发酵两段的总和。

②无氧呼吸的能量利用效率低,有机物损耗大。植物依赖无氧呼吸不可能长期维持生命活动。

底物氧化降解多途径示意图

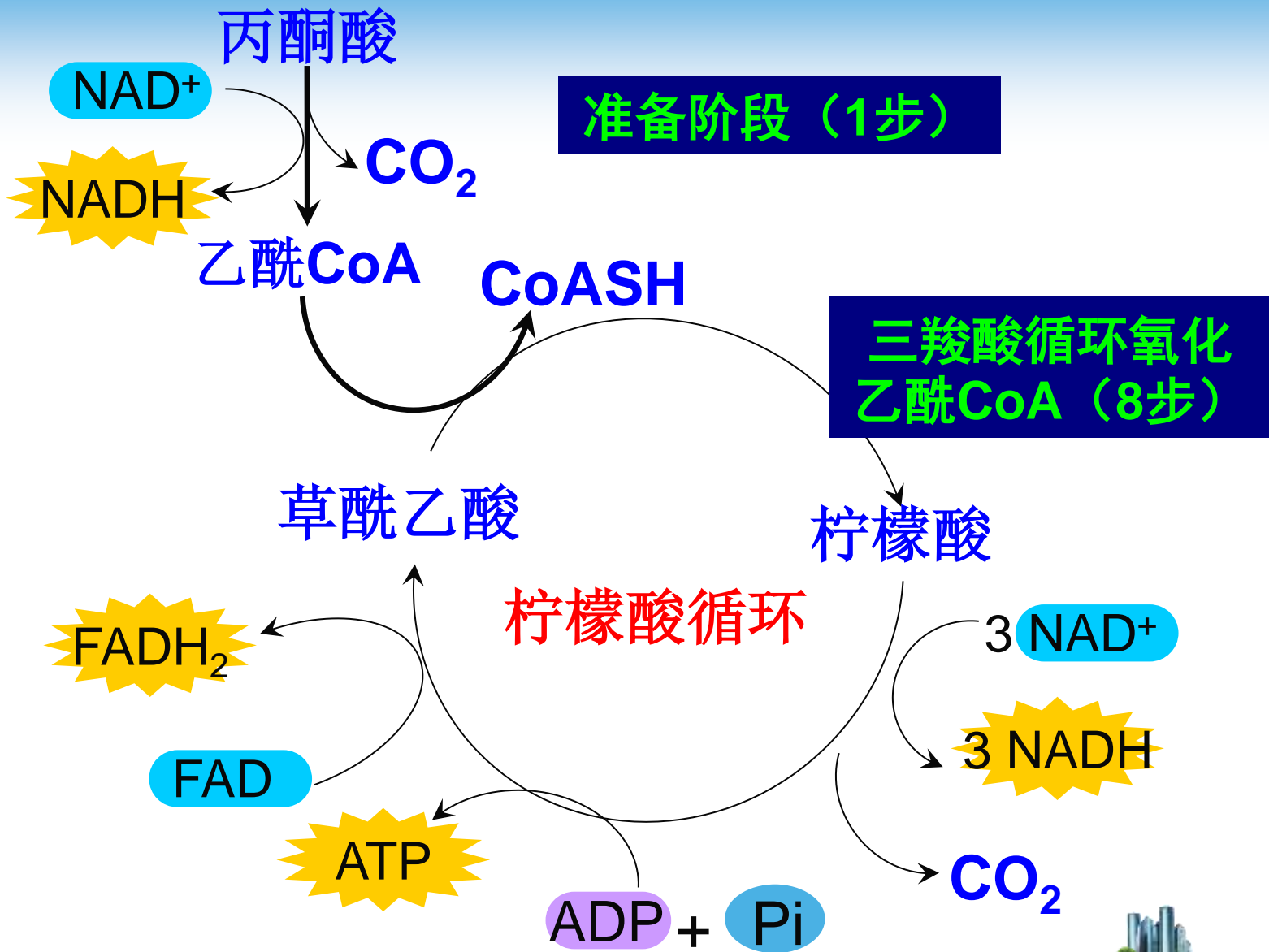


(三) 三羧酸循环 (TAC)

三羧酸循环：指在有氧条件下,糖酵解途径的最终产物**丙酮酸**进入线粒体,经过一个包括二羧酸和三羧酸的循环而完全氧化,形成 CO_2 与 H_2O 的过程。



三羧酸循环 (6步)

