

CH 5.3 细胞呼吸的原理和应用

Y. K. Fu





本节聚焦

- 细胞呼吸过程中能量是怎样转化的？
- 有氧呼吸与无氧呼吸各有什么特点？
- 细胞呼吸原理在生产 and 生活中有哪些应用？

① 问题探讨

酵母菌细胞富含蛋白质，可以用作饲料添加剂。在培养酵母菌用作饲料添加剂时，要给培养装置通气或进行振荡，以利于酵母菌大量繁殖。在利用酵母菌生产葡萄酒时，却需要密封发酵。



问题探讨

1.都是培养酵母菌，为什么有的需要通气，有的却需要密封？

通气可以给酵母菌提供呼吸需要的氧气，利于酵母菌进行旺盛的细胞分裂；密封则是避免空气进入，便于酵母菌在无氧条件下分解有机物产生酒精。

问题探讨

2.为什么通气有利于酵母菌大量繁殖?

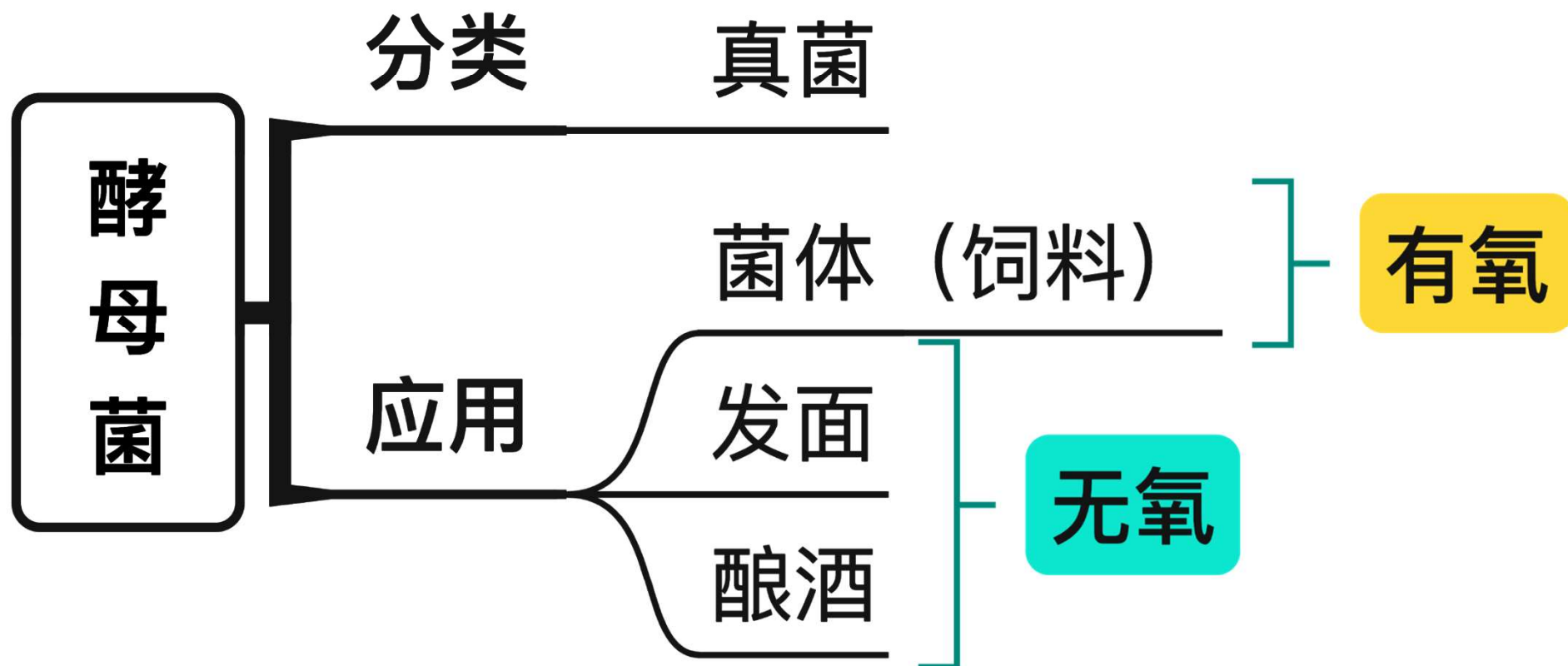
在有氧条件下，酵母菌分解营养物质释放能量多，这些能量可以为酵母菌细胞进行物质代谢和细胞分裂提供充足的动力。

问题探讨

3.在密封发酵时，酵母菌将有机物转化为酒精对它自身有什么意义？

密封发酵时，酵母菌将有机物转化为酒精的同时，能为自己的生命活动提供少量能量。

酵母菌和细胞呼吸



酵母菌和细胞呼吸

兼性厌氧

兼性厌氧：以在有氧条件下的生长为主，也可兼在厌氧条件下生长。——周德庆《微生物学教程》第四版P157

细胞呼吸：细胞内的有机物氧化分解，并释放能量的过程。



探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•提出问题&做出假设





探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

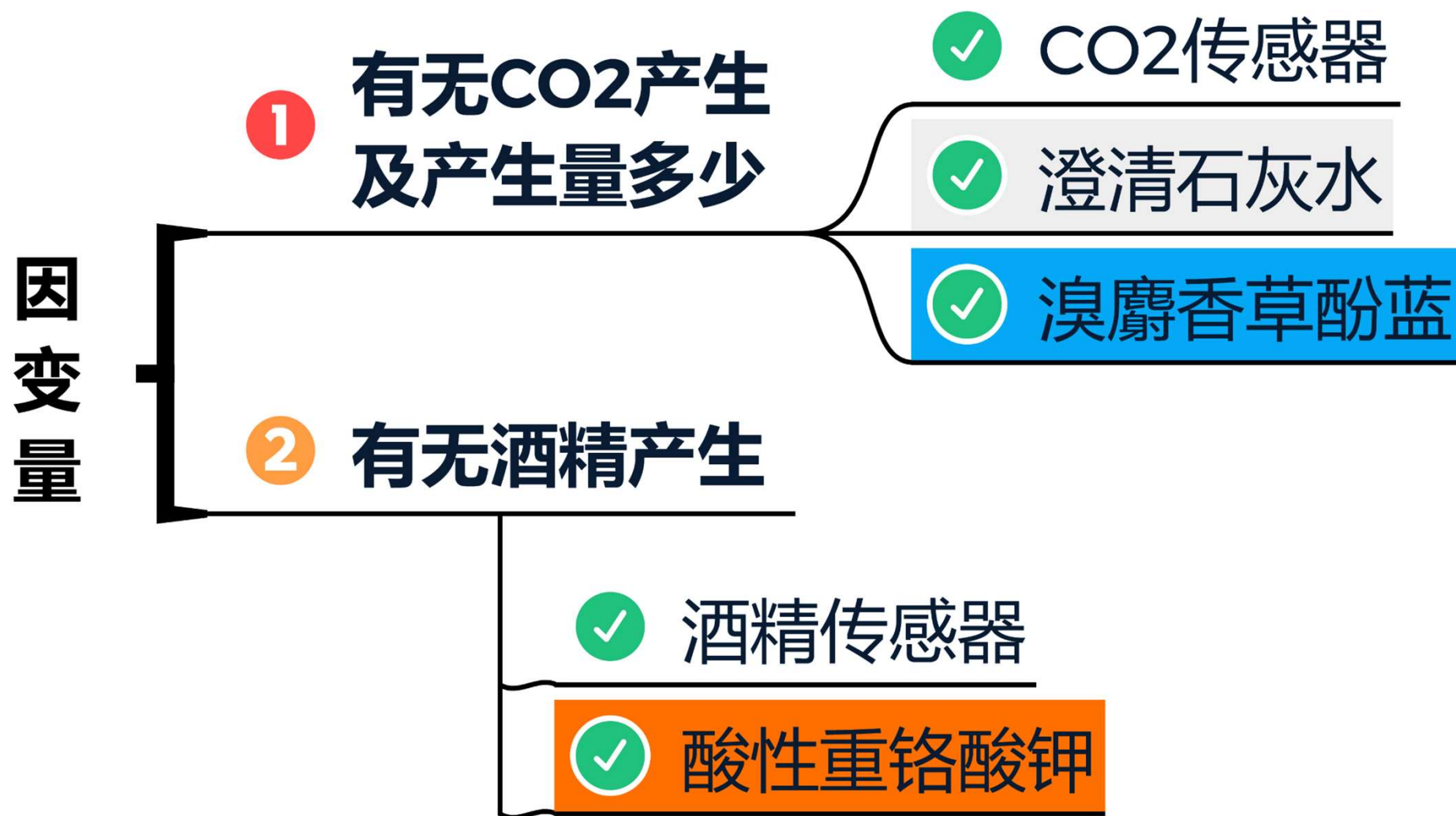
•设计实验





探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

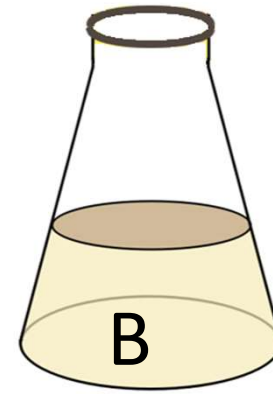
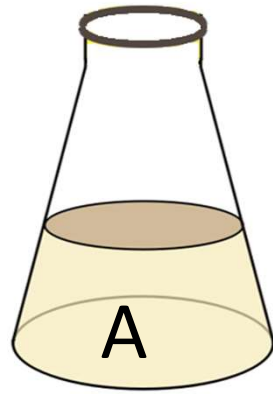
•设计实验





