

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

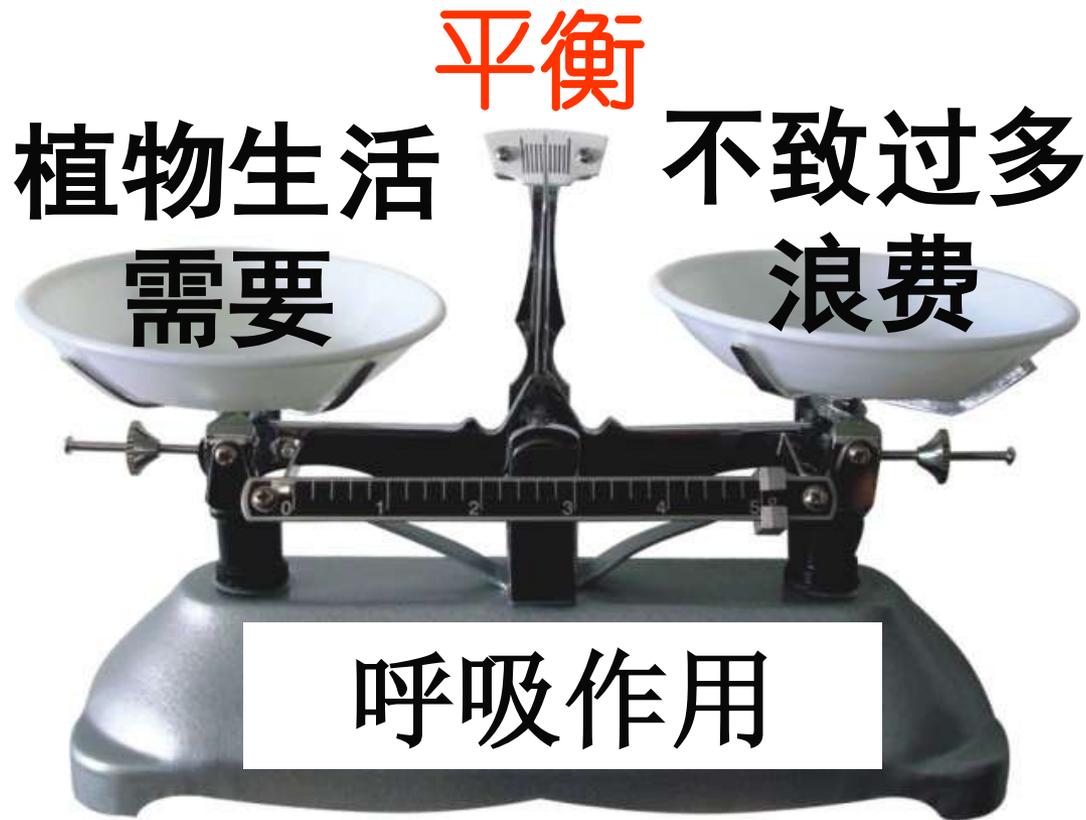
第三节 呼吸作用的调控

第四节 影响呼吸作用的因素

第五节 呼吸作用与农业生产



第三节 呼吸作用的调控



平衡需要调控，如何调控？

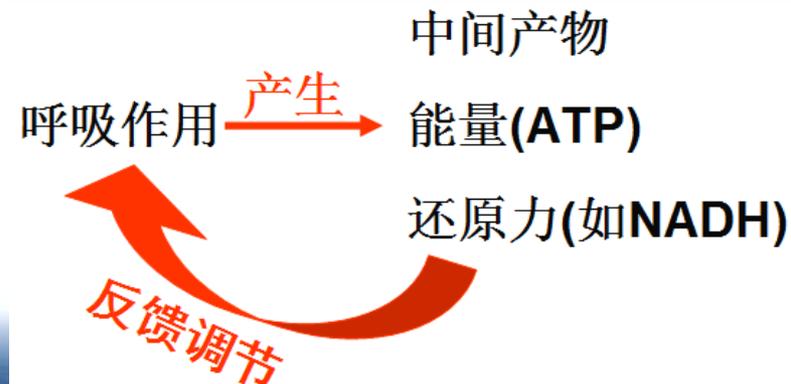


呼吸作用是一系列**酶**促反应过程



