

CH 5.4 光合作用与能量转化

CH 5.4.1 捕获光能的色素和结构

Y. K. Fu

1

1

本节聚焦

- 植物依靠哪些色素捕获光能？
- 叶绿体的结构有哪些适于进行光合作用的特点？

2

2

问题探讨

你参观或听说过植物工厂吗？植物在人工精密控制光照、温度、CO₂浓度和营养液成分等条件下，生产蔬菜和其他植物。有的植物工厂完全依靠LED灯等人工光源，其中常见的是红色、蓝色和白色的光源。

3

3

问题探讨

1.靠人工光源生产蔬菜有什么好处？

①用人工光源生产蔬菜，可以避免由于自然环境中光照强度不足导致光合作用强度低而造成减产。

②人工光源的强度和不同色光是可以调控的，可以根据植物生长的情况进行调节，以使蔬菜产量达到最大。

4

4

问题探讨

2.为什么要控制CO₂浓度、营养液成分和温度条件？

影响光合作用的因素很多，既有植物自身条件，也有外界环境条件。

CO₂浓度、营养液和温度是影响植物生长的重要外部条件，因此要进行控制，以便让植物达到最佳的生长状态。

5

5

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

光照等适宜条件

白化苗
(没色素)

绿色苗
(有色素)

养分耗尽死去

能够正常生长

叶片中色素可能与光能的捕获有关

6

6

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•提取原理

绿叶中的色素能够溶解在有机溶剂无水乙醇中。

•分离原理（纸层析）

①绿叶中的色素能够溶解在层析液中，但不同色素的溶解度不同；②溶解度高的随层析液在滤纸上扩散得快，反之则慢。

滤纸

色素分子
反复横跳

层析液

7

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•目的要求

进行绿叶中色素的提取和分离；
探究绿叶中含有几种色素；
•后续可用于研究
鉴定色素结构（必修一P022）；
绘制色素吸收光谱；
人工合成色素；
etc.

8

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•材料用具

提取

材料 新鲜绿叶

用具 天平、剪刀

研磨&提取

试剂 95%乙醇+无水碳酸钠

用具 研钵、药匙、量筒(10 mL)

过滤

用具 玻璃漏斗

尼龙布

试管架

试管

棉塞

9

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•材料用具

材料 定性滤纸

用具 剪刀

铅笔

分离

制备滤纸条

画滤液细线

分离色素

试剂 滤液

① 推荐 毛细吸管

② 备择 培养皿

盖玻片

10

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

层析液

石油醚 20份

丙酮 2份

苯 1份

用具

① 推荐 试管

棉塞

② 备择 小烧杯

培养皿

11

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 1 提取绿叶中的色素

称取、剪碎

称取5 g绿叶，剪去主叶脉，剪碎，放入研钵中。



12

研磨

二氧化硅：有助于研磨得充分
碳酸钙：防止色素被破坏
无水乙醇：溶解色素



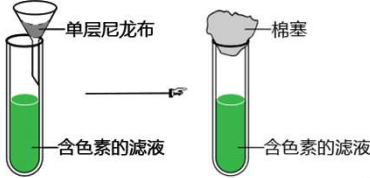
探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 1 提取绿叶中的色素

13

过滤

将研磨液迅速倒入玻璃漏斗（漏斗基部放一块单层尼龙布）进行过滤。将滤液收集到试管中，及时用棉塞将试管口塞严。



探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 1 提取绿叶中的色素

14

1cm

将干燥的定性滤纸剪成宽度略小于试管直径、长度略小于试管长度的滤纸条；再将滤纸的一端剪去两角，并在距这一端底部1 cm处用铅笔画一条细线。

Q：为何要剪去两角？能否用中性笔？
A：防止色素带扩散不整齐（边缘效应）。不能。

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 2 制备滤纸条

15

1cm

用毛细吸管吸取少量滤液沿铅笔线均匀地画出一条细线。待滤液干后，再重复画一到两次（要求细、直、齐）。也可将滤液倒入培养皿，再用盖玻片蘸取滤液，在横线处按压出均匀地细线

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 3 画滤液细线

16

滤液细线

层析液

将适量的层析液倒入试管中，将滤纸条（有滤液细线的一端朝下）轻轻插入层析液中，随后用棉塞塞紧试管口。

注意：不能让滤液细线触及层析液，否则滤液细线中的色素会被层析液溶解，而不能在滤纸上扩散。

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 4 分离滤液中的色素

17

滤液细线

层析液液面

也可用小烧杯代替试管，用培养皿盖住小烧杯。

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤：step 4 分离滤液中的色素

18

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

•方法步骤: step 5 观察与记录

观察试管内滤纸条上出现几条色素带, 以及每条色素带的颜色和宽窄。将观察结果记录下来。



19

19

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

绿叶中的色素有4种, 它们可以归为两大类:

绿叶中的色素	类胡萝卜素 含量~1/4	胡萝卜素	④	橙黄	胡萝卜
		叶黄素	③	黄	银杏
	叶绿素 含量~3/4	叶绿素a	①	蓝绿	爱
		叶绿素b	②	黄绿	币

20

20

探究·实践 绿叶中色素的提取和分离

Q1: 层析液为什么不用无水乙醇?

A1: 层析液需要调整各组分在其中的溶解度

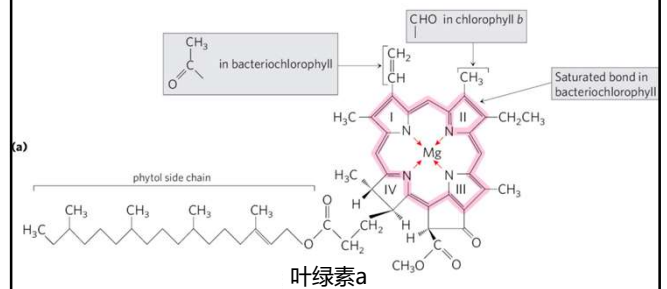
Q2: 为什么叶绿素条带靠下?

A2: 叶绿素在层析液中的溶解度低

21

21

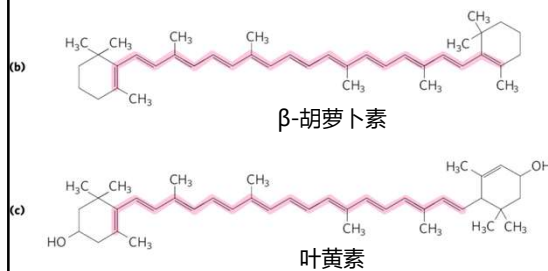
CH 5.4.1.1 捕获光能的色素



22

22

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

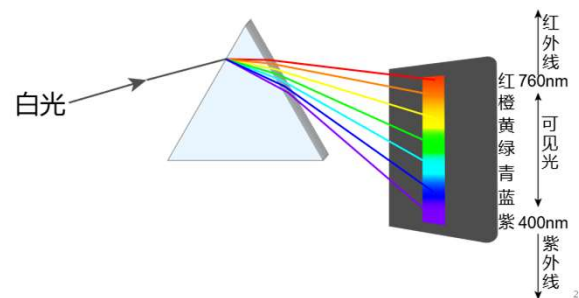


23

23

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

阳光(白光)在穿过三棱镜时, 不同波长的光会分散开, 形成不同颜色的光带, 称为**光谱**。

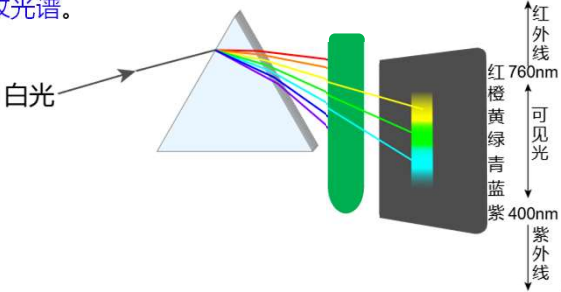


24

24

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

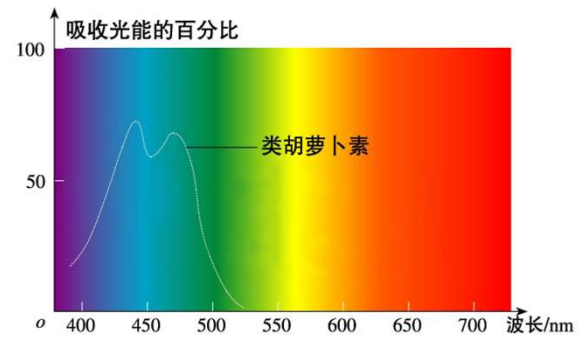
在色素溶液与阳光之间，放置一块三棱镜。分别让不同颜色的光照射色素溶液，就可以得到色素溶液的**吸收光谱**。



25

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

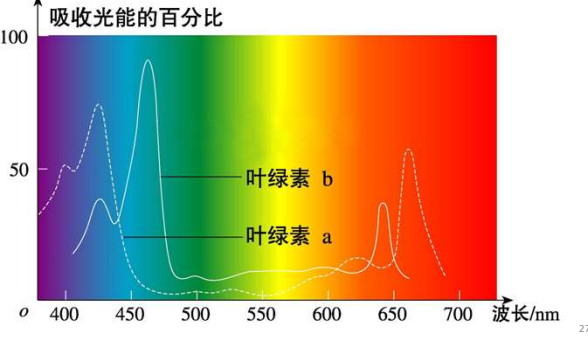
类胡萝卜素主要吸收**蓝紫光**，不吸收红光



26

CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

叶绿素主要吸收**蓝紫光**和**红光**；
叶绿素a和叶绿素b的**吸收峰质不同**



27

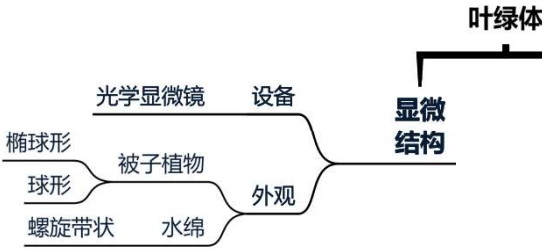
CH 5.4.1.1 捕获光能的色素

植物色素比较：

比较项目	光合色素	细胞液色素
存在部位	叶绿体	液泡
溶解性	脂溶性	水溶性
代表种类	类胡萝卜素和叶绿素	花青素
颜色	橙黄、黄、蓝绿、黄绿	红、紫、蓝等
颜色变化	不随pH改变变化颜色	随pH改变变化颜色