探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•酵母菌培养

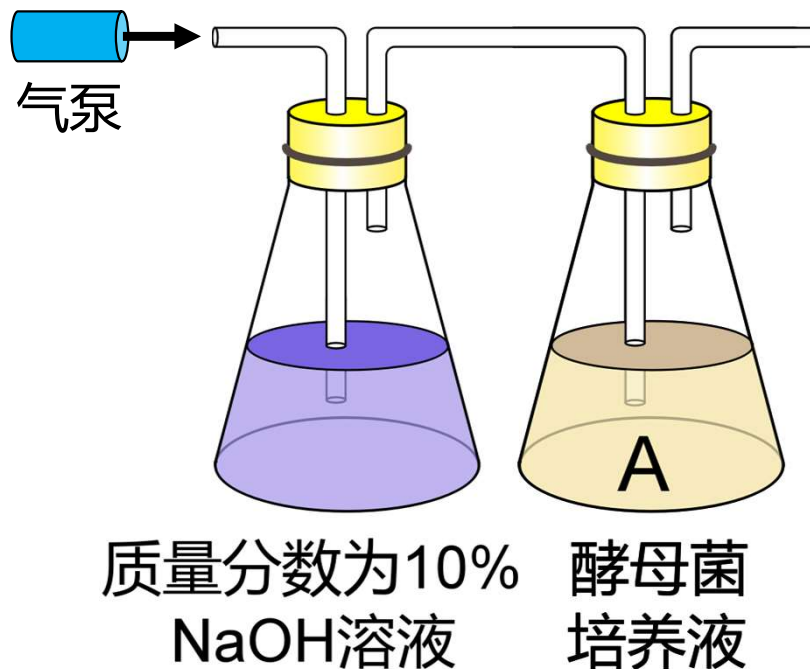


	A	B
酵母	10 g食用酵母菌	10 g食用酵母菌
糖液	240 mL, 5%葡萄糖	240 mL, 5%葡萄糖



探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•控制自变量



	A	B
预处理	预先通气50 min	预先密闭一段时间
培养	25 ~ 35 °C, 8~10 h	25 ~ 35 °C, 8~10 h



探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

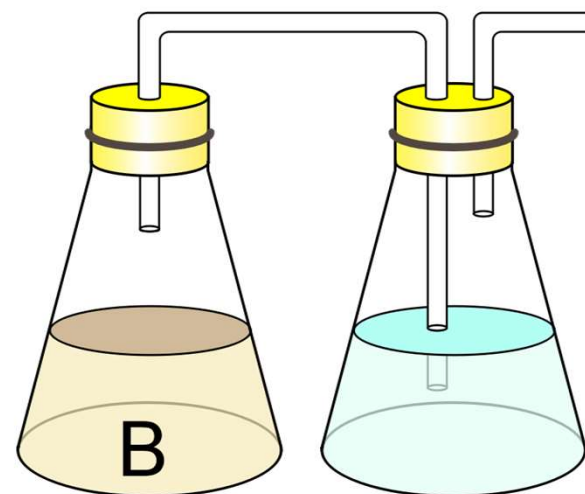
•检测CO₂的产生



质量分数为10%
NaOH溶液

酵母菌
培养液

澄清
石灰水



酵母菌
培养液

澄清
石灰水

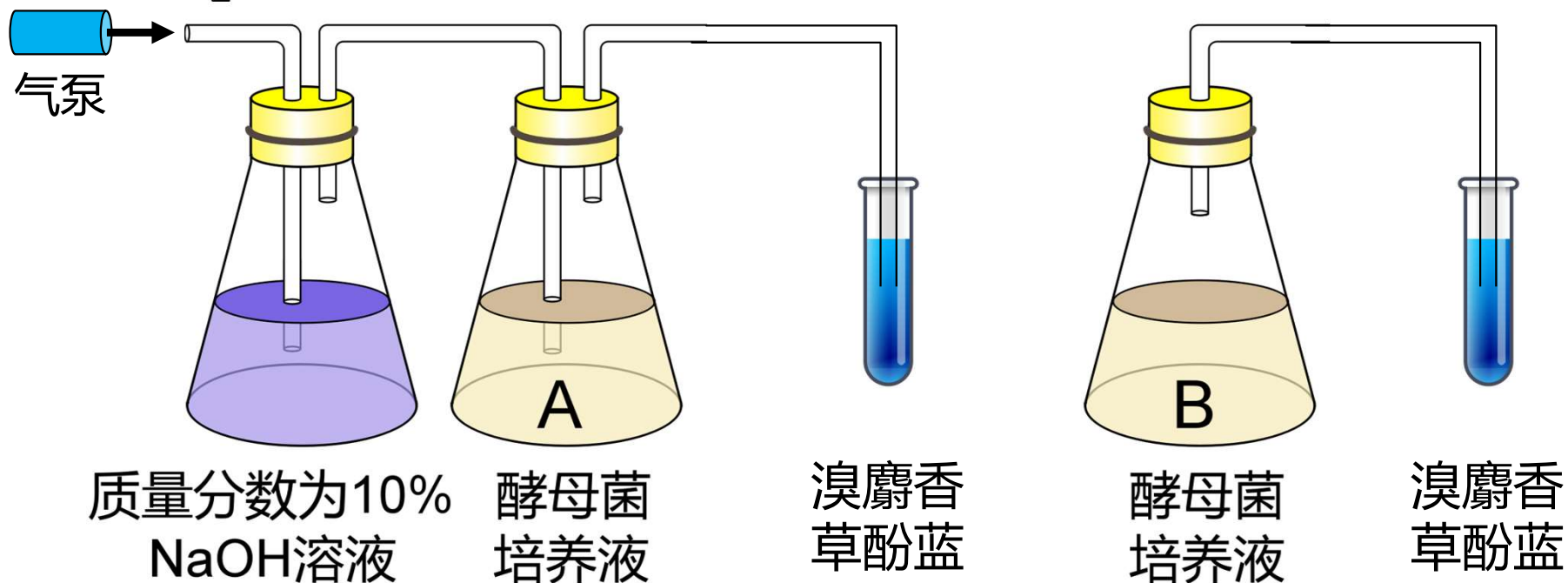
比较相同时间内A、B两
组石灰水浑浊程度：





探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•检测CO₂的产生



短时间内
蓝→绿→黄

较长时间
蓝→绿→黄

比较A、B两组溴麝香草酚
蓝变成黄色时间长短：





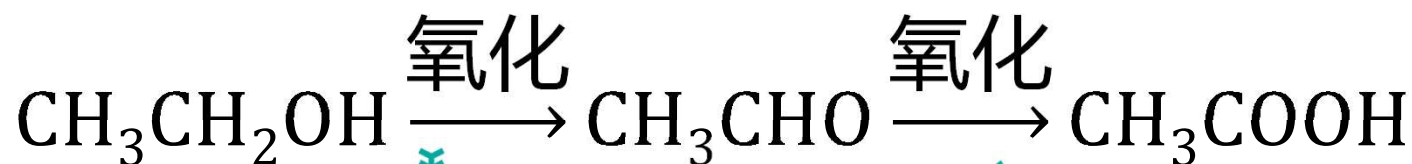
探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•检测酒精的产生（化学选修三P062）

2 mL
发酵液滤液

0.5 mL
酸性重铬酸钾 (+6)

观察颜色



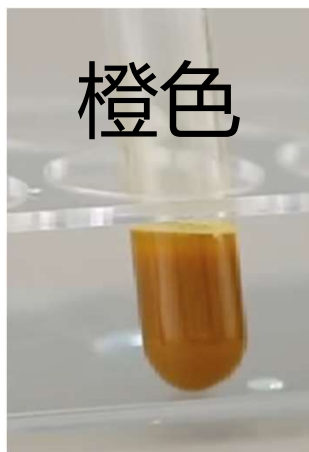
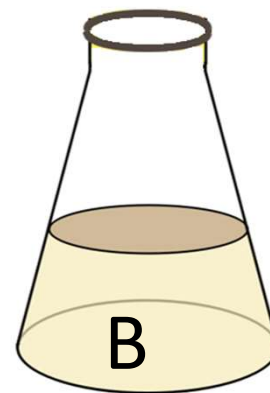
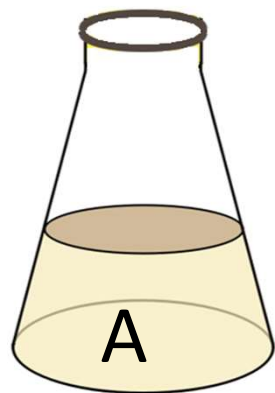
硫酸铬 (+3)

葡萄糖会干
扰酒精检测！



探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•检测酒精的产生





探究·实践：探究酵母菌细胞呼吸的方式

•结论

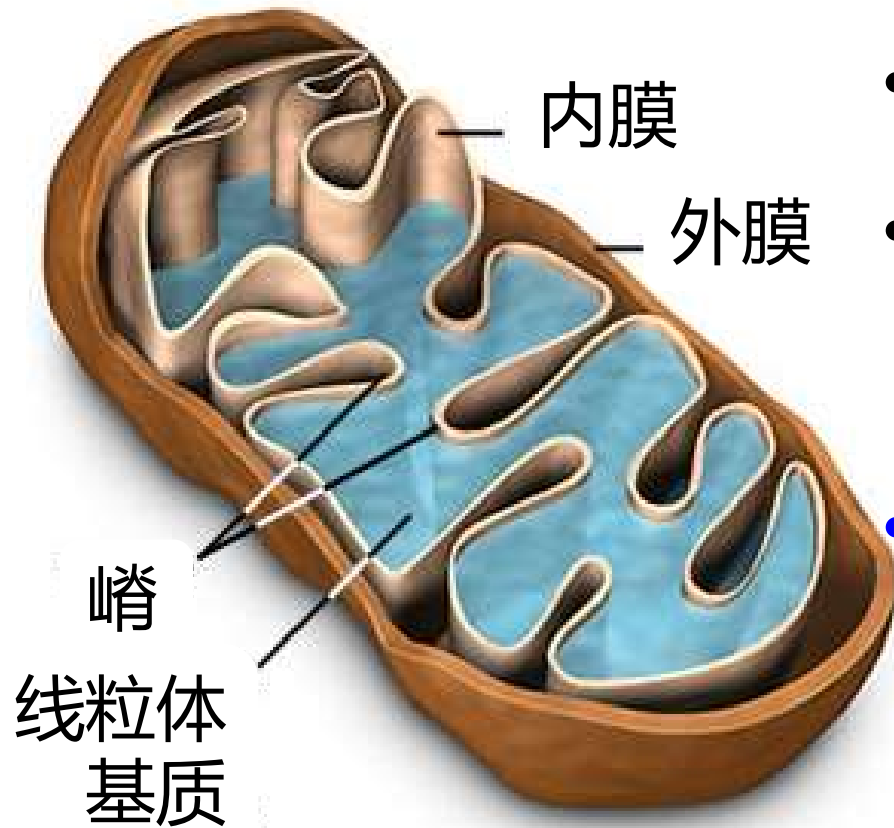
	A	B
结论	酵母菌在有氧条件下能够进行细胞呼吸（有氧呼吸），产生大量的CO ₂ ，不产生酒精。	酵母菌在无氧条件下能够进行细胞呼吸（无氧呼吸），产生少量的CO ₂ ，产生酒精。



科学方法：对比试验（相互对照实验）

设置两个或两个以上的**实验组**，通过对结果的比较分析，来探究某种因素对实验对象的影响，这样的实验叫做对比实验，也叫做**相互对照实验**。

CH 5.3.2 有氧呼吸



- 有氧呼吸的**主要**场所是线粒体。
- 内膜向内腔折叠形成嵴，嵴使内膜的表面积大大增加。
- **基质**中和**内膜**上有许多与有氧呼吸有关的酶。

CH 5.3.2.1 第一阶段

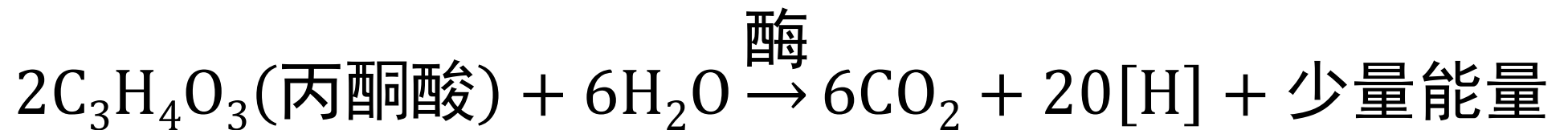
1分子的葡萄糖分解成2分子的丙酮酸，产生少量的[H]，并且释放出少量的能量。这一阶段不需要氧气的参与，是在细胞质基质中进行的。



少量能量（146 kJ/mol）中有61.08 kJ/mol用于合成2 mol ATP

CH 5.3.2.2 第二阶段

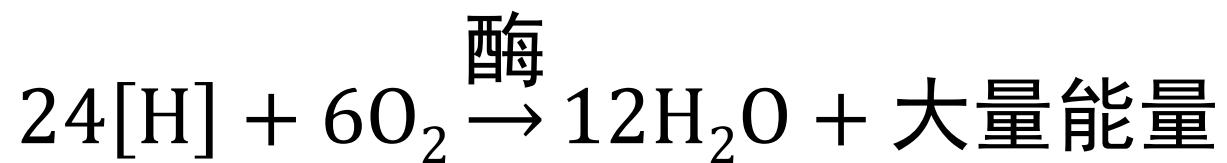
丙酮酸和水彻底分解成二氧化碳和[H]，并释放出少量的能量。这一阶段不需要氧直接参与，是在线粒体基质中进行的。



少量能量（159.8 kJ/mol）中有61.08 kJ/mol用于合成2 mol ATP。

CH 5.3.2.3 第三阶段

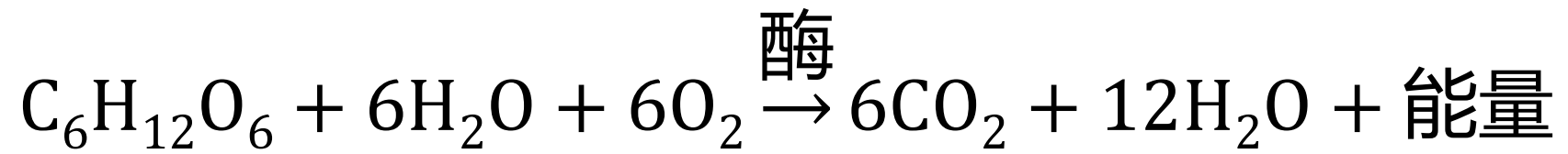
上述两个阶段产生的[H]，经过一系列的化学反应，与氧结合形成水，同时释放大量的能量。这一阶段需要氧的参与，是在**线粒体内膜**上进行的。



大量能量 (2564.2 kJ/mol) 中有855.12 kJ/mol用于合成
28 mol ATP

CH 5.3.2.4 有氧呼吸小结

总反应式：



概括地说，有氧呼吸是指细胞在氧的参与下，通过多种酶的催化作用，把葡萄糖等有机物彻底氧化分解，产生二氧化碳和水，释放能量，生成大量ATP的过程。



思考·讨论：有氧呼吸的能量利用特点

1. 在细胞内，1 mol 葡萄糖彻底氧化分解可以释放出 2870 kJ 的能量，可使 977.28 kJ 左右的能量储存在 ATP 中，其余的能量则以热能的形式散失掉了。请你计算一下，有氧呼吸的能量转化效率大约是多少，这些能量大约能使多少 ADP 转化为 ATP？

有氧呼吸的能量转化效率大约为 34%。结合上一节所学内容，1 mol ATP 分子的高能键含有 30.54 kJ 的能量，因此，1 mol 葡萄糖能够使 32 mol ADP 分子转化为 ATP 分子。

