光合作用

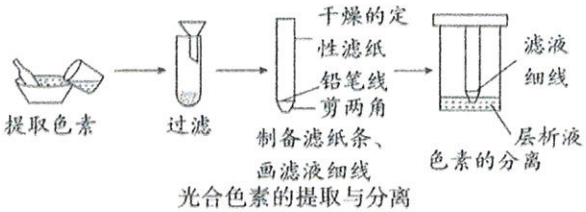
一、绿叶中色素的提取和分离

1、原理：提取色素：①绿叶中的色素能够溶解在有机溶剂无水乙醇中（或丙酮、95%乙醇+适量$5H_2O \cdot NaCO_3$）

②色素存在于细胞内，需要破碎细胞和叶绿体才能释放出色素

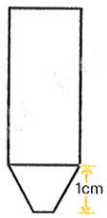
分离色素：纸层析法（叶绿体中的色素在层析液中的溶解度不同，色素随层析液在滤纸条上的扩散速度不同（扩散速度越快，说明其溶解度越大）

2、实验步骤

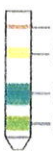


光合色素的提取与分离

实验步骤		注意事项
提取色素	研磨	(1)新鲜绿叶(选菠菜叶，白菜叶不行) (2)无水乙醇：溶解色素 (3)SiO_2：充分研磨 → SiO_2和$CaCO_3$要同时加入。 (4)$CaCO_3$：防止色素(尤其是叶绿素)被破坏 (5)迅速充分研磨：防止乙醇挥发，充分溶解色素
	过滤	用单层尼龙布过滤，不用滤纸过滤，因为滤纸会吸附色素
	收集滤液	(1)盛放滤液的试管管口加棉塞：防止乙醇挥发和色素氧化 (2)滤液颜色浅的原因：研磨不充分；没有加$CaCO_3$；乙醇太多
制备滤纸条		(1)干燥定性滤纸条：使层析液在滤纸上快速均匀扩散 (2)一端剪去两角：保证色素带整齐 (3)距剪去两角一端底部1 cm处用铅笔画一条细线
画滤液细线		(1)要求：细、直、齐 (2)干燥后重复几次，使滤液细线含有一定量色素，使分离出的色素带清晰分明 (3)滤液线太粗的后果：色素带部分重叠
分离色素	插入层析液	层析液不能触及滤液细线：防止色素溶于层析液，导致实验失败
	盖培养皿或者将试管口封堵	防止层析液挥发



3、实验结果



色素种类	色素颜色	色素含量	溶解度	扩散速度
胡萝卜素	橙黄色	最少	最高	最快
叶黄素	黄色	较少	较高	较快
叶绿素a	蓝绿色	最多	较低	较慢
叶绿素b	黄绿色	较多	最低	最慢

补：影响叶绿素合成的因素

影响因素	作用机理
光照	光是影响叶绿素合成的必要条件，一般植物在黑暗中不能合成叶绿素
温度	温度会影响与叶绿素合成有关酶的活性，进而影响叶绿素的合成
必需元素	叶绿素中含N、Mg等必需元素，缺乏N、Mg将导致叶绿素无法合成

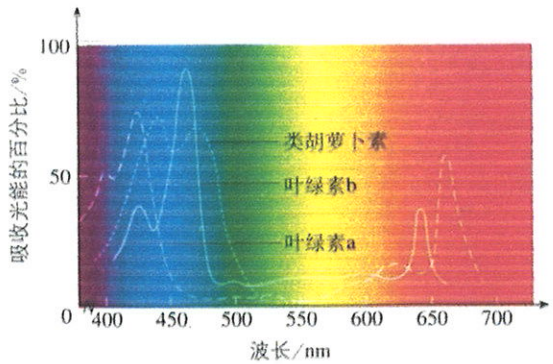
4、结果异常分析

异常现象	原因分析
收集到的滤液绿色过浅	①未加石英砂(二氧化硅)，研磨不充分； ②使用放置数天的菠菜叶，色素(叶绿素)太少； ③一次加入大量的无水乙醇，提取浓度太低(正确做法：分次加入少量无水乙醇)； ④未加碳酸钙或加入过少，色素分子被破坏
滤纸条色素带重叠	①滤液细线不直；②滤液细线过粗
滤纸条无色素带	①忘记画滤液细线；②滤液细线接触到层析液，且时间较长，色素全部溶解到层析液中

5、注 (1) 选取材料时应选择颜色较深的新鲜绿叶，其色素含量较高。
(2) 叶绿素极不稳定，易被破坏，因此：① 加入碳酸钙是为了保护叶绿素。
② 研磨时要迅速、充分，以保证提取到较多的叶绿素。
(3) 盛放滤液的试管口加棉塞，可防止无水乙醇挥发和色素分子被氧化。
(4) 滤纸条需预先干燥处理，使层析液在滤纸条上快速扩散。
(5) 滤纸条上滤液细线画的均匀可保证分离出的色素带平整不重叠
(6) 等滤液干后，再重画一到两次可使滤液细线处有较多的色素。
(7) 层析液中有毒性的挥发性物质，分离色素时应在通风良好的条件下进行，实验结束应尽快用肥皂将手洗干净。

叶绿素分子中含有一个镁原子，易被有机酸中的氢取代而成为褐色的去镁叶绿素，而碳酸钙可以中和有机酸，防止此现象的发生。

二、光合色素的吸收光谱



叶绿素a和叶绿素b主要吸收蓝紫光和红光，胡萝卜素和叶黄素主要吸收蓝紫光。这四种色素吸收的光波长有差别，但是都可用于光合作用。
可见光的波长是400~760nm，一般情况下，光合作用所利用的都是可见光（小于400是紫外光，大于760是红外光）。

