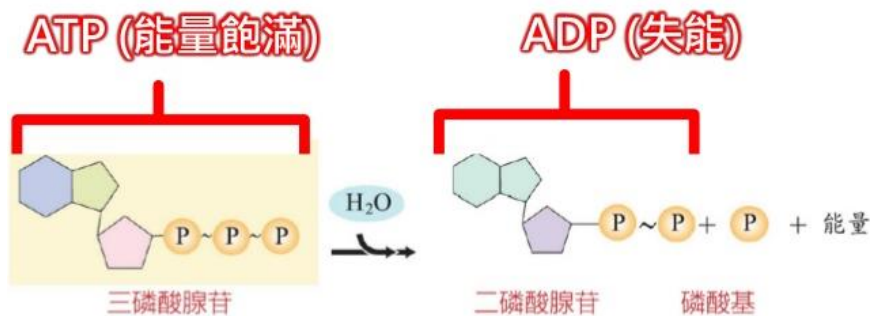


## 细胞呼吸与能量的释放

- ATP( adenosine triphosphate)/ 腺嘌呤核苷酸三磷酸(三磷酸腺苷)
- 细胞中的有机物逐步氧化分解而释放出来，并储存在 ATP 中才能被生物利用
- ATP 是能量供应分子，主要在线粒体内产生，移到细胞其他部位
- 结构 (A- P ~P~P~)

A	Adenosine 腺嘌呤核苷, tri (三个)
P	Phosphate 磷酸基团
~	高能磷酸键, 大量的化学能储存, 一般释放出能量两倍以上 (30.54kJ/mol) 一个 ATP 中含有 2 个高能磷酸键, 只有远离腺苷的高能磷酸键易水解和合成
-	普通磷酸键

- ATP 和 ADP 之间的相互转化
  - ATP 是非常不稳定的“能量变化合物”, ATP 磷酸键能断裂成 ADP (二磷酸腺苷) 释放能量, ADP 也不稳定, 能继续断裂磷酸键, 形成 AMP (一磷酸腺苷) 释放能量
  - AMP 的磷酸键断裂是释放的能量低, 不属于高能键化合物



- 细胞内的 ATP 与 ADP 的含量点总处于动态平衡中, 这对于构成生物体内部稳定的供能环境, 保证生物体新陈代谢的顺利进行具有重要的意义
- ATP 的合成发生在细胞质基质、线粒体、叶绿体, 而 ATP 的水解发生在需能的部位如主动运输、蛋白质合成时等

放能反应	细胞内有机物氧化分解过程一般都伴随化学能的解放, 称细胞的放能反应 如葡萄糖、脂肪的氧化分解
吸能反应	细胞内的小分子物质转化为大分子物质一般都要消耗能量, 称吸能反应 如葡萄糖合成糖元、氨基酸合成蛋白质

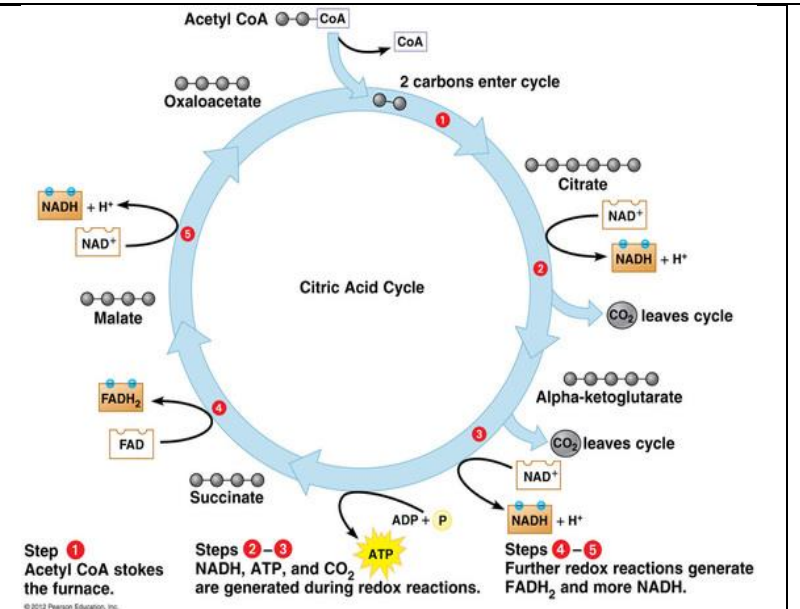
- 当 ATP 的含量比例高时, 表示能量充足, 细胞限制物质氧化, 促进大分子 (肝糖、脂质) 合成, 以消耗过多能量