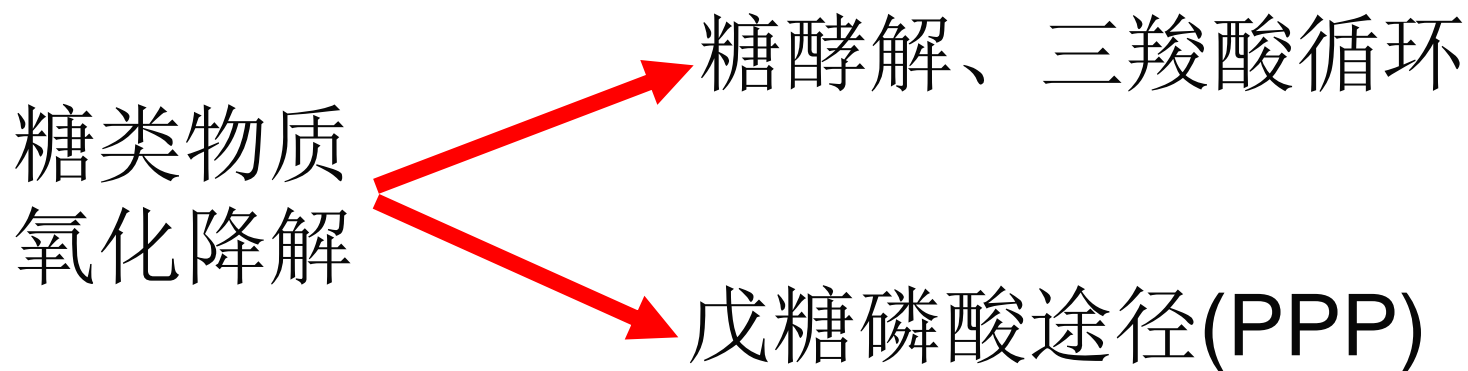


三羧酸循环的作用

- ①生成ATP、NADH和FADH₂,NADH和FADH₂通过氧化磷酸化作用生成大量的ATP,为植物生命活动提供足够的能量。
- ②是植物体内糖、脂肪、蛋白质和核酸及其他物质的共同代谢过程,这些物质降解为丙酮酸、乙酰CoA,都可以通过三羧酸循环彻底氧化分解。
- ③三羧酸循环产生许多中间产物又可以合成许多重要物质。



