

第 13 课时 光合作用的原理

课标要求	说明植物细胞的叶绿体从太阳光中捕获能量，这些能量在二氧化碳和水转变为糖与氧气的过程中，转换并储存为糖分子中的化学能。
考情分析	光合作用的原理：2025·江苏·T21 2025·安徽·T16 2025·广东·T18 2025·黑吉辽蒙·T21 2025·陕晋宁青·T17 2025·山东·T21 2025·四川·T16 2024·湖南·T17 2023·天津·T9 2023·湖北·T8 2023·全国甲·T29 2022·重庆·T23 2021·广东·T12 2021·湖南·T18 2021·河北·T19 2021·重庆·T6

整合 · 必备知识

1. 光合作用的概念：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，并且释放出氧气的过程。
2. 光合作用的反应式： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{叶绿体}]{\text{光能}} (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2$ 。
3. 光合作用的过程

项目	光反应	暗反应
过程模型		
实质	光能转化为化学能，并放出 O ₂	同化 CO ₂ 形成有机物
与光的关系	必须在光下进行	不直接依赖光
场所	在叶绿体内的 <u>类囊体薄膜</u> 上进行	在叶绿体 <u>基质</u> 中进行
物质转化	①水的光解： $\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{色素}]{\text{光}} 2\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$ ②NADPH 的合成： $\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \xrightarrow{\text{酶}} \text{NADPH}$ ③ATP 的合成： $\text{ADP} + \text{Pi} + \text{能量} \xrightarrow{\text{酶}} \text{ATP}$	①CO₂ 的固定： $\text{CO}_2 + \text{C}_5 \xrightarrow{\text{酶}} 2\text{C}_3$ ②C₃ 的还原： $2\text{C}_3 \xrightarrow[\text{ATP、NADPH}]{\text{酶}} \text{C}_5 + (\text{CH}_2\text{O})$ ③ATP 的水解： $\text{ATP} \xrightarrow{\text{酶}} \text{ADP} + \text{Pi} + \text{能量}$ ④NADPH 的分解： $\text{NADPH} \xrightarrow{\text{酶}} \text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}^-$

能量转化	光能→ATP 和 NADPH 中的化学能	ATP 和 NADPH 中的化学能→ 有机物中的化学能
联系	①光反应为暗反应提供 ATP 和 NADPH; ②暗反应为光反应提供 ADP、Pi 和 NADP ⁺	

4.化能合成作用与光合作用的对比

项目	光合作用	化能合成作用
条件	光、色素、酶	酶
原料	CO ₂ 和 H ₂ O 等无机物	
产物	糖类等有机物	
能量来源	光能	某些无机物氧化时释放的能量
生物种类	绿色植物、蓝细菌等	硝化细菌、硫细菌等

■ 自我诊断 ■

(1)植物细胞产生的 O₂ 只能来自光合作用(2021·山东，16C)(×)

提示 光合作用通过 H₂O 的光解可以产生 O₂，另外，植物细胞中具有过氧化氢酶，可以催化 H₂O₂ 水解为 H₂O 和 O₂。

(2)高温使作物叶绿素降解，光反应生成的 NADH 和 ATP 减少(2023·湖北，11D)(×)

提示 光反应中生成 NADPH。

(3)在暗反应阶段，CO₂ 不能直接被还原(2021·湖南，7B)(√)

(4)在禾谷类作物开花期剪掉部分花穗，叶片的光合速率会暂时下降(2021·湖南，7C)(√)

(5)光合作用的解析促进花期控制技术的成熟(2024·广东，4C)(×)

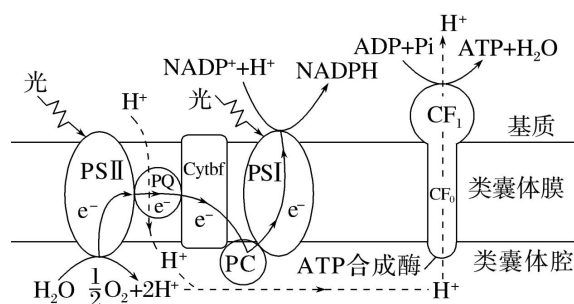
提示 光合作用的解析主要是对植物的光合作用机制进行研究，而花期控制技术更多地涉及植物激素、环境因素等方面的知识，光合作用的解析与花期控制技术的成熟关系不大。

|| 形成·解题能力

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，请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 PS I 和 PS II 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 e^- ，使水分解为氧和 H^+ ；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。PS I 和 PS II 吸收的光能储存在 NADPH 和 ATP 中。

(2)据图分析，使类囊体膜两侧 H^+ 浓度差增加的过程有水的光解产生 H^+ ；PQ 运输 H^+ ；合成 NADPH 消耗 H^+ 。

(3)由图可知，图中 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. 如图 1 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。

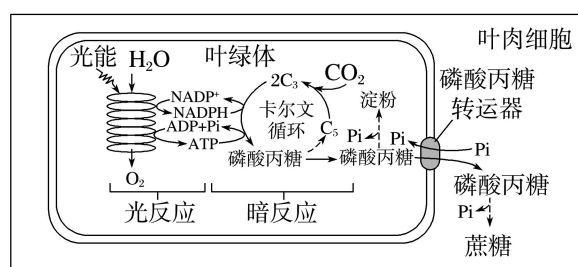


图 1

(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对这两类物质的转运比例为 1:1。

(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，请结合上述(1)中信息推测原因为外界磷酸浓度低，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。