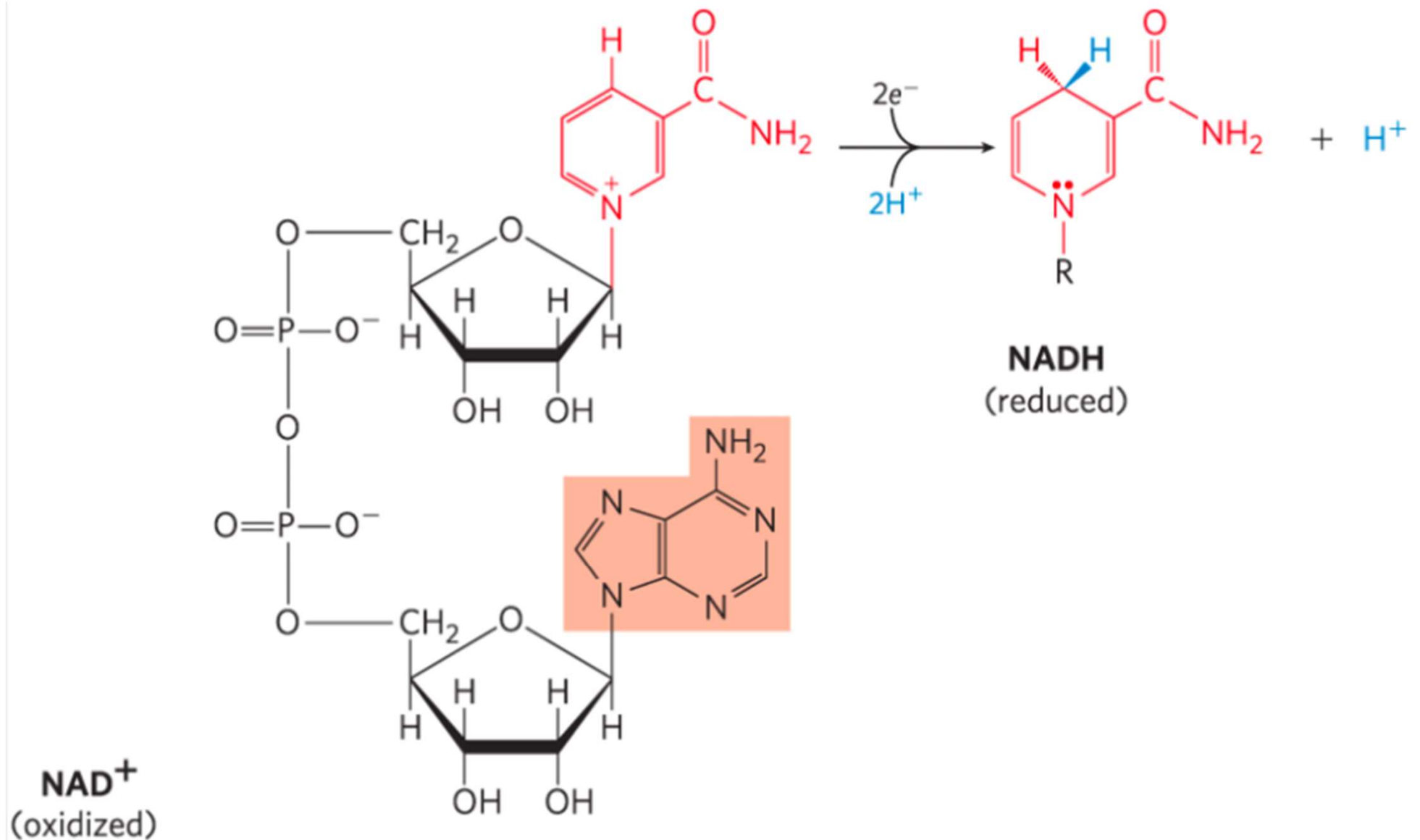


思考·讨论：有氧呼吸的能量利用特点

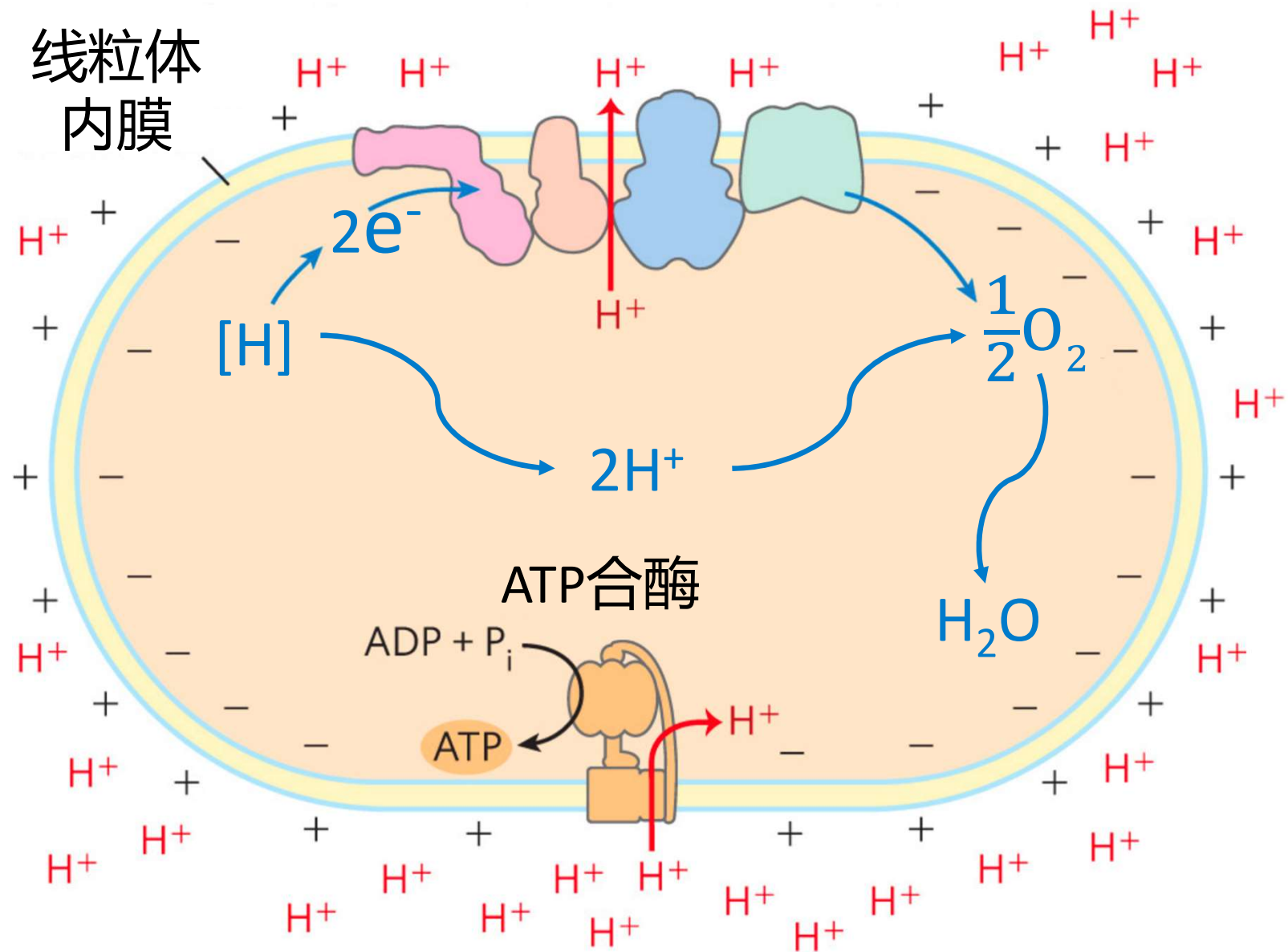
2.与燃烧迅速释放能量相比，有氧呼吸是逐级释放能量的，这对于生物体来说具有什么意义？

燃烧是一种迅速释放能量的过程，而有氧呼吸过程则是逐步缓慢释放能量，这种方式保证有机物中的能量得到最充分的利用，主要表现在两个方面：可以使有机物中的能量逐步地转移到ATP中；能量缓慢有序地释放，有利于维持细胞的相对稳定状态。

补充：氧化型辅酶I (NAD⁺) 和还原型辅酶I (NADH+H⁺)