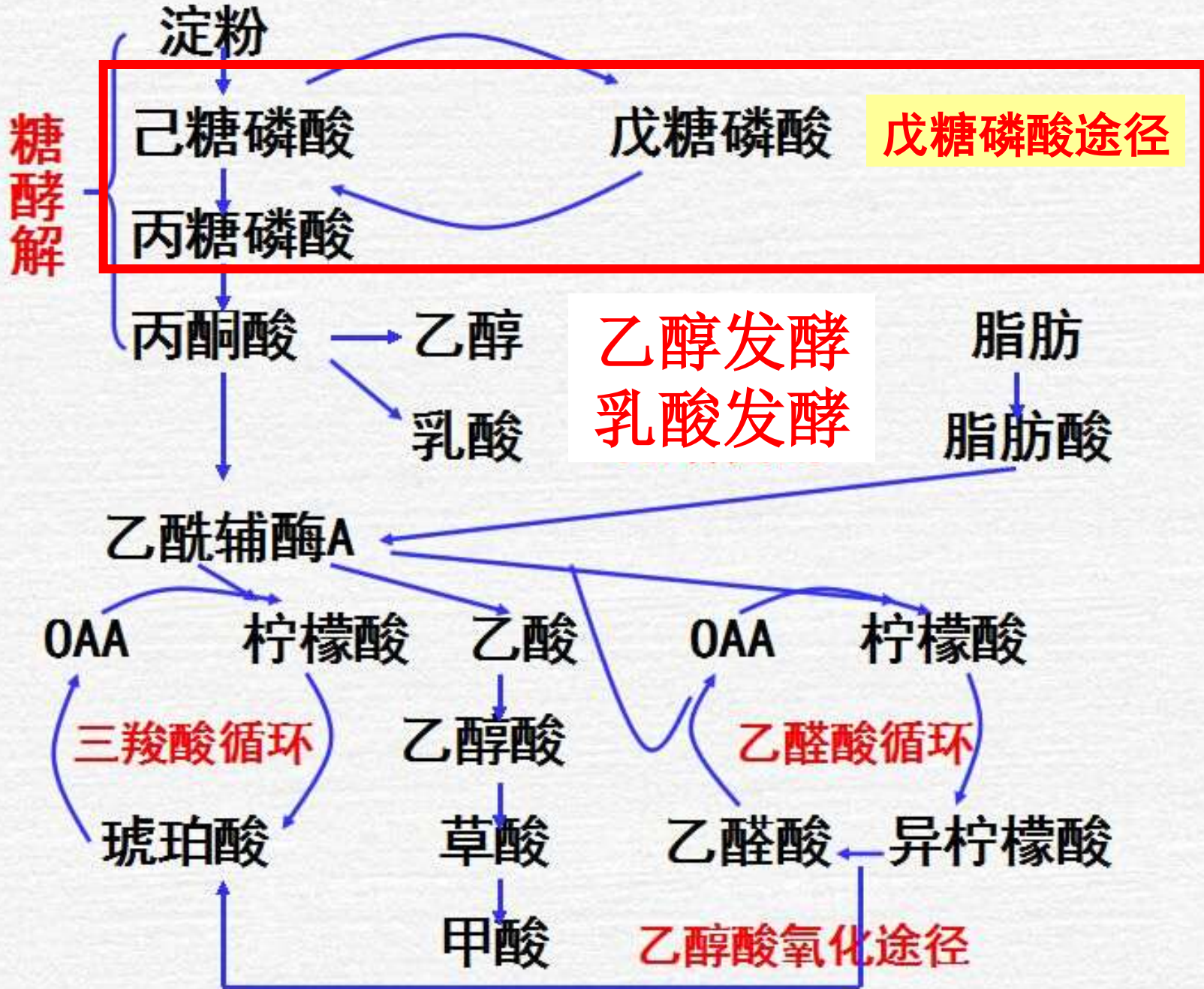
(四) 戊糖磷酸途径

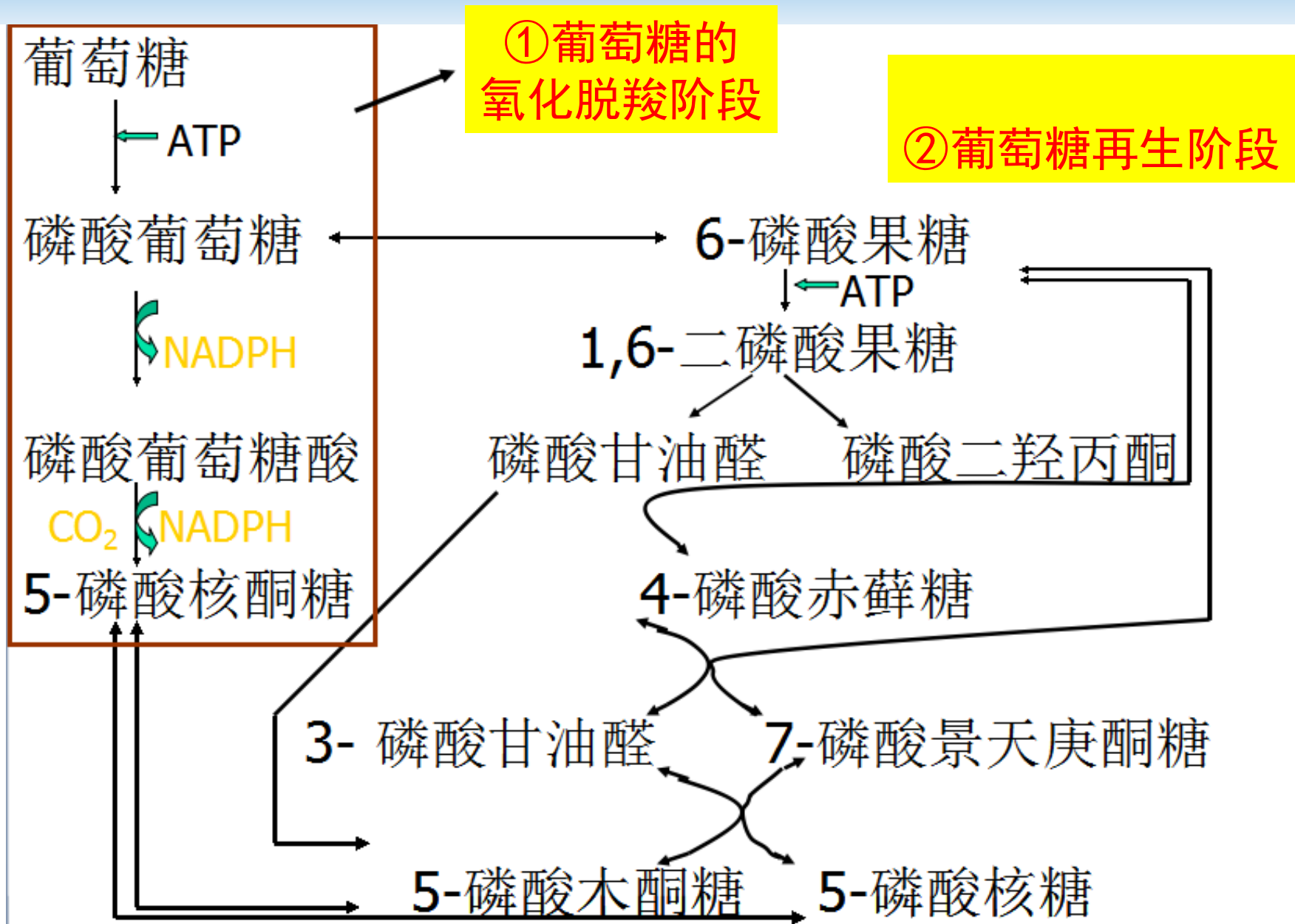


戊糖磷酸途径：指葡萄糖在细胞质内进行的直接氧化降解的酶促反应过程。



底物氧化降解多途径示意图