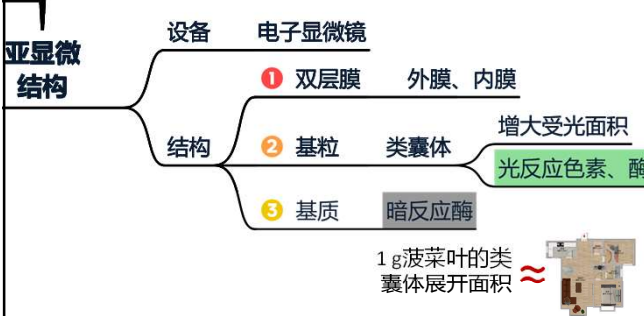
28

CH 5.4.1.2 叶绿体的结构适于进行光合作用



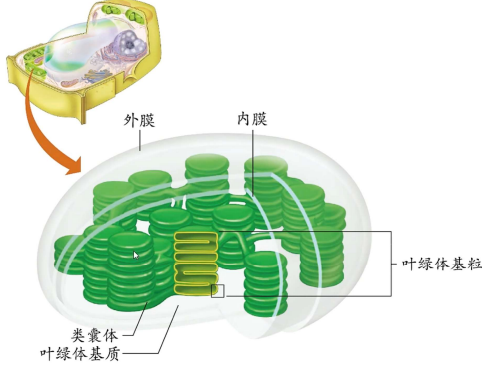
29

CH 5.4.1.2 叶绿体的结构适于进行光合作用



30

CH 5.4.1.2 叶绿体的结构适于进行光合作用

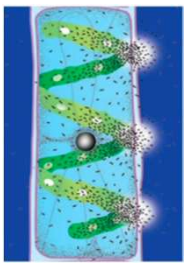


31

31

思考·讨论 叶绿体的功能

A. 黑暗中使用极细的光束照射水绵，发现需氧细菌只向叶绿体被光束照射到的部位集中。



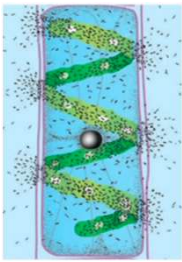
自变量	叶绿体有无受光
因变量	叶绿体是否产生氧气
观测指标	好氧细菌分布
结果	好氧细菌集中分布在叶绿体受光部位
结论	氧气是叶绿体受光释放出来的

32

32

思考·讨论 叶绿体的功能

B. 把装置放在光下，细菌则分布在叶绿体所有受光的部位。



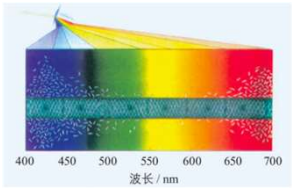
- Q1: B实验的作用?
A1: 进一步验证A实验的结论。
Q2: A+B实验能否得到“叶绿体是绿色植物进行光合作用的场所”的结论?
A2: 不宜得出此结论。

33

33

思考·讨论 叶绿体的功能

用透过三棱镜的光照射水绵临时装片，发现大量的好氧细菌聚集在红光区和蓝紫光区。



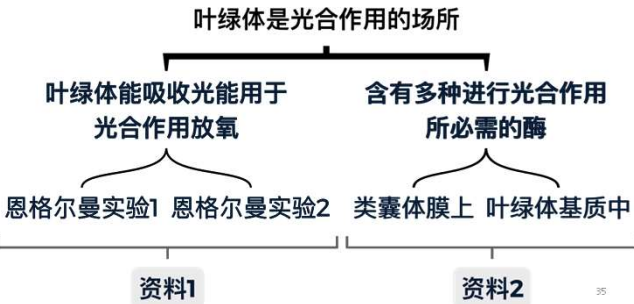
结论：叶绿体主要利用红光和蓝紫光释放氧气。

34

34

思考·讨论 叶绿体的功能

资料2 在类囊体膜上和叶绿体基质中，含有多种进行光合作用所必需的酶。



35

35

思考·讨论 叶绿体的功能

1. 恩格尔曼第一个实验的结论是什么?
恩格尔曼第一个实验的结论是：氧气是叶绿体释放出来的，叶绿体是绿色植物进行光合作用的场所（虽然教参是这么写的，不宜得此结论）。

36

36

思考·讨论 叶绿体的功能

2.恩格尔曼在选材、实验设计上有什么巧妙之处？

提示：实验材料选择水绵和好氧细菌，水绵的叶绿体呈螺旋式带状，便于观察，用好氧细菌可确定释放氧气多的部位；没有空气的黑暗环境排除了氧气和光的干扰；用极细的光束照射，叶绿体上有光照多和光照少的部位，相当于一组对比实验；临时装片暴露在光下的实验再一次验证了实验结果，等等。

37

37

思考·讨论 叶绿体的功能

3.在第二个实验中，大量的需氧细菌聚集在红光和蓝紫光区域，为什么？

这是因为水绵叶绿体上的光合色素主要吸收红光和蓝紫光，在此波长光的照射下，叶绿体会释放氧气，适于好氧细菌在此区域分布。

38

38

思考·讨论 叶绿体的功能

4.综合上述资料，你认为叶绿体具有什么功能？

叶绿体是进行光合作用的场所，并且能够吸收特定波长的光。

39

39

练习与应用：一、概念检测

1.基于对叶绿体的结构和功能的理解，判断下列相关表述是否正确。

- (1) 叶绿体中只有叶绿素吸收的光能才能用于光合作用。 ×
- (2) 叶绿体的类囊体上有巨大的膜面积，有利于充分吸收光能。 ✓
- (3) 植物叶片之所以呈现绿色，是因为叶片中的叶绿体吸收了绿光。 ×

40

40

练习与应用：一、概念检测

2.下列关于高等植物细胞内色素的叙述，错误的是 A

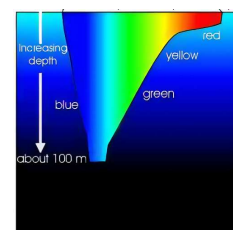
- A.所有植物细胞中都含有4种色素
- B.有些植物细胞的液泡中也含有色素
- C.叶绿素和类胡萝卜素都可以吸收光能
- D.植物细胞内的光合色素主要包括叶绿素和类胡萝卜素两大类

41

41

练习与应用：二、拓展应用

1.海洋中的藻类，习惯上依其颜色分为绿藻、褐藻和红藻，它们在海水中的垂直分布大致依次是浅、中、深。这种现象与光能的捕获有关吗？



42

42

练习与应用：二、拓展应用

1.海洋中的藻类，习惯上依其颜色分为绿藻、褐藻和红藻，它们在海水中的垂直分布大致依次是浅、中、深。这种现象与光能的捕获有关吗?**有关。不同颜色的藻类吸收不同波长的光。藻类本身的颜色是反射出来的光所形成的，即红藻反射出红光，绿藻反射出绿光，褐藻反射出黄色的光。水对红、橙光的吸收比对蓝、绿光的吸收要多，即到达深水层的光线是短波长的光，因此吸收红光和蓝紫光较多的绿藻分布于海水的浅层，吸收蓝紫光和绿光较多的红藻分布于海水深的地方。**

43

练习与应用：二、拓展应用

2.与传统的生产方式相比，植物工厂生产蔬菜等食物有哪些优势？又面临哪些困难？你对植物工厂的发展前景持什么观点？请搜集资料，结合自己的思考写一篇综述性短文。

与传统生产方式相比，植物工厂生产蔬菜可以精确控制植物的生长周期、生长环境、上市时间等，但同时面临技术难度大、操控要求高、需要掌握各种不同蔬菜的生理特性等问题。综述性短文只要证据确凿、逻辑清晰、言之有理，就可以的。

44

CH 5.4 光合作用与能量转化
CH 5.4.2 光合作用的原理和应用

Y. K. Fu

45

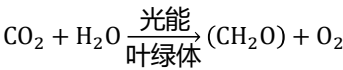
本节聚焦

- 光合作用是怎样进行的？
- 光合作用过程中物质变化与能量转化有什么关系？
- 光合作用原理在生产中有哪些应用？

46

CH 5.4.2.1 光合作用的原理

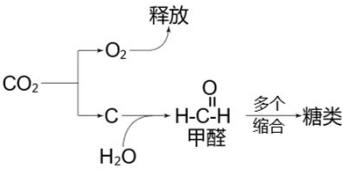
光合作用指绿色植物通过叶绿体，利用光能，将二氧化碳和水转化成储存着能量的有机物，并且释放氧气的过程。



47

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

①19世纪末科学家的胡思乱想

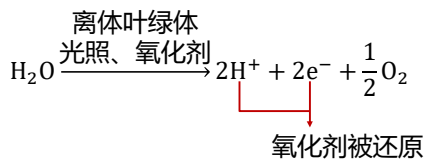


② 1928年，科学家发现甲醛对植物有毒害作用，而且甲醛不能通过光合作用转化成糖类。

48

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

③ 1937年，英国植物学家希尔 (R. Hill) 发现，在离体叶绿体的悬浮液中加入铁盐或其他氧化剂（悬浮液中有 H_2O ，没有 CO_2 ），在光照下可以释放出氧气。像这样，离体叶绿体在适当条件下发生水的光解、产生氧气的化学反应称作希尔反应。

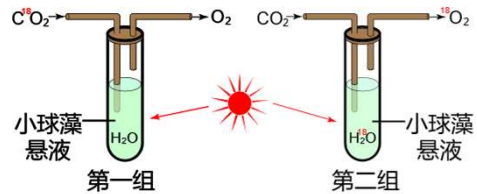


49

49

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

④ 1941年，美国科学家鲁宾 (S. Ruben) 和卡门 (M. Kamen) 用同位素示踪的方法，研究了光合作用中氧的来源。

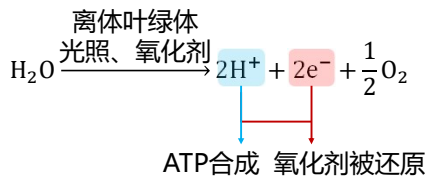


50

50

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

⑤ 1954年，美国科学阿尔农 (D. Arnon) 发现，在光照下，叶绿体可合成ATP。1957年，又发现这一过程总是与光的水解相伴。

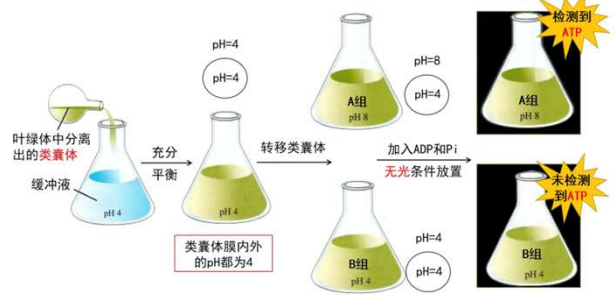


51

51

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

⑥ 1966年，贾格道夫实验（补充材料）



推测叶绿体中ATP的合成机制？

52

52

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

1. 希尔的实验说明水的光解产生氧气，是否说明植物光合作用产生的氧气中的氧元素全部来自于水？

不能说明。希尔反应仅说明了离体叶绿体在适当条件下可以发生水的光解，产生氧气。该实验没有排除叶绿体中其他物质的干扰，也并没有直接观察到氧元素的转移。

53

53

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

2. 希尔的实验能否说明水的光解与糖的合成不是同一个化学反应？

能够说明。希尔反应是将离体叶绿体置于悬浮液中完成的，悬浮液中有 H_2O ，没有合成糖的另一种必需原料—— CO_2 ，因此，该实验说明水的光解并非必须与糖的合成相关联，暗示着希尔反应是相对独立的反应阶段。