- 当 ATP 和 ADP 含量比例低时，表示细胞能量不足，促进呼吸增加能量
- 细胞呼吸(cellular respiration)

场所	生物体的活细胞
分解底物	生物体内的有机物如葡萄糖、蛋白质、脂肪等
呼吸产物	CO <sub>2</sub> 与水或其他有机物如乙醇或乳酸
反应类型	氧化分解
能量变化	有机物中化学能的释放，一部分储存在 ATP 中，大部份以热能形式散失
特点	与有机物燃烧相比，条件温和，有水的环境中进行，能量逐步释放，反应需酶催化

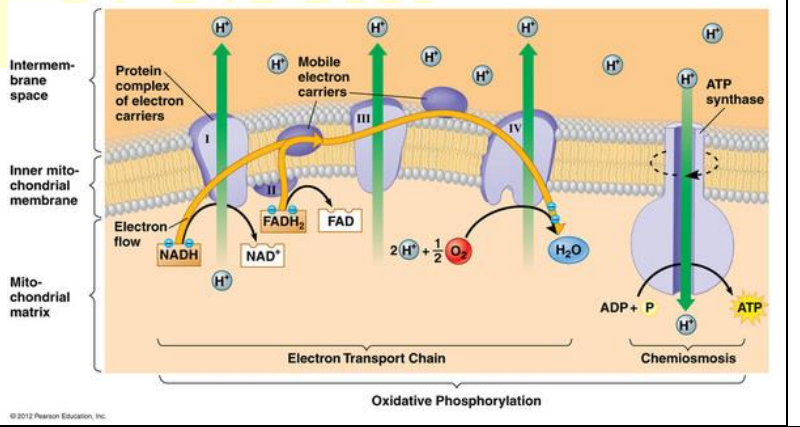
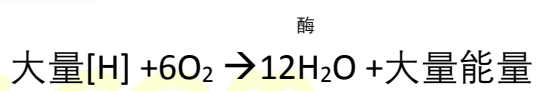
- 可分为有氧呼吸和无氧呼吸

有氧呼吸	细胞呼吸的主要类型，活细胞在氧气参与下，通过酶的催化作用，彻底地将有机物氧化分解为 CO <sub>2</sub> 和 H <sub>2</sub> O,同时释放大量能量 ATP 可分成三个阶段	
	第一阶段 (糖酵解 glycolysis)	<p>发生在细胞质基质 (与 O<sub>2</sub> 无关)</p> <p>一分子的葡萄糖分解成两个分子丙酮酸，产生少量的氢和少量的能量 ATP 和还原态辅酶 NADH</p> <div style="text-align: center;"> <p>酶</p> <math display="block">C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + \text{少量 [H]} + \text{少量能量}</math> <p>Glucose</p> <p>2 ADP + 2 P → 2 ATP</p> <p>2 NAD<sup>+</sup> → 2 NADH + 2 H<sup>+</sup></p> <p>2 Pyruvate</p> </div>
	第二阶段 (克雷伯氏循环 Krebs cycle)	<p>发生在线粒体基质 (与 O<sub>2</sub> 无关)</p> <p>丙酮酸(pyruvic acid)分解成 NADH、CO<sub>2</sub>、ATP、FADH<sub>2</sub> 和四碳化合物，释放出少量的能量</p> <div style="text-align: center;"> <p>酶</p> <math display="block">2C_3H_4O_3 + 6H_2O \rightarrow 2CO_2 + \text{少量 [H]} + \text{少量能量}</math> </div>

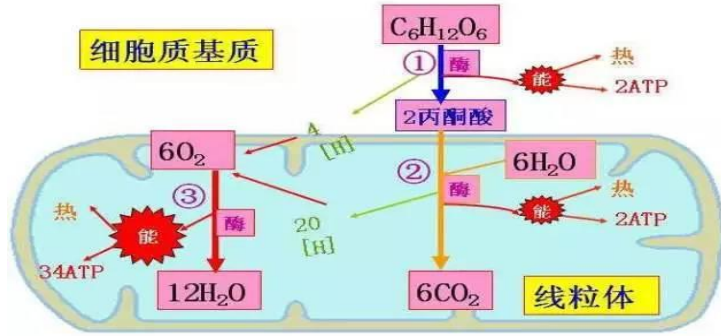


第三阶段 (氧化磷酸化  
oxidative phosphorylation  
与电子转移  
electron transfer)