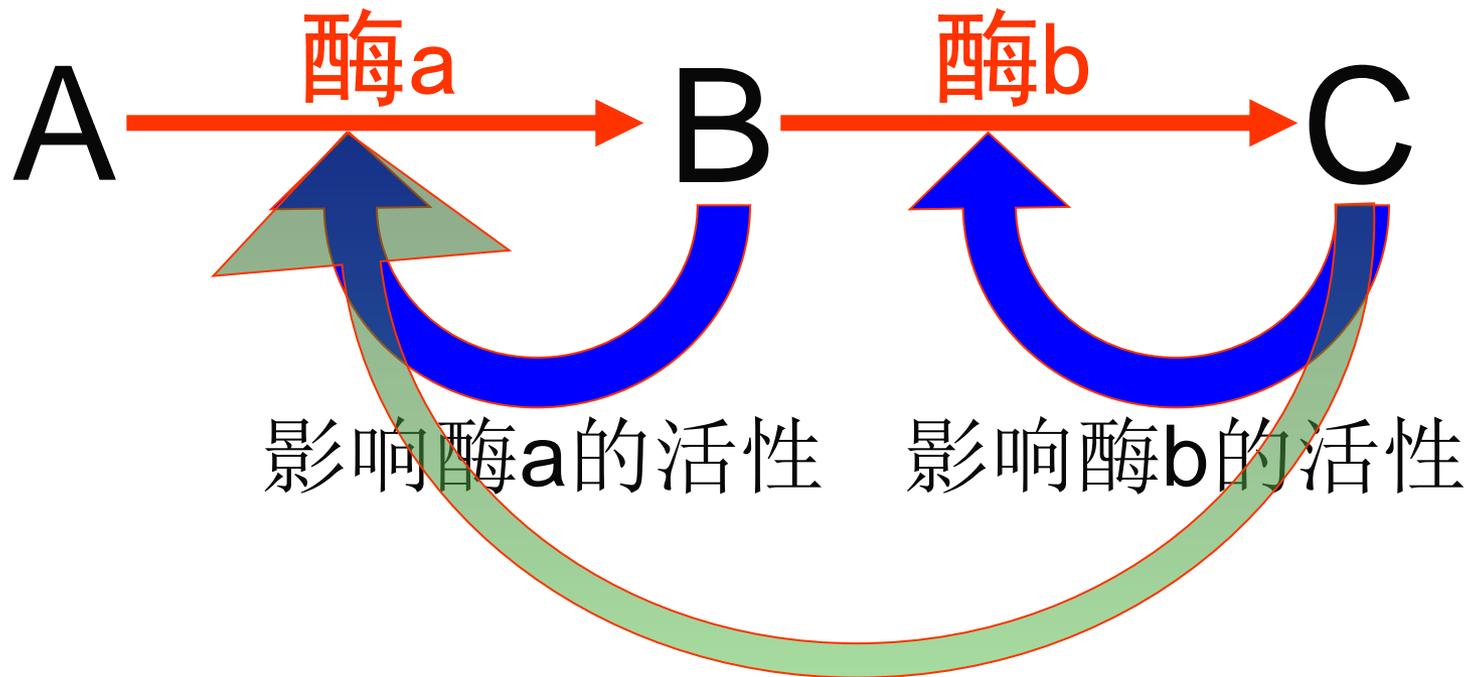


- 一、**代谢产物**对呼吸作用的反馈调节
- 二、**能荷**对呼吸作用的调节
- 三、**NAD⁺/NADH和NADP⁺/NADPH**对呼吸作用的调节



一、代谢产物对呼吸作用的反馈调节

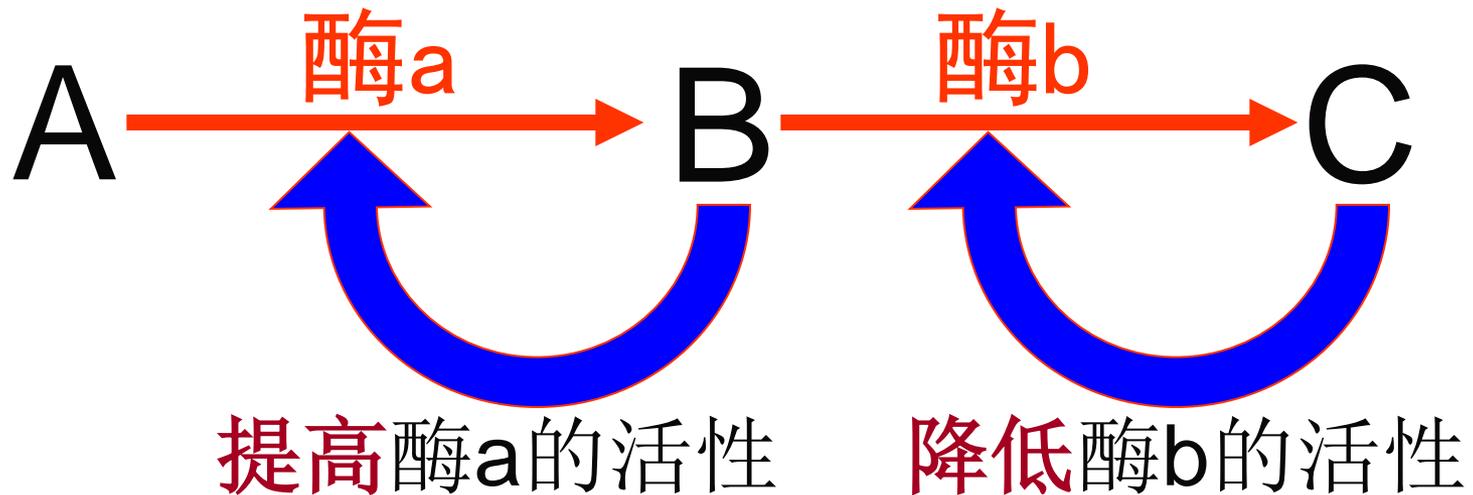
反馈调节：指反应体系中的某些**中间产物或终产物**对其前面某一步反应速度的影响。