三、叶绿体的结构和功能探究

1、结构



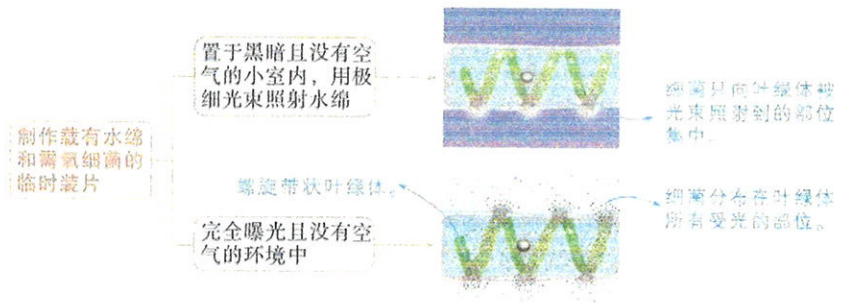
结构
- ①叶绿体膜：双层，具有选择透过性
- 内部
  - ②基质：含有暗反应所需的酶 → 光合作用暗反应的场所。
  - ③基粒：由类囊体堆叠而成，增大了膜面积，其上分布着与吸收光能有关的色素和光反应所需的酶 → 光合作用光反应的场所。

叶绿体的观察及分布：
① 观察叶绿体的形态可用光学显微镜，而观察叶绿体的精细结构必须用电子显微镜。
② 没有叶绿体的细胞也可能进行光合作用，如蓝细菌，其细胞内含有藻蓝素和叶绿素。

2、功能探究

为了研究叶绿体的功能，德国科学家恩格尔曼，利用水绵和好氧细菌设计并完成了两个实验：
（多细胞绿藻，叶绿体呈螺旋带状分布）

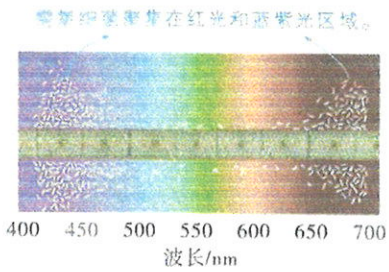
(1) 实验(一)



结论：O_2是由叶绿体释放出来的，叶绿体是水绵进行光合作用的场所

补：
① 制备水绵和需氧细菌临时装片进行实验时应给予条件：光照、无空气、有$NaHCO_3$稀溶液（提供CO_2）
② 恩格尔曼将临时装片放在黑暗并且没有空气的环境中，排除了环境中光线和氧的影响。
③ 本实验设有对照，实验组为极细光束照射处的叶绿体，对照组为完全曝光的叶绿体。
④ 本实验中自变量为光照范围，因变量为需氧细菌分布。

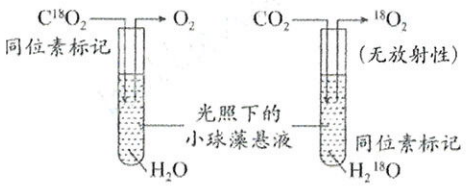
(2) 实验(二)



结论：叶绿体主要吸收红光和蓝紫光用于光合作用，放出O_2

四、探究光合作用的历程

年份、科学家	实验过程或依据	实验结论
19世纪末	—	在光合作用中，CO_2 分子的C和O被分开，O_2 被释放，C与 H_2O 结合成甲醛，然后甲醛分子缩合成糖
1928年	—	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
1937年希尔	在离体叶绿体的悬浮液中加入铁盐或其他氧化剂（悬浮液中有水，无二氧化碳），在光照下可以释放出氧气	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
1941年 鲁宾和卡门	$C^{18}O_2+H_2O\longrightarrow$植物$\longrightarrow O_2$ $H_2{}^{18}O+CO_2\longrightarrow$植物$\longrightarrow {}^{18}O_2$	光合作用释放的 O_2 全部来自 H_2O
1954年、1957年 阿尔农	— 同位素标记法(同位素示踪法)	光照下，叶绿体可合成ATP，这一过程总是与水的光解相伴随



鲁宾、卡门同位素标记实验

实验a：$C^{18}O_2+H_2O\longrightarrow(CH_2{}^{18}O)+O_2$

实验b：$CO_2+H_2{}^{18}O\longrightarrow(CH_2O)+{}^{18}O_2$

补：老教材的生物史

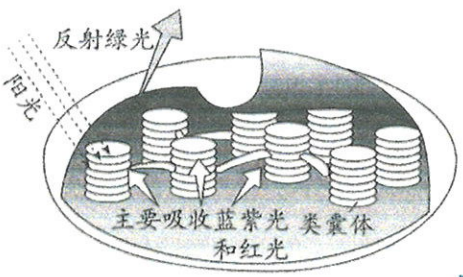
科学家	实验结论或观点	研究方法
恩格尔曼	叶绿体释放氧气，叶绿体是光合作用的场所	光束照射水绵，观察好氧菌分布
普利斯特利	植物可以更新空气	小白鼠生存观察（缺空白对照）
英格豪斯	植物更新空气需要绿叶和阳光	植物更新空气实验
梅耶	光合作用把光能转换为化学能	能量转化与守恒定律
萨克斯	光合作用的产物除 O_2 外，还有淀粉	半叶遮光法
鲁宾和卡门	光合作用释放的 O_2 来自水	同位素标记法
卡尔文	探明了 CO_2 中的碳在光合作用中转化成有机物中碳的途径（卡尔文循环）	同位素标记法

绿叶 —暗处理几小时→ 一半曝光 / 一半遮光 —I_2蒸汽处理→ 变蓝 / 不变蓝

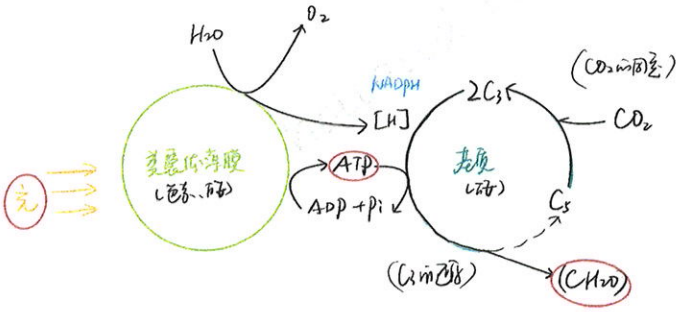
五、光合作用的过程

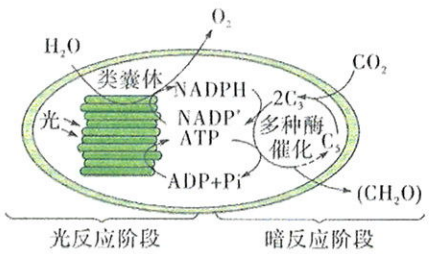
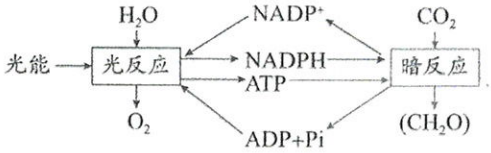
1、概念：光合作用是指绿色植物通过叶绿体，利用光能，把CO_2和H_2O转化为存储着能量的有机物，并释放出O_2的过程。