3.如图 2 中 $T_0 \sim T_1$ 表示的是适宜条件下生长的番茄叶绿体中某两种化合物(NADPH、ADP、 C_3 或 C_5)的含量， $T_1 \sim T_3$ 则表示改变其生长条件后两种化合物的含量变化。若 T_1 时刻降低了培养液中 $NaHCO_3$ 的浓度，则物质甲、乙分别指的是 C_5 、NADPH。若 T_1 时刻降低了光照强度，则物质甲、乙分别指的是 ADP、 C_3 。

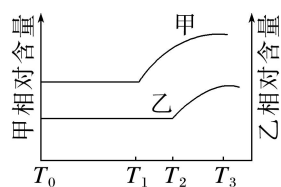


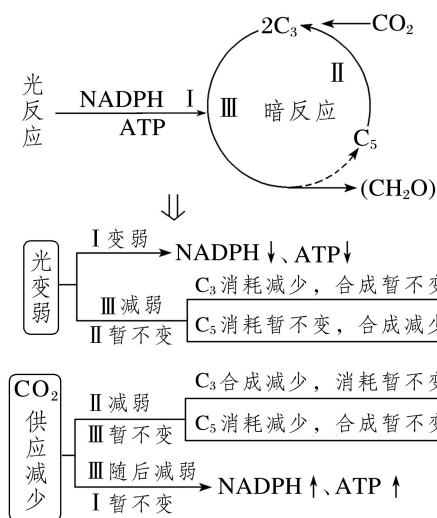
图 2

归纳总结

环境改变时光合作用各物质含量的变化分析

(1) “过程法” 分析各物质变化

如图中 I 表示光反应，II 表示 CO_2 的固定，III 表示 C_3 的还原，当外界条件(如光照、 CO_2)突然发生变化时，分析相关物质含量在短时间内的变化：



(2) “模型法” 表示 C_3 和 C_5 等物质含量变化

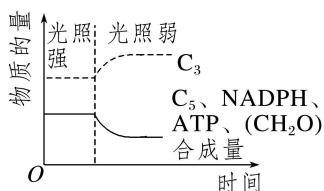


图 1

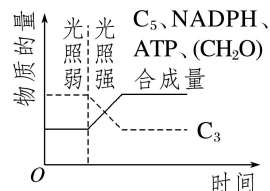


图 2

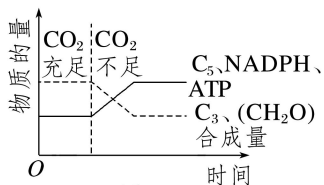


图 3

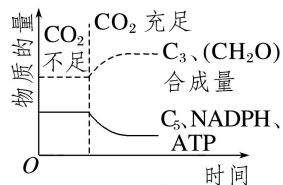
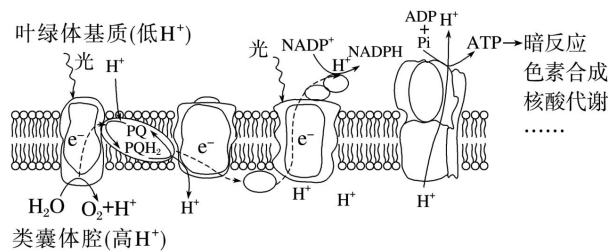


图 4

强化·迁移应用

考向一 光合作用的原理

1. (2021·重庆, 6)类囊体膜蛋白排列和光反应产物形成的示意图如下。据图分析, 下列叙述错误的是()

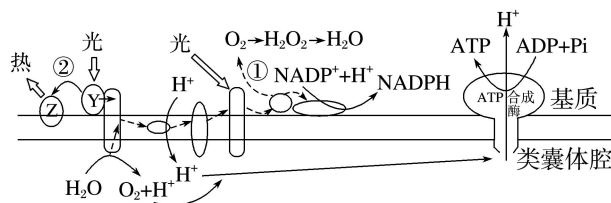


- A. 水光解产生的 O_2 若被有氧呼吸利用，最少要穿过 4 层膜
- B. $NADP^+$ 与电子(e^-)和质子(H^+)结合形成 NADPH
- C. 产生的 ATP 可用于暗反应及其他消耗能量的反应
- D. 电子(e^-)的有序传递是完成光能转换的重要环节

答案 A

解析 水光解产生 O_2 的场所是叶绿体的类囊体薄膜的内侧，若被有氧呼吸利用，则 O_2 在线粒体内膜上被利用， O_2 从叶绿体类囊体薄膜开始，穿过叶绿体 2 层膜，然后进入同一细胞中的线粒体，再穿过线粒体的 2 层膜，所以至少要穿过 5 层膜，A 错误。

2. (2025·山东, 21)高光强环境下，植物光合系统吸收的过剩光能会对光合系统造成损伤，引起光合作用强度下降。植物进化出的多种机制可在一定程度上减轻该损伤。某绿藻可在高光强下正常生长，其部分光合过程如图所示。