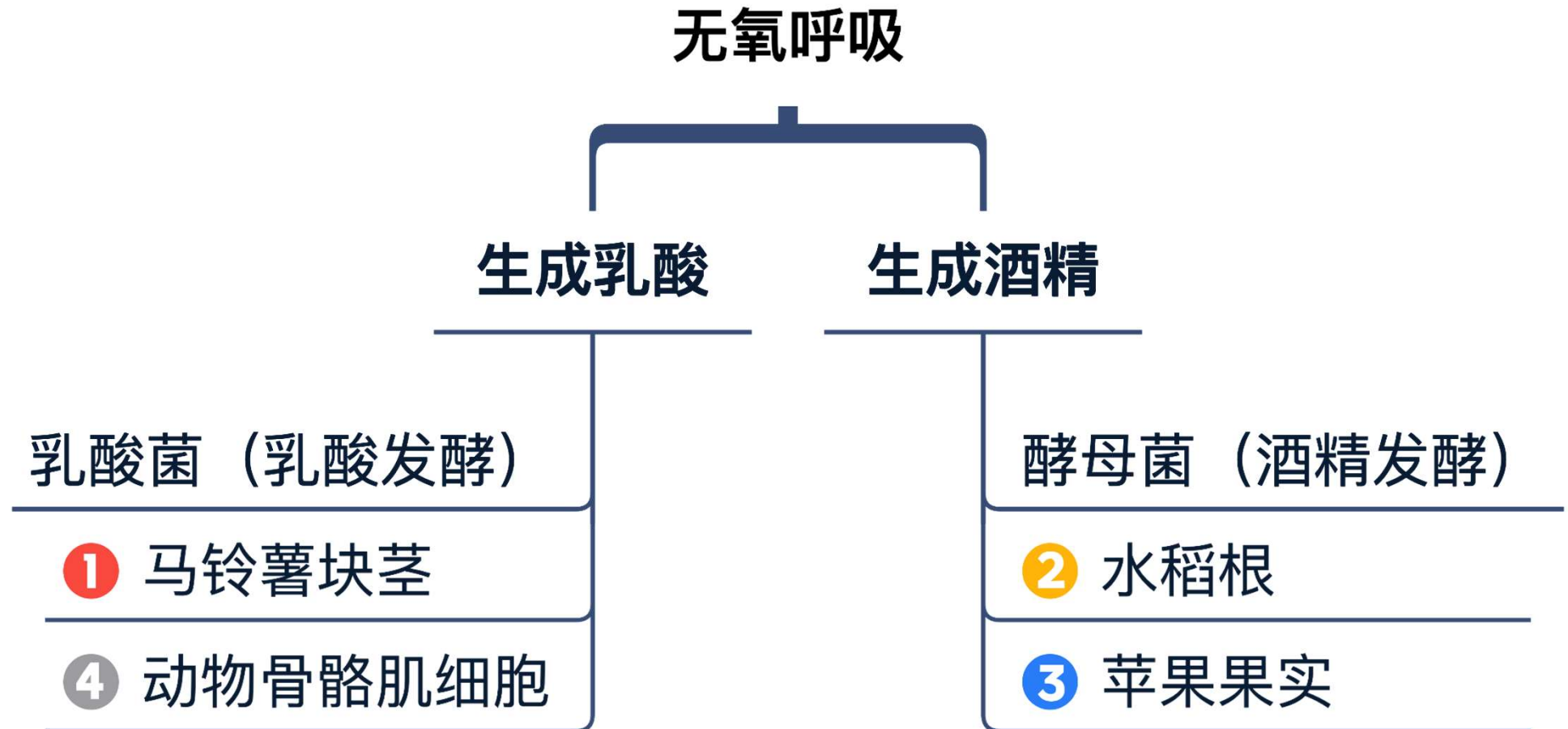


补充：有氧呼吸第三阶段与ATP合酶



Q: 同等质量脂肪和葡萄糖，哪个经有氧呼吸合成ATP多？

CH 5.3.3 无氧呼吸



CH 5.3.3.1 第一阶段

1分子的葡萄糖分解成2分子的丙酮酸，产生少量的[H]，并且释放出少量的能量。场所：细胞质基质。



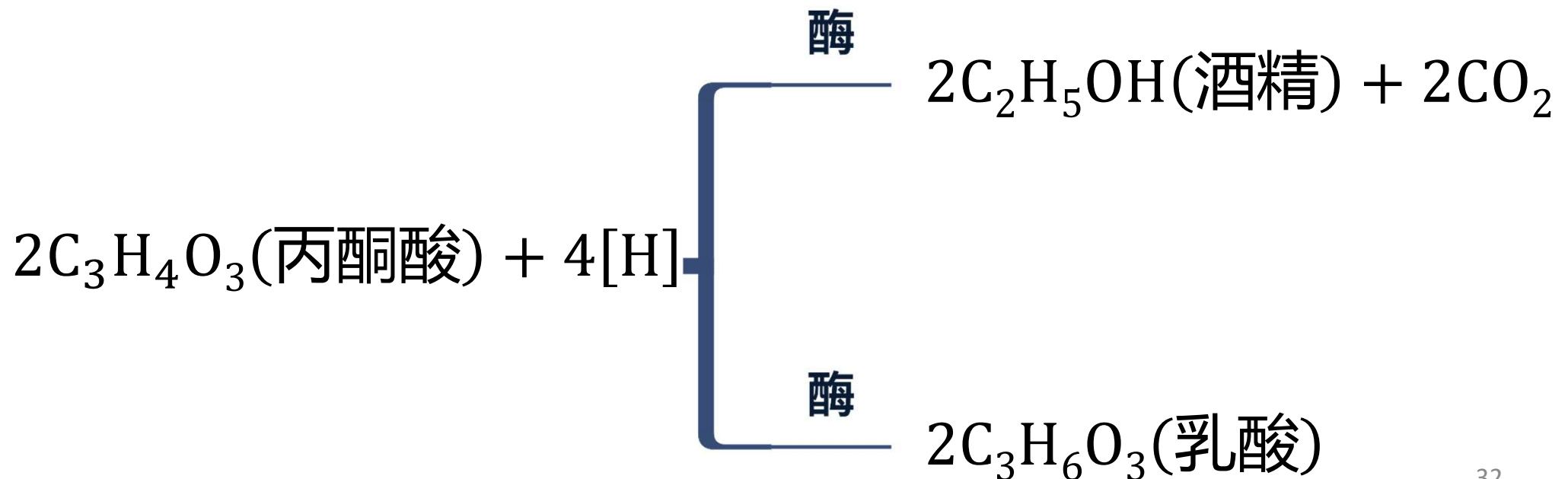
少量能量中有61.08 kJ/mol用于合成2 mol ATP

CH 5.3.3.2 第二阶段

丙酮酸在酶（与催化有氧呼吸的酶不同）的催化作用下，分解成酒精和二氧化碳，或者转化成乳酸。

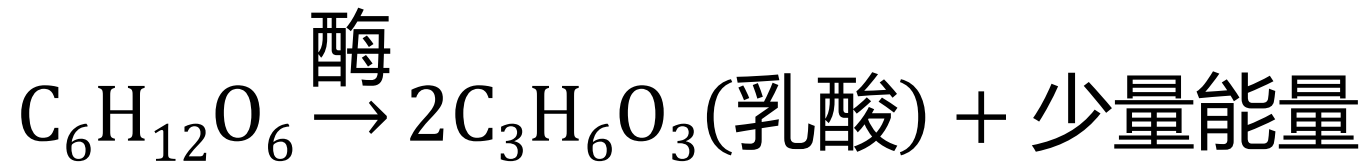
场所：细胞质基质。

第二阶段不释放能量，不产生ATP。



CH 5.3.3.3 无氧呼吸小结

总反应式：



在没有氧气参与的情况下，葡萄糖等有机物经过不完全分解，释放少量能量的过程，就是无氧呼吸。

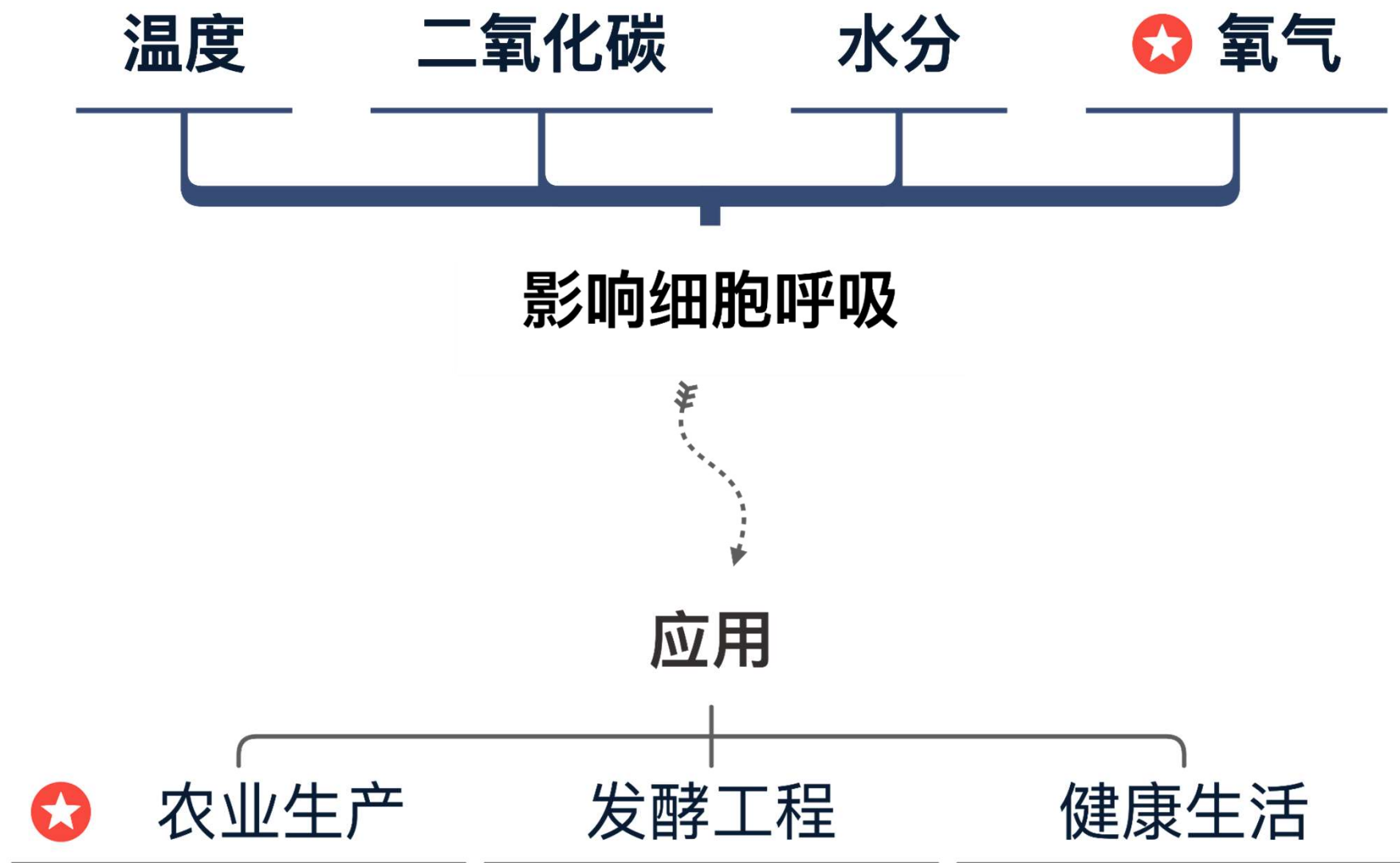
e.g., 乳酸发酵释放能量利用率： $61.08/196.65 \approx 31\%$

细胞呼吸=有氧呼吸+无氧呼吸

细胞呼吸是指有机物在细胞内经过一系列的氧化分解，生成二氧化碳或其他产物，释放能量并产生ATP的过程。

方式	有氧呼吸	无氧呼吸
场所	细胞质基质、线粒体	细胞质基质
条件	有氧、多种酶	无氧、多种酶
分解产物	CO ₂ 、H ₂ O	乳酸；酒精、CO ₂
能量	大量	少量
产ATP阶段	三个阶段：2+2+28	第一阶段：2
相同点	第一阶段反应和场所完全相同； 本质都是分解有机物释放能量。	

CH 5.3.4 细胞呼吸原理的应用



CH 5.3.4.1 温度

原理：

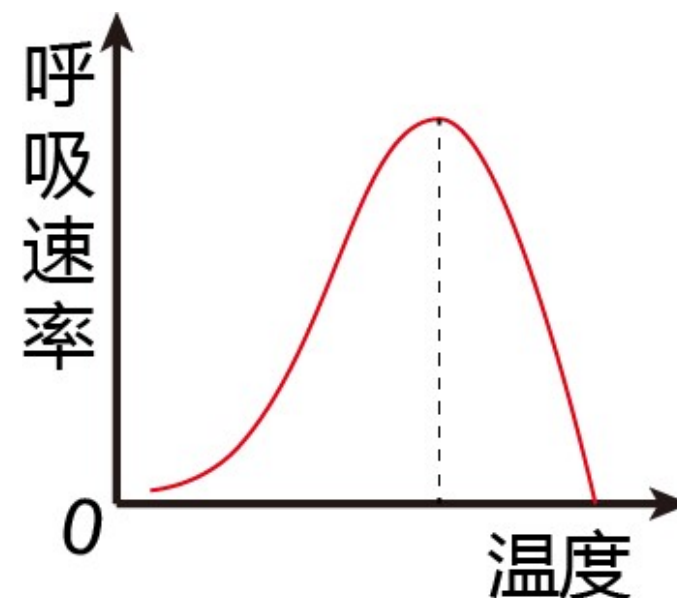
温度通过影响呼吸酶的活性来影响呼吸速率。

应用：

储存粮种： 低温

储存果蔬：（零上）低温

大棚夜间或阴雨天适当降低温度



CH 5.3.4.2 CO₂

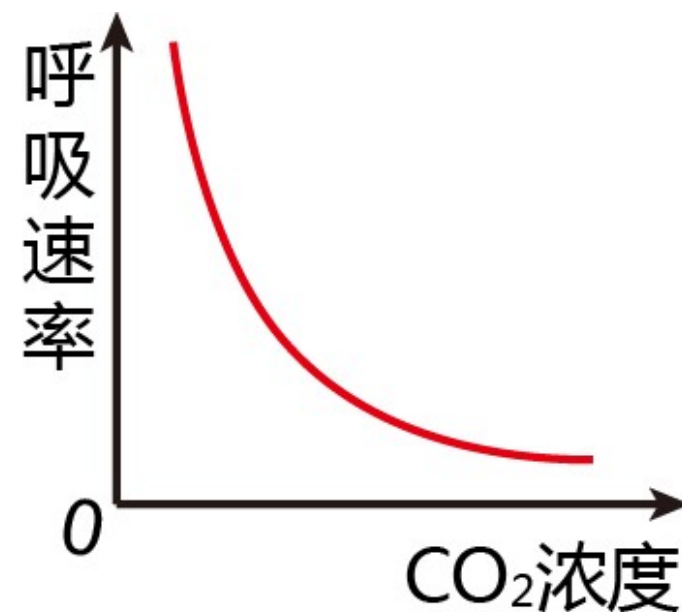
原理：

超过大气含量的高浓度CO₂使呼吸速率显著降低。

应用：

储存粮种： 低温，高CO₂

储存果蔬：（零上）低温，高CO₂



CH 5.3.4.3 水分

原理：

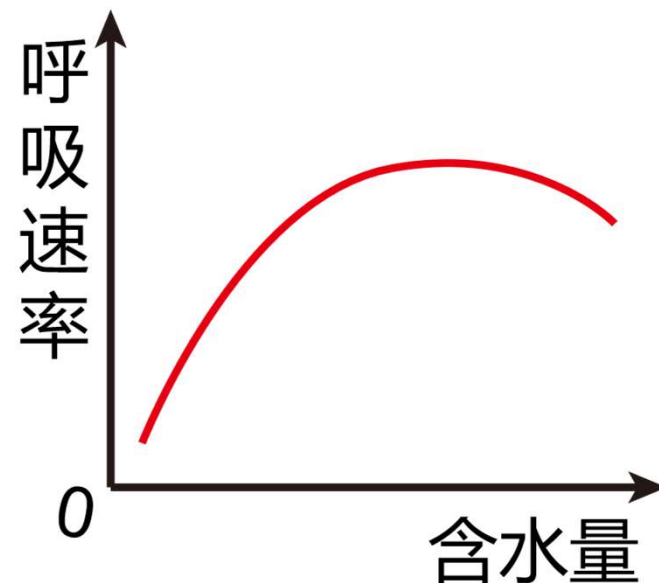
水是溶剂；含水量 $\uparrow$ ，新陈代谢 $\uparrow$ 。

水是反应物。水过多隔绝氧气。

应用：

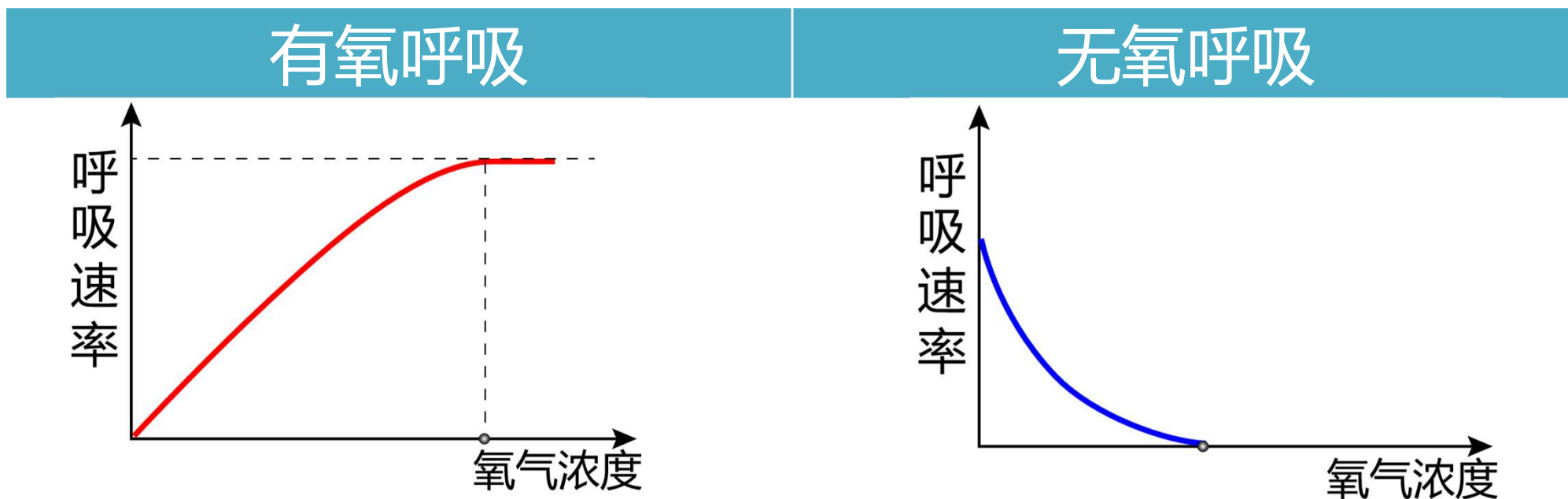
储存粮种： 低温，高 CO_2 ，干燥

储存果蔬：（零上）低温，高 CO_2 ，一定湿度



CH 5.3.4.4 氧气

原理：



应用：

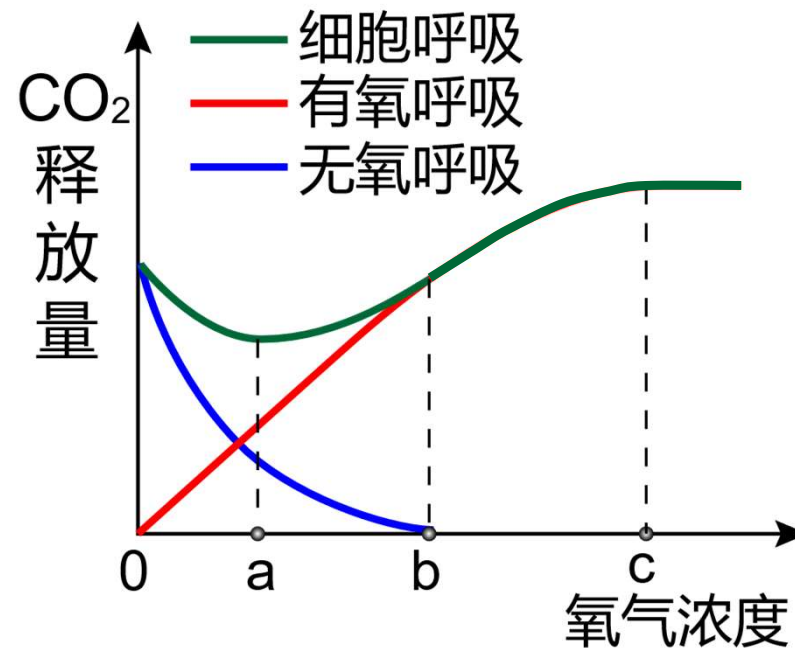
中耕松土，通过改善氧气供应促进作物根系呼吸作用；

稻田定期排水，防止酒精烂根；

（无氧）发酵要严格控制无氧条件。

CH 5.3.4.4 氧气

如果同时开展有氧呼吸和酒精发酵形式的无氧呼吸
(植物非绿色器官)