54

54

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

3.分析鲁宾和卡门做的实验，你能得出什么结论？

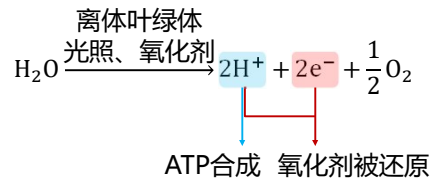
光合作用释放的氧气中的氧元素全部来源于水，而并不来源于CO₂。

55

55

思考·讨论 探索光合作用原理的部分实验

4.尝试用示意图来表示ATP合成与希尔反应关系？



56

56

综上，

光合作用释放的氧气中的氧元素来自水，氧气的产生和糖类的合成不是同一个化学反应，而是分阶段进行。



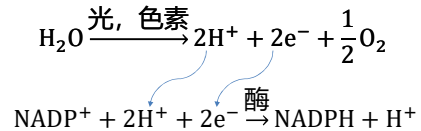
57

57

光反应阶段是在类囊体的薄膜上进行的

叶绿体中光合色素吸收的光能，有以下两方面用途。

一是将水分解为氧和H⁺，氧直接以氧分子的形式释放出去，H⁺与氧化型辅酶Ⅱ（NADP⁺）结合，形成还原型辅酶Ⅱ（NADPH）。

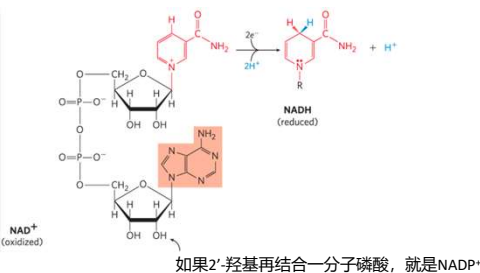


58

58

光反应阶段是在类囊体的薄膜上进行的

NADPH作为活泼的还原剂，参与暗反应阶段的化学反应，同时也储存部分能量供暗反应阶段利用。

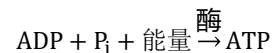


59

59

光反应阶段是在类囊体的薄膜上进行的

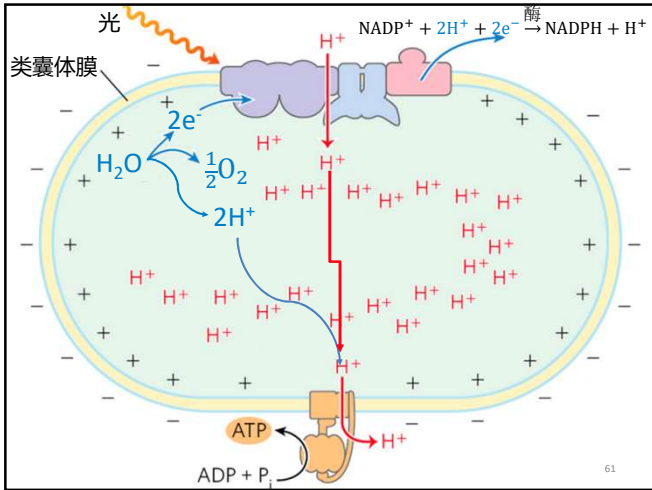
二是在有关酶的催化作用下，提供能量促使ADP与Pi反应形成ATP。这样，光能就转化为储存在ATP中的化学能。



这些ATP将参与暗反应阶段合成有机物的化学反应。

60

60

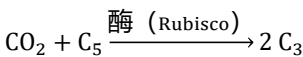


61

暗反应是在叶绿体的基质中进行的

Step 1 CO₂的固定

绿叶通过气孔从外界吸收的CO₂，在特定酶（Rubisco）的作用下，与C₅（核酮糖-1, 5-二磷酸，RuBP）结合，这个过程称作CO₂的固定。一分子的CO₂被固定后，很快形成两个C₃（3-磷酸甘油酸）分子。

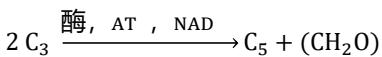


62

暗反应是在叶绿体的基质中进行的

Step 2 C₃的还原与C₅的再生

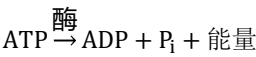
在有关酶的催化作用下，C₃接受ATP和NADPH释放的能量，并且被NADPH还原。随后，一些接受能量并被还原的C₃，在酶的作用下经过一系列的反应转化为糖类；另一些接受能量并被还原的C₃，经过一系列变化，又形成C₅。