注：---表示电子的传递路径；Y、Z 表示光合色素分子。

- (1)叶绿体膜的基本支架是_____；叶绿体中含有许多由类囊体组成的_____，扩展了受光面积。
- (2)据图分析，生成 NADPH 所需的电子源自于_____。采用同位素示踪法可追踪物质的去向，用含 3H_2O 的溶液培养该绿藻一段时间后，以其光合产物葡萄糖为原料进行有氧呼吸时，能进入线粒体基质被 3H 标记的物质有 H_2O 、_____。离心收集绿藻并重新放入含 $H_2^{18}O$ 的培养液中，在适宜光照条件下继续培养，绿藻产生的带 ^{18}O 标记的气体有_____。
- (3)据图分析，通过途径①和途径②消耗过剩的光能减轻光合系统损伤的机制分别为_____。

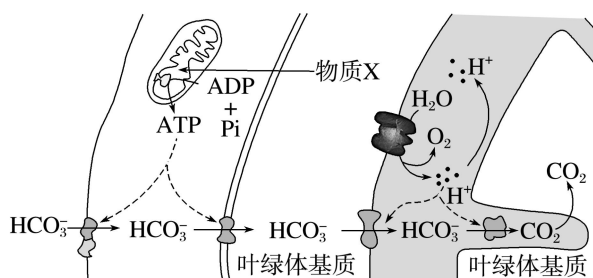
答案 (1)磷脂双分子层 基粒 (2) H_2O 丙酮酸、 $[H]$ CO_2 、 O_2 (3)途径①以电能的方式耗散光能；途径②以热能的方式耗散光能

解析 (2)据图分析，水在光下分解为 O_2 和 H^+ ，同时产生的电子经传递，可用于 $NADP^+$ 与

H^+ 结合形成NADPH,即生成NADPH所需的电子源自于水。 3H_2O 被植物细胞吸收后参与光合作用,生成 $C_6^3H_{12}O_6$ 。在有氧呼吸的第一阶段, $C_6^3H_{12}O_6$ 在细胞质基质中被分解成含有 3H 的丙酮酸,产生少量的 $[^3H]$,并释放少量的能量;在有氧呼吸的第二阶段,丙酮酸与 3H_2O 在线粒体基质中被彻底分解生成 CO_2 和 $[^3H]$,释放少量的能量;在线粒体内膜上完成有氧呼吸的第三阶段, $[^3H]$ 与 O_2 结合生成 H_2O ,并释放大量的能量。可见,用含 3H_2O 的溶液培养该绿藻,一段时间后,能进入线粒体基质被 3H 标记的物质有 H_2O 、丙酮酸和 $[H]$ 。培养液中 $H_2^{18}O$ 被绿藻吸收后,在光合作用的光反应阶段被分解产生 $^{18}O_2$;在有氧呼吸的第二阶段, $H_2^{18}O$ 与丙酮酸被彻底分解为 $C^{18}O_2$ 和 $[H]$,即产生的带 ^{18}O 标记的气体有 O_2 和 CO_2 。(3)对于途径②,从图中可以看到,通过途径②将过剩的光能转化为热能散失,从而减轻光合系统损伤。对于途径①,图中显示途径①使电子传递给 O_2 ,通过水的生成消耗过剩的电子,进而减轻光合系统损伤。

考向二 光合作用中光反应和暗反应的关系

3. (2023·天津,9)如图是某绿藻适应水生环境,提高光合效率的机制图。光反应产生的物质X可进入线粒体促进ATP合成。下列叙述错误的是()

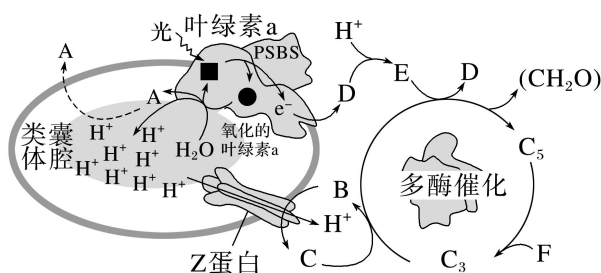


- A. 物质X通过提高有氧呼吸水平促进 HCO_3^- 进入细胞质基质
- B. HCO_3^- 利用通道蛋白从细胞质基质进入叶绿体基质
- C. 水光解产生的 H^+ 提高类囊体腔 CO_2 水平,促进 CO_2 进入叶绿体基质
- D. 光反应通过确保暗反应的 CO_2 的供应帮助该绿藻适应水环境

答案 B

解析 HCO_3^- 进入叶绿体基质需要线粒体产生的ATP供能,属于主动运输,通道蛋白只能参与协助扩散,B错误。

4. (2025·汕头月考)如图是黑农5号大豆叶肉细胞光合作用过程示意图(字母代表物质),PSBS是一种类囊体膜蛋白,它能感应类囊体腔内 H^+ 的浓度而被激活,从而抑制电子在类囊体膜上的传递,最终将过量的光能转换成热能释放,防止强光对叶肉细胞造成损伤,下列相关说法错误的是()



- A. H^+ 经过 Z 蛋白外流的同时，细胞利用 C 物质来合成 B 物质
- B. 叶绿素分子中被光激发的 e^- ，经传递到达 D 结合 H^+ 后生成 NADPH
- C. 提高 Z 蛋白的活性不利于 PSBS 发挥功能
- D. 物质 F 浓度降低至原浓度一半时，短时间内 C_5 化合物的含量将升高