应用:

储存粮种: 低温, 低氧, 高CO₂, 干燥

储存果蔬: (零上) 低温, 低氧, 高CO₂, 一定湿度 ⁴⁰

CH 5.3.4.5 发酵工程



CH 5.3.4.6 健康生活

伤口较浅



用透气纱布或创
可贴进行包扎

伤口较深



及时就医

提倡慢跑



避免肌细胞因无
氧呼吸产生大量
乳酸



思考·讨论：细胞呼吸原理的应用

1.略。

2.提示：酸奶制作是利用了乳酸菌无氧呼吸；收获后的粮食要晒干再贮藏，就是通过降低细胞呼吸速率来延长贮存时间。



思维训练：运用证据和逻辑评价论点

关于真核细胞线粒体的起源，科学家提出了一种解释：约几十亿年前，有一种真核细胞吞噬了原始的需氧细菌，被吞噬的细胞不仅没有被消化分解，反而在细胞中生存下来了。需氧细菌从宿主细胞那里得到丙酮酸，宿主细胞从需氧细菌那里得到丙酮酸氧化分解释放的能量。在共同生存繁衍的过程中，需氧细菌进化为宿主细胞内专门进行细胞呼吸的细胞器。



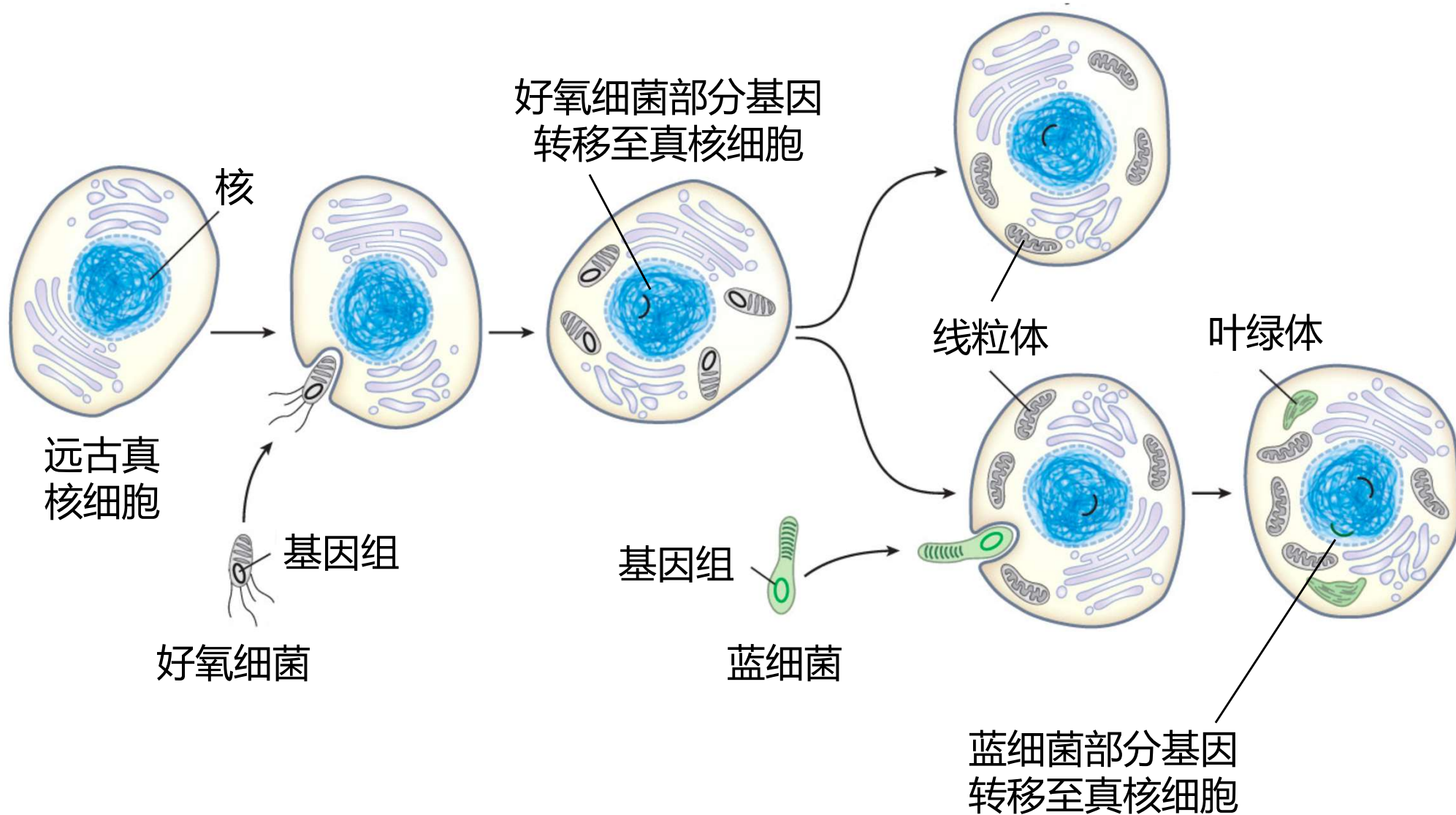
思维训练：运用证据和逻辑评价论点

以下哪些证据支持这一论点，哪些不支持这一论点？

- 1.线粒体内存在与细菌DNA相似的环状DNA
- 2.线粒体内的蛋白质，有少数几种由线粒体DNA指导合成，绝大多数由核DNA指导合成。
- 3.真核细胞内的DNA有极高比例的核苷酸序列经常不表现出遗传效应，线粒体DNA和细菌的却不是这样。
- 4.线粒体能像细菌一样进行分裂增殖。

支持： 1、3、4 不支持： 2

内共生学说



练习与应用：一、概念检测

1.某超市有一批过保质期的酸奶出现涨袋现象。酸奶中可能含有的微生物有乳酸菌、酵母菌等。据此分析涨袋现象的原因，判断以下解释是否合理。

(1) 是乳酸菌无氧呼吸产生气体造成的 ×

(2) 如果有酒味，可能是酵母菌无氧呼吸造成的 ✓

练习与应用：一、概念检测

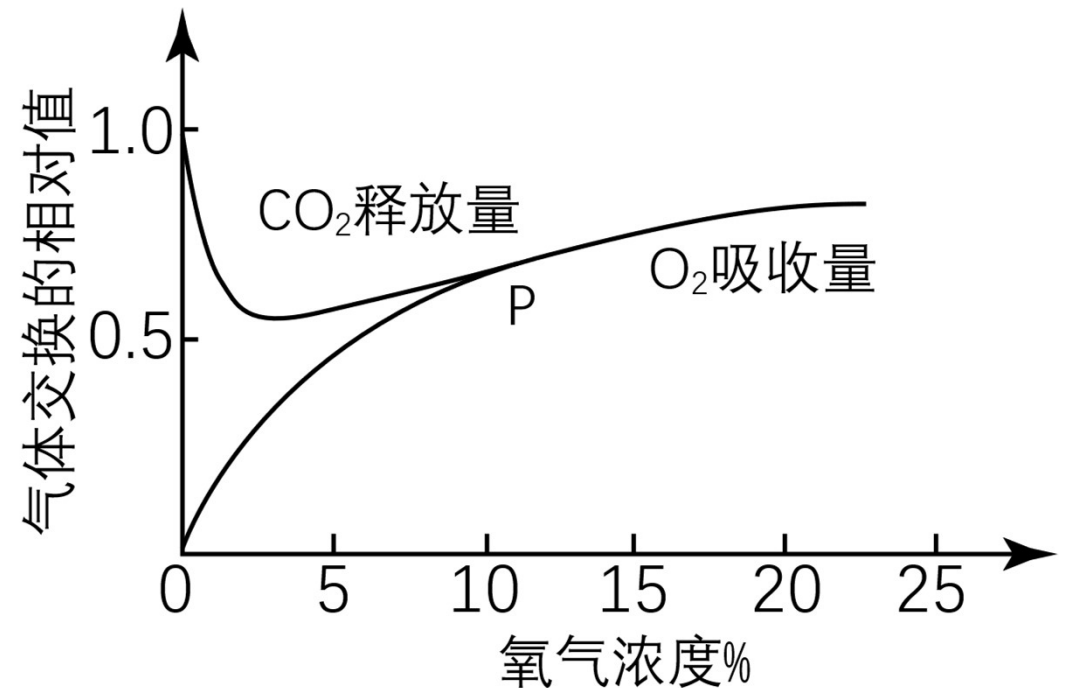
2. 下图表示某种植株的非绿色器官在不同氧浓度下， O_2 的吸收量和 CO_2 的释放量的变化。下列叙述正确的是 **C**

A. 氧气浓度为0时，该器官不进行呼吸作用

B. 氧气浓度在10%以下时，该器官只进行无氧呼吸

C. 氧气浓度在10%以上时，该器官只进行有氧呼吸

D. 保存该器官时，氧气浓度越低越好



练习与应用：二、拓展应用

3.将酵母菌培养液进行离心处理。把沉淀的酵母菌破碎后，再次离心处理为只含有酵母菌细胞质基质的上清液和只含有酵母菌细胞器的沉淀物两部分，与未离心处理过的酵母菌培养液分别放入甲、乙、丙3支试管中，并向这3支试管内同时滴入等量、等浓度的葡萄糖溶液。在有氧条件下，最终能产生 CO_2 和 H_2O 的试管是 **B**

A.甲 B.丙 C.甲和乙 D.丙和乙

甲：细胞质基质； 乙：细胞器沉淀； 丙：细胞

练习与应用：二、拓展应用

1.松土是许多农作物栽培中经常采取的一项措施。试分析农田松土给农作物的生长、当地的水土保持以及全球气候变暖等方面可能带来的影响，并指出如何尽量减少不利影响。

练习与应用：二、拓展应用

松土可以促进空气（氧气）进入土壤，进而促进根部细胞的有氧呼吸，提高能量利用率，并且避免了可能由于无氧呼吸积累酒精而对植物根系造成伤害。这会促进植物根系更加健康地生长，有利于根系吸收水分和无机盐，利于农作物的生长。同时，也能够增加根系对土壤和水分的保持作用，甚至可能由于促进了作物生长而更多的吸收 CO_2 ，对全球气候变暖产生缓解的作用。但是，松土不当，有可能伤害到植物根系，得不偿失。因此，需要根据不同的植物、植物的不同生长阶段等，采用适当的松土方法。

练习与应用：二、拓展应用

2. 有氧呼吸过程是否含有无氧呼吸的步骤？结合地球早期大气中没有氧气以及原核细胞中没有线粒体等事实，想一想，地球早期的单细胞生物是否只能进行无氧呼吸？你体内的骨骼肌细胞仍保留着进行无氧呼吸的能力，这是否可以理解为漫长的生物进化史在你身上留下的印记？

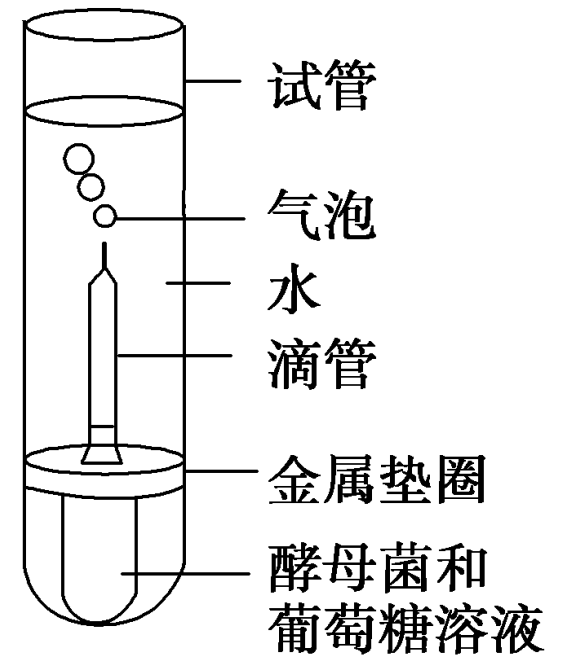
练习与应用：二、拓展应用

有氧呼吸第一阶段与无氧呼吸第一阶段完全相同,都不需要氧气,都与线粒体无关。联想到地球的早期以及原核细胞的结构,可以大胆作出这样的推测:在生物进化史上先出现无氧呼吸,而后才出现有氧呼吸。继而推测,地球早期的单细胞生物只进行无氧呼吸,体内骨骼肌细胞保留进行无氧呼吸的能力,可以理解为漫长的生物进化史在人类身上留下的印记,同时也可以理解为人体在进行长跑等剧烈运动时,在供氧不足的情况下,骨骼肌细胞保留一定的无氧呼吸来供能,有利于生物的生存和对环境的适应。