2、场所：植物的光合作用过程都是在叶绿体中进行的。部分原核细胞无叶绿体，但细胞内有叶绿素、藻蓝素及相应的酶，也可以进行光合作用。（绿色植物进行光合作用的基本单位：叶绿体）



3、基本过程



阶段	光反应阶段	暗反应阶段
过程模型		
实质	光能转换为化学能，并释放出 O_2	固定 CO_2 形成有机物
条件	色素、酶、光、水、ADP、Pi、$NADP^+$	酶、ATP、NADPH、CO_2
场所	叶绿体的类囊体薄膜	叶绿体基质
物质转化	水的光解：$H_2O \xrightarrow{\text{光}}{\text{色素}} H^+ + O_2$ NADPH 的合成：$NADP^+ + H^+ \longrightarrow NADPH$ ATP 的合成：$ADP + Pi + \text{能量} \xrightarrow{\text{酶}} ATP$	CO_2 的固定：$CO_2 + C_5 \xrightarrow{\text{酶}} 2C_3$ C_3 的还原：$2C_3 \xrightarrow[\text{酶}]{NADPH、ATP} (CH_2O) + C_5$
能量转化	光能→ATP、NADPH 中活跃的化学能	ATP、NADPH 中活跃的化学能→有机物中稳定的化学能
联系	①光反应为暗反应提供NADPH 和 ATP，暗反应为光反应提供 ADP、Pi 和 $NADP^+$； ②没有光反应，暗反应无法长期进行；没有暗反应，有机物无法生成	

补：光合作用总反应式及元素去向

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{叶绿体}]{\text{光能}} (CH_2O) + O_2$$

$$O: H_2{}^{18}O \xrightarrow{\text{光反应}} {}^{18}O_2;\ C^{18}O_2 \xrightarrow{CO_2\text{固定}} C_3 \xrightarrow{C_3\text{还原}} (CH_2{}^{18}O)$$

$$C: {}^{14}CO_2 \longrightarrow ({}^{14}CH_2O)$$

$$H: H_2O \longrightarrow NADPH \longrightarrow (CH_2O)$$

六、化能合成作用

在自然界中，除了光合作用，还有另外一种制造有机物的方式。少数种类的细菌，细胞内没有叶绿素，不能进行光合作用，但是却能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。例如，生活在土壤中的硝化细菌，能将土壤中的氨(NH_3)氧化成亚硝酸(HNO_2)，进而将亚硝酸氧化成硝酸(HNO_3)。这两个化学反应中释放出的化学能，就被硝化细菌用来将CO_2和H_2O合成糖类。这些糖类就可以供硝化细菌维持自身的生命活动。

$$2NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{\text{硝化细菌}} 2HNO_2 + 2H_2O + \text{能量}$$

$$2HNO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{硝化细菌}} 2HNO_3 + \text{能量}$$

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{硝化细菌}} (CH_2O)$$

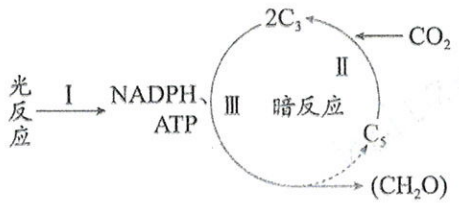
1、生物类型

- 自养生物
  - 光能自养生物：绿色植物
  - 化能自养生物：硝化细菌、硫细菌、铁细菌等
- 异养生物：动物、真菌以及大多数细菌

2、光合作用与化能合成作用的对比

比较项目		光合作用	化能合成作用
区别	能量来源	光能	氧化无机物放出的能量
	代表生物	绿色植物	硝化细菌
相同点		都能将 CO_2 和 H_2O 等无机物合成有机物	

七、环境条件骤变时短时间内的物质含量变化



环境条件

- 改变光强 → 从光反应中NADPH和ATP的变化开始考虑
- 改变CO_2浓度 → 从C_3和C_5的变化开始考虑

规律：NADPH、ATP和C_3的变化一致，C_3和C_5的变化相反，CO_2供应和C_3的变化一致

1、CO_2供应不变，光照条件突然发生变化

光照突然减弱	光反应减弱	NADPH和ATP合成减弱	C_3的还原过程减弱，CO_2的固定暂时不变	C_3消耗减少，合成暂时不变	C_3含量增加
				C_5合成减少，消耗暂时不变	C_5含量减少
光照突然增强	光反应增强	NADPH和ATP合成增强	C_3的还原过程增强，CO_2的固定暂时不变	C_3消耗增加，合成暂时不变	C_3含量减少
				C_5合成增加，消耗暂时不变	C_5含量增加

C3与C5的变化总是相反的
NADPH与ATP的变化总是相同的

2、光照条件不变CO_2供应突然发生变化

CO_2供应突然减弱	暗反应减弱	CO_2的固定减弱，C_3的还原过程暂时不变	NADPH和ATP消耗暂时不变	C_3合成减少，消耗暂时不变	C_3含量减少
				C_5消耗减少，合成暂时不变	C_5含量增加
CO_2供应突然增强	暗反应增强	CO_2的固定增强，C_3的还原过程暂时不变	NADPH和ATP消耗暂时不变	C_3合成增强，消耗暂时不变	C_3含量增加
				C_5消耗增加，合成暂时不变	C_5含量减少