答案 A

解析 由图可知，C、E 可用于 C_3 的还原，故 E 是 NADPH，B 是 ADP 和 P_i ，C 是 ATP，当 H^+ 顺浓度梯度经过 Z 蛋白运输时，利用化学势能将 ADP 和 P_i 转化为 ATP，即 B 物质被用来合成了 C 物质，A 错误；叶绿素分子中被光激发的电子，经传递到达 D(NADP $^+$) 同时结合 H^+ 合成 NADPH，B 正确；提高 Z 蛋白的活性会增加 H^+ 向外运输，导致类囊体腔 H^+ 浓度下降，PSBS 能感应类囊体腔内 H^+ 的浓度而被激活，因此提高 Z 蛋白的活性不利于 PSBS 发挥功能，C 正确；物质 F 是 CO_2 ，浓度降低至原浓度一半时，短时间内 CO_2 的固定速率降低，但 C_3 的还原速率基本不变，故 C_5 化合物的含量将升高，D 正确。

课时精练

选择题 1~4 题，每小题 5 分，5~9 题，每小题 6 分，共 50 分。

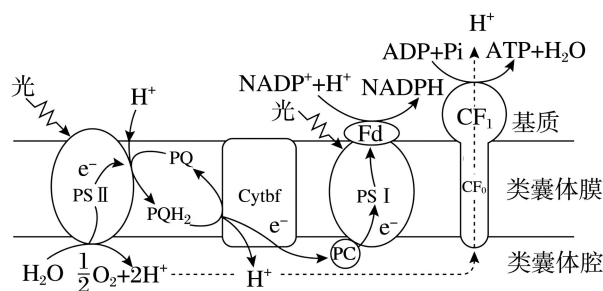
一、选择题

1. (2021·广东，12) 在高等植物光合作用的卡尔文循环中，唯一催化 CO_2 固定形成 C_3 的酶被称为 Rubisco，下列叙述正确的是()
- A. Rubisco 存在于细胞质基质中
- B. 激活 Rubisco 需要黑暗条件
- C. Rubisco 催化 CO_2 固定需要 ATP
- D. Rubisco 催化 C_5 和 CO_2 结合

答案 D

解析 Rubisco 参与植物光合作用过程中的暗反应，暗反应场所在叶绿体基质，故 Rubisco 存在于叶绿体基质中，A 错误；暗反应不直接依赖光，但需要光照间接影响，B 错误。

2. 如图所示生理过程中，PQ、Cytbf、PC 是传递电子的蛋白质， CF_0 、 CF_1 构成 ATP 合成酶。下列说法错误的是()

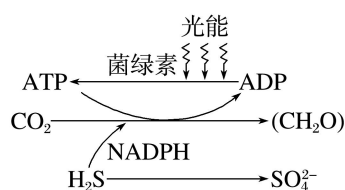


- A. PS II、PS I 内含易溶于有机溶剂的色素
- B. PQ 转运 H^+ 的过程需要消耗电子中的能量
- C. 线粒体中存在类似于 ATP 合酶的膜是线粒体内膜
- D. 小麦光合作用产生的 O_2 被细胞呼吸利用至少需要经过 4 层磷脂双分子层

答案 D

解析 光反应中水的光解产生 O_2 发生在叶绿体类囊体薄膜内, O_2 扩散到邻近的线粒体中被利用至少要经过类囊体膜、叶绿体和线粒体各 2 层膜, 共 5 层膜, 即 5 层磷脂双分子层, D 错误。

3. (2025·广东部分名校调研)科学家在厌氧型光合细菌中发现了一种利用菌绿素的原始光合作用机制, 其基本原理如图所示。该细菌的光合作用与高等植物相比, 下列叙述错误的是 ()

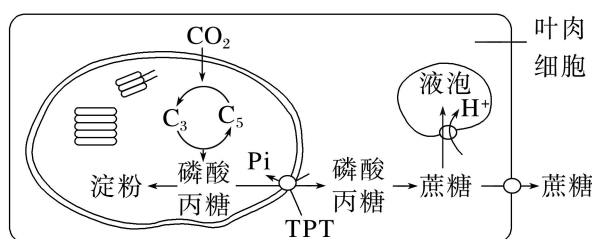


- A. ATP 的合成同样依赖色素分子吸收光能
- B. 菌绿素和叶绿素一样位于类囊体薄膜
- C. (CH_2O) 的合成都需要 ATP 和 NADPH 的参与
- D. 该细菌不释放 O_2 是因为 NADPH 的 H 来自 H_2S

答案 B

解析 分析题图, 厌氧型光合细菌中的菌绿素能够吸收光能, 促进 ADP 转化为 ATP, 则该细菌 ATP 的合成同样依赖色素分子吸收光能, A 正确; 菌绿素存在于厌氧型光合细菌中, 该细菌为原核生物, 无叶绿体, B 错误; 高等植物暗反应过程中 C_3 的还原需要 ATP 和 NADPH 的参与生成 (CH_2O) , 图中厌氧型光合细菌合成 (CH_2O) 也需要 ATP 和 NADPH 的参与, C 正确; 图中 H_2S 可转化为 SO_4^{2-} 和 NADPH, 说明该细菌不释放 O_2 是因为 NADPH 的 H 来自 H_2S , D 正确。