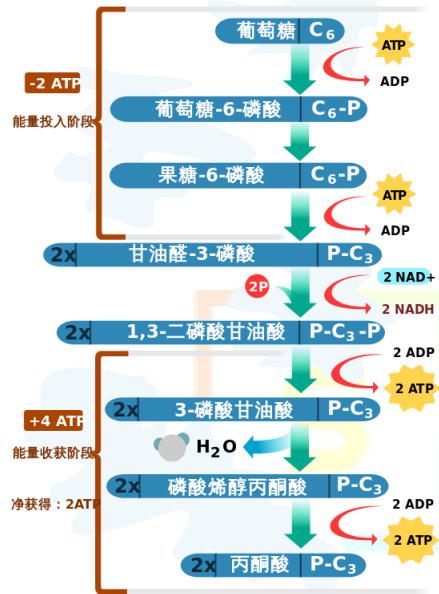
发生在线粒体内膜 (需要 O<sub>2</sub> 参与)  
前两段产生的氢, 与氧结合形成水, 同时释放出大量能量  
糖解作用产生的 NADH 与柠檬酸循环过程中产生的 NADH、FADH<sub>2</sub> 会进入位于粒线体内膜上的电子传递链而释出高能电子, 这些电子经过电子传递链, 最後由 O<sub>2</sub> 接受, 并与 H<sup>+</sup> 结合产生 H<sub>2</sub>O, 且合成 ATP。



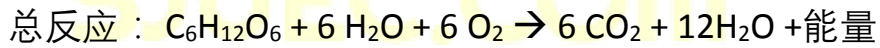
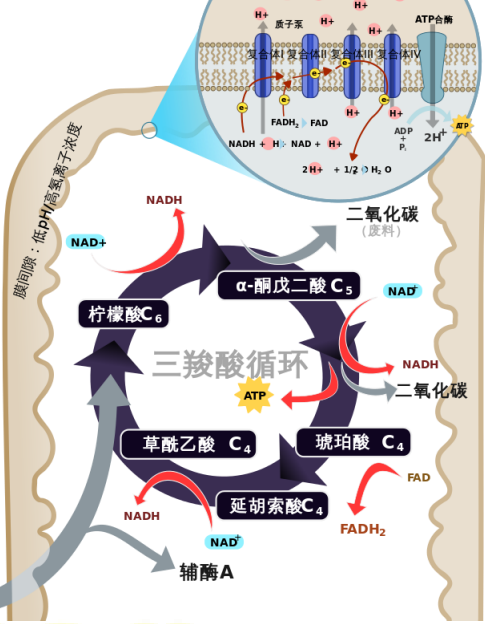
## 有氧呼吸的三个阶段



### 糖酵解 (胞质溶胶)



### 三羧酸循环 (线粒体)



产物中  $H_2O$  的氧元素全部来自  $O_2$ ，而  $CO_2$  中氧元素来自反应物中的  $H_2O$  和葡萄糖，即如果以同位素标记  $^{18}O_2$ ，则会产生  $H_2^{18}O$