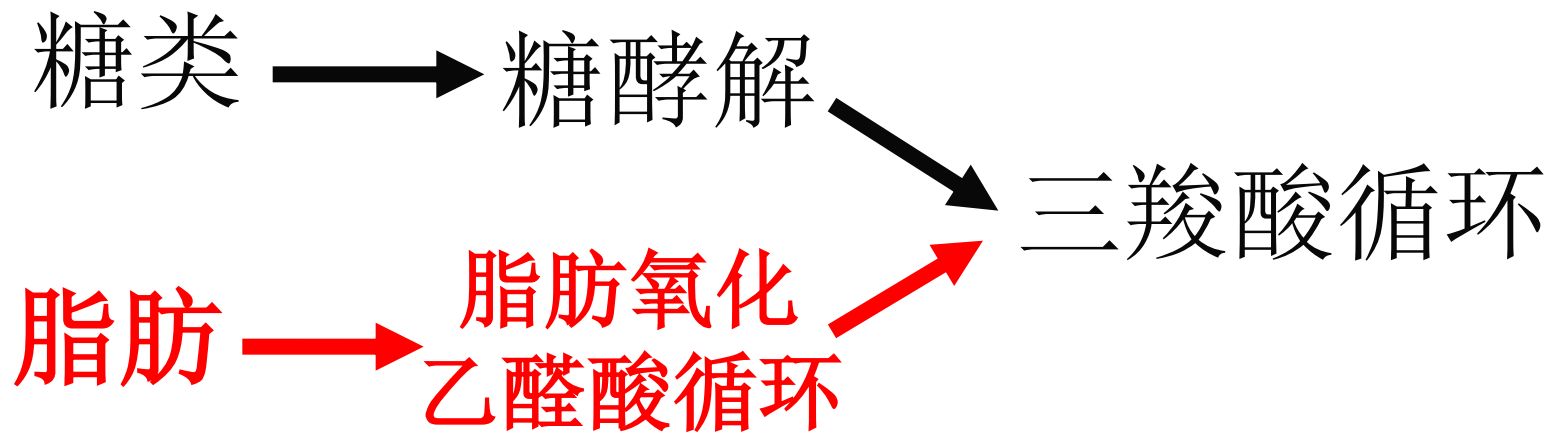
戊糖磷酸途径的作用

- (1) PPP是葡萄糖直接氧化过程，**有较高的能量转化效率。**
- (2) PPP产生大量的NADPH，**可作为主要供氢体，提供还原力。**
- (3) PPP产生的中间产物是**许多重要有机物质生物合成的原料。**
- (4) **提高植物的抗病力和适应力。**