一、代谢产物对呼吸作用的反馈调节

正反馈：使反应速度加快的反馈；

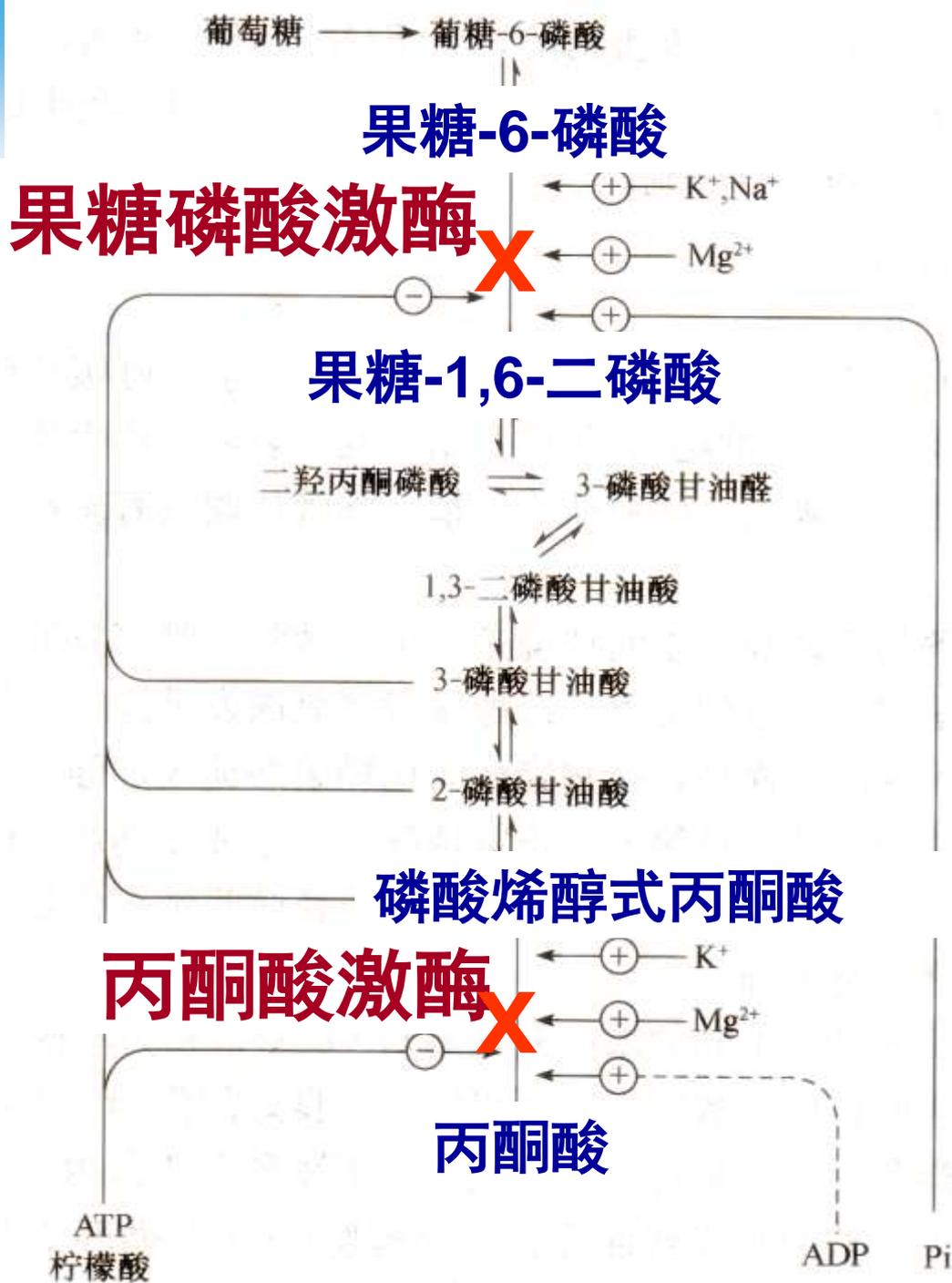
负反馈：使反应速度减慢的反馈。



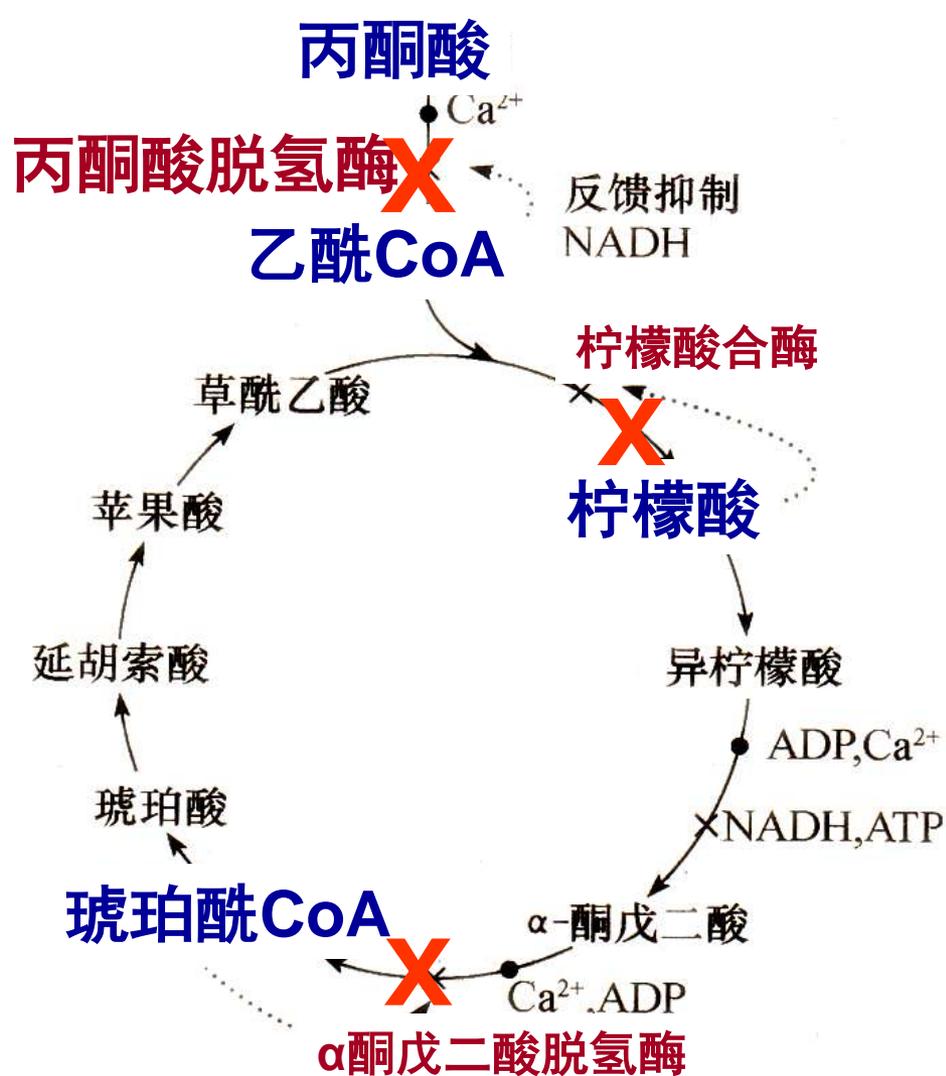
糖酵解

果糖磷酸激酶
在起始部位控制
着糖酵解。

果糖磷酸激酶
和丙酮酸激酶是糖
酵解的关键酶。



三羧酸循环



三羧酸循环关键酶:

丙酮酸脱氢酶

柠檬酸合酶

α 酮戊二酸脱氢酶

图 4-10 三羧酸循环中激活和抑制部位示意图

- 代表激活部位；×代表抑制部位；
- ...代表反馈抑制

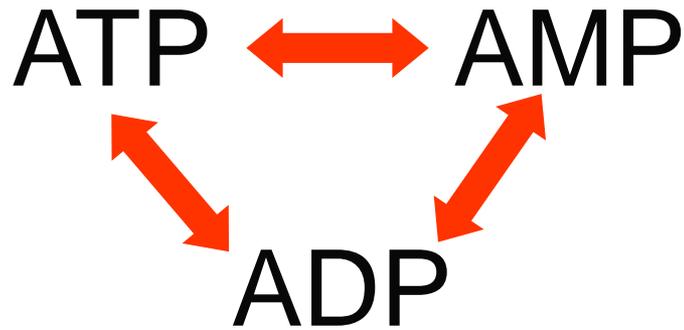
二、能荷对呼吸作用的调节

能荷(energy charge,EC): 细胞中由ATP在全部腺苷酸中所占有的比例。

能荷调节: 能荷对呼吸代谢的调节。

$$EC = \frac{[ATP] + \frac{1}{2}[ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]}$$





$$EC = \frac{[ATP] + \frac{1}{2}[ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]}$$