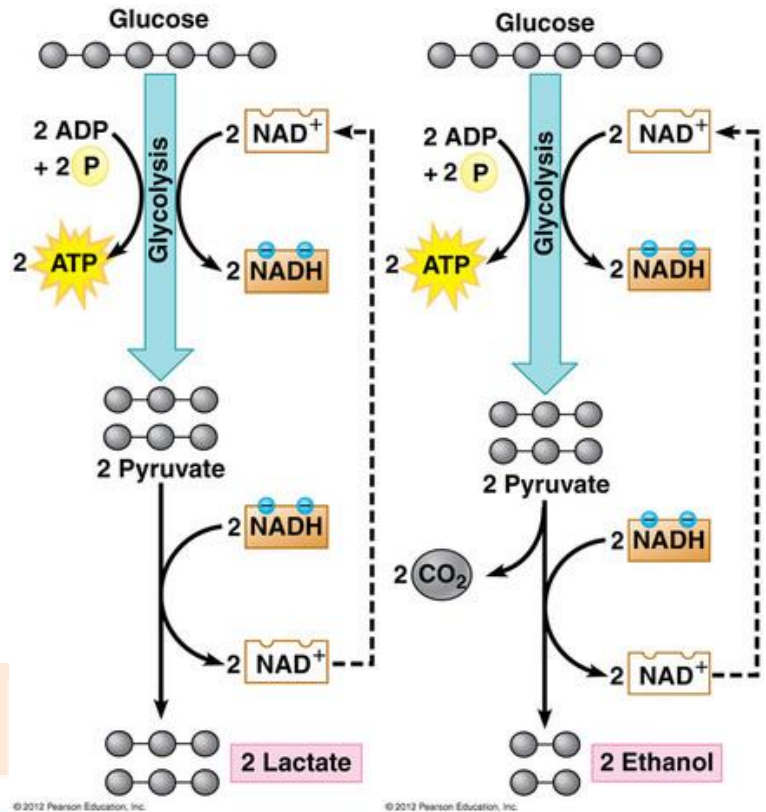
### 无氧呼吸

细胞呼吸的另一类型，活细胞无需氧参与，通过酶的催化作用，将葡萄糖等有机物氧化分解为酒精与  $CO_2$  或乳酸等物质，同时少量能量 (2ATP)

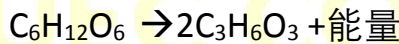
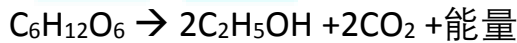
反应场所：细胞质基质

第一阶段	<p style="text-align: center;">酶</p> $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2ATP + \text{少量}[H]$
第二阶段	<p style="text-align: center;">酶</p> $2C_3H_4O_3 + \text{少量}[H] \rightarrow 2C_3H_6O_3 \text{ (乳酸)}$ <p style="text-align: center;">(如玉米的胚, 马铃薯块茎, 甜菜的块根)</p> <p style="text-align: center;">酶</p> $\text{或 } 2C_3H_4O_3 + \text{少量}[H] \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

(如酵母菌在无氧条件下的呼吸作用，陆生植物根在水涝的呼吸作用)



总反应：



例子：

- 酒精对生物体有一定的毒害作用，所以一般陆生植物不能长期忍受无氧呼吸，否则会导致烂根
- 人体短跑的肌肉作无氧呼吸产生乳酸，所以肌肉会酸痛，欠下的氧量称氧债(oxygen debt)，需要深呼吸偿还，当氧气供应回复后，大部份的乳酸会在肝脏转换成葡萄糖
- 无氧呼吸的第一阶段与有氧呼吸的第一阶段完全相同，从丙酮酸开始，由于条件的不同沿着不同的途径形成不同的产物

• 比较有氧呼吸和无氧呼吸

	有氧呼吸	无氧呼吸
器官/生物	大部份生物	真菌类、体内寄生虫、潜水状态、肌肉过度运动时
发生部位	线粒体	细胞质



一分子葡萄糖释放的 ATP	36/38 个	2 个
产物	二氧化碳+水	动物：乳酸 植物：酒精+二氧化碳
氧化程度	彻底	不彻底

- 基本代谢率(basal metabolic rate, BMR)

- 代谢率是身体使用能量的速率
- 测试方法：呼吸仪测出氧的摄取量或二氧化碳的输出量（当身体完全休息，餐后 12 小时，室温内能量应用速率）
- 影响代谢率的原因

年龄	婴儿最高，老年人逐渐减低
性别	女性较低
体形	小型较高
内分泌系统	甲状腺激素旺盛较高
怀孕或哺乳中	较高
药物	抽烟或使用神经兴奋剂较高
生物品种	不同生物具有不同 BMR

- 呼吸商(Respiratory quotient, RQ)

- 特定时间内，二氧化碳的产量和氧消耗量的比值
- $RQ = \frac{CO_2 \text{产量}}{O_2 \text{消耗量}}$
- 反应出生物的代谢率和底物的氧化作用
- 大部分动物在静止时 RQ 介于 0.8-0.9 之间，人类 RQ 介于 0.85
- RQ 超过 1 出现在无氧呼吸中（CO<sub>2</sub> 产量超过 O<sub>2</sub> 的消耗量），或碳水化合物转换为脂肪时
- RQ 低显植物吸收二氧化碳进行光合作用或动物应用碳素制造钙壳时