《阳光课堂》相关习题

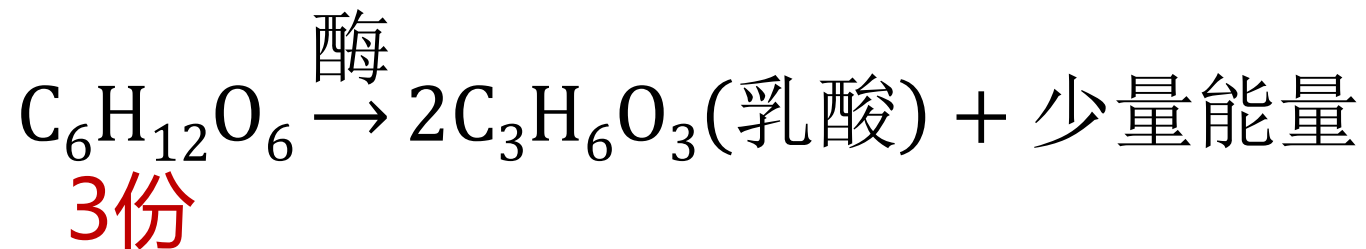
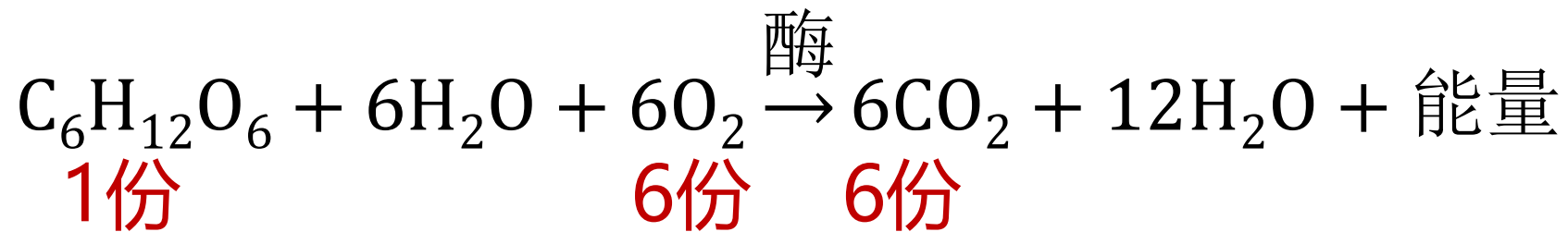
某兴趣小组在室温下进行了酵母菌无氧呼吸的探究实验（如右图）。下列分析错误的是 **D**

- A. 滴管中冒出气泡是反应产生 CO_2 的结果
- B. 试管中加水的主要目的是制造无氧环境
- C. 若试管中的水换成冷水，气泡释放速率下降
- D. 被分解的葡萄糖中的能量一部分转移至ATP，其余的存留在酒精中