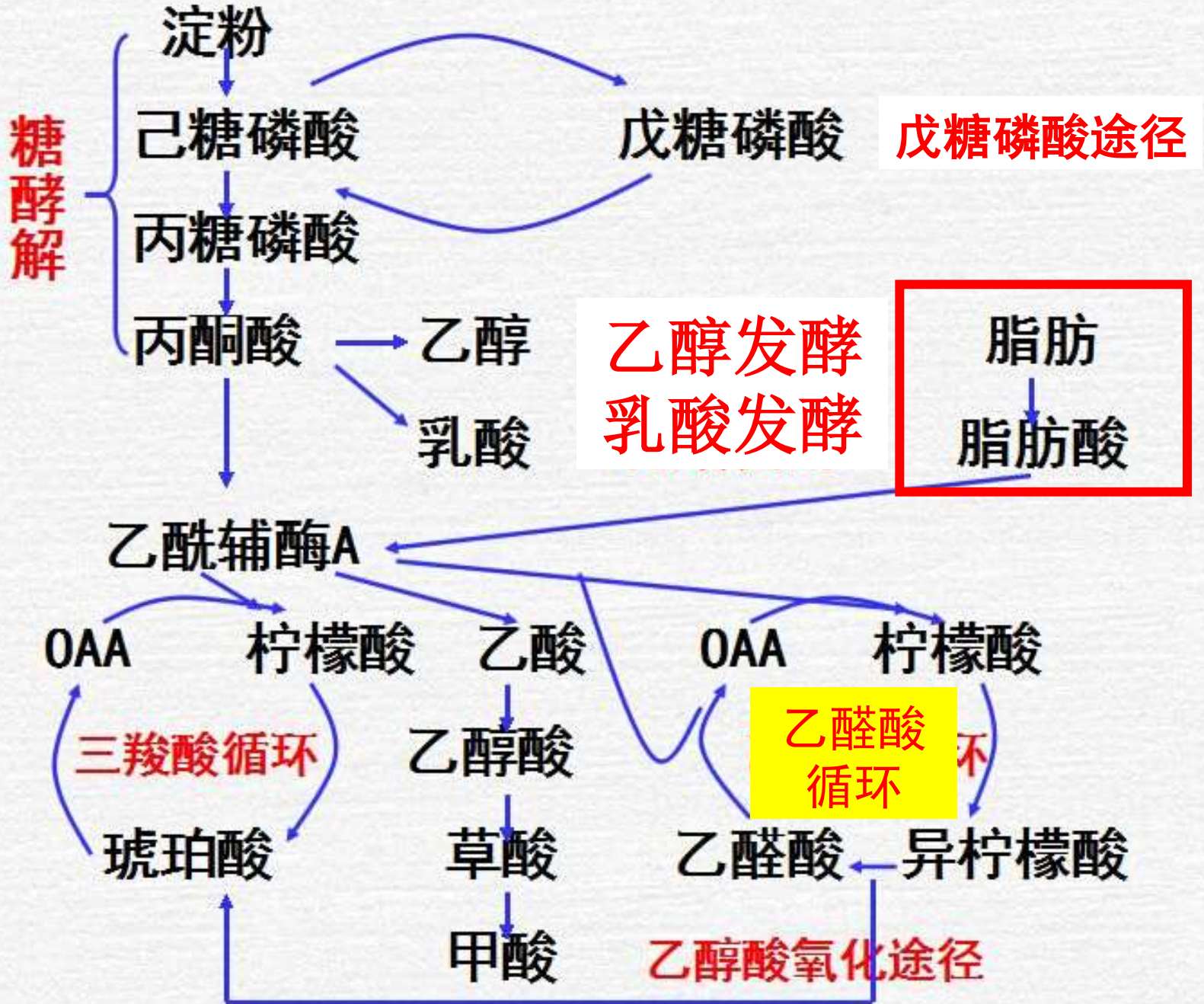


(五) 脂肪氧化及乙醛酸循环途径

糖类是植物呼吸作用的直接底物,而花生等油料作物种子贮存的**脂肪**在萌发时必须**转化为糖**才能被植物利用,这通过脂肪氧化及乙醛酸循环途径完成,被称为“**脂肪呼吸**”。



底物氧化降解多途径示意图



乙醛酸循环的作用

- ①使脂肪转化为糖,运输至幼苗中供给生长。
- ②分解脂肪, 提供能量。

乙醛酸循环体也随幼苗的生长而逐渐消失, 是油料种子萌发时特有的呼吸底物氧化途径。



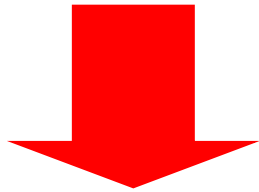
表 4-1 呼吸代谢底物氧化途径的比较

底物氧化途径	发生部位	底 物	主要终产物
糖酵解	细胞质	淀粉、葡萄糖或果糖	丙酮酸、NADH、ATP
发酵	细胞质	丙酮酸	CO ₂ 和乙醇或乳酸
三羧酸循环	线粒体	丙酮酸或乙酰 CoA	CO ₂ 、NADH、FADH、ATP
戊糖磷酸途径	细胞质	葡萄糖	CO ₂ 、NADPH
乙醛酸循环	乙醛酸体、线粒体	乙酰 CoA (脂肪酸)	草酰乙酸 (糖)、NADH、FADH