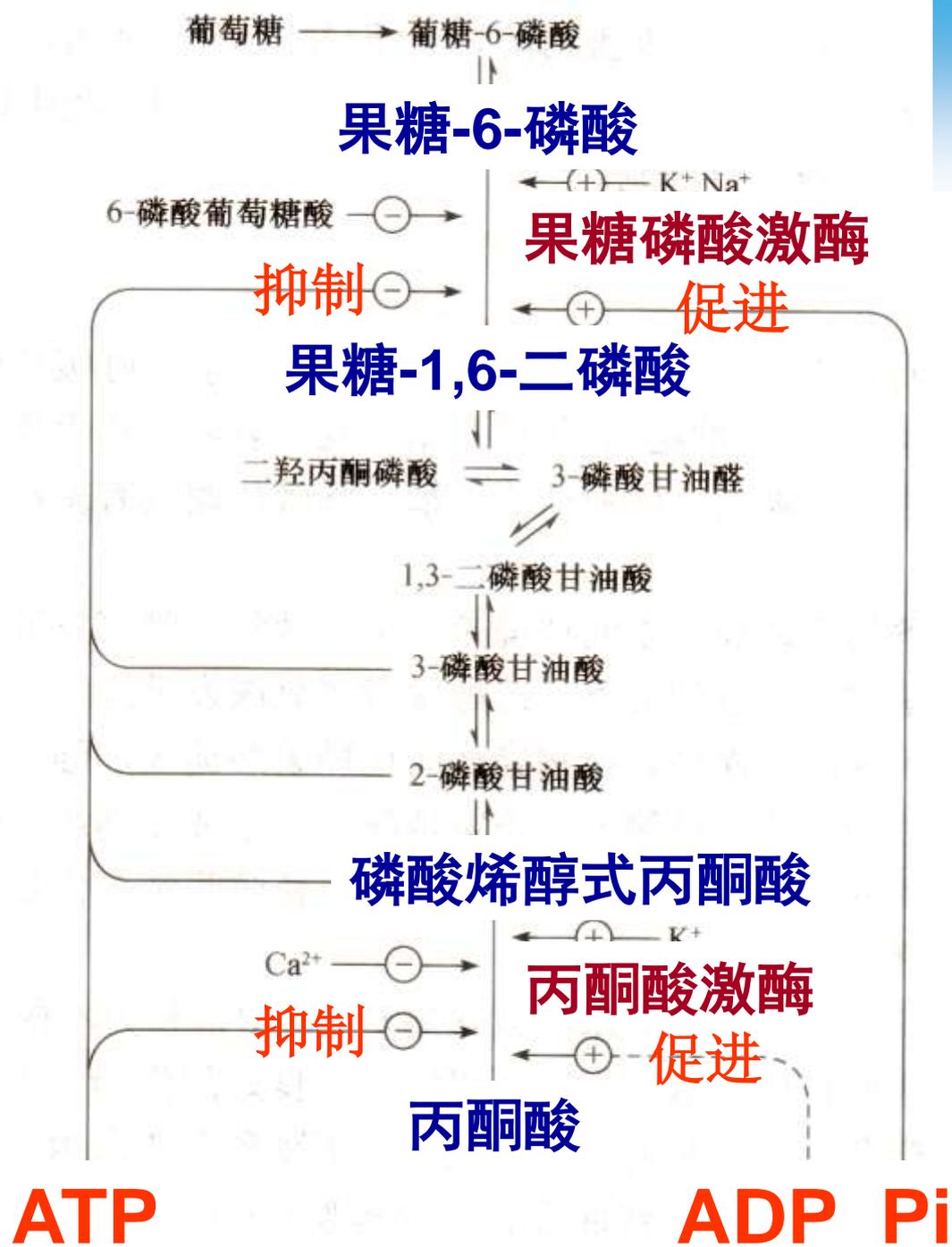
- ①当细胞中全部腺苷酸都是ATP时, 能荷为1;
- ②全部是AMP时, 能荷为0;
- ③全部是ADP时, 能荷为0.5。

活细胞的能荷一般稳定在**0.85~0.95**。

通过**能荷对呼吸代谢的调节实现**

糖酵解

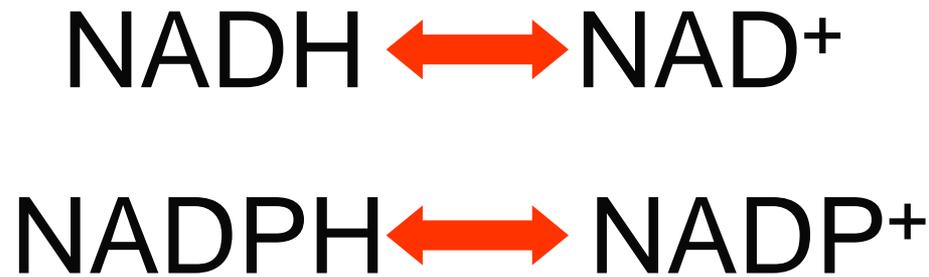
ATP是抑制效应物
ADP是激活效应物



三、NAD⁺/NADH和NADP⁺/NADPH对呼吸作用的调节

糖酵解和三羧酸循环生成NADH，戊糖磷酸途径生成NADPH，而NADH和NAD⁺、NADPH和NADP⁺常以一定的比例存在。

一般说来，还原性辅酶NADH和NADPH是负效应物，对呼吸酶活性起抑制作用；氧化型辅酶NAD⁺和NADP⁺是正效应物，对呼吸酶活性起促进作用。



第四节 影响呼吸作用的因素

一、呼吸作用的指标

二、影响呼吸速率的内部因素

三、影响呼吸速率的外部因素



一、呼吸作用的指标

(一) 呼吸速率 (**respiratory rate**)

(二) 呼吸商 (**respiratory quotient, RQ**)



(一) 呼吸速率 (respiratory rate)

又称呼吸强度 (respiratory intensity) :

单位时间内单位鲜重或干重植物组织释放的 CO_2 或吸收 O_2 的量。单位有： $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ， $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ， $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 等。

花>叶

代谢活动旺盛的组织>休眠组织



(二) 呼吸商 (respiratory quotient, RQ)

又称呼吸系数 (respiratory coefficient) :

植物组织在一定时间内, 释放 CO_2 与吸收 O_2 的数量比值。

$$RQ = \frac{\text{释放CO}_2\text{的量}}{\text{吸收O}_2\text{的量}}$$

RQ是反映呼吸①底物性质和②氧气供应状态的一种指标。



1、呼吸底物的性质

(1) 呼吸底物为**糖类** (G) 而又完全氧化时, 呼吸商(RQ)为 **1**。



$$\text{RQ} = 6\text{CO}_2 / 6\text{O}_2 = 1$$



(2) 若呼吸底物是富含氢的物质，
如**蛋白质或脂肪**，则呼吸商(RQ)**小于1**。

以棕榈酸为例



$$\text{RQ} = 4\text{CO}_2 / 11\text{O}_2 = \mathbf{0.36}$$



(3) 若呼吸底物是富含氧的物质，
如**有机酸**，则呼吸商(RQ)**大于1**。

如以苹果酸为例：



$$\text{RQ} = 4\text{CO}_2 / 3\text{O}_2 = \mathbf{1.33}$$



2、氧气供应状态

若糖类在缺氧情况下进行**酒精发酵**，呼吸商**大于1**，异常的高；

$$RQ = \frac{\text{释放CO}_2\text{的量}}{\text{吸收O}_2\text{的量}}$$

若呼吸底物**不完全氧化**，释放的CO₂少，，呼吸商**小于1**。

如G不完全氧化成苹果酸：



$$RQ = 2\text{CO}_2 / 3\text{O}_2 = 0.67$$

影响呼吸速率的因素

▲ 内部因素(植物自身)