八、光合作用速率

1、表示方法：①CO_2的消耗量
②O_2的产生量
③有机物的制造量

2、公式：总(实际 or 真正)光合速率 = 呼吸速率 + 净光合速率

3、相关指标

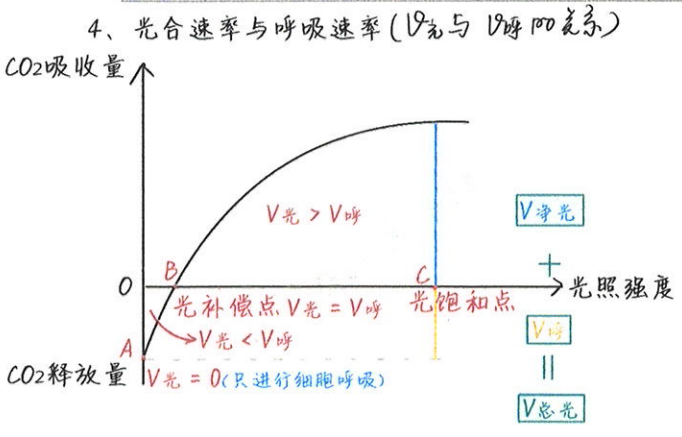
项目	含义	表示方法(单位面积的叶片在单位时间内变化量)		
		O_2	CO_2	有机物
真正光合速率	植物在光下实际合成有机物的速率	O_2产生(生成)速率或叶绿体释放O_2量	CO_2固定速率或叶绿体吸收CO_2量	有机物产生(制造、生成)速率
净光合速率	植物有机物的积累速率	植物或叶片或叶肉细胞O_2释放速率	植物或叶片或叶肉细胞CO_2吸收速率	有机物积累速率
呼吸速率	单位面积的叶片在单位时间内分解有机物的速率	黑暗中O_2吸收速率	黑暗中CO_2释放速率	有机物消耗速率

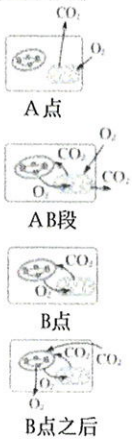
呼吸速率：
黑暗条件下，单位叶面积在单位时间内线粒体吸收的O2量或释放的CO2量或消耗的有机物的量(大气中或密闭容器内O2的减少量或CO2的增加量)

净光合速率：
一定光照条件下，单位叶面积在单位时间内植物体吸收的CO2量或释放的O2量或积累有机物的量(大气中或密闭容器内O2的增加量或CO2的减少量)

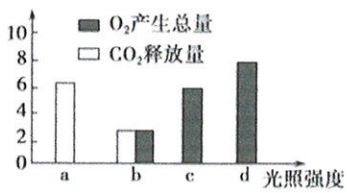
注意：
一般装置只能测量出呼吸速率和净光和速率，总光和不能直接测出，只能通过计算。

4、光合速率与呼吸速率(净与呼的关系)

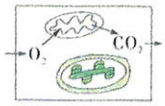
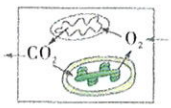
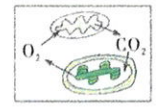
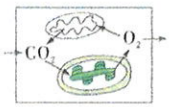




如图表示某植物在不同光照强度下，单位时间内CO_2释放量和O_2产生总量的相对变化。对植物生理过程分析正确的是（　　）



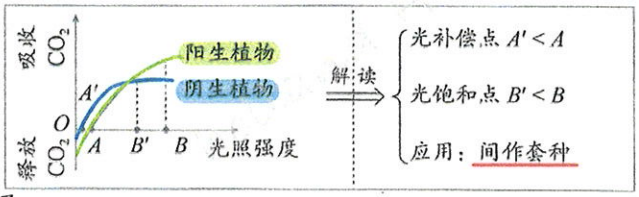
A.光照强度为a时，光合作用强度不为零
B.光照强度为b时，光合作用与呼吸作用强度相等
C.光照强度为c时，光合作用强度是呼吸作用强度两倍
D.光照强度为d时，光合作用从环境中吸收2单位CO_2

细胞生理活动		图示	气体交换情况
A点	只进行细胞呼吸，不进行光合作用		从外界吸收 O_2，向外界释放 CO_2
AB段	呼吸作用强度>光合作用强度		
B点	呼吸作用强度=光合作用强度		与外界不发生气体交换
BC段	光合作用强度>呼吸作用强度		从外界吸收 CO_2，向外界释放 O_2，此时有有机物的积累
C点以后	光合作用强度不再变化		

九、影响光合作用的因素及应用

（一）内部因素

1、遗传特性



阴生植物一般含叶绿体较多，阳生植物含叶绿体较少，因此对光的需求量较大。

拓展：

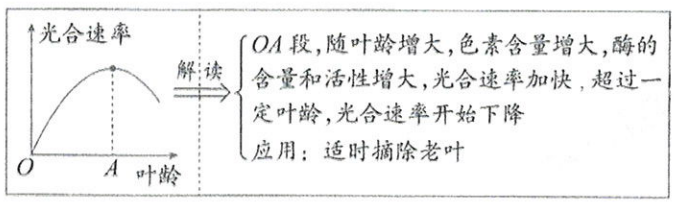
(1)轮作：指在同一块土地上，按照一定的时间间隔，轮流种植不同的作物。
（意义：轮作可以有效防止土壤病虫害，保持土壤肥力，提高作物产量）

(2)间作：指在同一块土地上，将不同的作物种植在同一行或同一列，通常是在同一行或同一列中的不同位置种植两种或多种不同的农作物。
（意义：充分利用光能及土地资源，减少病虫害的发生，提高作物的产量和品质）

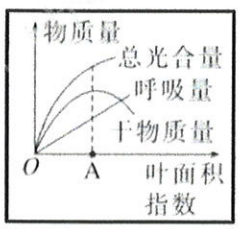
(3)套种：指在同一季节内，相继种植两个或多个不同生长周期的农作物。
（意义：充分利用光能及土地资源，减少病虫害的发生，提高作物的产量和品质）