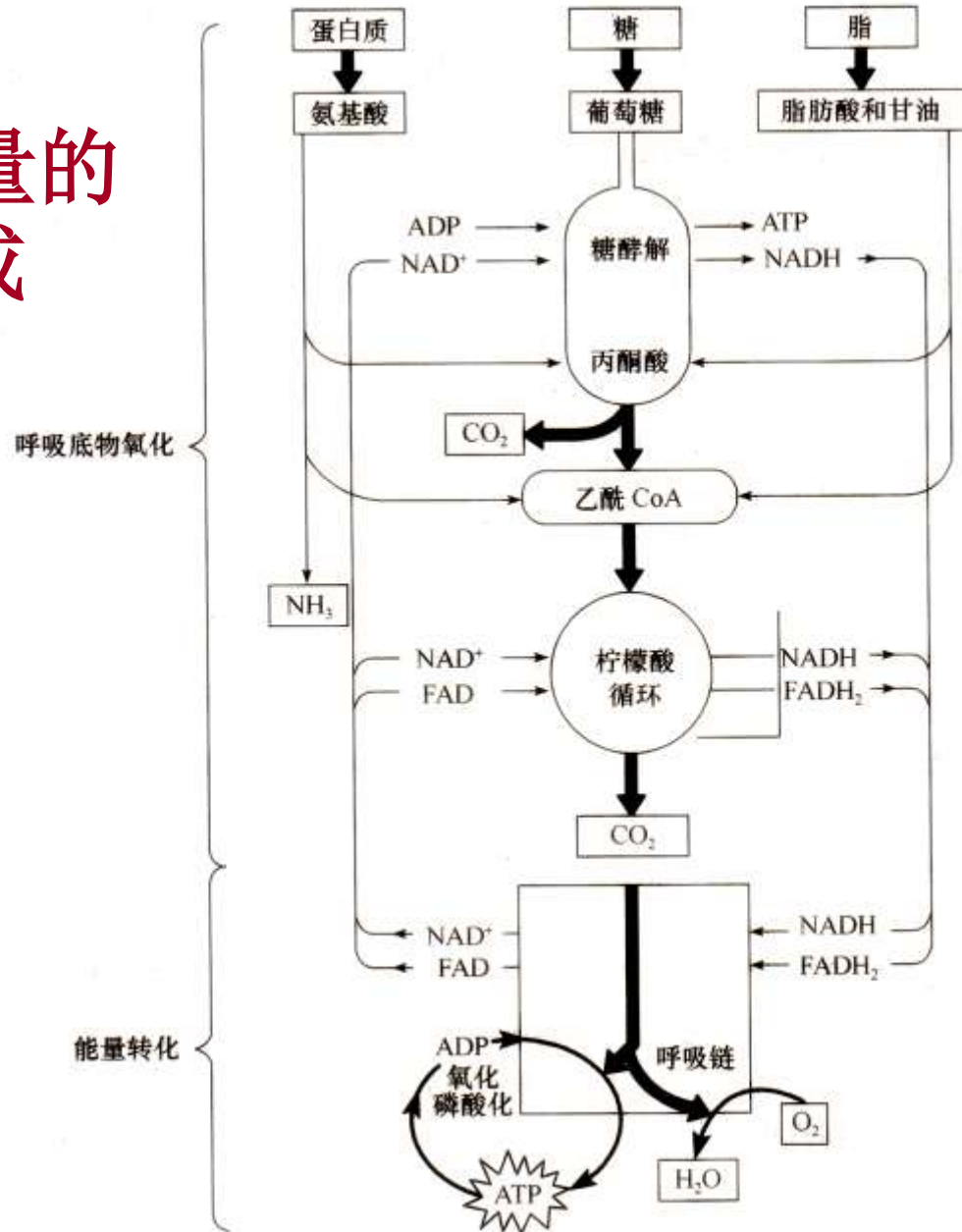


二、呼吸电子传递链和氧化磷酸化

底物氧化降解形成大量的还原型辅酶NADH或FADH。



进入电子传递链和氧化磷酸化生成ATP。



(一) 呼吸电子传递链

呼吸电子传递链(呼吸链): 是指呼吸底物氧化降解中脱下的H($H^+ + e$)或电子,按一定顺序排列的传递体传递到分子氧的总轨道。

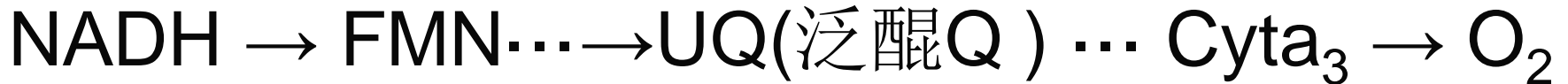
植物体内有多条电子传递链

其中主路有两条

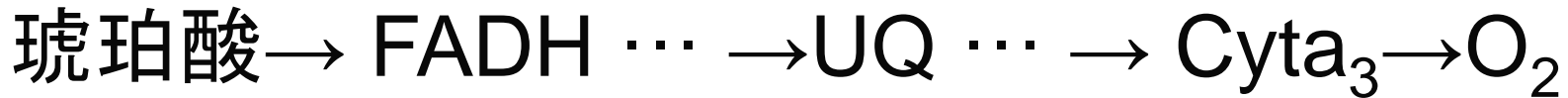


电子传递链的主路:

第①条称为NADH呼吸链:



第②条为称为FADH呼吸链:

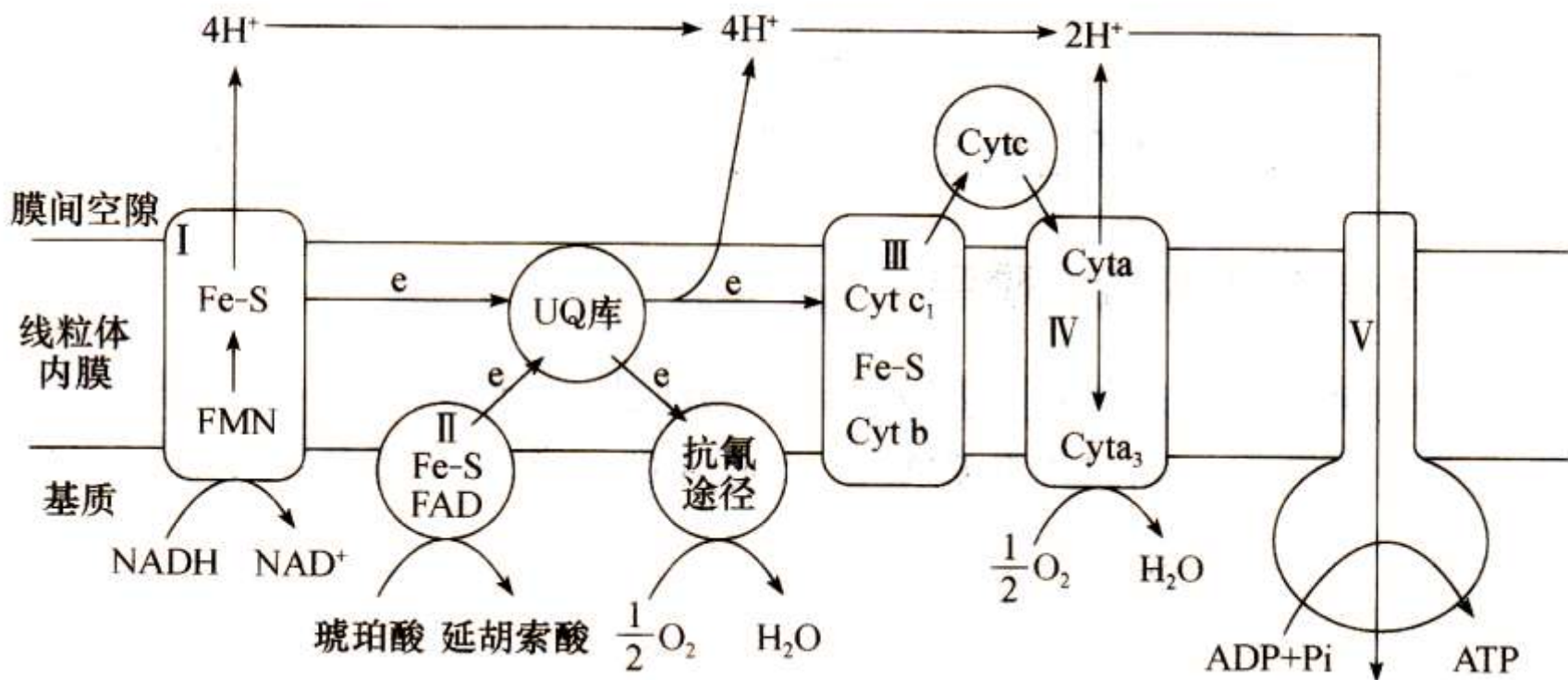


两条呼吸链在生物界分布最广,为植物、动物和微生物所共有。



(二) 氧化磷酸化

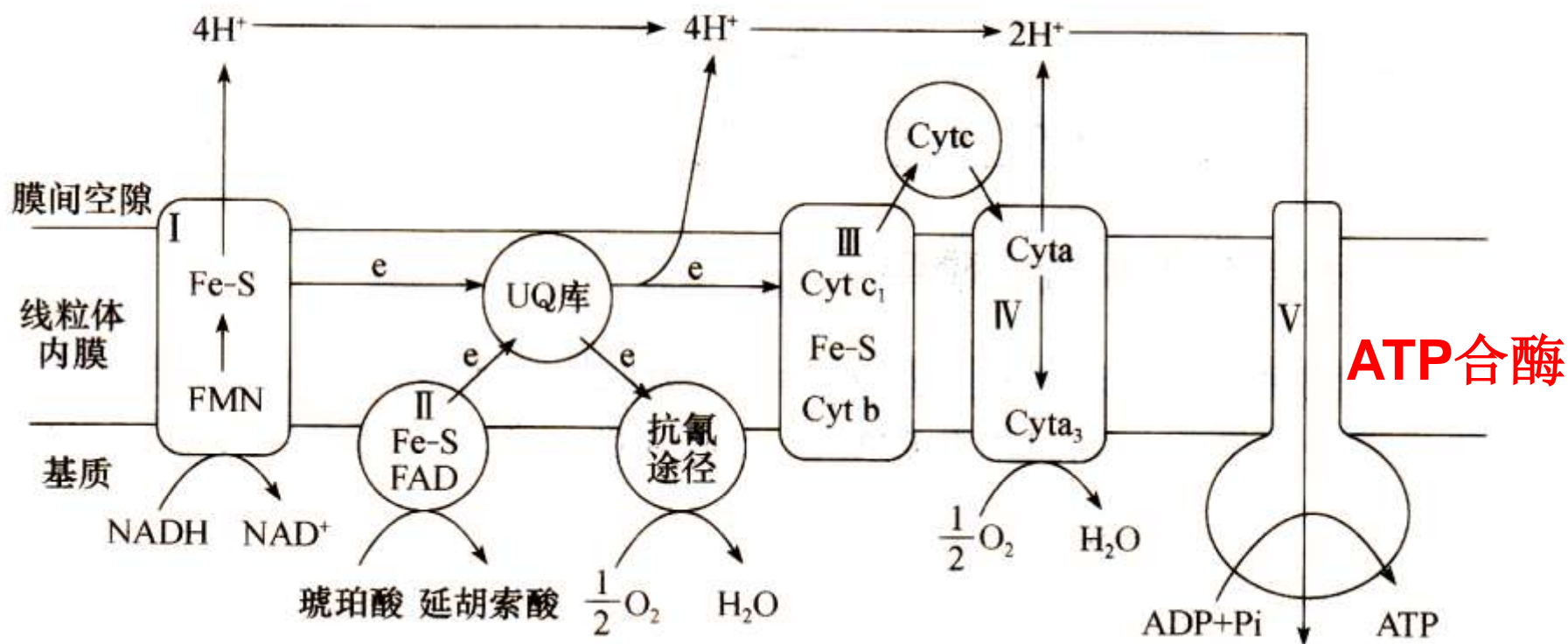
氧化磷酸化：氧化磷酸化是呼吸链电子传递过程中的磷酸化作用,也就是底物脱下的氢,经过呼吸链电子传递,氧化放能并伴随**ADP磷酸化生成ATP**的过程。