63

暗反应是在叶绿体的基质中进行的

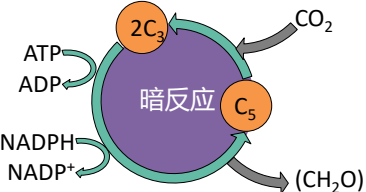
C₃的还原与C₅的再生过程中伴随着如下反应：



64

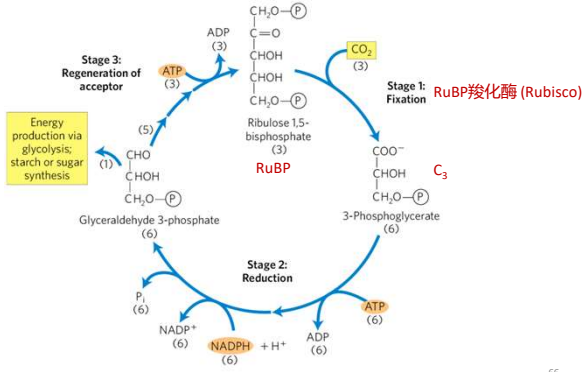
卡尔文循环

这些C₅又可以参与CO₂的固定。这样，暗反应阶段就形成从C₅到C₃再到C₅的循环，可以源源不断地进行下去，因此暗反应过程也称作卡尔文循环。

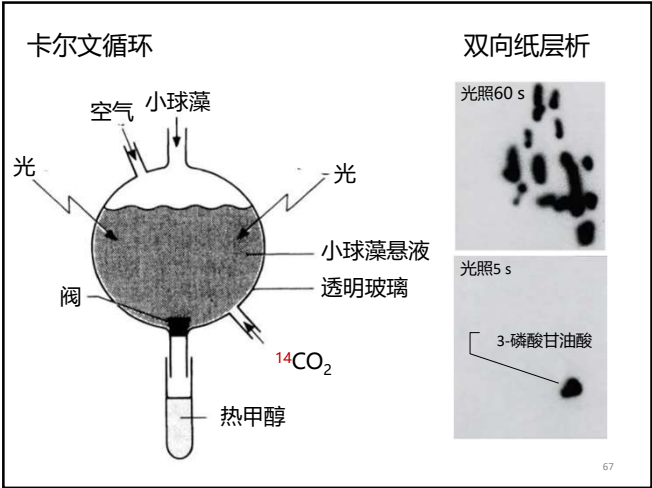


65

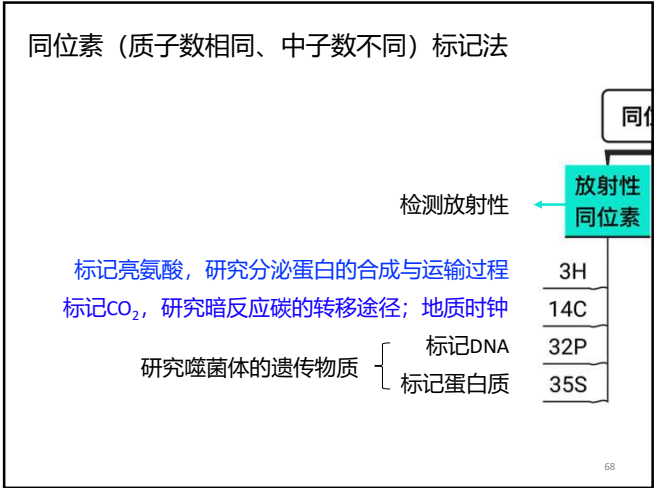
补充：卡尔文循环全貌（如感兴趣自行了解，不必掌握）



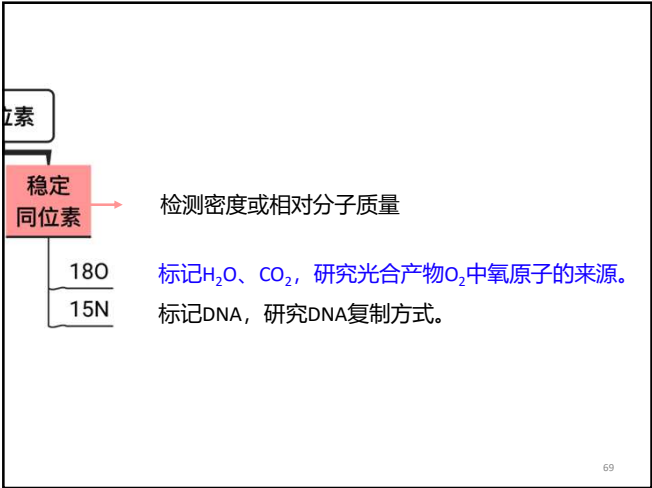
66



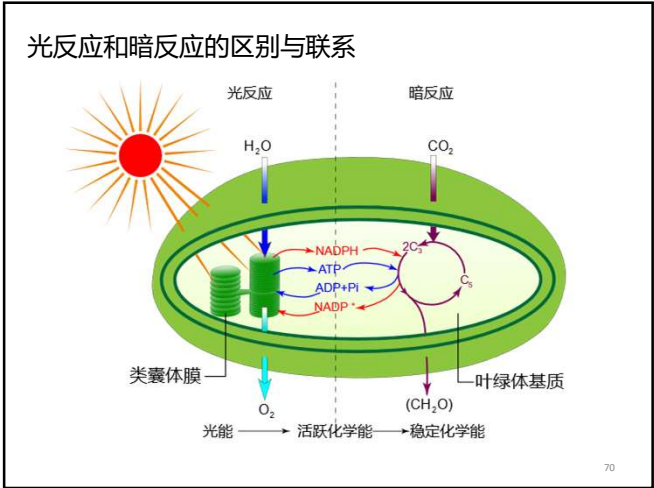
67



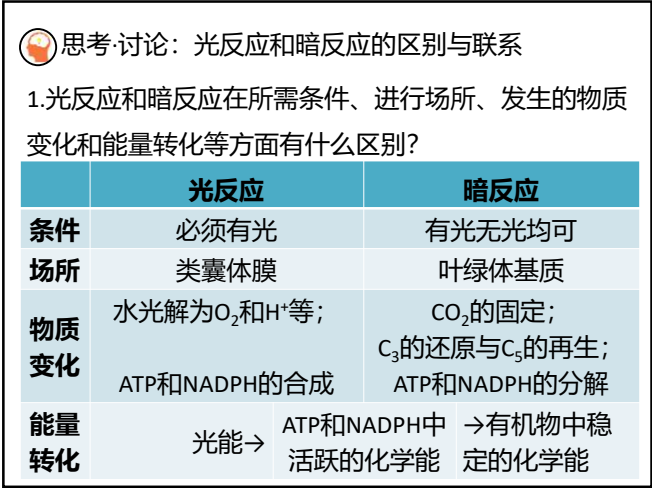
68



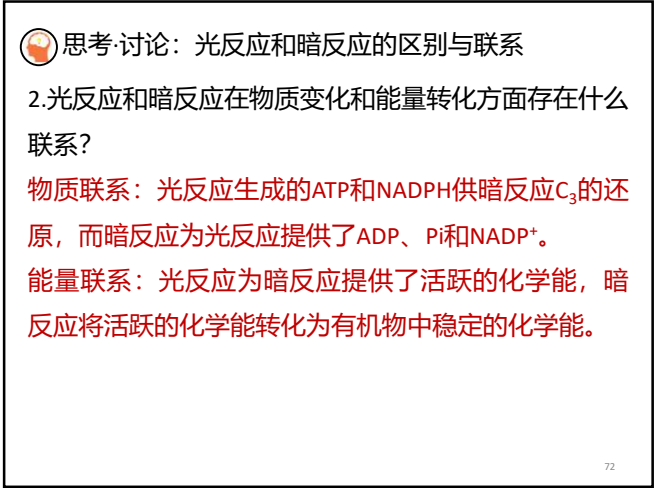
69



70



71



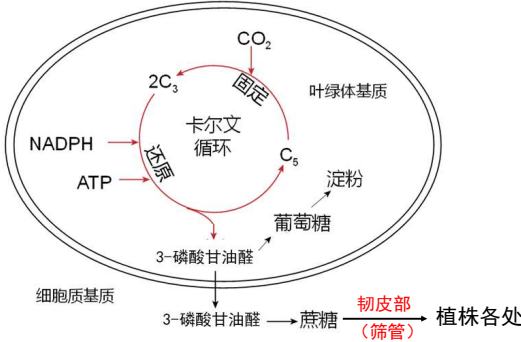
72

光反应和暗反应的区别与联系

简而言之，在光反应阶段，光能被叶绿体内类囊体膜上的色素捕获后，将水分解为 O_2 和 H^+ 等，形成ATP和NADPH，于是光能转化成ATP和NADPH中的化学能；ATP和NADPH驱动在叶绿体基质中进行的暗反应，将 CO_2 转化为储存化学能的糖类。

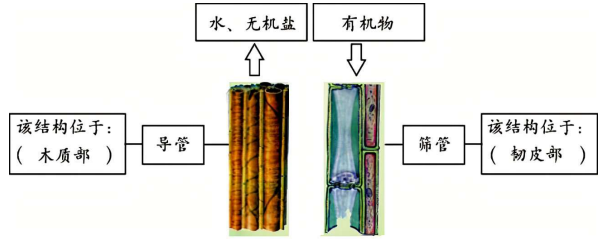
73

光合作用有机产物去向



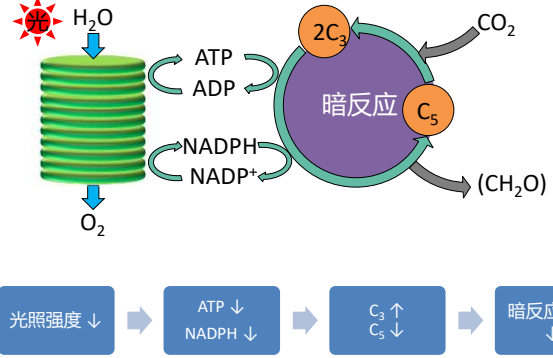
74

光合作用有机产物去向



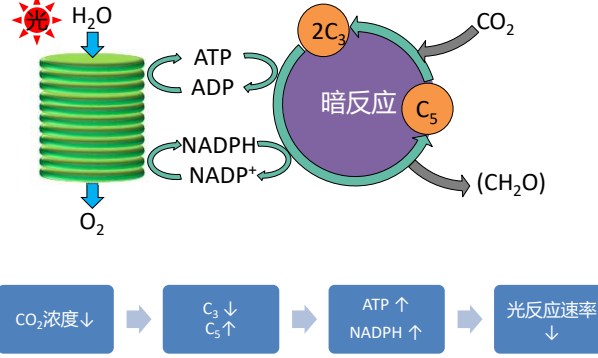
75

练习：光照强度↓，判断 C_3 、 C_5 短时间内含量变化



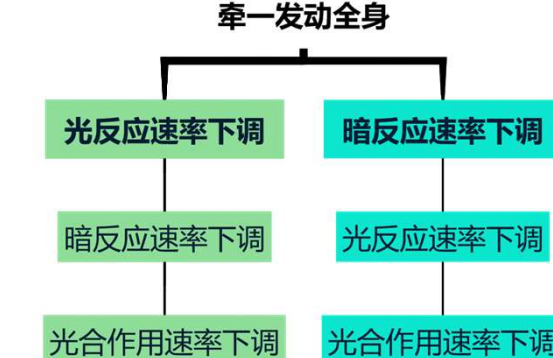
76

练习： CO_2 供应↓，判断ATP、NADPH短时间内含量变化



77

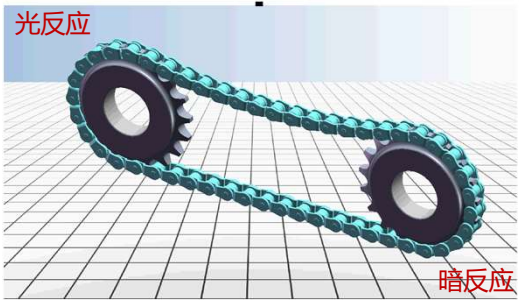
这两道题想说明什么？



78

这两道题想说明什么？

牵一发动全身

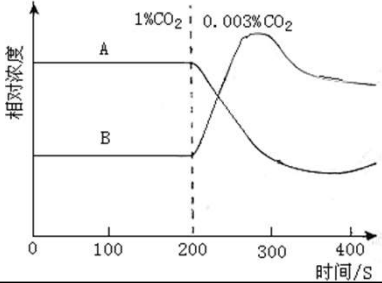


79

79

2011年全国卷二理综卷29题

在光照等适宜条件下，将培养在CO₂浓度为1%环境中的某植物迅速转移到CO₂浓度为0.003%的环境中，其叶片暗反应中C₃和C₅化合物微摩尔浓度的变化趋势如下图，回答问题：



80

80

2011年全国卷二理综卷29题

(1) 图中物质A是 C₃化合物 (C₃化合物、C₅化合物)

(2) 在CO₂浓度为1%的环境中，物质B的浓度比A的低，原因是

暗反应速率在该环境中已达到稳定，即C₃化合物和C₅化合物的含量稳定。根据暗反应的特点，此时C₃化合物的分子数是C₅化合物的2倍。

将CO₂浓度从1%迅速降低到0.003%后，物质B浓度升高的原因是

当CO₂浓度突然降低时，C₅化合物的合成速率不变，消耗速率却减慢，导致C₅化合物积累

81

81

2011年全国卷二理综卷29题

(3) 若使该植物继续处于CO₂浓度为0.003%的环境中，暗反应中C₃和C₅化合物浓度达到稳定时，物质A的浓度将比B的 高 (低、高)。

(4) CO₂浓度为0.003%时，该植物光合速率最大时所需要的光照强度比CO₂浓度为1%时的 低 (高、低)，其原因是

CO₂浓度低时，暗反应强度低，所需ATP和H⁺NADPH少

82

82

CH 5.4.2.2 光合作用原理的应用



83

83

①原料：CO₂



84

84

②动力：光能



85

85

②动力：光能—时长、光质



86

86

②动力：光能—时长、强度

新疆哈密50兆瓦熔盐塔式光热发电项目



87

87

③场所：叶绿体



88

88

④其他：温度

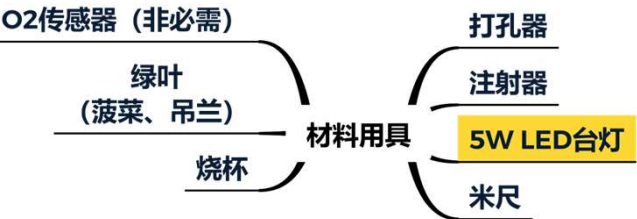


89

89

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

- 目的
探究光照强度对光合作用强度的影响
- 材料用具



90

90

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

φ=0.6 cm
30片
避开大叶脉

步骤

1 绿叶打孔 2 圆叶片排气

注射器加叶片和水
排气，抽气2~3次
确保叶片沉底



91

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

放入清水中
置于黑暗环境

3 圆叶片待用 4 控制水中CO₂

富含CO₂的清水
吹气补充CO₂
1%~2% NaHCO₃溶液代替



92

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

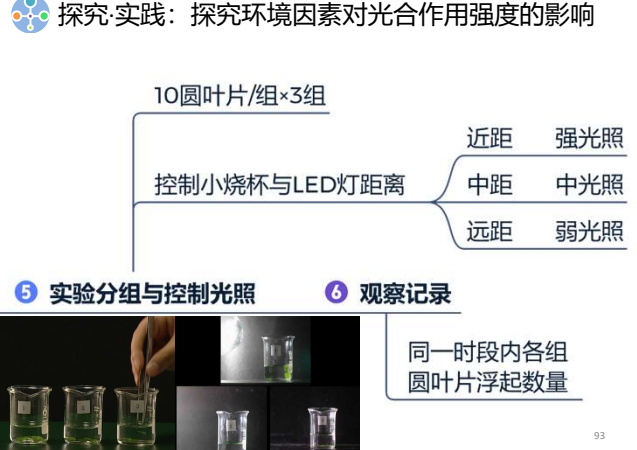
10圆叶片/组×3组

控制小烧杯与LED灯距离

近距 强光照
中距 中光照
远距 弱光照

5 实验分组与控制光照 6 观察记录

同一时段内各组圆叶片浮起数量



93

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

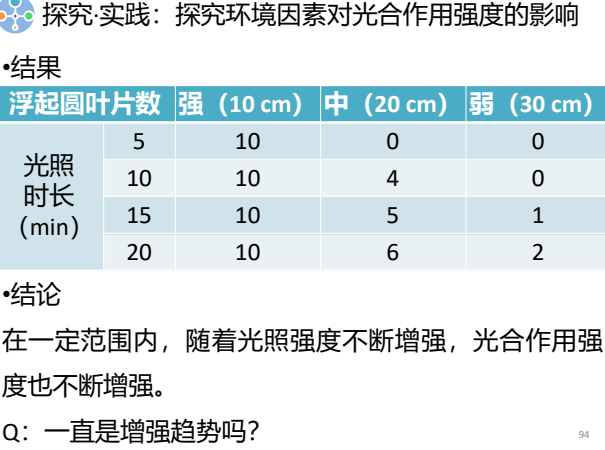
•结果

浮起圆叶片数	强 (10 cm)	中 (20 cm)	弱 (30 cm)
光照时长 (min)			
5	10	0	0
10	10	4	0
15	10	5	1
20	10	6	2