▲ 外部因素(环境)



二、影响呼吸速率的内部因素

(一) 不同植物种类，呼吸速率不同。

植物种类	呼吸速率 (氧气, 鲜重) $\mu\text{l} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
仙人掌	3.00
蚕豆	96.60
小麦	251.00
细菌	10 000.00

生长快的植物 > 生长慢的植物

(二) 同一植株不同器官呼吸速率不同

生长旺盛的幼嫩器官>年老的器官

生殖器官>营养器官

雌蕊>雄蕊>花瓣与花萼

叶片>茎秆>根



(三) 植株处于不同生理状态其呼吸速率不同

染病植株和创伤植株>正常植株
(与合成抗病物质和提供能量有关)

正常叶片>饥饿叶片
向阳叶>遮阴叶
(与呼吸底物含量有关)



三、影响呼吸速率的外部因素

(一) 温度

(二) 水分

(三) 氧气

(四) 二氧化碳

(五) 机械损伤和病原菌侵染



(一) 温度

温度主要是影响**呼吸酶**的活性而影响呼吸速率。

在最低点与最适点之间，呼吸速率随温度升高而加快，超过最适点，呼吸速率随温度升高而下降。



三基点	定义	特性
最低温度	能进行呼吸的温度低限，一般植物为0 °C左右	低于光合和生长最低温度，在此温度时植物不生长，但生命仍维持，呼吸作用的最低温度也是生命的最低温度。
最适温度	保持 稳态 的最高呼吸速率的温度，一般植物为25~35°C	高于光合和生长最适温度，处于此温度，净光合积累由于呼吸消耗而减少，对生长不利。
最高温度	能进行呼吸的温度高限，一般植物为35~45°C	短时间内可使呼吸速率较最适温度高，但时间稍长后，呼吸速率就会急剧下降，这是因为高温加速了酶的钝化或失活。
不同的植物三基点不同：热带植物 > 温带 > 寒带植物		



温度系数(Temperature coefficient, Q_{10}): 温度升高 10°C 所引起的呼吸速率增加的倍数。

$$Q_{10} = (t+10)^{\circ}\text{C时的呼吸速率} / t^{\circ}\text{C时的呼吸速率}。$$

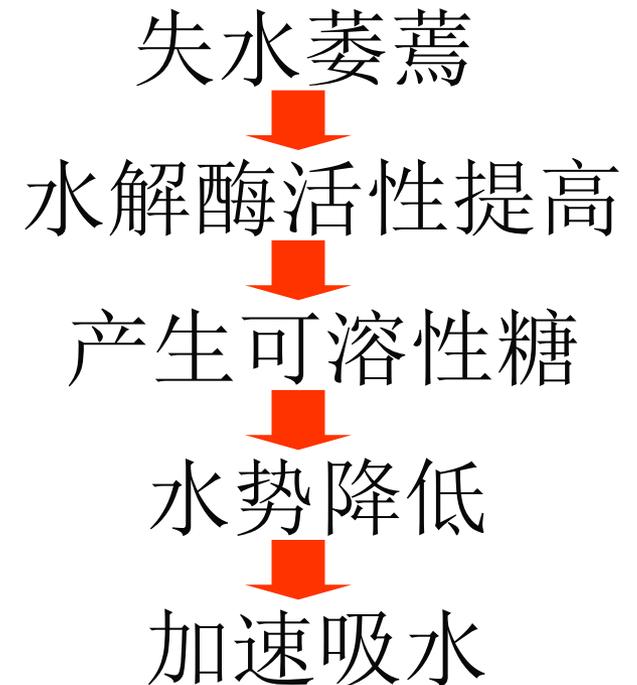
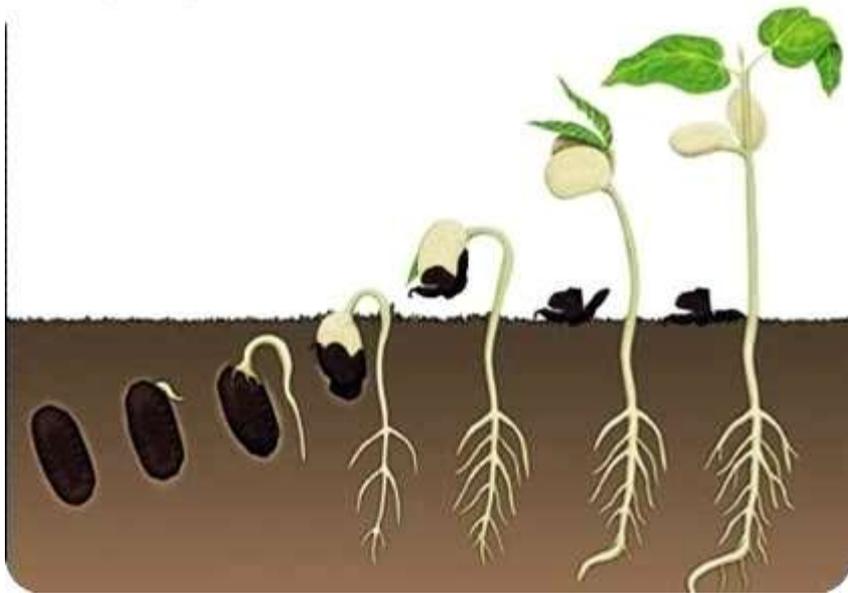
一般而言， $0-35^{\circ}\text{C}$ 生理温度范围内 Q_{10} 为2-2.5，但超过 $35-40^{\circ}\text{C}$ ，温度越高呼吸速率下降越快($Q_{10} < 1$)。