4. 如图为光合作用暗反应的产物磷酸丙糖的代谢途径, 其中磷酸丙糖转运体(TPT) 的活性是限制光合速率大小的重要因素。已知: CO_2 充足时, TPT 活性降低; 磷酸丙糖与 P_i 通过 TPT 的运输严格按 1 : 1 的比例进行转运。据图分析, 下列有关叙述正确的是 ()



- A. 叶肉细胞的光合产物主要是以淀粉形式运出细胞的
- B. 暗反应中磷酸丙糖的合成需要消耗光反应产生的 ATP
- C. 若磷酸丙糖的合成速率超过 Pi 转运进叶绿体的速率, 则有利于蔗糖的合成
- D. 农业生产上可以通过增加 CO_2 来提高作物中淀粉和蔗糖的含量

答案 B

解析 由题图可知, 叶肉细胞的光合产物主要是以蔗糖形式运出细胞的, A 错误; 若磷酸丙糖的合成速率超过 Pi 转运进叶绿体的速率, 则有利于淀粉的合成, C 错误; CO_2 充足时, TPT 活性降低, 导致磷酸丙糖运出叶绿体合成蔗糖的过程受到影响, 所以增加 CO_2 能提高作物中淀粉的含量, 但蔗糖的含量会下降, D 错误。

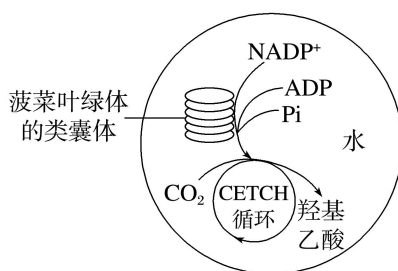
5. (2024·佛山二模)PS II 是由 D1 蛋白、色素分子等组成的复合体, 可以使水裂解产生 H^+ 和氧释放到类囊体腔中, D1 极易受到活性氧(简称 ROS, 属于自由基)的破坏。光反应过程中可以产生 ROS, 适宜光照条件下, ROS 的产生和消除之间存在动态平衡, 不会破坏 D1。据此推测, 下列说法错误的是()

- A. PS II 分布在叶绿体类囊体薄膜上, 能够利用光能参与水的光解
- B. D1 蛋白和色素分子都是由核糖体合成后转移到内质网中加工的
- C. 光照强度过强, 可能引起 ROS 产生过多, 导致 D1 结构被破坏
- D. 可以用无水乙醇提取并通过纸层析法分离 PS II 中的色素分子

答案 B

解析 由题意可知, PS II 是由 D1 蛋白、色素分子等组成的复合体, 可以使水裂解产生的 H^+ 和氧释放到类囊体腔中, 说明 PS II 分布在叶绿体类囊体薄膜上, A 正确; 核糖体上只能合成蛋白质, 而色素分子的本质不是蛋白质, 不是由核糖体合成后转移到内质网中加工的, B 错误; 适宜光照条件下, ROS 的产生和消除之间存在动态平衡, 不会破坏 D1, 但光照强度过强, 可能产生的 ROS 过多, 不能及时被消除, 导致 D1 结构被破坏, C 正确; PS II 分布于类囊体薄膜, 所以 PS II 中的色素分子为光合色素, 可用无水乙醇提取, 因为色素能够溶解在无水乙醇中, 再通过纸层析法分离色素, 因为它们都能溶解在层析液中, 不同色素溶解度不同, 溶解度高的随层析液在滤纸上扩散得快, 反之则慢, D 正确。

6. (2025·汕尾四校联考)羟基乙酸可作为合成多种有机物的原料。研究人员构建了一种非天然的 CO_2 转化循环(CETCH 循环)途径: 高效地将 CO_2 转化为羟基乙酸, 并利用该途径研制出能合成羟基乙酸的人造叶绿体(如图)。下列分析错误的是()

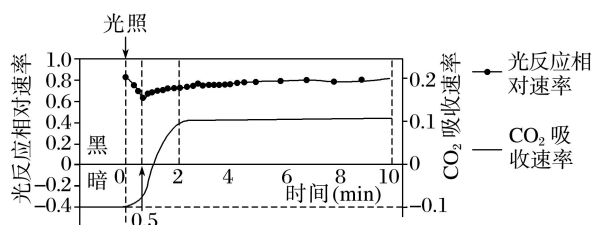


- A. 人造叶绿体内的水既作为多种物质的溶剂，还参与相关代谢
- B. 为了使人造叶绿体能持续地运作，需要源源不断地输入光能
- C. 图中的 CETCH 循环需要 NADP^+ 、ADP 和 P_i 作为直接原料
- D. 若人造叶绿体得到广泛应用，一定程度上可抵消碳排放的影响

答案 C

解析 人造叶绿体内的水可以作为多种物质的溶剂，许多物质能够溶解在水中，菠菜叶绿体类囊体还可发生水的光解，参与细胞代谢，A 正确；人造叶绿体中的类囊体需要利用光能合成 ATP 和 NADPH， CO_2 在 ATP 和 NADPH 的作用下，转化成羟基乙酸，为了使 CETCH 循环能持续运作，需要源源不断地输入光能，B 正确；CETCH 循环能高效地将 CO_2 转化为羟基乙酸，在一定程度上可抵消碳排放的影响，D 正确。