•结论

在一定范围内，随着光照强度不断增强，光合作用强度也不断增强。

Q：一直是增强趋势吗？



94

探究·实践：探究环境因素对光合作用强度的影响

•实验复盘

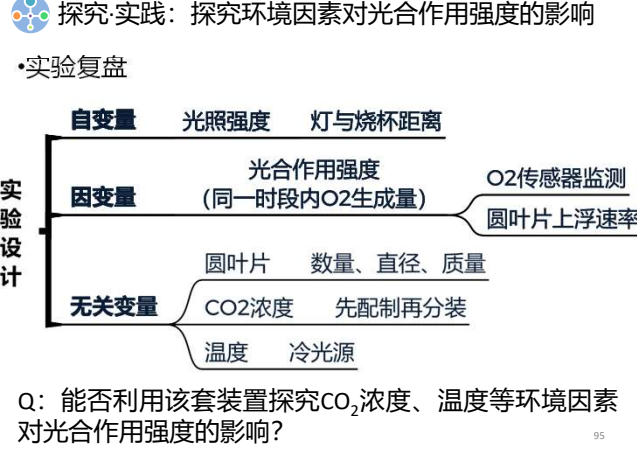
实验设计

自变量 光照强度 灯与烧杯距离

因变量 光合作用强度 (同一时段内O₂生成量) O₂传感器监测
圆叶片上浮速率

无关变量 圆叶片 数量、直径、质量
CO₂浓度 先配制再分装
温度 冷光源

Q：能否利用该套装置探究CO₂浓度、温度等环境因素对光合作用强度的影响？



95

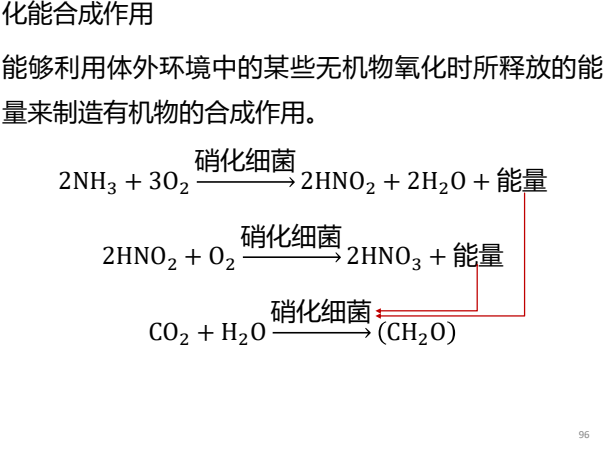
化能合成作用

能够利用体外环境中的某些无机物氧化时所释放的能量来制造有机物的合成作用。

$$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{硝化细菌}} 2\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{能量}$$

$$2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{硝化细菌}} 2\text{HNO}_3 + \text{能量}$$

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{硝化细菌}} (\text{CH}_2\text{O})$$



96

新陈代谢类型



e.g., 绿色植物: 自养需氧型; 乳酸杆菌: 异养厌氧型

97

97

下周三交作业

多年以后，在月球基地里，面对即将破土而出的水稻幼苗，他将会回想起生物老师带他去见识光合作用那个遥远的下午，心中不禁感慨万千，无比庆幸彼时按要求完成了课后作业[步步高CH5.4大小本](#)。

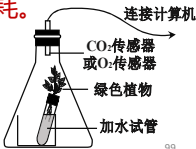
98

98

P105旁栏

植物在进行光合作用的同时，还会进行呼吸作用。我们观测到的光合作用指标，如 O_2 的产生量，是植物光合作用实际产生的总 O_2 量吗？

用这种方法观察到的 O_2 的产生量，实际是光合作用的 O_2 释放量，与植物光合作用实际产生的 O_2 量不同，没有考虑到植物自身呼吸作用对 O_2 的消耗。



99

99

P105旁栏

净光合速率	=	总光合速率	-	呼吸速率
环境中 O_2 释放量	=	总 O_2 产生量	-	O_2 消耗量
环境中 CO_2 吸收量	=	总 CO_2 吸收量	-	CO_2 释放量
有机物积累量	=	有机物制造量	-	有机物消耗量



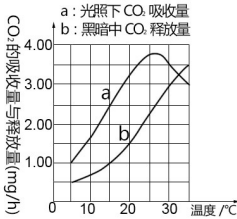
100

100

万恶之源-1: 2007年山东理综第8题

以测定的 CO_2 吸收量与释放量为指标，研究温度对某绿色植物光合作用与呼吸作用的影响，结果如图所示。下列分析正确的是 (A)

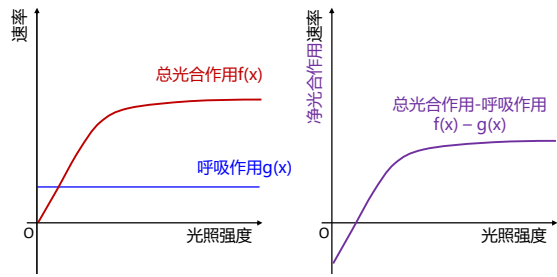
- A.光照相同时间， $35^{\circ}C$ 时光合作用制造的有机物的量与 $30^{\circ}C$ 时相等
- B.光照相同时间，在 $20^{\circ}C$ 条件下植物积累的有机物的量最多
- C.温度高于 $25^{\circ}C$ 时，光合作用制造的有机物的量开始减少
- D.两曲线的交点表示光合作用制造的与呼吸作用消耗的有机物的量相等



101

101

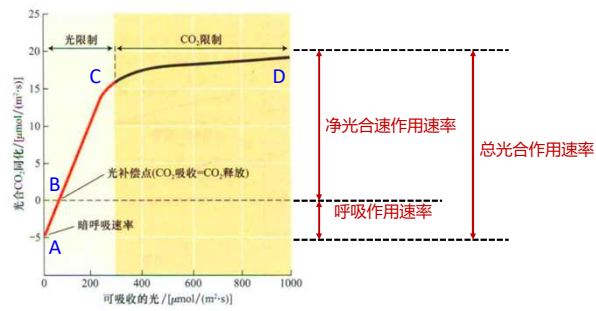
CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响



102

102

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

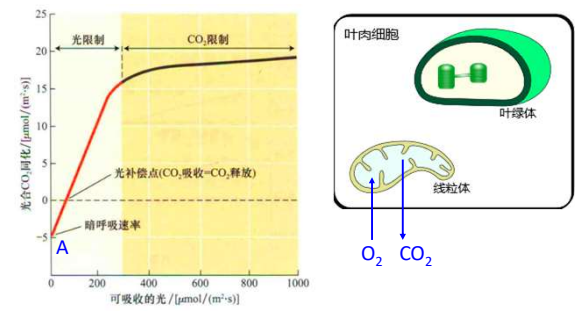


净光合作用速率 = 总光合作用速率 - 呼吸作用速率

103

103

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

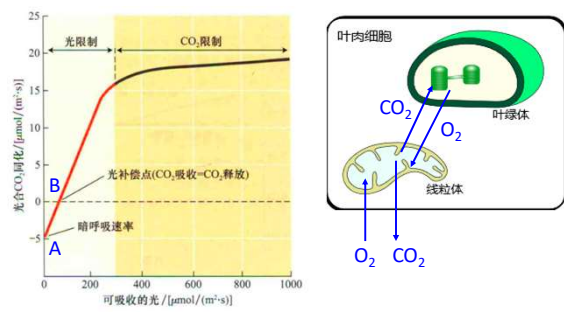


A点, 只进行细胞呼吸,
A_y=呼吸作用速率

104

104

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

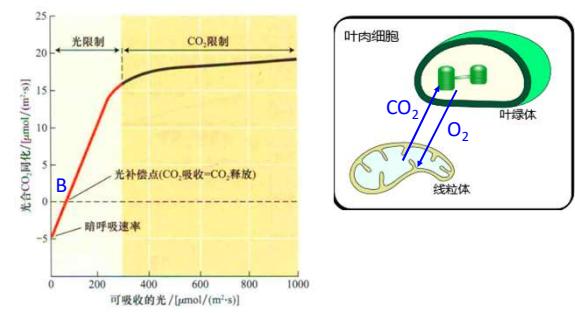


AB段, 细胞呼吸释放的CO₂ > 光合作用吸收的CO₂

105

105

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

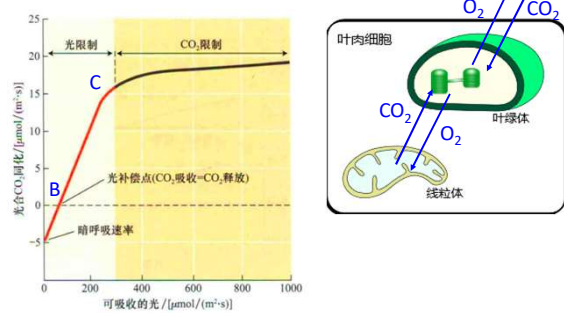


B点, 细胞呼吸释放的CO₂ = 光合作用吸收的CO₂,
B_x=光补偿点

106

106

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

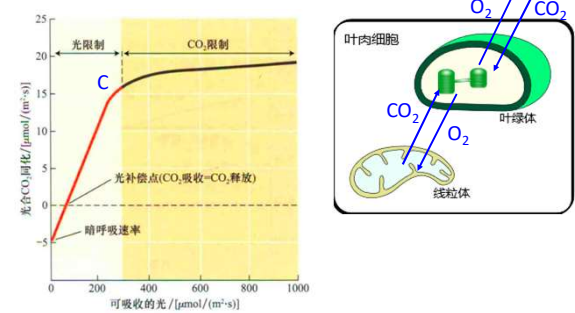


BC段, 细胞呼吸释放的CO₂ < 光合作用吸收的CO₂

107

107

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

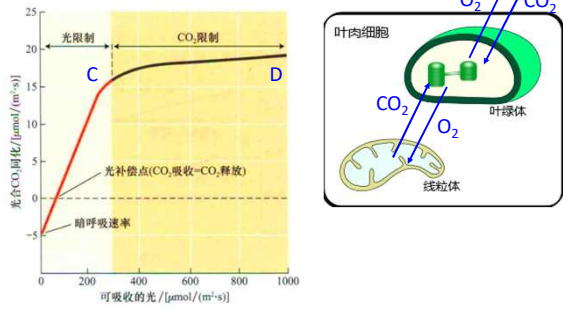


C点, 达到最大光合速率。
C_x=光饱和点

108

108

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响

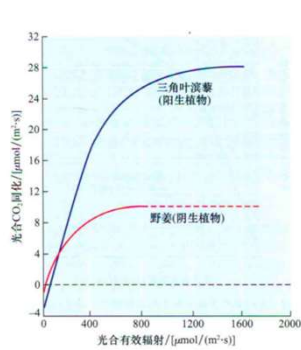


CD段净光合作用速率维持最大值

109

109

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响



阴生植物 v.s. 阳生植物：
光补偿点低；
光饱和点低；
实践应用：
间作套种



110

110

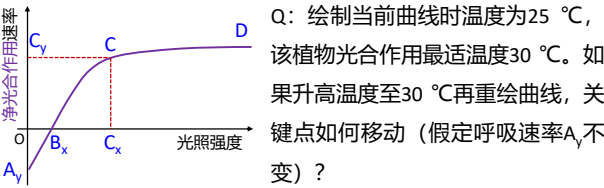
CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响