◆ **种子的低温贮藏:** 利用低温下呼吸减弱以减少呼吸消耗，但不能太低到破坏植物组织的程度。



(二) 水分

- ◆干种子呼吸很微弱，当其吸水后呼吸速率迅速增加。
- ◆当受干旱接近萎蔫时呼吸速率有所增加，而在萎蔫时间较长时呼吸速率则会下降。



(三) 氧气

➤ 氧是有氧呼吸的必要条件，缺氧条件下植物进行无氧呼吸，随 O_2 浓度的提高，有氧呼吸上升，无氧呼吸减弱直至消失。

◆ 氧浓度影响着呼吸速率

70-100%植物中毒；土壤 O_2 浓度低于5%根有氧呼吸受限

◆ 氧浓度影响着呼吸类型

缺氧条件下植物进行无氧呼吸



◇无氧呼吸的消失点

在低氧浓度时, 逐渐增加氧, 无氧呼吸会随之减弱, 直至消失。无氧呼吸停止进行时的氧浓度称为**无氧呼吸的消失点**。

如: 苹果果实的消失点约为**9%**。

●无氧呼吸的启动并不意味着有氧呼吸完全终止

在组织内部, 由于细胞色素氧化酶对 O_2 的亲合力极高, 当内部氧浓度为大气氧浓度时的**0.05%**时有氧呼吸仍可进行。



◇氧饱和点:

随着氧浓度的增高，有氧呼吸也增加，此时呼吸速率也增加，但氧浓度增加到一定程度时对呼吸作用就没有促进作用。此氧浓度称为**呼吸作用的氧饱和点**。

在常温下许多植物在大气氧浓度(21%)下即表现饱和。一般温度升高，氧饱和点也提高。



(四) 二氧化碳

- 二氧化碳是呼吸作用的最终产物，当外界环境中二氧化碳浓度增高时，脱羧反应减慢，呼吸作用受到抑制。
- 当 CO_2 的含量增加到3%~5%时，对呼吸有一定的抑制。这种效应可在果蔬、种子贮藏中加以利用。



- 土壤中由于植物根系的呼吸特别是微生物的呼吸作用会产生大量的二氧化碳，如土壤板结通气不良，积累的二氧化碳可达4%~10%，甚至更高，如不及时进行中耕松土，就会使植物根系呼吸作用受阻。
- 一些植物（如豆科）的种子由于种皮限制，使呼吸作用释放的CO₂难以释出，种皮内积累高浓度的CO₂会抑制呼吸作用，从而导致种子休眠。





(五) 机械损伤和病原菌侵染

机械损伤

机械损伤明显促进组织的呼吸作用。

可能的原因是：

- ◆ 破坏氧化酶与呼吸底物间的分隔，如酚在受伤与酶接触而迅速被氧化；
- ◆ 损伤使一些细胞脱分化为分生组织或愈伤组织；
- ◆ 需更多的中间产物以形成新的细胞。





病原菌的侵染

植物组织感病后呼吸增加.

原因可能有:

- ◆ 宿主受体细胞的线粒体增多;
- ◆ 线粒体被激活, 电子传递系统的某些酶活性增强;
- ◆ 氧化酶活性增强, 如多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶的活性增强;
- ◆ 抗氰呼吸增强, 戊糖磷酸途径加强。