(4)连作：指在同一块土地上，连续多年种植同一种作物，没有间隔时间。
（连作容易导致病虫害的发生，降低作物的产量和品质，同时也会对土壤和环境造成不良影响）

2、叶龄、叶绿素含量、酶



3、叶面积指数

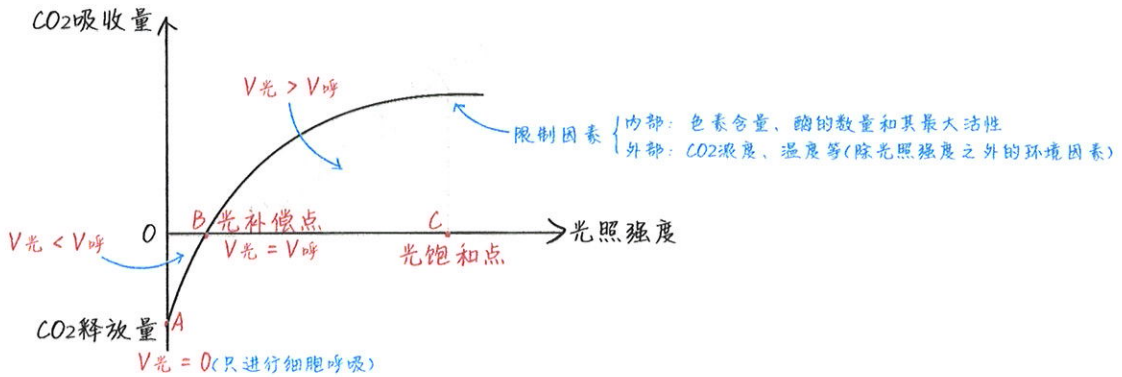


A点前：随叶面积指数增大，光合速率增大
A点后：虽然总光合量上升，但因呼吸量上升更快，导致干物质量下降应用：适当摘除林冠下层叶；合理密植，增加光合面积

（二）外部因素

1、光照强度

（原理：光照强度通过影响光反应阶段，限制 ATP 及 NADPH 的产生，从而影响暗反应，最终影响光合速率）



应用：

①温室中，适当增强光照强度，以提高光合速率，使作物增产；

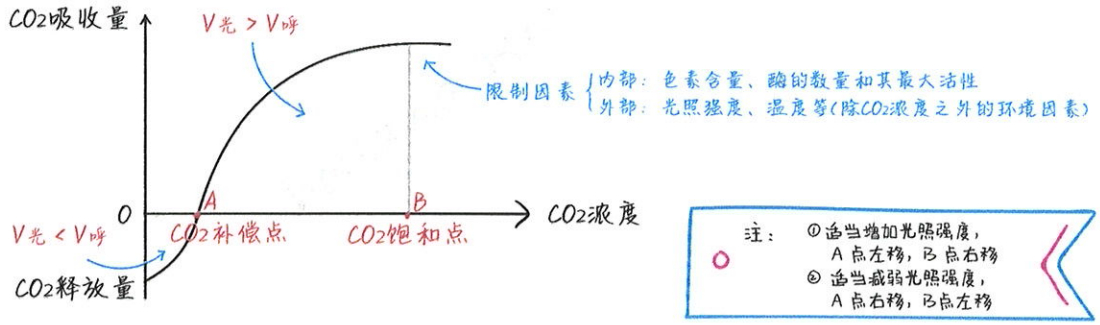
②阴生植物的光补偿点和光饱和点都较阳生植物低，间作套种农作物，可合理利用光能。

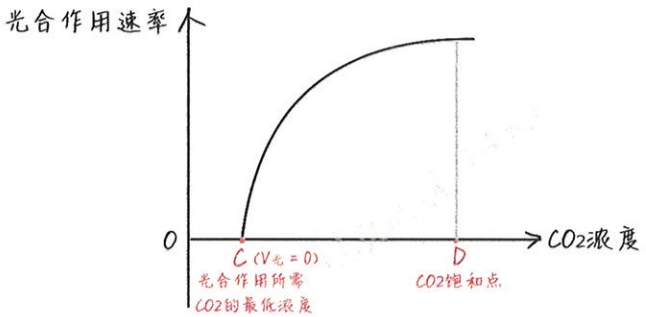
易错：

①塑料大棚的“塑料颜色”：为提高光能利用率，塑料大棚栽植时常选择无色塑料，以透过各色光，这是因为太阳的全色可见光透过时各种色光均可被作物吸收（尽管绿光吸收量比较小，但总会吸收一些）

②连续阴雨天“补光类型”：给温室大棚“人工补光“宜选择植物吸收利用效率最高的“红光或紫光”灯源。白炽灯发出的光中绿光利用率极低，从节省能源成本的角度来讲，用红灯泡或紫灯泡效率最高。