111

111

CH 5.4.2.3 光照强度对光合作用速率的影响



Q: 绘制当前曲线时温度为25 °C, 该植物光合作用最适温度30 °C。如果升高温度至30 °C再重绘曲线, 关键点如何移动 (假定呼吸速率 A_y 不变)?

always remember, 补偿点处总光合速率等于呼吸速率。

呼吸速率不变, 需要下调光照强度才能适配呼吸速率, $B_x \leftarrow$;

饱和点处需要增大光照强度才能适配新的最大净光合速率, $C_x \rightarrow$;

最终净光合作用速率会更大些, $C_y \uparrow$

总结规律: 远小近大

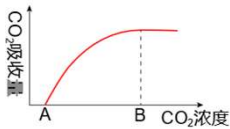
112

112

万恶之源-2: 2006年四川理综第5题

将川芎xiōng植株的一叶片置于恒温的密闭小室内, 调节小室内 CO_2 浓度, 在适宜的光照强度下测定叶片光合作用强度(以 CO_2 吸收速率表示), 测定结果如图所示。下列相关叙述正确的是 (D)

- A. 如果光照强度适当降低, A点左移, B点左移
- B. 如果光照强度适当降低, A点左移, B点右移
- C. 如果光照强度适当增强, A点右移, B点右移
- D. 如果光照强度适当增强, A点左移, B点右移



补偿点处, 光合与呼吸速率永远相等!

光照↓: 呼吸不变, A点须右移才能保证光合也不变。
光照↓: 不需要太高 $[CO_2]$ 即可达到饱和。

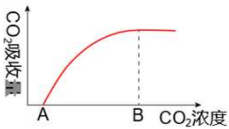
113

113

万恶之源-2: 2006年四川理综第5题

将川芎xiōng植株的一叶片置于恒温的密闭小室内, 调节小室内 CO_2 浓度, 在适宜的光照强度下测定叶片光合作用强度(以 CO_2 吸收速率表示), 测定结果如图所示。下列相关叙述正确的是 (D)

- A. 如果光照强度适当降低, A点左移, B点左移
- B. 如果光照强度适当降低, A点左移, B点右移
- C. 如果光照强度适当增强, A点右移, B点右移
- D. 如果光照强度适当增强, A点左移, B点右移



补偿点处, 光合与呼吸速率永远相等!

光照↑: 呼吸不变, A点须左移才能保证光合也不变。
光照↑: 需要更高 $[CO_2]$ 方可达到饱和。

114

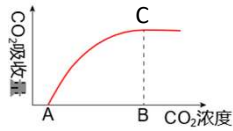
114

万恶之源-2：2006年四川理综第5题

将川芎xiōng植株的一叶片置于恒温的密闭小室内，调节小室内CO₂浓度，在适宜的光照强度下测定叶片光合作用强度(以CO₂吸收速率表示)，测定结果如图所示。

下列相关叙述正确的是 (D)

- A. 如果光照强度适当降低，A点左移，B点左移
- B. 如果光照强度适当降低，A点左移，B点右移
- C. 如果光照强度适当增强，A点右移，B点右移
- D. 如果光照强度适当增强，A点左移，B点右移



口诀：远小近大

远离最适光合条件，ABC围起来面积缩小；
接近最适光合条件，ABC围起来面积扩大。

115

115

练习与应用：一、概念检测

1.依据光合作用的基本原理，判断下列相关表述是否正确。

- (1) 光合作用释放的氧气中的氧元素来自水。✓
- (2) 光反应只能在光照条件下进行，暗反应只能在黑暗条件下进行。✗
- (3) 影响光反应的因素不会影响暗反应。✗

116

116

练习与应用：一、概念检测

2.如果用含有¹⁴C的CO₂来追踪光合作用中碳原子的转移途径，则是 D

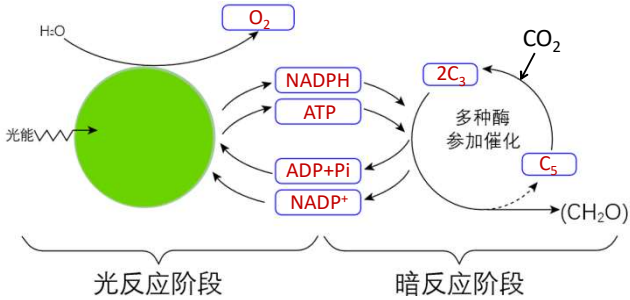
- A. CO₂→叶绿素→ADP
- B. CO₂→叶绿体→ATP
- C. CO₂→乙醇→糖类
- D. CO₂→三碳化合物→糖类

117

117

练习与应用：一、概念检测

3.根据光合作用的基本过程填充下图。

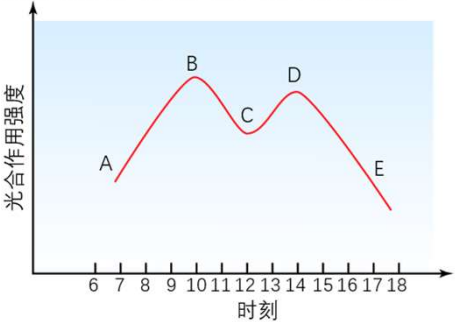


118

118

练习与应用：二、拓展应用

1.下图是在夏季晴朗的白天，某种绿色植物叶片光合作用强度的曲线图。分析曲线图并回答问题。



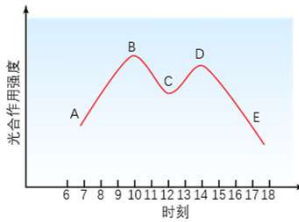
119

119

练习与应用：二、拓展应用

(1) 7—10时的光合作用强度不断增强的原因是

光照强度逐渐增大；温度逐渐升高。

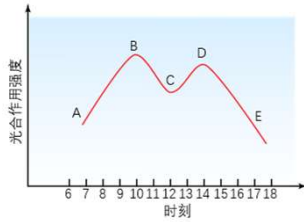


120

120

练习与应用：二、拓展应用

(2) 10—12时左右的光合作用强度明显减弱的原因是此时温度很高，导致气孔大量关闭，CO₂无法进入叶片组织，致使光合作用暗反应受到限制（光合午休）。

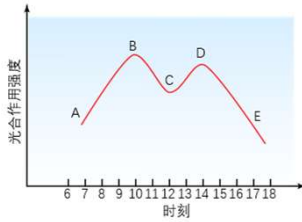


121

121

练习与应用：二、拓展应用

(3) 14-17时的光合作用强度不断下降的原因是光照强度不断减弱；温度不断下降。

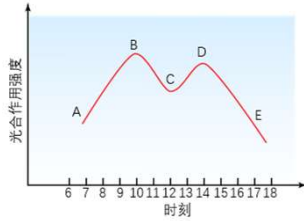


122

122

练习与应用：二、拓展应用

(4) 从图中可以看出，限制光合作用的因素有光照强度、温度、气孔开闭程度。

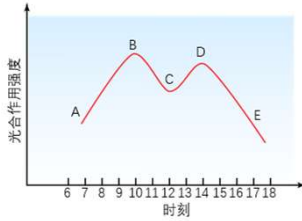


123

123

练习与应用：二、拓展应用

(5) 依据本题提供的信息，提出提高绿色植物光合作用强度的一些措施。
根据本题信息，可以利用温室大棚控制光照强度、温度的方式，如补光、遮阴、生炉子、喷淋降温等，提高绿色植物光合作用强度。



124

124

2.提示

植物的生活需要水、无机盐、阳光、适宜的温度、空气（含有二氧化碳）。从给出的信息可以看出，植物生长的基本条件都是满足的，因此，只要没有病虫害等不利因素，这株植物（幼苗）就能够生存一段时间，但究竟能够生存多长时间，涉及的问题很多。潮湿的土壤含有水分，植物根系吸收水分后，大部分可通过蒸腾作用散失到空气中。由于瓶是密闭的，散失到空气中的水分能够凝结，回归土壤供植物体循环利用。但是，随着植株的生长，越来越多的水分通过光合作用成为有机物的组成部分，尽管有机物能够通过呼吸作用释放出二氧化碳和水（这些水既可以散失到空气中回归土壤，也可以在叶片细胞中直接用于光合作用），毕竟有机物是不断积累的，这意味着回归到土壤的水分会越来越少，有可能成为影响植物生存的限制因素。因此，要预测植物生存的时间，需要知道土壤含水量和植物体内有机物积累速率等信息。土壤中的无机盐被植物根系吸收以后，绝大部分成为植物体的组成成分（少量可能随落叶归还土壤），因此难以循环利用。但植物对无机盐的需要量是很少的，土壤中无机盐到底能满足植物体生长多长时间的需要，与土壤的多少、土壤中各种无机盐的含量、植株的大小等有关。这些信息是任务提示中没有给出的，因此不能从这方面作出准确预测。从给出信息可知，在阳光和温度方面不存在制约瓶中植物生存的问题。二氧化碳是植物进行光合作用必需的原料之一。瓶中的二氧化碳通过植物的光合作用被植物体利用，转化为有机物。有机物通过植物的呼吸作用分解成二氧化碳和水。可见二氧化碳在植物体和瓶中空气之间是可以循环的。但是，随着植株的生长，有机物会不断积累，这意味着瓶中空气所含的二氧化碳会逐渐减少。要预测瓶中二氧化碳能维持植物体生存多长时间，还需要知道瓶中二氧化碳总量、植物体光合速率、呼吸速率或有机物积累速率等信息。上述推理大多是建立在植物体不断生长基础上的，这是因为玻璃瓶容积小，植物幼苗正处于生长期。此外，瓶中植物生存时间的长短，还与植物的种类有关。如果是寿命很短的某种草本植物，即使瓶中各种条件长久适宜，植物生存的时间也不会长。