7. 科研人员对绿色植物光暗转换过程中的适应机制进行研究。测定绿色植物由黑暗到光照的过程中 CO_2 吸收速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和光反应相对速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)的变化，结果如图。下列叙述正确的是()



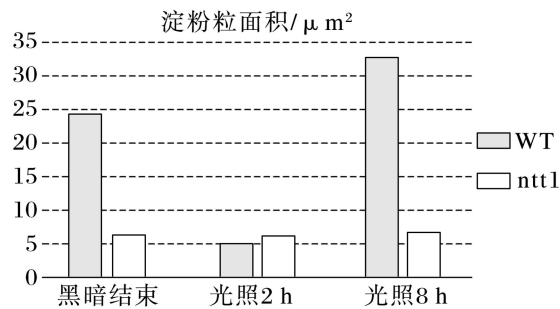
- A. 黑暗时植株的 CO_2 吸收速率为 $-0.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，与线粒体内膜产生 CO_2 有关
- B. 由黑暗转变为光照条件后，叶肉细胞中 NADPH 和 ATP 的量会一直增加
- C. 光照 0~0.5 min 光反应相对速率下降，与暗反应激活延迟造成 NADPH 和 ATP 积累有关
- D. 光照 2 min 后，光反应和暗反应速率均稳定，暗反应速率大于光反应速率

答案 C

解析 黑暗时植株的 CO_2 吸收速率为 $-0.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，说明植株的细胞呼吸速率为 $0.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，与线粒体基质中产生 CO_2 有关，A 错误；光反应为暗反应提供 NADPH 和 ATP，据图可知，正常情况下 0.5 min 后暗反应被激活， CO_2 吸收增多，而图中 0~0.5 min 之间，光反应相对速率降低，出现该现象的原因是暗反应激活延迟造成光反应产生的 NADPH 和 ATP 积累，光反应被抑制，故叶肉细胞中 NADPH 和 ATP 的量不会一直增加，B 错误，C 正确；光照 2 min 后，光反应和暗反应速率均稳定，暗反应速率等于光反应速率(二者相互

提供原料，慢的牵制快的)，D 错误。

8. 为了研究淀粉合成与细胞质中 ATP 的关系，实验人员对拟南芥野生型 WT 和突变体 *ntt1* (叶绿体失去运入 ATP 的能力)保卫细胞的淀粉粒面积进行了研究，结果如图所示，其中黑暗结束是指将 WT 和 *ntt1* 置于黑暗中培养一段时间后，黑暗结束时检测淀粉粒面积。下列相关叙述不合理的是()



- A. 黑暗状态下，WT 和 *ntt1* 的叶绿体均不能通过进行光合作用来合成淀粉
- B. 长时间光照有利于 *ntt1* 积累大量淀粉
- C. 叶绿体中淀粉的合成依赖于细胞质中 ATP 的供应
- D. 根据图中信息不能推测 *ntt1* 在光照条件下光合作用情况

答案 B

解析 黑暗状态下，叶绿体不能合成 NADPH 和 ATP， C_3 还原缺少 NADPH 和 ATP，光合作用不能进行，因此，黑暗状态下，WT 和 *ntt1* 的叶绿体均不能通过进行光合作用来合成淀粉，A 正确；结合图示可以看出，光照 2 h 条件和光照 8 h 条件相比，*ntt1* 淀粉粒面积较小，变化不大，长时间光照，*ntt1* 也不会积累大量淀粉，B 错误；结合图示可知，黑暗时突变体 *ntt1* 淀粉粒面积远小于 WT，突变体 *ntt1* 叶绿体失去运入 ATP 的能力，据此推测保卫细胞淀粉大量合成需要依赖细胞质中 ATP 的供应，C 正确；*ntt1* 的叶绿体失去运入 ATP 的能力，黑暗状态和光照条件下，突变体 *ntt1* 保卫细胞的淀粉粒面积几乎无变化(与细胞质中的 ATP 不能运入叶绿体有关)，但光合作用的初产物不是淀粉，因而不能推测该突变体进行光合作用的情况，D 正确。

9. (2025·广东部分学校联考)类囊体膜体外利用的关键问题之一是提高离体类囊体膜的稳定性。研究人员进行了如表所示的实验，并测定类囊体膜产生 O_2 的能力与实验初始时比较作为类囊体膜稳定性的指标。下列叙述或推测错误的是()

组别	处理	7 d 后检测产生 O_2 的能力
①	封装类囊体膜+黑暗存储	80%
②	未封装类囊体膜+黑暗存储	30%
③	封装类囊体膜+光照存储	30%
④	未封装类囊体膜+光照存储	几乎完全失活

