

第 14 课时 光合作用的影响因素及其应用

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	1.探究环境因素对光合作用强度的影响：2025·安徽·T2 2022·海南·T3 2.单、多因子变量对光合作用强度的影响及应用：2025·河南·T17 2025·广东·T18 2025·浙江 1 月选考·T22 2025·北京·T18 2025·湖南·T17 2025·黑吉辽蒙·T21 2025·陕晋宁青·T17 2025·甘肃·T17 2024·北京·T4 2024·山东·T21 2024·湖北·T21 2024·安徽·T16 2024·重庆·T18 2023·湖北·T11 2023·江苏·T19 2023·福建·T17 2023·山东·T21 2023·全国乙·T29 2022·山东·T21 2022·广东·T18 2022·河北·T19 2022·北京·T2 2022·湖南·T13

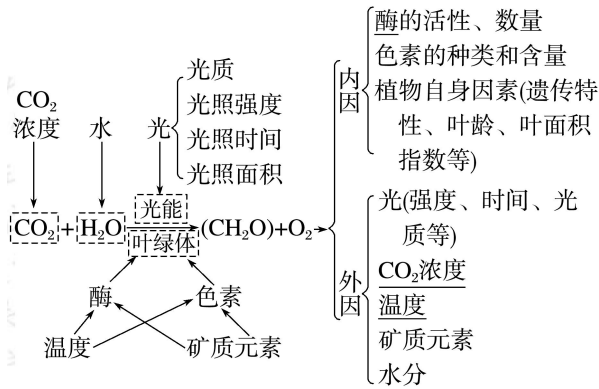
考点一 探究环境因素对光合作用强度的影响

整合·必备知识

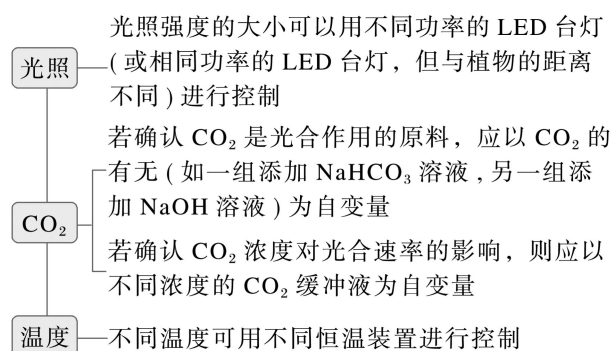
1. 光合作用强度

- (1)概念：植物在单位时间内通过光合作用制造糖类的数量。
- (2)表示方法：用一定时间内原料消耗或产物生成的数量来定量表示。

2. 影响光合作用强度的因素



3. 控制影响光合作用实验自变量的方法



4. 探究光照强度对光合作用强度的影响

(1)实验原理: 抽去圆形小叶片中的气体后, 叶片在水中下沉, 光照下叶片进行光合作用产生氧气, 充满细胞间隙, 叶片又会上浮。光合作用越强, 单位时间内圆形小叶片上浮的数量越多。

(2)实验中变量分析

自变量	不同光照强度
控制自变量	调节光源与烧杯的距离进行控制
因变量	光合作用强度
检测因变量	同一时间段内叶片浮起的数量
对无关变量进行控制	叶片大小、溶液的量等保持一致

(3)实验流程: 取材→排气→沉水→分组→光照→观察并记录。

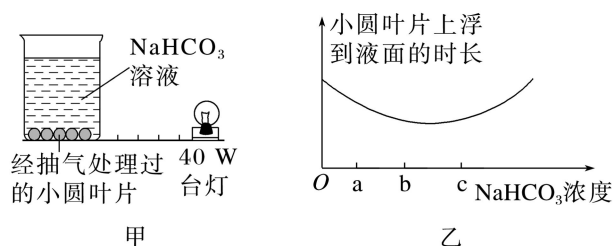
(4)实验结果: 在一定范围内, 台灯与小烧杯的距离越近, 单位时间内浮起的圆形小叶片也越多。

(5)实验结论: 在一定范围内, 随着光照强度不断增强, 光合作用强度也增强(单位时间内圆形小叶片中产生的 O_2 越多, 浮起的圆形小叶片也越多)。

强化·迁移应用

考向一 探究环境因素对光合作用强度的影响

1. (2024·清远联考)某生物研究小组以菠菜叶为实验材料, 探究 CO_2 浓度对光合作用强度的影响, 实验装置及实验结果如图所示。下列说法正确的是()