125

125

复习与提高：一、选择题

1. 下列关于水稻细胞内ATP的叙述，错误的是 B
- A. 能与ADP相互转化
 - B. 只能由细胞呼吸产生
 - C. 可为物质跨膜运输提供能量
 - D. 释放的磷酸基团能与某些蛋白质结合

126

126

复习与提高：一、选择题

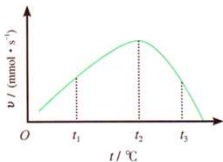
- 2.在不损伤植物细胞内部结构的情况下，下列可用于去除细胞壁的物质是 **B**
- A.蛋白酶
 - B.纤维素酶
 - C.盐酸
 - D.淀粉酶

127

127

复习与提高：一、选择题

- 3.下图表示酶活性与温度的关系。下列叙述正确的是 **B**
- A.当温度为 t_2 时，该反应的活化能最高
 - B.当反应物浓度提高时， t_2 对应的数值可能会增加
 - C.温度在 t_2 时比在 t_1 时更适合酶的保存
 - D.酶的空间结构在 t_1 时比 t_3 时破坏更严重



128

128

复习与提高：一、选择题

- 4.叶绿体不同于线粒体的特点有 **C**
- A.具有双层选择透过性膜
 - B.利用水进行化学反应
 - C.能分解水产生氧气和 H^+
 - D.合成ATP为生命活动供能

129

129

复习与提高：一、选择题

- 5.叶肉细胞中不能合成ATP的部位是 **D**
- A.线粒体内膜
 - B.叶绿体的类囊体膜
 - C.细胞质基质
 - D.叶绿体基质

130

130

复习与提高：一、选择题

- 6.在我国西北地区，夏季日照时间长，昼夜温差大，那里出产的瓜果往往特别甜。这是因为 **D**
- A.白天光合作用微弱，晚上呼吸作用微弱
 - B.白天光合作用旺盛，晚上呼吸作用强烈
 - C.白天光合作用微弱，晚上呼吸作用强烈
 - D.白天光合作用旺盛，晚上呼吸作用微弱

131

131

复习与提高：二、非选择题

1.请设计并填写一个表格，简明而清晰地体现出你对光合作用与细胞呼吸之间主要区别和内在联系的理解。

比较项目		光合作用	呼吸作用
区别	部位*	含叶绿体的细胞，其场所是叶绿体	所有生活的细胞，主要场所是线粒体
	条件	光，酶	有光无光均可，酶
	原料	CO_2 和 H_2O	有机物和 O_2
	产物	有机物和 O_2	CO_2 和 H_2O
	实质	CO_2 转化为糖类有机物，光能转化为化学能储存在葡萄糖等有机物中	分解有机物产生 CO_2 和 H_2O ，同时释放能量
联系		光合作用为呼吸作用提供氧气和有机物；对绿色植物而言，呼吸作用为光合作用提供必要的能量，用于原料吸收和产物运输等。	

*蓝细菌是单细胞原核生物，没有叶绿体和线粒体，既能进行光合作用，也能进行有氧呼吸。

132

132

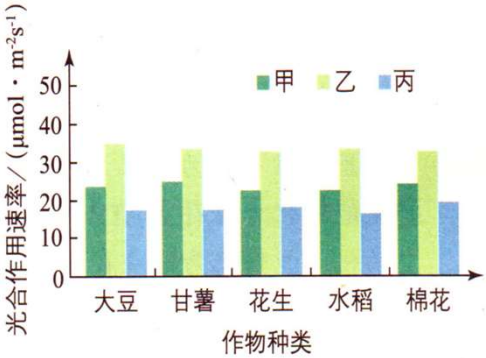
复习与提高：二、非选择题

2. CO_2 浓度增加会对植物光合作用速率产生影响。研究人员以大豆、甘薯、花生、水稻、棉花作为实验材料，分别进行三种不同实验处理，甲组提供大气 CO_2 浓度 ($375 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)，乙组提供 CO_2 浓度倍增环境 ($750 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) 丙组先在 CO_2 浓度倍增的环境中培养 60 d，测定前一周恢复为大气 CO_2 浓度。整个生长过程保证充足的水分供应，选择晴天上午测定各组的光合作用速率。结果如下图所示。回答下列问题。

133

133

复习与提高：二、非选择题



134

134

复习与提高：二、非选择题

(1) CO_2 浓度增加，作物光合作用速率发生的变化是随着 CO_2 浓度的增加，作物的光合作用速率随之提高。；出现这种变化的原因是因为 CO_2 参与光合作用暗反应，在光照充足的情况下， CO_2 增加，其单位时间内与五碳化合物结合形成的三碳化合物也会增加，形成的葡萄糖也增加，故光合作用速率增加。

135

135

复习与提高：二、非选择题

(2) 在 CO_2 浓度倍增时，光合作用速率并未倍增，此时限制光合作用速率增加的因素可能是 NADPH 和 ATP 的供应限制；固定 CO_2 的酶活性不够高、 C_5 的再生速率不足、有机物在叶绿体中积累较多等，都是制约因素。所以单纯增加 CO_2 不能使反应速率倍增。

136

136

复习与提高：二、非选择题

(3) 丙组的光合作用速率比甲组低。有人推测可能是因为作物长期处于高浓度 CO_2 环境而降低了固定 CO_2 的酶的活性。这一推测成立吗？为什么？
可能成立。若植物长期处于 CO_2 倍增下，降低了固定 CO_2 的酶含量或者活性，当恢复到大气 CO_2 浓度后，已经降低的固定 CO_2 的酶的含量或活性未能恢复，又失去了高浓度 CO_2 的优势，因此会表现出比大气 CO_2 浓度下更低的光合速率。教学中可以鼓励学生大胆作出合理推测，而不局限于说出上述答案。

137

137

复习与提高：二、非选择题

(4) 有人认为：化石燃料开采和使用能升高大气 CO_2 浓度，这有利于提高作物光合作用速率，对农业生产是有好处的。因此，没有必要限制化石燃料使用，世界主要国家之间也没有必要签署碳减排协议。请查找资料，对此观点作简要评述。

138

138

复习与提高：二、非选择题

(4) 提示：回答本题的关键是摒弃简单的线性思维方式，要从生命活动的复杂性角度去回答。首先，不能只从光合作用效率可能提高的角度来看待温室效应，而必须全面分析温室效应可能产生的环境问题。其次，仅从大气中CO₂比例增加是否提高光合作用速率的角度看，也不能以线性思维来看待。植物光合作用受到温度、水分等外部因素的影响，也受到内部的酶的活性等因素的影响。长期高CO₂浓度可能使某些酶活性降低，高温也可能引起植物其他的变化，如色素降低；同时温室效应导致气温升高，引起蒸发率升高而影响水分供应，高温环境增强呼吸作用消耗的有机物也增多。因此，温室效应不一定会提高作物产量。

139

139

《阳光课堂》小本习题

将某绿色植物放在特定的实验装置中，研究温度对光合作用与细胞呼吸的影响（其他实验条件都相同且适宜），实验以CO₂的吸收量与释放量为指标，实验结果如下表所示。下列对该表数据的分析，正确的是

温度（℃）	5	10	15	20	25	30	35
光照下净光合速率（mg/h）	1.00	1.75	2.50	3.25	3.75	3.50	3.00
黑暗中净光合速率（mg/h）	-0.50	-0.75	-1.00	-1.50	-2.25	-3.00	-3.50

- A.昼夜不停地光照，在35℃时该植物不能生长
- B.昼夜不停地光照，在15℃时该植物生长得最快
- C.每天交替进行12h光照、12h黑暗，在20℃时该植物积累的有机物最多
- D.每天交替进行12h光照、12h黑暗，在30℃时该植物积累的有机物是10℃时的2倍

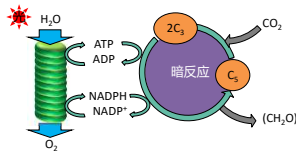
140

140

天津卷2016

2. 在适宜反应条件下，用白光照射离体的新鲜叶绿体一段时间后，突然改用光照强度与白光相同的红光或绿光照射。下列是光源与瞬间发生变化的物质，组合正确的是 C

- A.红光，ATP下降
- B.红光，未被还原的C₃上升
- B.绿光，[H]（NADPH）下降
- D.绿光，C₅上升



141

141

天津卷2017

5. （6分）叶绿体中的色素为脂溶性，液泡中紫红色的花青苷为水溶性。以月季成熟的紫红色叶片为材料，下列实验无法达到目的是（ D ）

- A. 用无水乙醇提取叶绿体中的色素
- B. 用水做层析液观察花青苷的色素带
- C. 用质壁分离和复原实验探究细胞的失水与吸水
- D. 用光学显微镜观察表皮细胞染色体的形态和数目

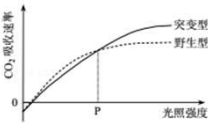
142

142

天津卷2017

6. （6分）某突变型水稻叶片的叶绿素含量约为野生型的一半，但固定CO₂酶的活性显著高于野生型。如图显示两者在不同光照强度下的CO₂吸收速率。叙述错误的是（ D ）

- A. 光照强度低于P时，突变型的光反应强度低于野生型
- B. 光照强度高于P时，突变型的暗反应强度高于野生型
- C. 光照强度低于P时，限制突变型光合速率的主要环境因素是光照强度
- D. 光照强度高于P时，限制突变型光合速率的主要环境因素是CO₂浓度



143

143

天津卷2017

6. （6分）某突变型水稻叶片的叶绿素含量约为野生型的一半，但固定CO₂酶的活性显著高于野生型。如图显示两者在不同光照强度下的CO₂吸收速率。叙述错误的是（ D ）

- D. 光照强度高于P时，限制突变型光合速率的主要环境因素是CO₂浓度
- 命题人解读：据图可知，光照强度高于P时，突变型水稻吸收CO₂速率变化与光照强度仍首先成正比，光照强度高于一定数值后光合速率明显不再受光照强度增加的影响。所以在光照强度高于P时，限制突变型光合速率的主要环境因素开始是光照强度，光照强度高于一定数值后主要是CO₂浓度等因素影响光合速率。故D错误。

144

144

天津卷2019

4. (6分) 叶色变异是由体细胞突变引起的芽变现象。红叶杨由绿叶杨芽变后选育形成, 其叶绿体基粒类囊体减少, 光合速率减小, 液泡中花青素含量增加。下列叙述正确的是 (C)

- A. 红叶杨染色体上的基因突变位点可用普通光学显微镜观察识别
- B. 两种杨树叶绿体基粒类囊体的差异可用普通光学显微镜观察
- C. 两种杨树叶光合速率可通过“探究光照强弱对光合作用强度的影响”实验作比较
- D. 红叶杨细胞中花青素绝对含量可通过“植物细胞的吸水和失水”实验测定