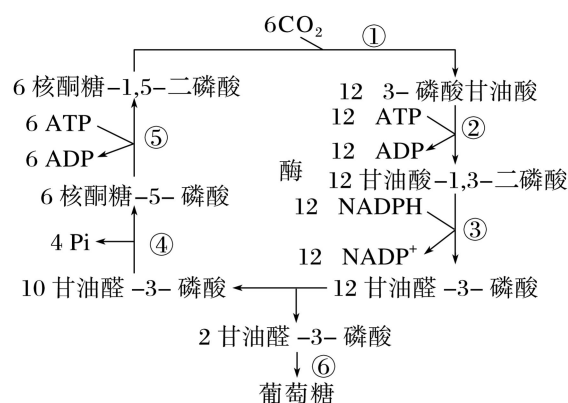
- A. 相比于光照，黑暗条件更有利于类囊体膜的保存
- B. 相比于未封装，封装更有利于类囊体膜稳定性的保持
- C. ①②组在黑暗条件下检测类囊体膜产生 O_2 的能力
- D. 类囊体膜上发生的反应会影响类囊体膜的稳定性

答案 C

解析 为研究光照对类囊体膜的保存效果，根据①③对比或②④对比可知，黑暗条件下储存类囊体膜产生 O_2 的能力更强，说明黑暗条件更有利于类囊体膜存储，A 正确；根据①②对比或③④对比，未封装类囊体膜产生 O_2 的能力更弱，说明封装有利于类囊体膜的存储，B 正确；类囊体膜产生 O_2 属于光反应阶段，一定需要光照，所以需要在光照条件下检测，C 错误；光照条件下储存类囊体膜，其活性下降更快，光照时类囊体膜上会发生光反应，这些反应可能会影响类囊体的稳定性，D 正确。

二、非选择题

10. (20 分)(2024·广东一模)如图为某细胞内发生的生理过程，3-磷酸甘油酸、甘油酸-1,3-二磷酸、甘油醛-3-磷酸、核酮糖-5-磷酸、核酮糖-1,5-二磷酸是该过程中依次生成的重要化合物。请据图分析回答下列问题：



注：图中各物质之前的数字表示相对物质质量。

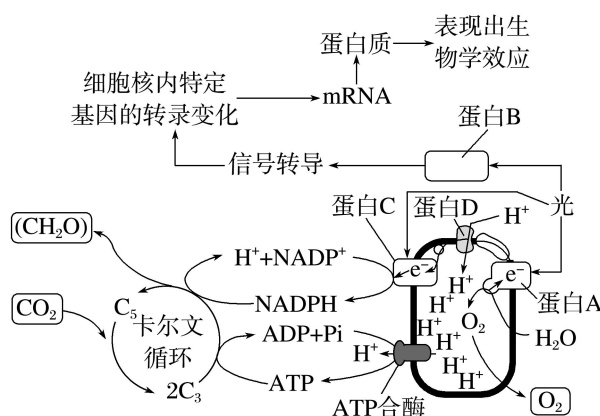
- (1) 该生理过程被称为_____循环。能进行该过程的原核生物有_____。
- (2) RuBP(五碳化合物)是图中物质_____的简称。过程①称作_____。上述过程中，消耗前一阶段提供的能量的过程有_____。脱磷酸化的过程有_____。
- (3) 通过对该过程分析发现，固定一分子 CO_2 平均会消耗 ATP 和 NADPH 的分子数目分别是_____。甘油酸-1,3-二磷酸和核酮糖-5-磷酸分别含有的碳原子数目是_____。
- (4) 据图分析，能提高葡萄糖含量的措施有_____

_____ (答两条)。

若想验证图中各种有机物依次出现的先后顺序，实验设计思路是_____

答案 (1)卡尔文 蓝细菌、硝化细菌(硫细菌、铁细菌等) (2)核酮糖-1,5-二磷酸 CO_2 的固定 ②③⑤ ③④⑥ (3)3 和 2 3 和 5 (4)提高 CO_2 的浓度、适当提高温度从而提高酶的活性、补充矿质元素促进酶的合成、提高光照强度、提高 ATP 和 NADPH 的含量 给该过程提供 ^{14}C 标记的 CO_2 , 追踪 ^{14}C 的去向, 从而弄清 ^{14}C 在有机物中出现的先后顺序

11. (14 分)(2024·汕头一模)如图表示绿色植物叶肉细胞中的部分代谢过程, 水光解时释放出的电子(e^-)依次通过蛋白 A、蛋白 D 和蛋白 C 进行传递, 最终传递给 NADP^+ 。电子传递过程释放的能量用于 H^+ 通过蛋白 D 逆浓度跨膜运输, 回答下列问题:



(1)光不仅作为能量的一种形式, 还可以作为_____来调节植物的生命活动。蛋白 B 是一种色素—蛋白复合体, 能调控基因的_____。

(2)(6 分)叶绿素通常与蛋白质结合成复合体, 图中含有叶绿素的蛋白质有_____。据图分析 ATP 合酶的功能有_____ (答出两点即可)。

(3)(4 分)某种除草剂能够与蛋白 D 结合, 据图分析该除草剂的作用原理可能是_____, 最终使植物体因不能合成有机物而死亡。

答案 (1)信号 表达 (2)蛋白 A、蛋白 C 催化 ATP 合成、运输 H^+ (3)除草剂与蛋白 D 结合后阻断了电子传递, 导致 NADPH 合成受阻, 同时使类囊体膜内外的 H^+ 浓度差下降, 导致 ATP 合成受阻