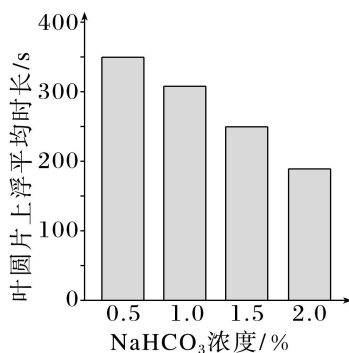
A. 该实验中小圆叶片上浮到液面的时长属于无关变量

- B. 图乙 bc 段平缓, 可适当缩短台灯与烧杯的距离使曲线进一步下降
- C. 图乙 c 点之后曲线上升, 说明随 NaHCO_3 浓度增加光合作用增强
- D. 将图甲装置中的 NaHCO_3 溶液换成 NaOH 溶液, 可用于测定小圆叶片的细胞呼吸强度

答案 B

解析 该实验中小圆叶片上浮到液面的时长属于因变量, A 错误; 图乙 bc 段平缓, 说明此时限制光合速率增大的因素可能是光照强度, 可适当缩短台灯与烧杯的距离使曲线进一步下降, B 正确; 图乙 c 点之后曲线上升, 小圆叶片上浮到液面所需要的时间更长, 说明随 NaHCO_3 浓度增加光合作用强度减弱, C 错误; 小圆叶片细胞呼吸消耗 O_2 , 产生 CO_2 , CO_2 会被 NaOH 溶液吸收, 叶片不能上浮, 无法测得气体体积变化, D 错误。

2. (2022·海南, 3) 某小组为了探究适宜温度下 CO_2 对光合作用的影响, 将四组等量菠菜叶圆片排气后, 分别置于盛有等体积不同浓度 NaHCO_3 溶液的烧杯中, 从烧杯底部给予适宜光照, 记录叶圆片上浮所需时长, 结果如图。下列有关叙述正确的是()



- A. 本实验中, 温度、 NaHCO_3 浓度和光照都属于自变量
- B. 叶圆片上浮所需时长主要取决于叶圆片光合作用释放氧气的速率
- C. 四组实验中, 0.5% NaHCO_3 溶液中叶圆片光合速率最高
- D. 若在 4°C 条件下进行本实验, 则各组叶圆片上浮所需时长均会缩短

答案 B

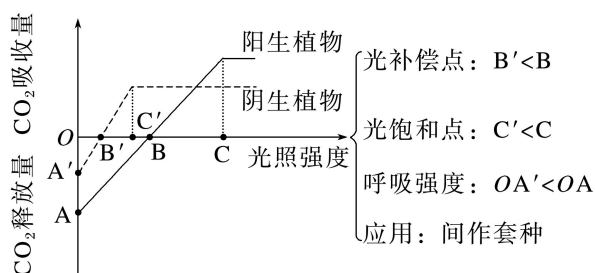
解析 本实验是探究适宜温度下 CO_2 浓度对光合作用的影响, 自变量为 CO_2 浓度 (NaHCO_3 溶液浓度), 温度和光照为无关变量, A 错误; 当光合作用产生的氧气大于细胞呼吸消耗的氧气时, 叶圆片上浮, 叶圆片上浮所需时长主要取决于叶圆片光合作用释放氧气的速率, B 正确; 四组实验中, 0.5% NaHCO_3 溶液中叶圆片上浮需要的时长最长, 光合速率最低, C 错误; 低温会使酶活性降低, 若在 4°C 条件下进行本实验, 净光合速率可能降低, 故各组叶圆片上浮所需时长可能均会延长, D 错误。