第五节 呼吸作用与农业生产

一、呼吸作用与作物产量与品质

作物产量主要来自光合作用积累的有机物质，而呼吸作用是分解有机物，因此作物产量的高低也与呼吸作用有关。

在农业生产上，适当降低呼吸作用有助于提高作物产量。早稻灌浆期正处于高温季节，稻田管理上灌“跑马水”降温，降低呼吸消耗，有利于籽粒成熟。



甜



洛浦观景 摄影



吐鲁番的葡萄

新疆哈密瓜



甜



二、呼吸作用与作物栽培



◆ 改善土壤通气条件

增加氧的供应，分解还原物质，使根系呼吸旺盛，生长良好，根系发达。

- ◇ 作物生长过程中常常需中耕松土，
- ◇ 需挖深沟(埋暗管)以降低地下水位，
- ◇ 水稻移栽后的露田和晒田。

◆ 调节温度

- ◇ 寒潮来临时及时灌水保温。
- ◇ 早稻灌浆成熟期正处高温季节，可以灌“跑马水”降温，以减少呼吸消耗，有利于种子成熟。





松土





三、呼吸作用与粮食贮藏

种子内部发生的呼吸作用强弱和所发生的物质变化，将直接影响种子的生活力和贮藏寿命。

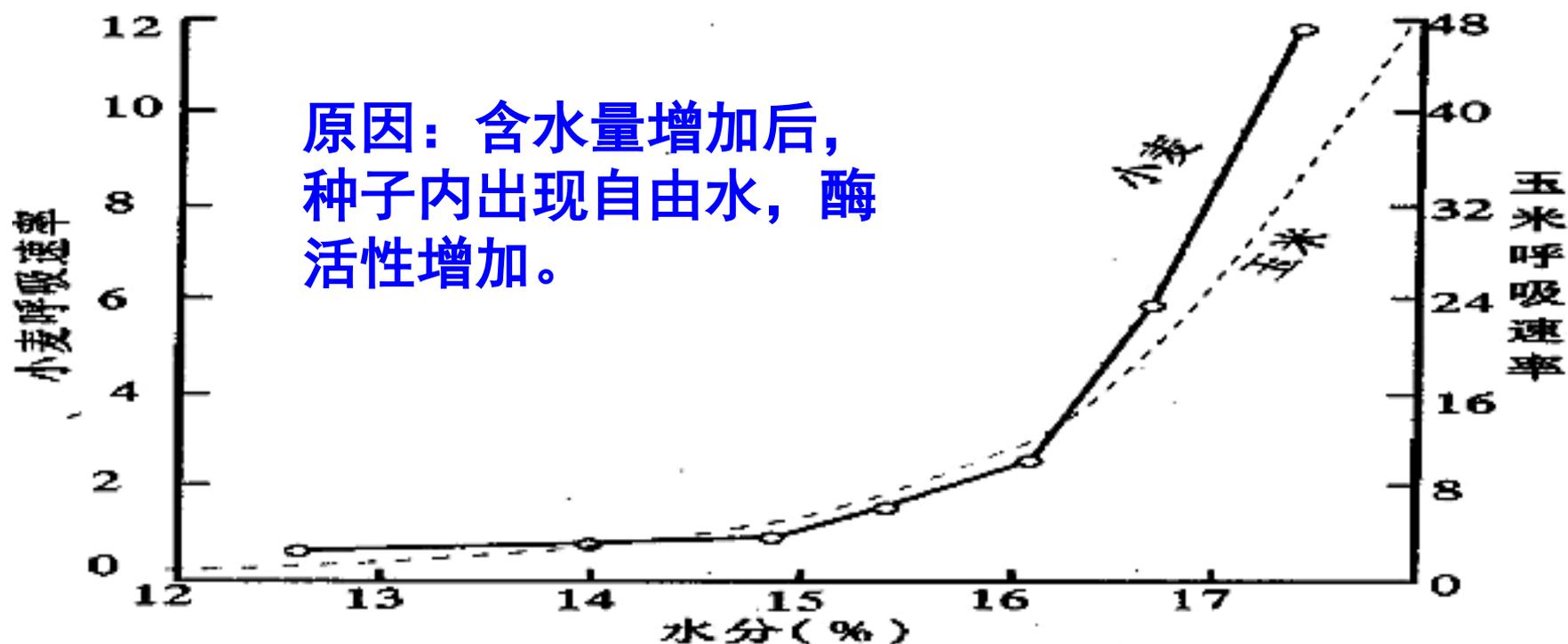
◆ 呼吸快时，消耗多的有机物，放出水分，使湿度增加。

湿度增加反过来促进呼吸作用。放出的热使温度升高，也促进呼吸和微生物活动，导致种子的霉变和变质。

◆ 种子呼吸作用与种子的含水量有关。含水量偏高时呼吸作用显著增加。



一般油料种子在安全含水量8-9%，淀粉种子12-14%时，风干种子内的水都是束缚水，呼吸酶的活性降低到最低，呼吸微弱，可以安全贮藏。



含水量不同的小麦和玉米种子呼吸速率
(CO₂mg/100g 种子 · 小时)





◆ 种子安全贮藏措施:

- ◇ 种子要晒干,
- ◇ 防治害虫,
- ◇ 仓库要通风以散热散湿,
- ◇ 低温,
- ◇ 密闭保藏,

可适当增加CO₂量和降低O₂的含量。如脱氧保管法, 充氮保管法。

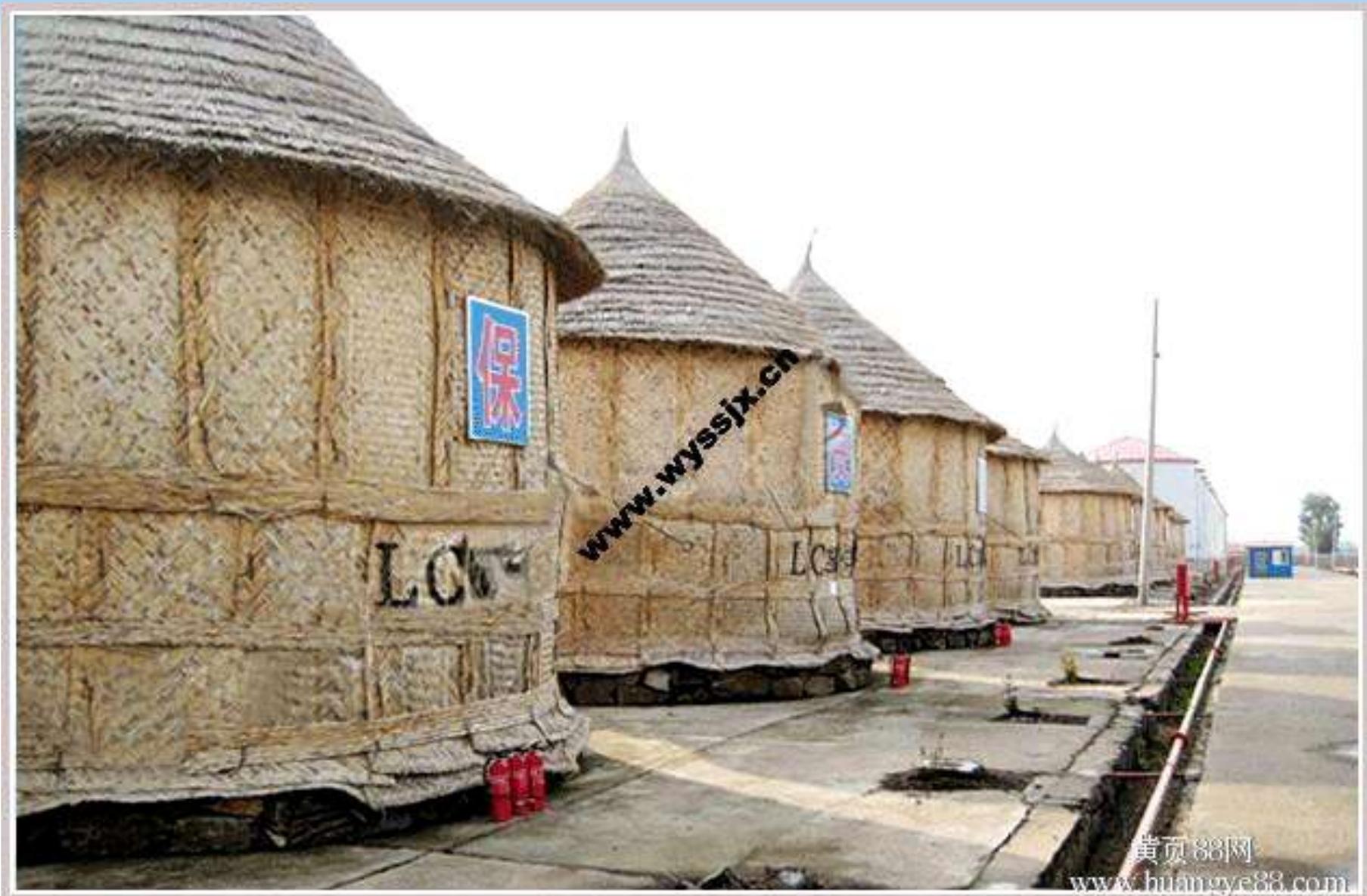
粳米在氮气和空气中呼吸强度比较

水分(%)	粮质情况	CO ₂ (mg/kg.d)		室内温度(℃)
		空气中	氮气中	
4.1	正常	9.70	2.64	27-30
15.3	正常	14.50	3.00	27-29
16.1	严重霉变	159.32	43.30	26-27