氧化磷酸化的机理

化学渗透学说：呼吸链电子传递所产生的跨膜质子动力是推动**ATP**合成的原动力。

电势梯度 (ΔH^+) \rightarrow 质子动力势 (pmf) $\xrightarrow{\text{ATP合酶}}$ 合成ATP



三、末端氧化酶类

末端氧化酶：催化将底物脱下的电子最终传给 O_2 ，并形成 H_2O 或 H_2O_2 的酶类。即处于呼吸链一系列氧化还原反应最末端，能活化分子氧的酶。

- 有的**存在于线粒体中**，本身就是电子传递体（如细胞色素氧化酶等）；
- 有的**存在于细胞基质和其它细胞器中**。

(一) 线粒体内的末端氧化酶

(1) 细胞色素氧化酶（线粒体中）

- ▲位于线粒体内膜电子传递链复合体Ⅳ上，承担细胞内约80%的耗氧量；
- ▲该酶与 O_2 的亲合力极高；
- ▲在幼嫩组织中较活跃。



(2) 交替氧化酶（线粒体中）

▲位于线粒体内膜。

▲对氰化物不敏感。

抗氰呼吸的生理意义：

(1) 放热反应

释放大量热量对产热植物**早春开花**有保护作用；
有利于种子萌发。

(2) 促进果实成熟

某些果实成熟时由乙烯诱导产生的**呼吸跃变**现象，
主要为抗氰呼吸增强所致。

(二) 线粒体外的末端氧化酶

酚氧化酶（质体和微体中）

▲对 O_2 的亲合力中等，受氰化物抑制。包括**单酚氧化酶（酪氨酸酶）**和**多酚氧化酶（儿茶酚氧化酶）**。

功能：催化 O_2 将酚氧化成醌并生成 H_2O （即电子传给醌→酚→ O_2 ，生成 H_2O ）。

▲对植物组织起保护作用。

正常情况下，酚氧化酶与底物是分开的，组织受伤时，酶与底物接触、发生反应。如苹果、土豆等削皮后出现的褐色。



酚氧化酶在生产、生活中的应用：

- ⑩ 将土豆丝浸泡在水中（起隔绝氧和稀释酶及底物的作用），抑制其变褐；
- ⑩ 制绿茶时把采下的茶叶立即焙炒杀青，破坏多酚氧化酶，以保持其绿色；
- ⑩ 制红茶时，则要揉破细胞，通过多酚氧化酶的作用将茶叶中的酚类氧化，并聚合为红褐色的物质。



四、呼吸代谢多样性

植物在长期进化过程中对多变环境的适应表现。

(1) 底物氧化降解的多途径

不同环境条件下，植物呼吸底物的氧化降解可走不同的途径。**缺氧**条件下植物可通过**糖酵解、乙醇发酵或乳酸发酵**进行无氧呼吸；**有氧**条件下进行**三羧酸循环和戊糖磷酸途径**，植物**染病**时**戊糖磷酸途径**加强。



(2) 电子传递途径的多条

植物处于正常情况下，主要以NADH和FADH呼吸链提供能量，当某些植物开花或某些种子萌发时则以抗氰呼吸链提供热能，植物受到创伤时，酚氧化酶催化的呼吸链加强。

(3) 末端氧化酶的多种

不同的末端氧化酶对 O_2 的亲合力不同，细胞色素氧化酶对氧的亲合力最强，因此在低氧浓度情况下仍能发挥良好的作用。而抗坏血酸氧化酶和乙醇酸氧化酶的亲合力弱，则可在较高氧浓度下顺利发挥作用。