考点二 辨析单、多因子变量对光合作用强度影响的机理

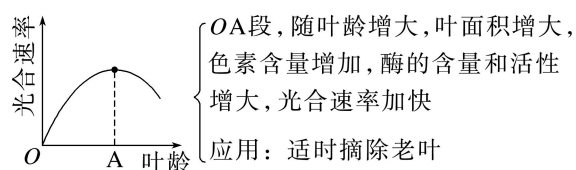
整合·必备知识

1. 内部因素

(1)与植物自身的遗传特性有关，以阴生植物、阳生植物为例，如图所示。

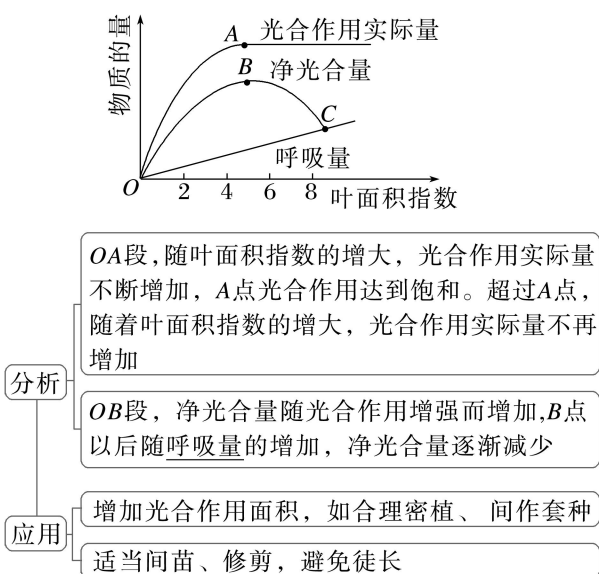


(2)植物叶片的叶龄、叶绿素含量及酶



注: 影响叶绿素合成的因素还有光照、温度和矿质元素等。

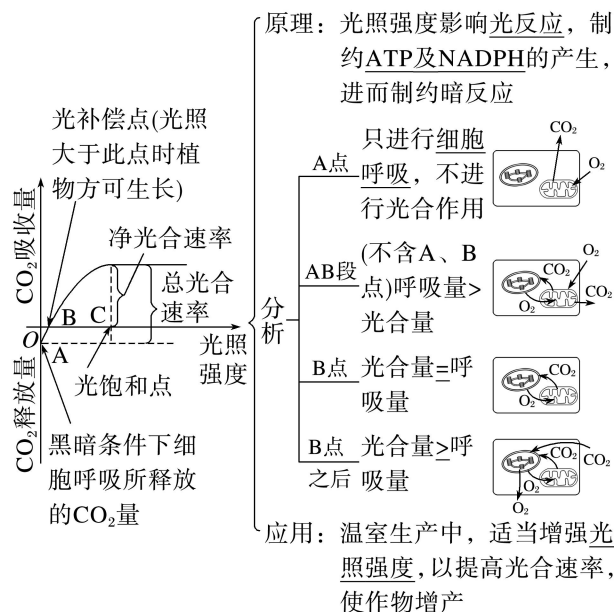
(3)叶面积指数



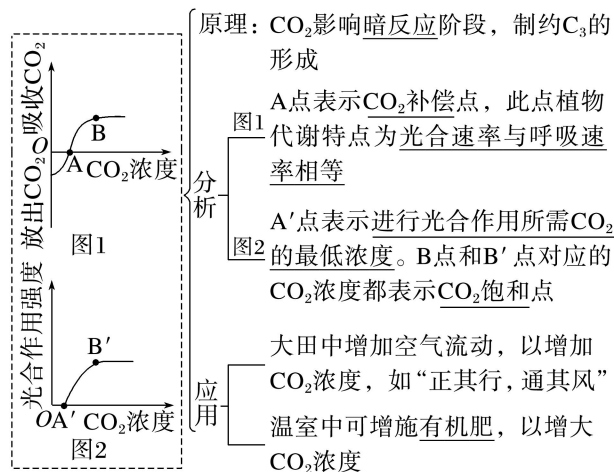
2. 外部环境因素

(1)单因子变量对光合速率的影响

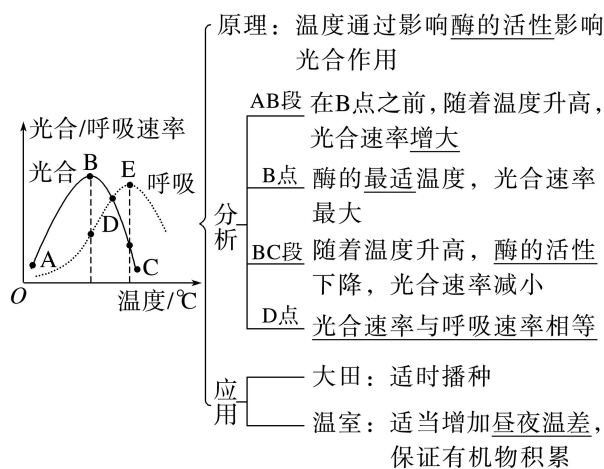
①光照强度



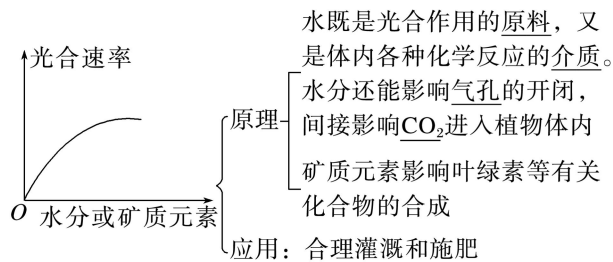
②CO₂ 浓度



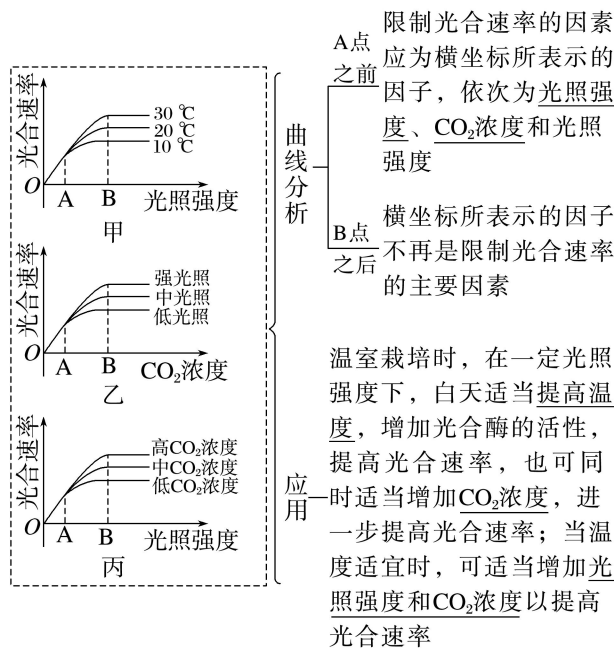