通风 散热 散湿





海南大学应用科技学院





海南大学应用科技学院



四、呼吸作用与果蔬贮藏

(一) 果实的呼吸作用与贮藏

1、果实的呼吸作用

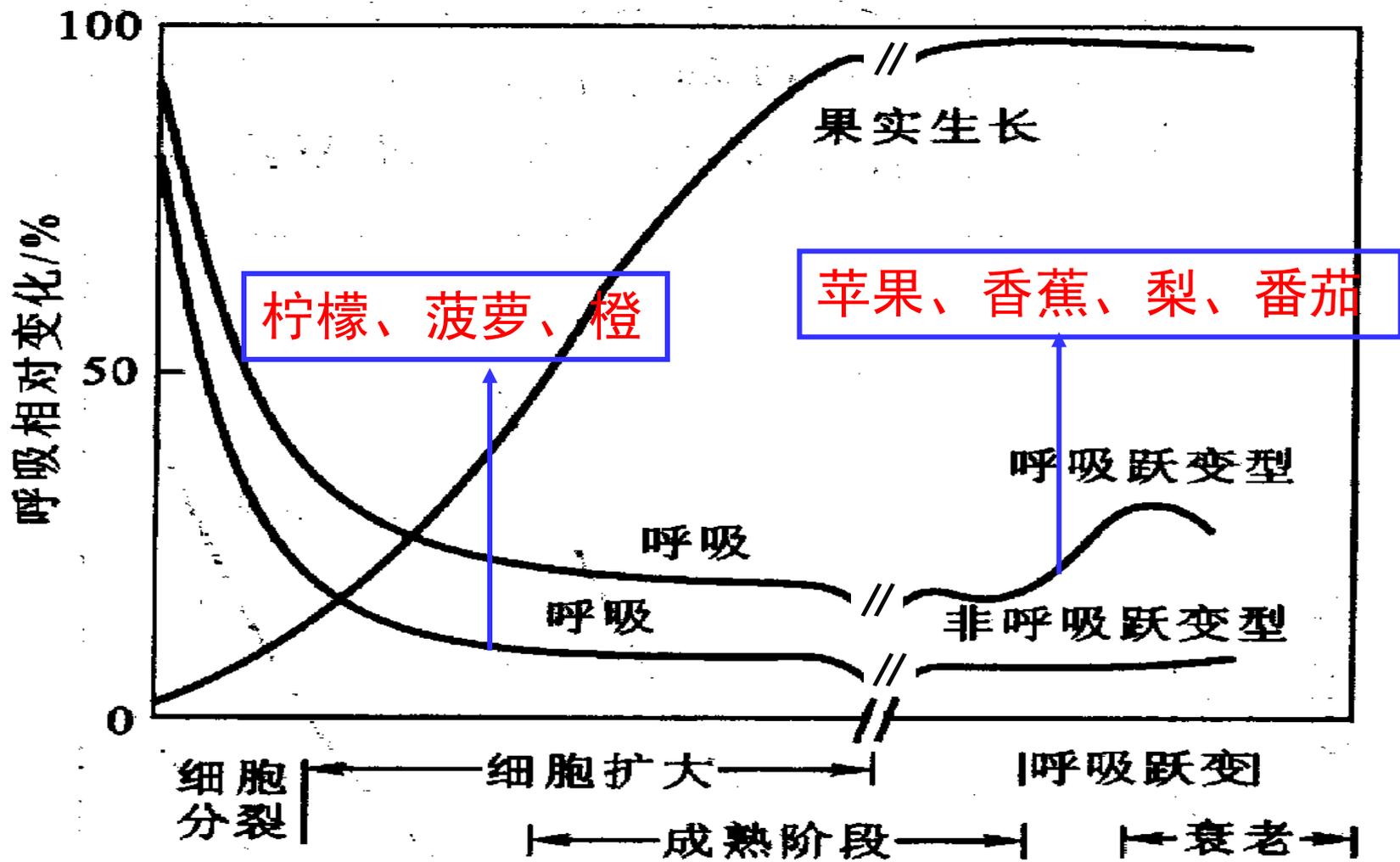
呼吸跃变：

果实成熟到一定时期，呼吸速率突然**升高**，然后又突然**下降**的现象。

跃变型：苹果、香蕉、梨、桃、芒果、番茄

非跃变型：橙、凤梨、葡萄、草莓、柠檬、菠萝





实验证明：呼吸跃变产生的原因与乙烯的释放密切相关。

2、果实贮藏的条件：

(1) 降低温度，推迟呼吸跃变产生的时间

如荔枝0-1°C只能贮存10-20天，而低温速冻可保存6-8个月。香蕉贮藏的最适温度11-14°C，苹果4°C。

(2) 控制气体成分：增加环境中CO₂和N₂浓度，降低O₂浓度，降低呼吸跃变产生的强度

苹果 地窖贮藏

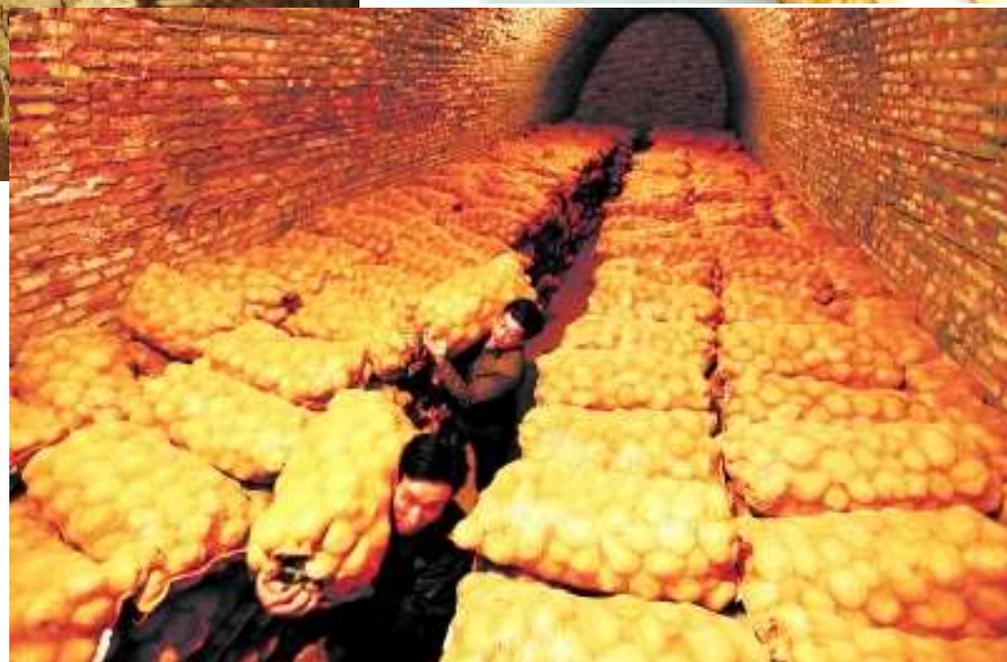


（二）块根、块茎的呼吸作用与贮藏

贮藏条件：

- （1）**温度**：甘薯块根安全贮藏温度为10-14℃，马铃薯2-3℃。
- （2）**气体成分**：自体保藏法
- （3）**适当提高环境湿度，有利于保鲜**





马铃薯 贮藏