2、CO_2浓度

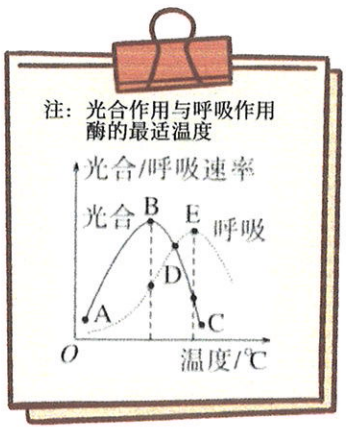




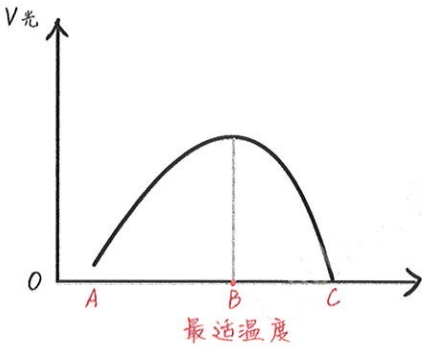
应用：

①施用农家肥，通过土壤微生物的分解作用，来增大CO_2浓度，提高光合作用速率

②农田中增加空气流动以增加CO_2浓度，提高光合作用速率



3、温度



A-B：随着温度升高，光合速率增大

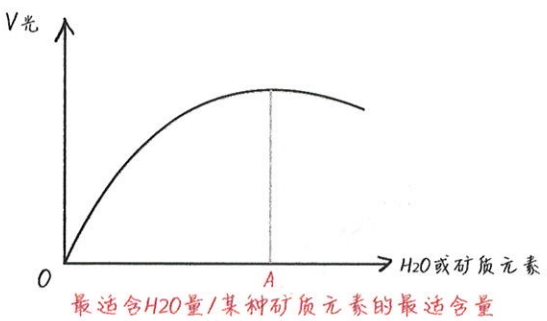
B-C：随着温度升高，酶的活性下降，光合速率减小，C点光合速率为零

应用：

①在晴天（强光）条件下，白天适当升温，以提高光合作用，晚上适当降温，减少呼吸消耗，提高有机物的积累量

②在阴天（弱光）条件下，白天温度不可太高（弱光下光合作用弱），晚上适当降温，来减弱呼吸作用有机物的消耗量

4、H_2O、矿质元素



应用：合理灌溉。（水既是光合作用的原料，又是植物体内各种化学反应的介质）

合理施肥。（矿质元素影响酶、叶绿素等化合物的合成）

5、多因素

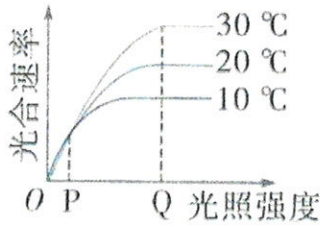


图1

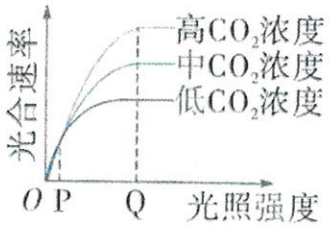


图2

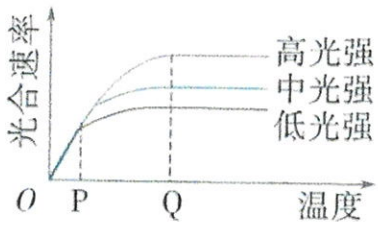
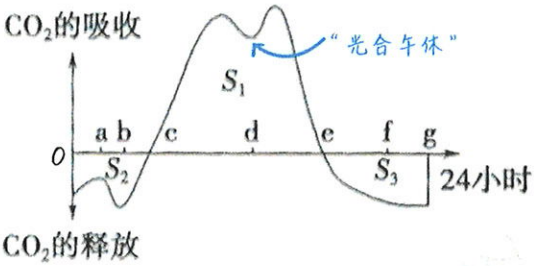


图3

P点前：限制光合速率的因素为横坐标所表示的因素
Q点：限制光合速率的因素是图中曲线表示的因素

十、夏季自然状态下及密闭玻璃罩内的CO_2浓度变化

1、自然环境中植物的光合作用分析

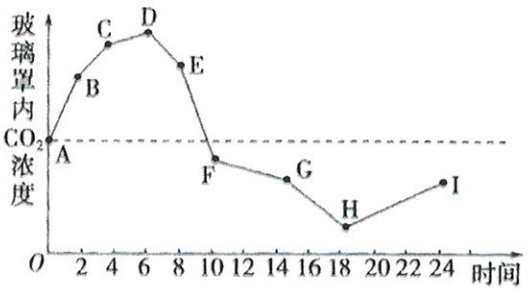


植物正常生长：
S1 > S2 + S3

a点CO_2释放量下降：凌晨环境温度较低，限制呼吸酶活性
b点CO_2释放量上升：日出，光照强度逐渐增加，$V_{光}$逐渐增大
c点、e点：$V_{光} = V_{呼}$（e点是光合作用产物的积累量最大的点）
d点CO_2吸收量下降：正午环境温度过高，植物蒸腾作用导致气孔开度（导度）大幅下降，CO_2供应量减少

ce段：$V_{光} > V_{呼}$
oc段、eg段：$V_{光} < V_{呼}$

2、密闭玻璃罩内植物的光合作用分析



植物正常生长：
I点CO2浓度低于A点CO2浓度

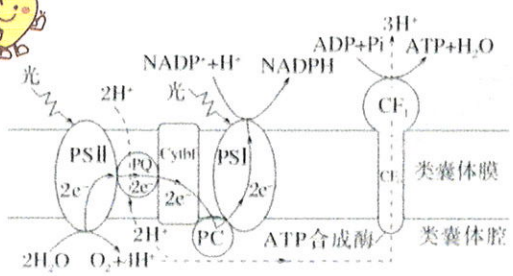
AC段CO_2释放速率下降：玻璃罩内CO_2浓度不断增大，BC段温度下降，呼吸酶活性较低，限制$V_{呼}$
CD段CO_2释放速率下降：日出（开始进行光合作用），光照强度逐渐增加，$V_{光}$逐渐增大

AD、HI：$V_{光} < V_{呼}$
D点、H点：$V_{光} = V_{呼}$（H点是光合作用产物的积累量最大的点）
DH：$V_{光} > V_{呼}$
FG段CO_2吸收速率下降：中午气温过高，为减少蒸腾作用，植物叶片部分气孔关闭，CO_2供应量减少

十一、光合作用原理的拓展

光合作用涉及光吸收、电子传递、光合磷酸化、碳同化等重要反应步骤，对实现自然界的能量转换、维持大气的碳－氧平衡具有重要意义，结合以下信息深度认知光合作用相关原理。

1、如图为类囊体薄膜上发生的光反应示意图，其中PSI和PSII分别是光系统I和光系统II，是叶绿素和蛋白质构成的复合体，能吸收利用光能进行电子的传递。其中PQ、Cytbf、PC是传递电子的蛋白质，PQ在传递电子的同时能将H+运输到类囊体腔中，图中实线为电子的传递过程，虚线为H+的运输过程，ATP合成酶由CF0和CF1两部分组成，则：