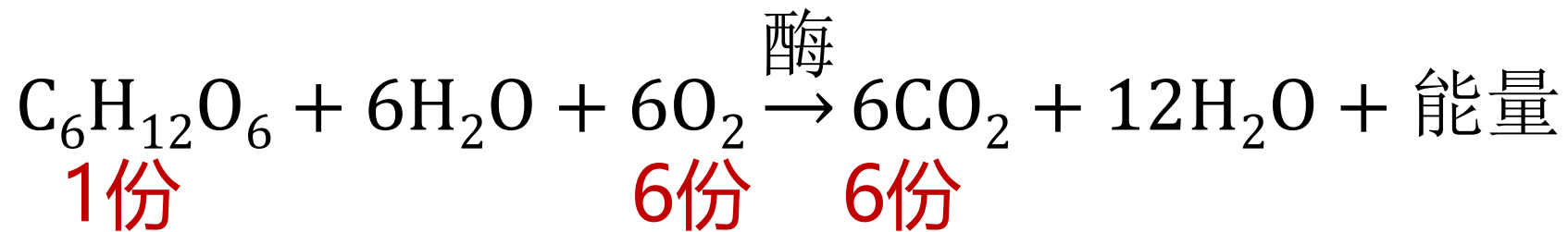
《阳光课堂》相关习题

某动物组织中，有氧呼吸与无氧呼吸消耗葡萄糖的量的比为1 : 3，则该组织消耗的氧气量与产生的二氧化碳量之比为？ **1:1**

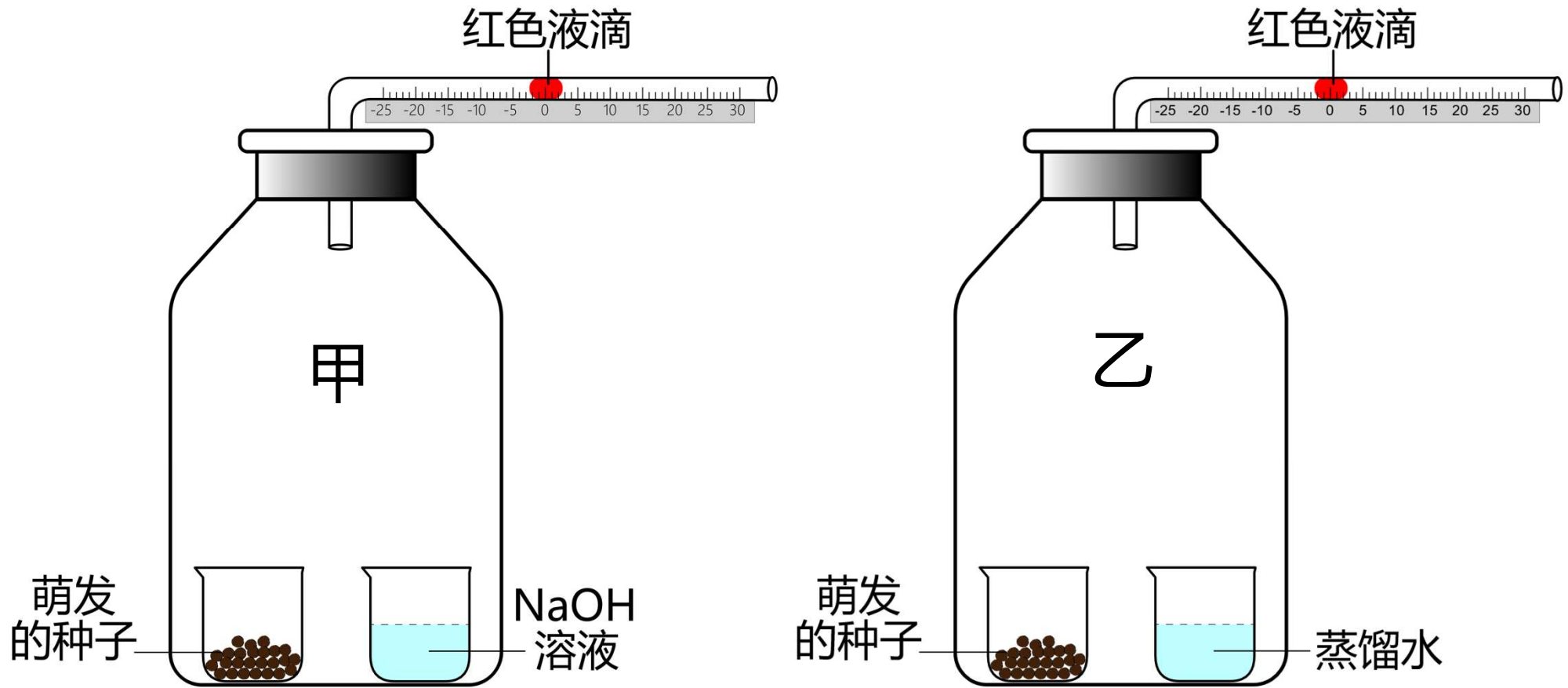


《阳光课堂》相关习题

培养酵母菌时，消耗的氧气量与产生的二氧化碳量之比为1 : 2，则酵母菌有氧呼吸与无氧呼吸消耗葡萄糖的比值？ 1:3



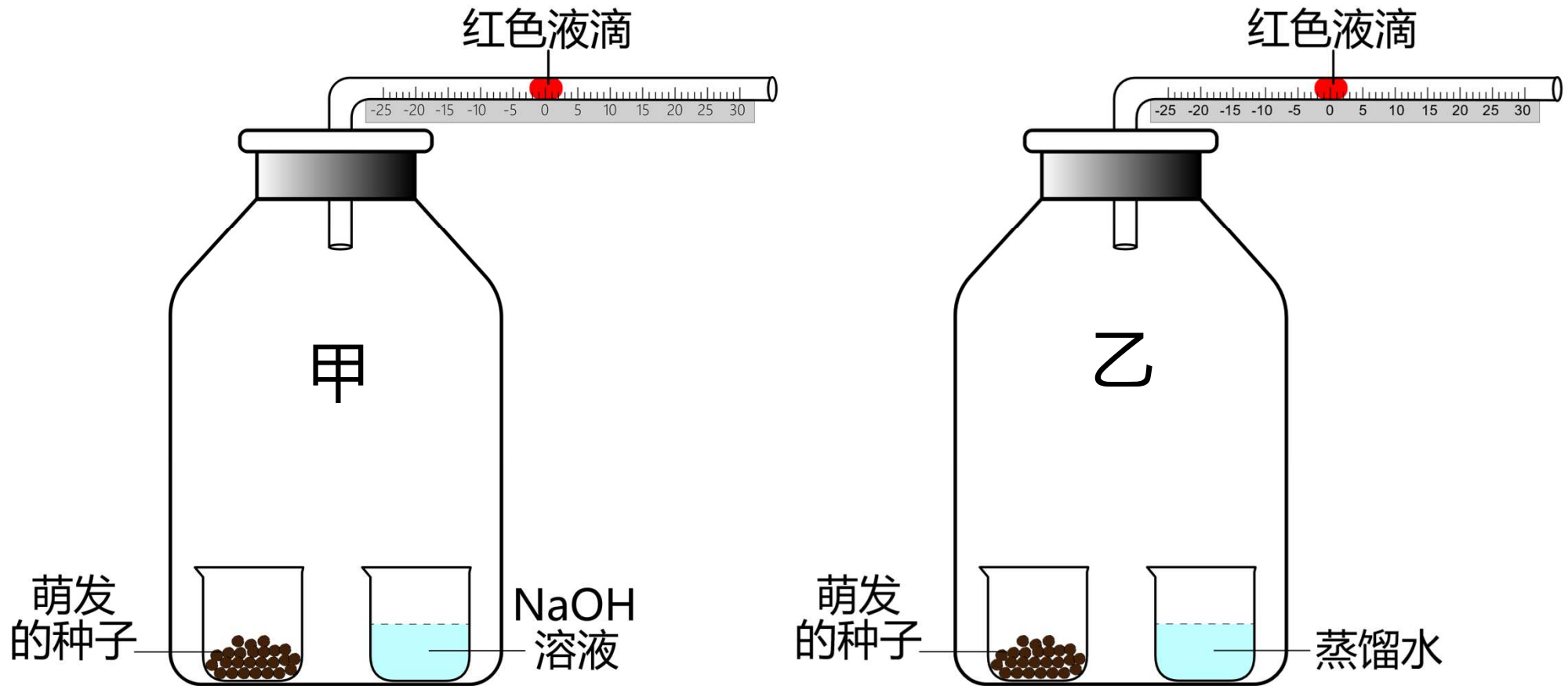
拓展：呼吸方式判断



甲组测定的是 O_2 吸收量,

乙组测定的是 O_2 吸收量与 CO_2 释放量的差值。

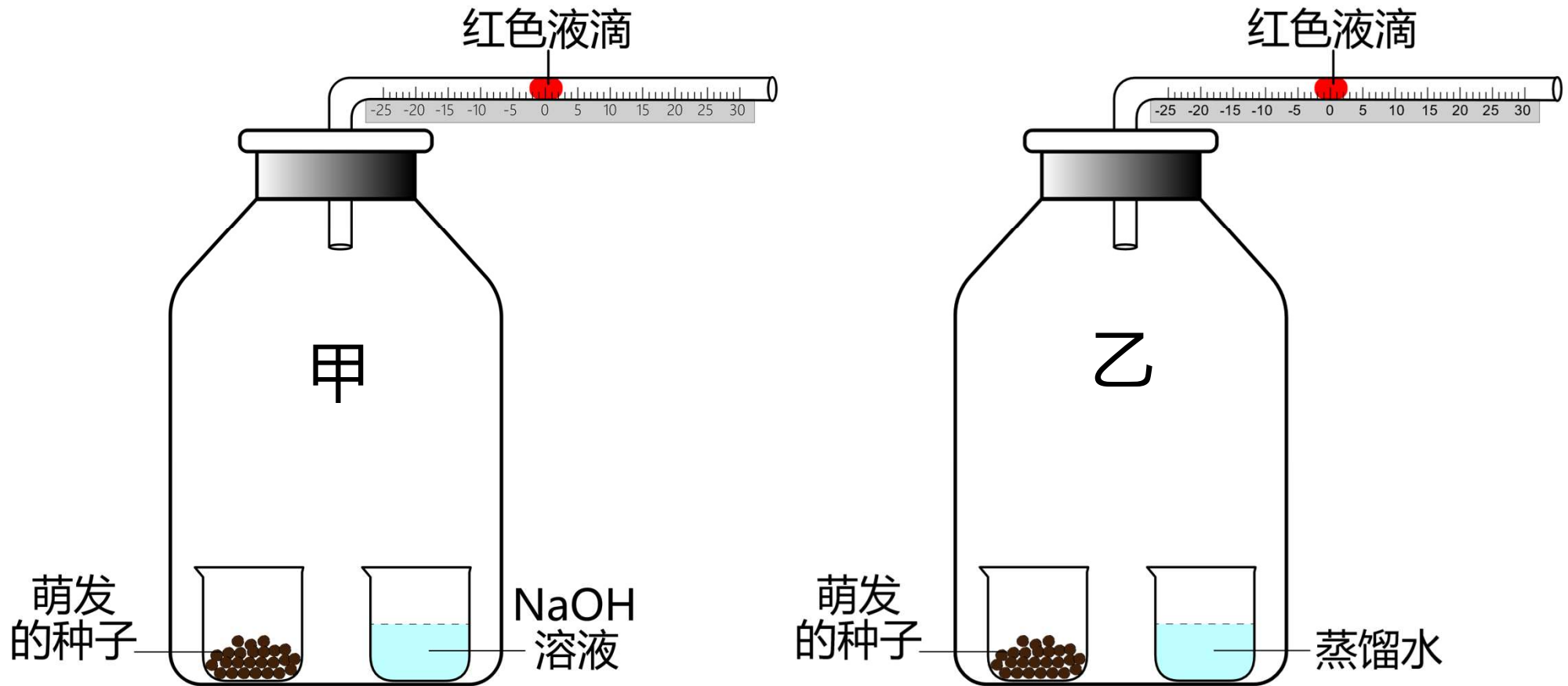
拓展：呼吸方式判断



①种子只进行以葡萄糖为底物的有氧呼吸，

甲左移，乙不动。

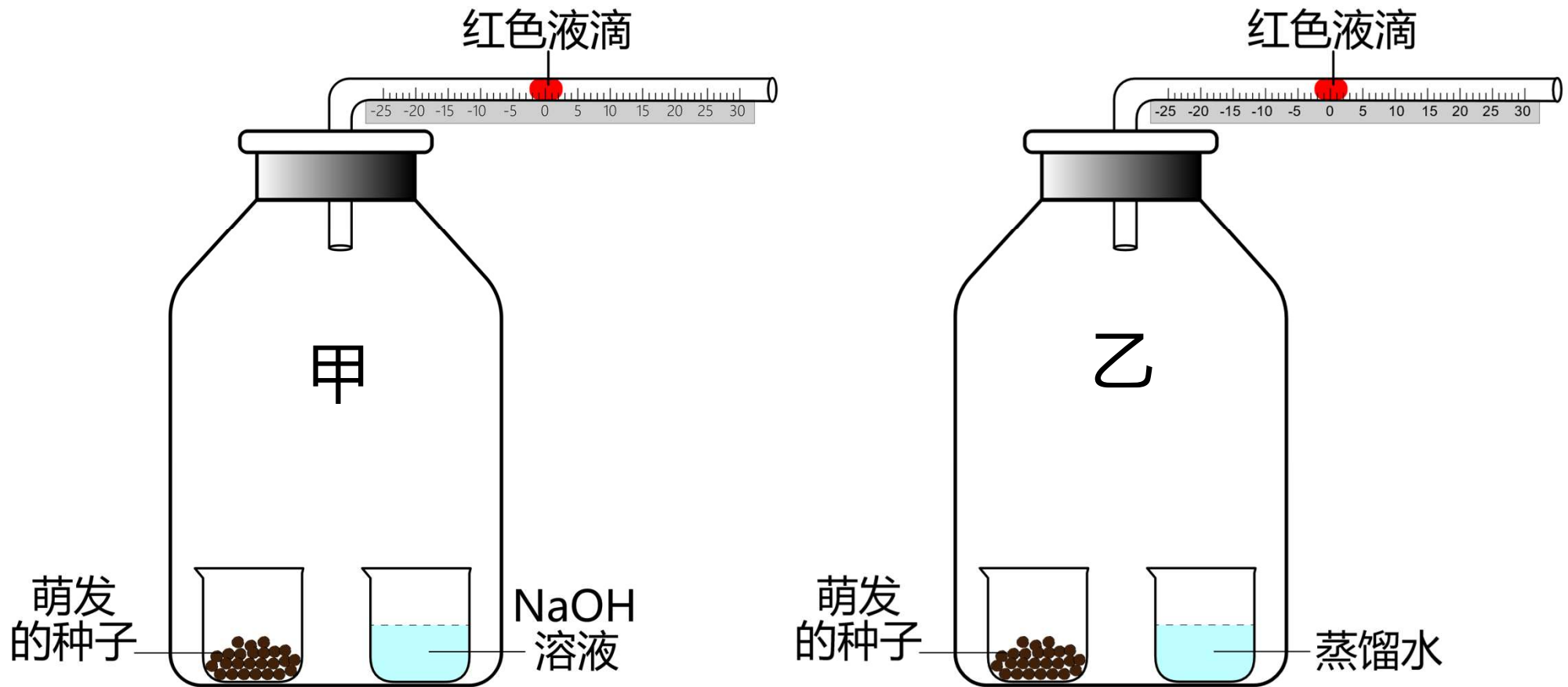
拓展：呼吸方式判断



②种子只进行以葡萄糖为底物的酒精发酵，

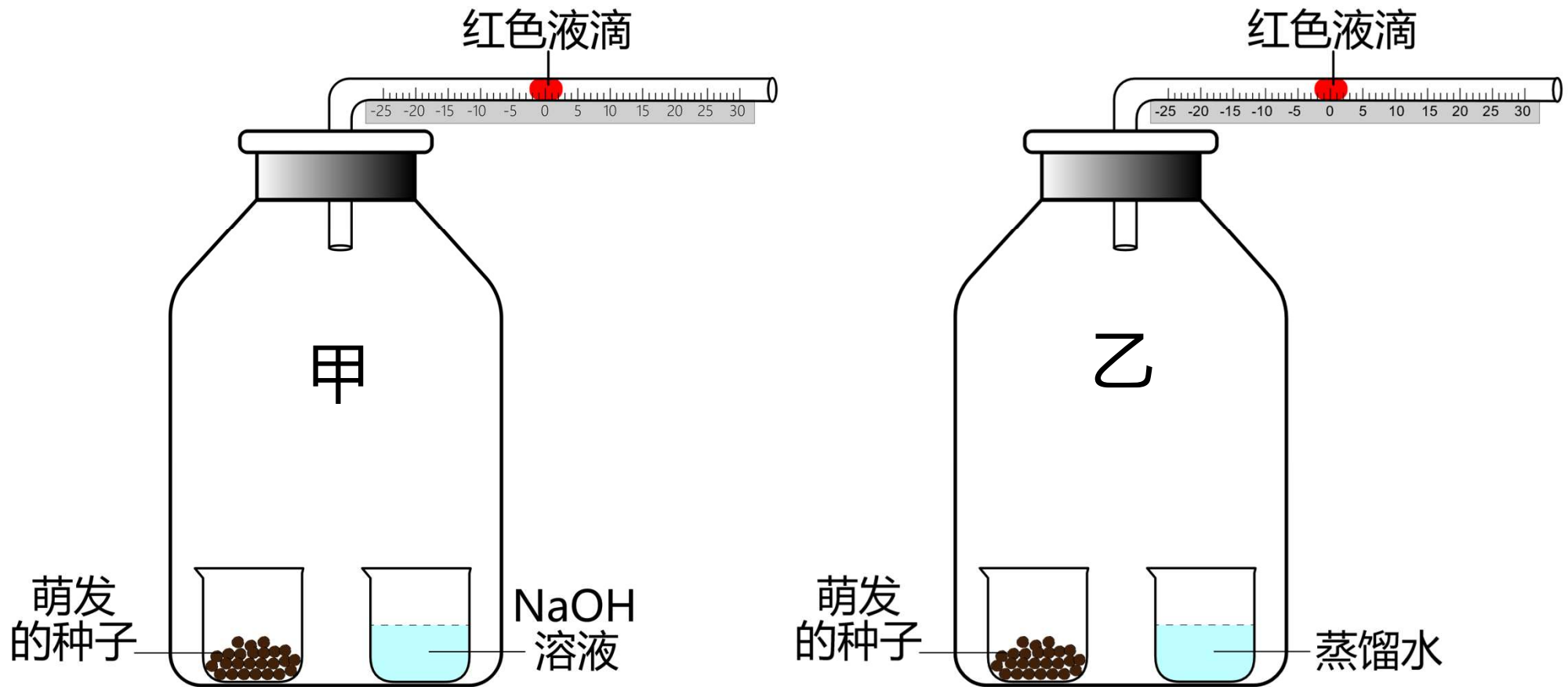
甲不动，乙右移。

拓展：呼吸方式判断



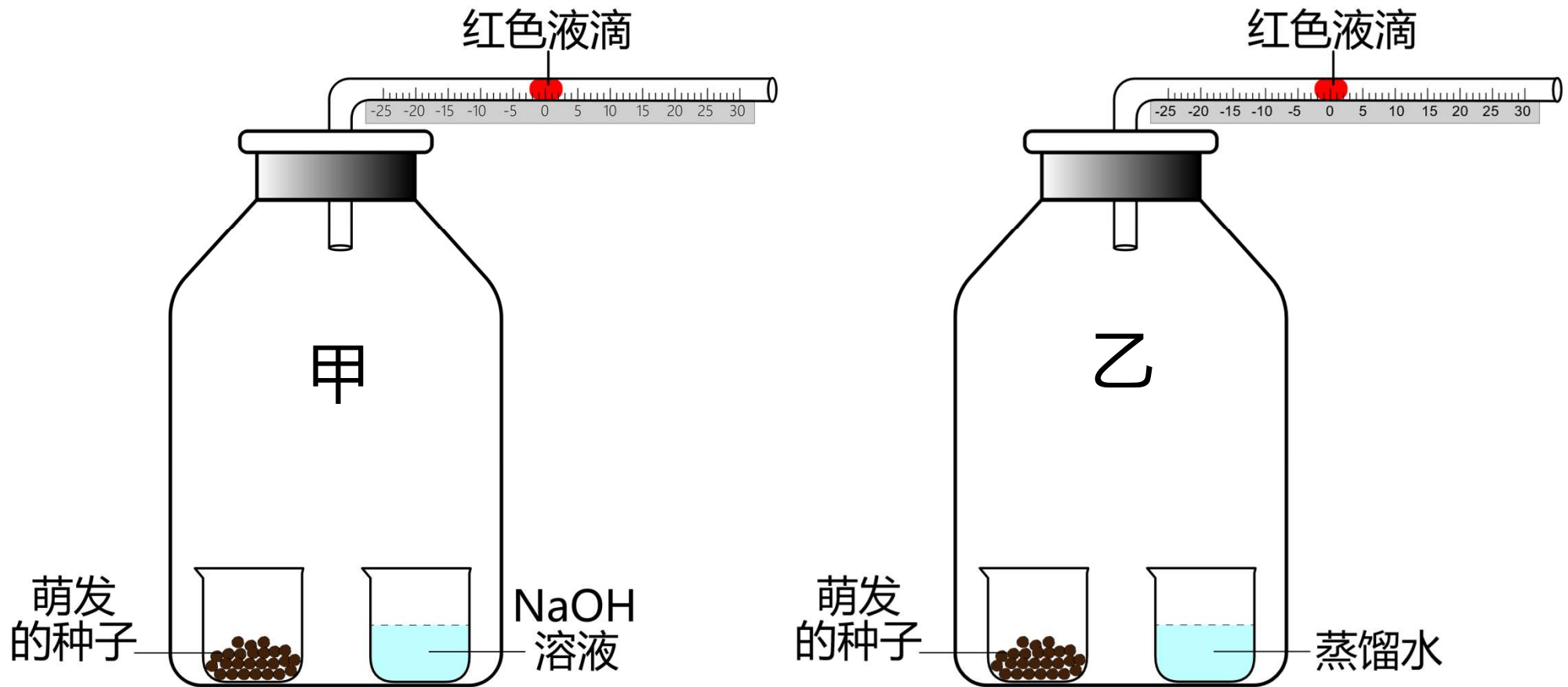
③种子只进行以葡萄糖为底物的乳酸发酵，
甲不动，乙不动。

拓展：呼吸方式判断



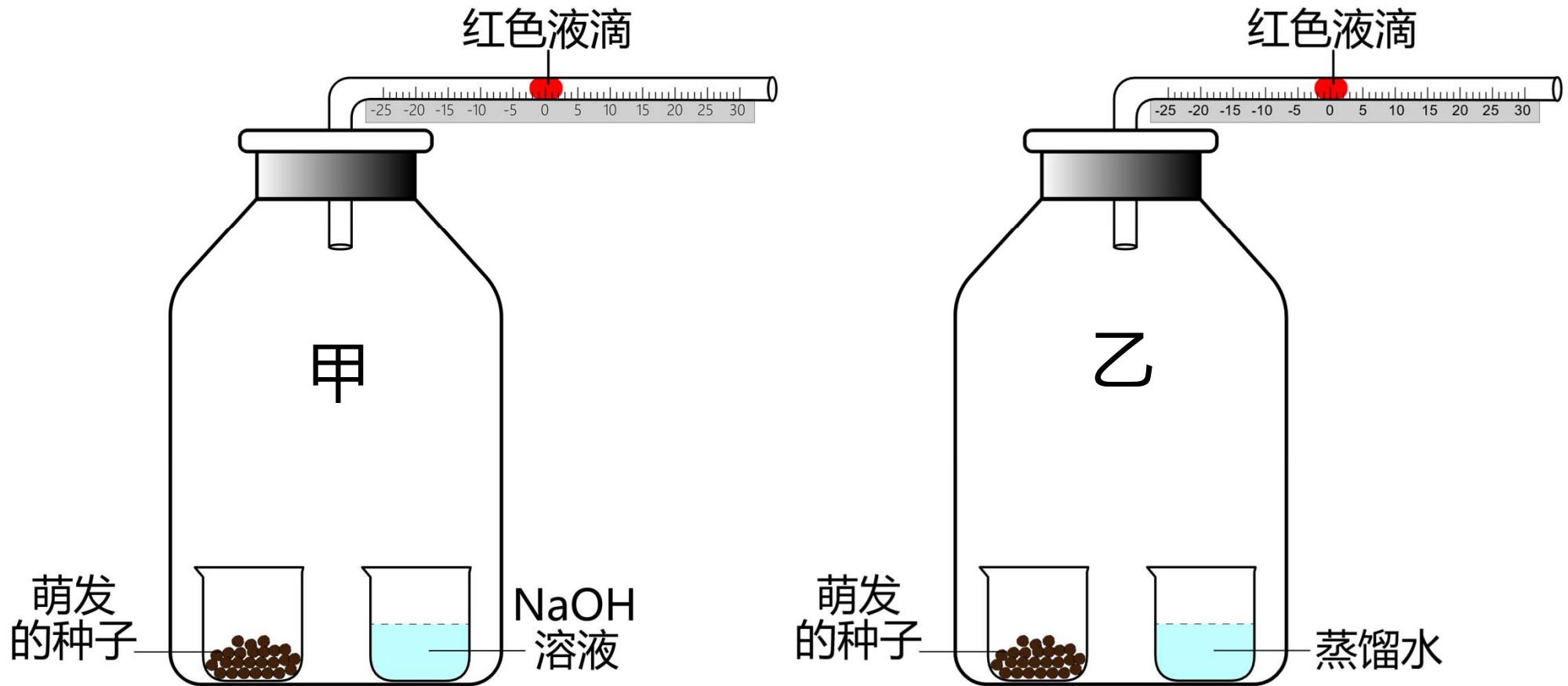
④种子只进行以葡萄糖为底物的有氧呼吸+酒精发酵，
甲左移，乙右移。