解析 (1)光不仅作为能量的一种形式, 驱动光合作用的进行, 还能作为植物生长和发育的一种信号, 调节植物的生命活动; 蛋白 B 是一种色素—蛋白复合体, 也就是光敏色素, 其在光照条件下被激活, 结构发生变化, 信号经过转导, 传递到细胞核内, 细胞核内特定基因转录, 在细胞质中进行翻译, 表现出生物学效应, 即蛋白 B(光敏色素)能调控基因的表达。

(2)叶绿素通常与蛋白质结合成复合体, 而叶绿素能吸收、传递和转化光能, 据图中箭头判断, 只有蛋白 A 和蛋白 C 能吸收光能释放出电子, 因此推测含有叶绿素的蛋白质有蛋白 A 和蛋白 C; 据图可知, ATP 合酶既具有催化作用, 又具有运输作用, 能催化 ADP 和 P_i 合成 ATP, 同时将 H^+ 运出叶绿体类囊体薄膜。(3)根据题意可知, 电子传递过程释放的能量用于

H^+ 通过蛋白 D 逆浓度跨膜运输, 如果某种除草剂与蛋白 D 结合后, 阻断了电子传递, 会导致 NADPH 合成受阻; 同时, 据图可知, 蛋白 D 能将 H^+ 运到类囊体内, 除草剂与蛋白 D 结合后, 会使类囊体膜内外的 H^+ 浓度差下降, 导致 ATP 合成受阻, 最终使植物体因不能合成有机物而死亡。

12. (16 分)(2025·深圳红岭中学月考)海洋浮游植物光合作用固定的碳量约占全球 40%, 铁对浮游植物三角褐指藻的光合作用有重要影响。缺铁会导致光系统 II (PS II 系统, 能利用从光中吸收的能量裂解水) 中的蛋白质含量显著下降。图 1 是光合作用的某一反应阶段示意图(图中 PS I 代表光系统 I, 能在相关酶的催化下, 把 $NADP^+$ 还原为 NADPH)。据此回答下列问题:

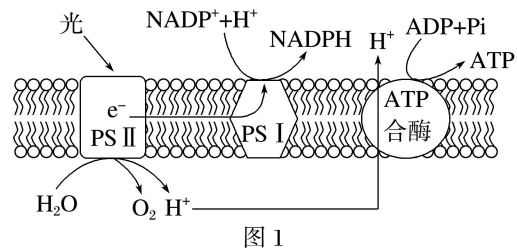


图 1

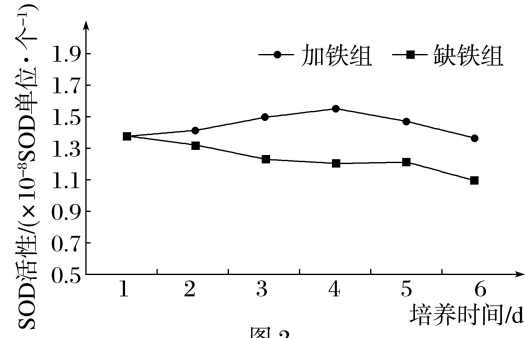


图 2

(1)图 1 所示的反应发生在叶绿体的_____上, 图中 ATP 合成的直接能量来源是_____。缺铁导致 PS II 系统中的蛋白质含量显著下降, 使图中电子传递受到影响, 从而降低_____ (填 “ATP” “NADPH” 或 “ATP 和 NADPH”) 的合成。

(2)(4 分)图 1 所示反应过程中捕光色素的光氧化会产生大量自由基, 这些自由基会破坏蛋白质和核酸, 而 SOD 具有清除自由基的作用。图 2 为铁对三角褐指藻细胞中 SOD 含量的影响, 根据 SOD 含量的变化结合光合作用暗反应阶段, 分析缺铁导致光合作用速率下降的原因:

_____。

(3)(6 分)缺铁会使三角褐指藻的光合色素含量降低, 其中降低最明显的是叶绿素 a。请根据所学知识设计实验证明上述结论, 写出实验思路和预期结果: _____。

答案 (1)类囊体薄膜 H^+ 的浓度差(或 H^+ 的电势能) ATP 和 NADPH (2)缺铁导致 SOD 含量下降, 自由基积累, 破坏暗反应中酶的结构, 导致暗反应减弱 (3)实验思路: 利用无水

乙醇提取缺铁组和加铁组的光合色素，用层析液和纸层析法分离色素后，比较条带差异。预期结果：与加铁组相比，缺铁组在滤纸条上蓝绿色色素带的宽度明显变窄，其余三条色素带无明显差异

解析 (1)据图分析可知，图 1 发生的是光合作用的光反应，其场所在叶绿体的类囊体薄膜上；图中 ATP 是在 ATP 合酶的作用下合成的，其合成的直接能量来源是膜两侧的 H^+ 的浓度差(或 H^+ 的电势能)；图中电子传递受影响时，可直接影响 NADPH 的合成，也通过影响水的分解产生 H^+ ，影响膜两侧的 H^+ 的浓度差，从而影响 ATP 的合成。(2)根据“捕光色素的光……自由基会破坏蛋白质和核酸，而 SOD 具有清除自由基的作用”，并结合图 2 结果分析可知，与加铁组相比，缺铁导致三角褐指藻细胞中 SOD 含量下降，导致自由基积累，自由基破坏暗反应中相关蛋白质(如酶)的结构，导致暗反应减弱，从而使光合作用速率降低。