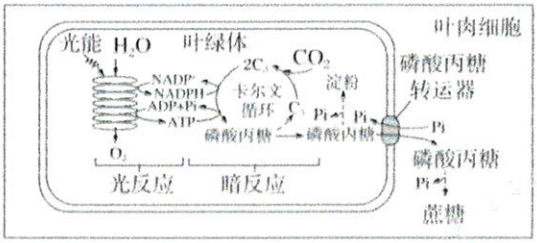


（1）少数处于特殊状态的叶绿素分子在光能激发下失去高能e-，失去e-的叶绿素分子，能够从水分子中夺取电子(e-)，使水分解氧和氢离子；电子(e-)由水释放出来后，经过一系列的传递体形成电子流，最终传递给NADP+（电子的最终受体）合成NADPH。PSI和PSII吸收的光能储存在NADPH和ATP中。

（2）使类囊体膜两侧氢离子浓度差增加的过程有①水的光解产生H+；②PQ运输H+；③合成NADPH消耗H+。

（3）由图可知，ATP合成酶的作用有运输H+和催化ATP的合成。合成ATP依赖于类囊体膜两侧的H+浓度差形成的电化学势能。

2. 图为番茄叶肉细胞进行光合作用的过程及磷酸丙糖的转化和运输情况。

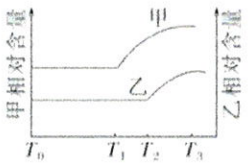


（1）其中磷酸丙糖转运器发挥作用时，并不会直接改变叶绿体内磷酸丙糖和Pi的总含量，由此推测磷酸丙糖转运器维持叶绿体内磷酸丙糖和Pi的总含量不变的原因是Pi与磷酸丙糖通过磷酸丙糖转运器严格按照1：1反向交换进行转运。

（2）将离体的叶绿体置于磷酸浓度低的外界悬浮液中，叶绿体CO_2的固定速率会减慢的原因是外界磷酸浓度低的不利于磷酸丙糖的输出，叶绿体中淀粉等光合产物积累，导致暗反应过程受阻，从而影响CO_2的固定。

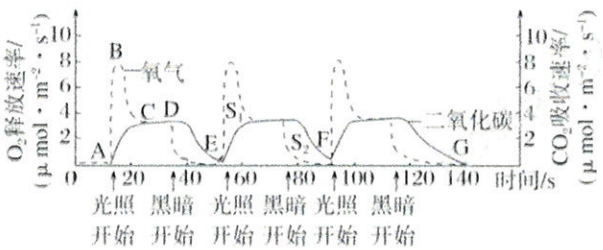
（3）蔗糖是大多数植物长距离运输的主要有机物，与葡萄糖相比，以蔗糖作为运输物质的优点是非还原糖较稳定。

（4）图中T0～T1表示的是适宜条件下生长的番茄叶绿体（NADPH、ADP、C3或C5）中某两种化合物的含量；T1～T3则表示改变其生长条件后两种化合物的含量变化。



① 若T1时刻降低了培养液中$NaHCO_3$的浓度，则物质甲、乙分别指的是C5、NADPH。
② 若T1时刻降低了光照强度，则物质甲、乙分别指的是ADP、C3。

（5）科研人员利用"间隙光"来测定番茄的光合作用，每次光照20秒，黑暗20秒，交替进行12小时，并用灵敏传感器记录环境中氧气和二氧化碳的变化，实验结果部分记录如图所示。据实验结果部分记录图分析，与连续光照6小时，再连续黑暗6小时相比，"间隙光"处理的光合作用效率大于连续光照下的光合作用效率，原因是"间隙光"处理时能充分利用光合作用光反应产生的NADPH和ATP。图中曲线出现的原因是光合作用光反应的速率比暗反应的速率更快。图中两条曲线所围成的面积S1=S2。

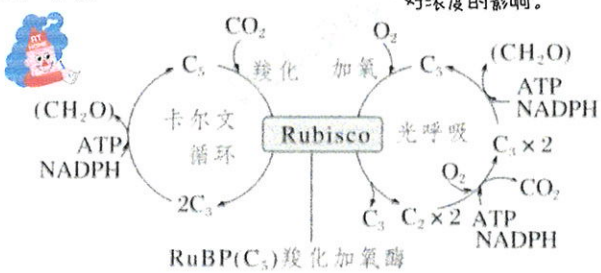


十二、光呼吸

1、发生条件

① 干旱、炎热条件下，气孔关闭，阻止CO_2进入叶片和O_2逸出叶片。
② Rubisco酶具有两面性（或双功能）。既可催化RuBP（C5）与CO_2反应，进行卡尔文循环，又可催化RuBP（C5）与O_2生成CO_2反应，进行光呼吸（绿色植物在光照下消耗O_2并释放CO_2的反应）。该酶的酶促反应方向受CO_2和O_2相对浓度的影响。

2、过程



3、发生场所：叶绿体、过氧化物酶体、线粒体

4、危害

① 在较强光下，光呼吸加强，使得C5氧化分解加强，一部分碳（1/4）以CO_2的形式散失，从而减少了光合产物的形成和积累。
② 光呼吸过程中消耗了ATP和NADPH，即造成了能量的损耗。

5、意义

① 防止强光对叶绿体的破坏：强光时，光反应速率大于暗反应速率，叶肉细胞中会积累ATP和NADPH，这些物质积累会产生自由基，自由基会损伤叶绿体；但强光下光呼吸加强，会消耗光反应过程中积累的ATP和NADPH，从而减轻对叶绿体的伤害。
② 回收了3/4的碳元素，避免了过多的碳损失。
③ 消除乙醇酸（C_2），避免了乙醇酸（C_2）积累，使细胞免受伤害。
④ 在干旱和高辐射胁迫下，叶片气孔关闭或外界CO_2浓度降低、CO_2供应量减少，但光呼吸释放的CO_2能被卡尔文循环再利用，以维持糖类等有机物的合成。