145

145

天津卷2019

或产物生成的数量来定量地表示。

提示

农业生产上有许多提高农作物光合作用强度的措施。请你通过调查和搜集资料, 了解这些措施, 分析各项措施分别是改变了影响光合作用的什么因素。再选择其中一种因素, 通过实验探究它对光合作用强度的影响。

参考案例

探究光照强弱对光合作用强度的影响

材料用具

打孔器, 注射器, 40 W 台灯, 烧杯, 绿叶 (如菠菜叶片)。

方法步骤

1. 取生长旺盛的绿叶, 用直径为 1 cm 的打孔器打出小圆形叶片 30 片 (注意避开大的叶脉)。

2. 将小圆形叶片置于注射器内, 并让注射器吸入清水, 待排出注射器内残留的空气后, 用

手堵住注射器前端的小孔并缓缓拉动活塞, 使小圆形叶片内的气体逸出。这一步骤可重复几次。

3. 将内部气体逸出的小圆形叶片, 放入黑暗处盛有清水的烧杯中待用。这样的叶片因为细胞间隙充满了水, 所以全部沉到水底。

4. 取 3 只小烧杯, 分别倒入 20 mL 富含二氧化碳的清水 (事先可用口通过玻璃管向清水内吹气)。

5. 分别向 3 只小烧杯中各放入 10 片小圆形叶片, 然后分别对这 3 个实验装置进行强、中、弱三种光照 (3 盏 40 W 台灯分别向 3 个实验装置照射, 光照强弱可通过调节台灯与实验装置间的距离来决定)。

6. 观察并记录同一时间段内各实验装置中小圆形叶片浮起的数量。

请你参照案例中的思路, 通过小组讨论, 确定并实施本小组的实验方案, 力求探索出提高农作物光合作用强度的有效而实用的措施。

146

146

天津卷2020

5. 研究人员从菠菜中分离类囊体, 将其与 16 种酶等物质一起用单层脂质分子包裹成油包水滴, 从而构建半人工光合作用反应体系。该反应体系在光照条件下可实现连续的 CO_2 固定与还原, 并不断产生有机物乙醇酸。下列分析正确的是 (A)。

- A. 产生乙醇酸的场所相当于叶绿体基质
- B. 该反应体系不断消耗的物质仅是 CO_2
- C. 类囊体产生的 ATP 和 O_2 参与 CO_2 固定与还原
- D. 与叶绿体相比, 该反应体系不含光合作用色素

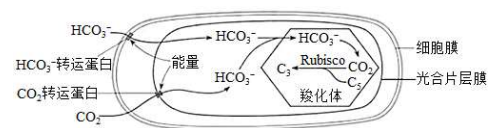
147

147

天津卷2021

15. Rubisco 是光合作用过程中催化 CO_2 固定的酶。但其也能催化 O_2 与 C_5 结合, 形成 C_3 和 C_2 , 导致光合效率下降。 CO_2 与 O_2 竞争性结合 Rubisco 的同一活性位点, 因此提高 CO_2 浓度可以提高光合效率。

(1) 蓝细菌具有 CO_2 浓缩机制, 如下图所示。



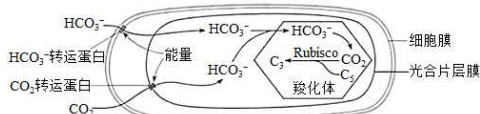
注: 羧化体具有蛋白质外壳, 可限制气体扩散

148

148

天津卷2021

据图分析, CO_2 依次以 自由扩散 和 主动运输 方式通过细胞膜和光合片层膜。蓝细菌的 CO_2 浓缩机制可提高羧化体中 Rubisco 周围的 CO_2 浓度, 从而通过促进 CO_2 固定 和抑制 O_2 与 C_5 结合 提高光合效率。

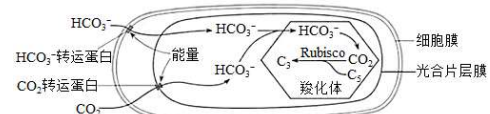


149

149

天津卷2021

(2) 向烟草内转入蓝细菌 Rubisco 的编码基因和羧化体外壳蛋白的编码基因。若蓝细菌羧化体可在烟草中发挥作用并参与暗反应, 应能利用电子显微镜在转基因烟草细胞的 叶绿体 中观察到羧化体。

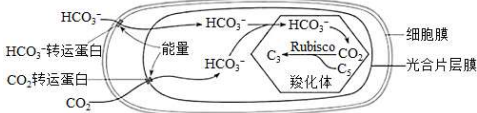


150

150

天津卷2021

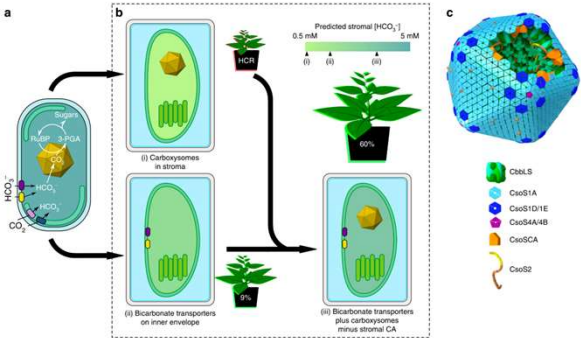
(3) 研究发现，转基因烟草的光合速率并未提高。若再转入 HCO_3^- 和 CO_2 转运蛋白基因并成功表达和发挥作用，理论上该转基因植株暗反应水平应 提高，光反应水平应 提高，从而提高光合速率。



151

151

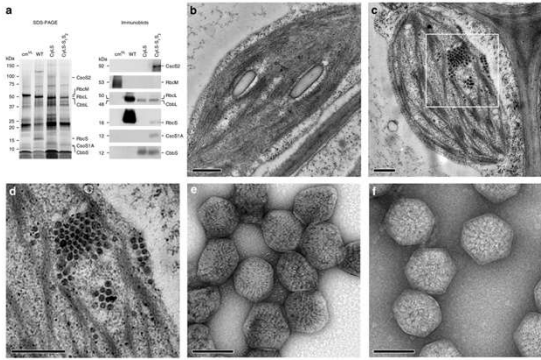
天津卷2021



152

152

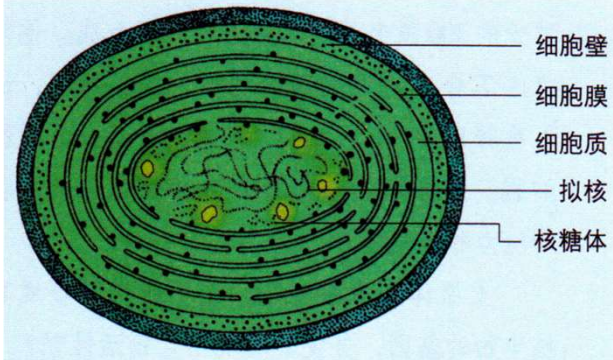
天津卷2021



153

153

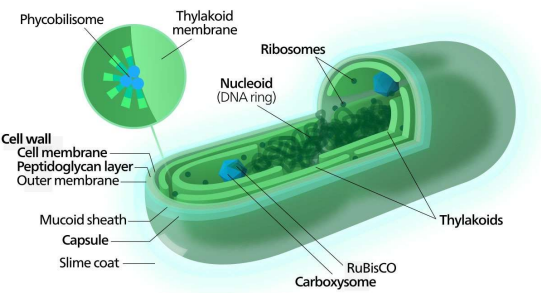
天津卷2021



154

154

天津卷2021



155

155

拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



156

156

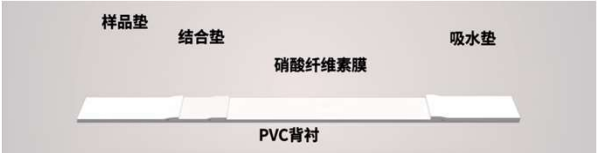
拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



157

157

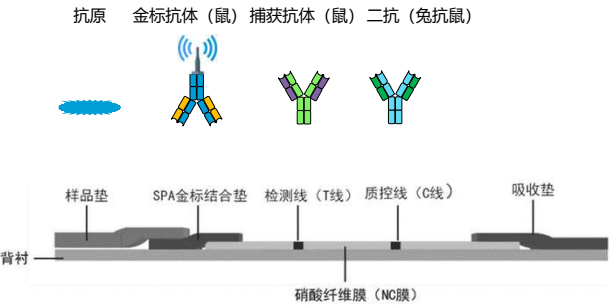
拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



158

158

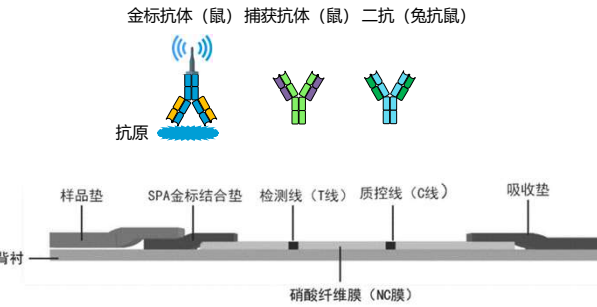
拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



159

159

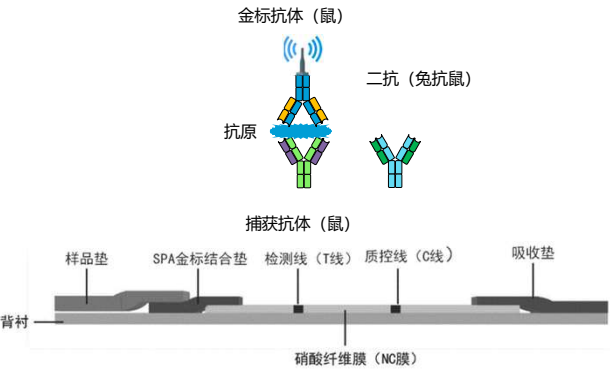
拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



160

160

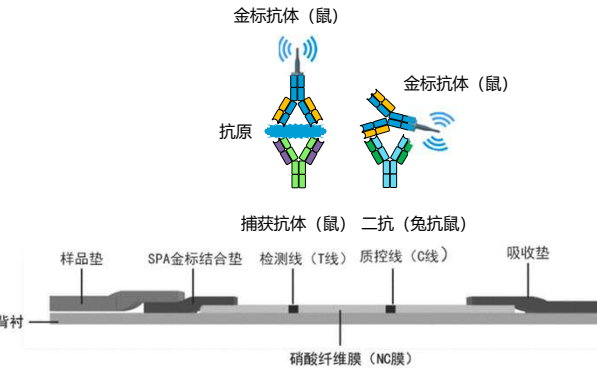
拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



161

161

拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）



162

162

拓展：新型冠状病毒抗原检测试纸条（胶体金免疫层析法）