拓展：呼吸方式判断



⑤种子只进行以葡萄糖为底物的有氧呼吸+乳酸发酵，
甲左移，乙不动。

拓展：呼吸方式判断



⑥种子只进行以**脂肪（油料种子）**为底物的有氧呼吸，
甲**左移**，乙**左移**。

拓展：呼吸方式判断

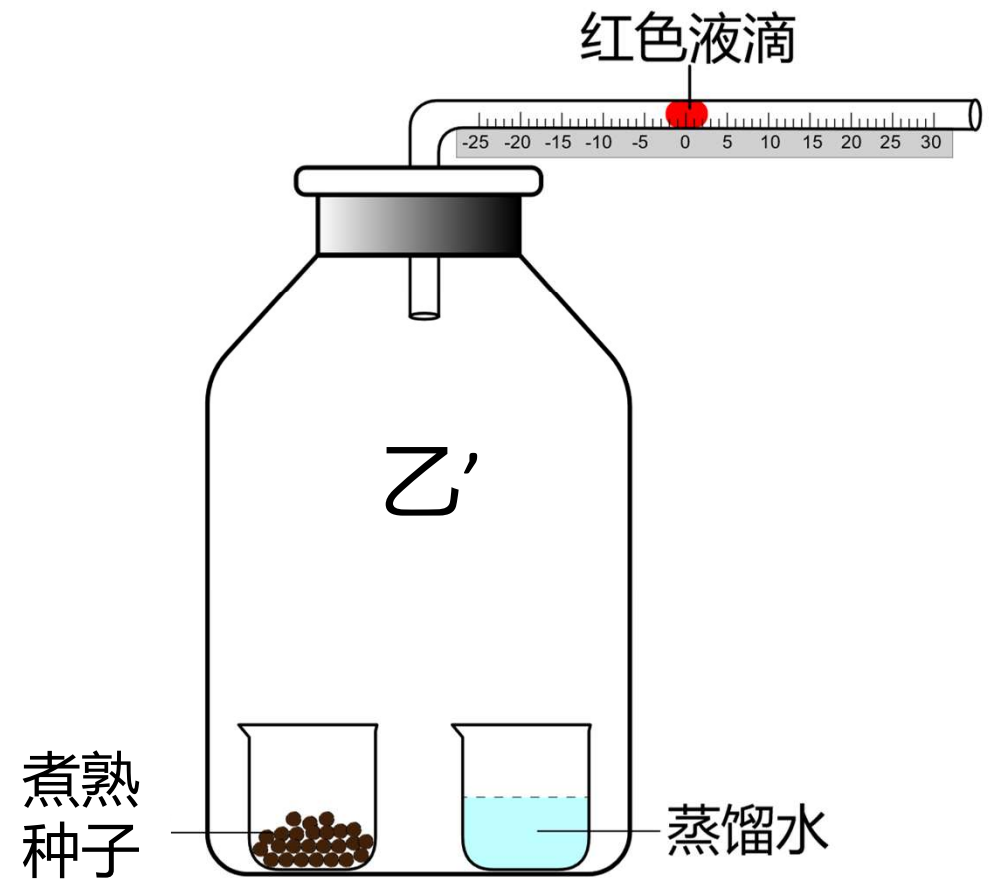
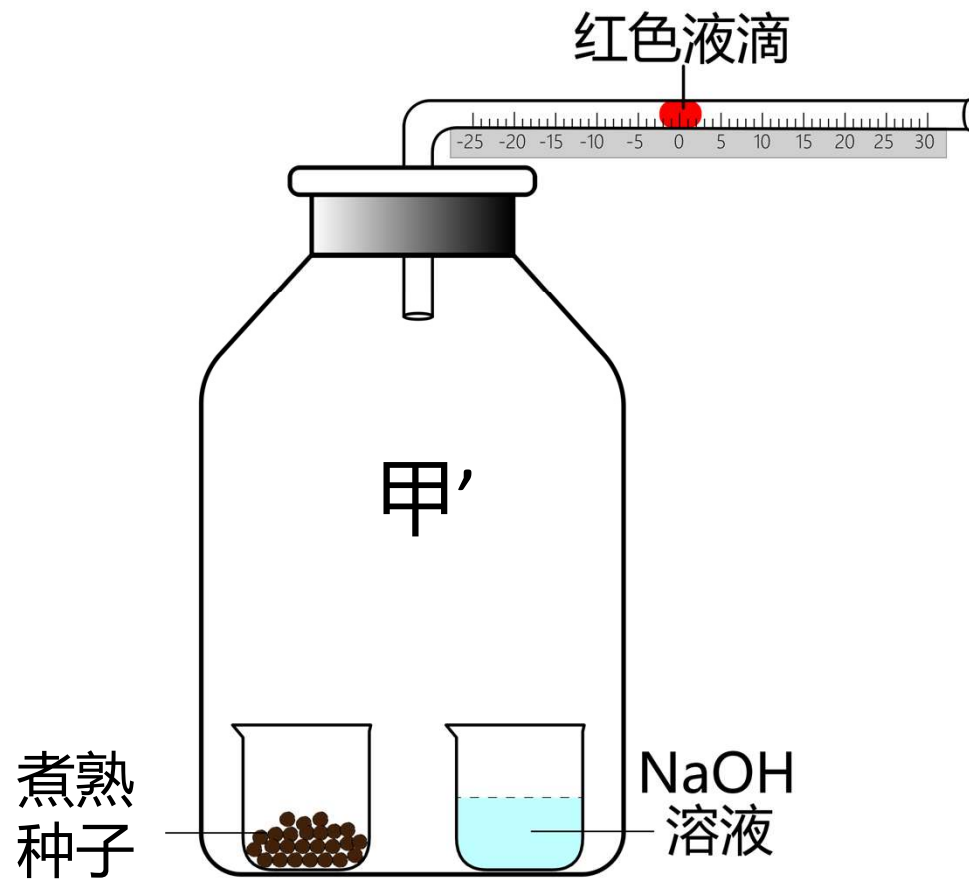
甲	乙	判断
不动	不动	乳酸发酵/种子已死亡
不动	右移	酒精发酵
左移	右移	有氧呼吸+酒精发酵
左移	不动	有氧呼吸/有氧呼吸+乳酸发酵
左移	左移	脂肪为底物的有氧呼吸

甲组测定的是 O_2 吸收量,

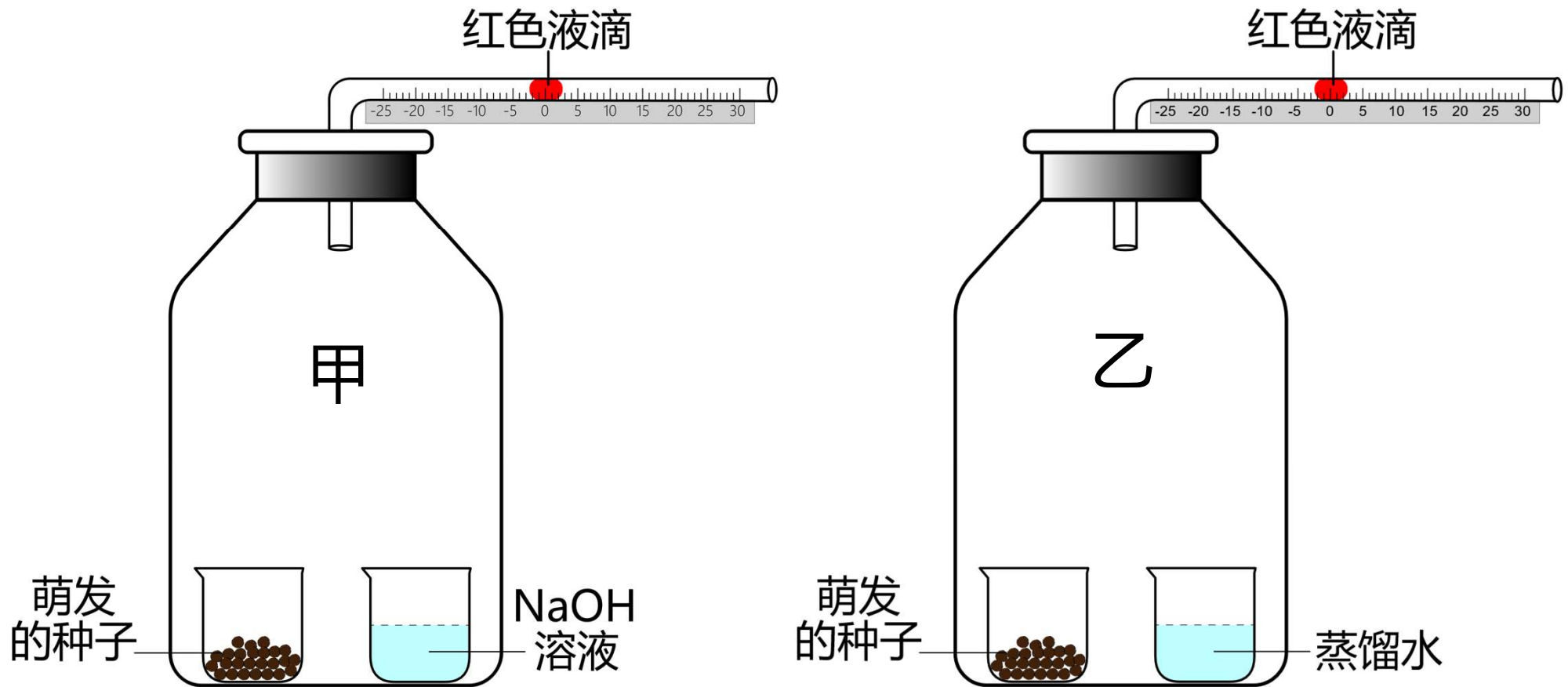
乙组测定的是 O_2 吸收量与 CO_2 释放量的差值。

拓展：呼吸方式判断

实验如何校正物理误差？



拓展：呼吸商（respiration quotient）



甲组测定的是 O_2 吸收量，记为a

乙组测定的是 O_2 吸收量与 CO_2 释放量的差值。记为b

$$CO_2\text{释放量} = |a - b|$$

拓展：呼吸商（respiration quotient）

$$\text{呼吸商} = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} = \frac{|a - b|}{a}$$

底物	呼吸模式	呼吸商
葡萄糖	有氧呼吸	=1
	酒精发酵	—
	乳酸发酵	—
	有氧呼吸+酒精发酵	> 1
	有氧呼吸+乳酸发酵	= 1
脂肪	有氧呼吸	< 1