十三、光抑制

1、概念：植物的光合系统所接受的光能超过光合作用所能利用的量时，光合功能便降低，这就是光合作用的光抑制。

2、光抑制机理：光合系统的破坏，PSII是光破坏的主要场所。发生光破坏后的结果：电子传递受阻，光合效率下降。

3、光抑制的主要防御机制：

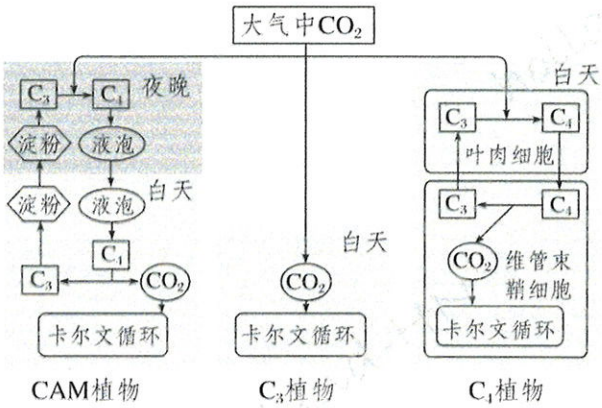
①减少光吸收，植物体也可以通过叶运动（减少叶片与主茎的夹角）或叶绿体运动这种对强光的快速响应以减少对光的吸收，从而避免光抑制。

②增加热耗散：a.当依赖能量的叶绿素荧光猝灭增加时，通过增加激发能的热耗散可以部分避免光抑制。降低光饱和条件下的PSII的光化学效率，可以避免光抑制破坏的发生。

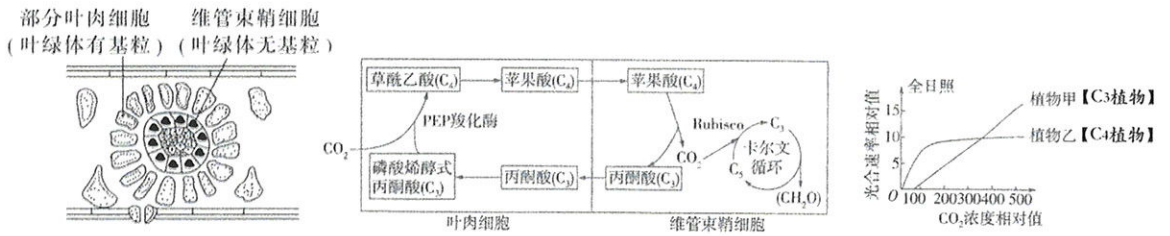
b.在强光下非光辐射能量耗散增加的同时，玉米黄素含量增加，玉米黄素与激发态的叶绿素作用，从而耗散其激发能，保护光合机构免受过量光能破坏。

③进行光呼吸：C3植物的光呼吸有很高的能量需求。光呼吸可以防止强光和CO_2亏缺条件下发生光抑制。

十四、C3植物、C4植物和CAM植物固定CO_2方式的比较

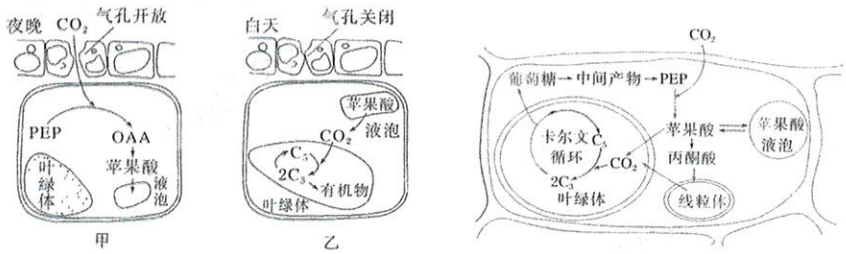


C4植物　在干旱、高温条件下，C4植物（玉米）由于含有磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶（PEPC酶），其利用CO_2的能力远远高于C3植物（水稻），具有明显的生长及产量优势。C4植物从空气中吸收CO_2后，首先合成含四个碳原子化合物的植物，其能浓缩空气中低浓度的CO_2用于光合作用，这种特有的方式，使此类植物没有"光合午休"的现象。除此之外，C4植物的光反应在两个场所（叶肉细胞紧密围绕维管束鞘细胞），叶肉细胞叶绿体是水光解的主要场所，维管束鞘细胞的叶绿体主要与ATP生成有关。而C4植物的暗反应，先在叶肉细胞中利用PEPC酶催化磷酸烯醇式丙酮酸（PEP）与CO_2反应生成C4，固定产物C4转运到维管束鞘细胞后释放CO_2，再进行卡尔文循环（即通过Rubisco固定CO_2）。而C3植物的CO_2固定只能通过C3途径——卡尔文循环（即通过Rubisco固定CO_2）来实现。PEPC酶和Rubisco这两种酶对CO_2的亲和力不同，PEPC酶对CO_2的亲和力比Rubisco高出60多倍，有利于玉米等植物在叶肉细胞中把大气中含量很低的CO_2以C4的形式固定下来，形成C4后进入维管束鞘细胞并释放CO_2，因此PEPC酶被形象地称为"CO_2泵"。



景天科植物　景天酸代谢（CAM）途径属于生活在高温干旱地区的景天科植物（仙人掌、芦荟等多肉植物），其叶肉细胞有一个很特殊的CO_2固定方式：夜间气孔开放，吸收的CO_2生成苹果酸储存在液泡中；白天气孔关闭，液泡中的苹果酸经脱羧作用释放CO_2用于光合作用。

【注：夜间植物不能进行卡尔文循环】



C4途径和CAM途径固定CO_2的对比：①相同点：都对CO_2进行了两次固定；

②不同点：C4植物两次固定CO_2在空间上错开；CAM植物两次固定CO_2在时间上错开。

C3途径是碳同化的基本途径，C4途径和CAM途径都只起固定CO_2的作用，最终还是通过C3途径合成有机物。