③温度



④水分或矿质元素



(2)多因子变量对光合速率的影响



形成·解题能力

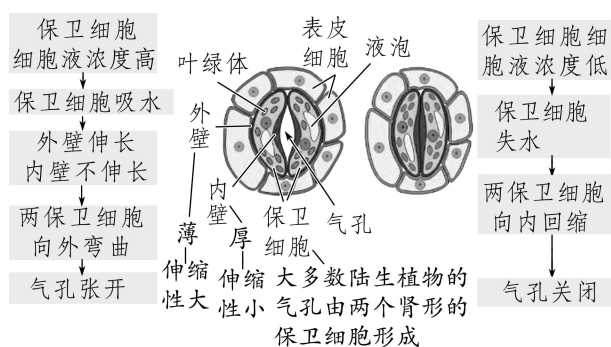
气孔问题分析

1. 气孔结构及其开闭原理

植物的气孔由叶表皮上两个具有特定结构的保卫细胞构成。保卫细胞含有叶绿体，在光下可进行光合作用。有研究发现，用饱和红光(只用红光照射时，植物达到最大光合速率所需的红光强度)照射某植物叶片时，气孔开度可达最大开度的60%左右。回答下列问题：

- (1)气孔的开闭会影响植物叶片的蒸腾作用、光合作用和细胞呼吸(答出2点即可)等生理过程。
- (2)红光可通过光合作用促进气孔开放，其原因是红光下，光合作用合成有机物使保卫细胞溶质浓度增大，保卫细胞吸水体积膨大，气孔打开。

点拨 气孔结构及其开闭



2. 气孔限制因素与非气孔限制因素的判断

渍害是因洪、涝积水或地下水位过度升高，导致作物根系长期缺氧，对植株造成的胁迫及伤害。以不同抗渍害能力的油菜品种为材料，经不同时长的渍害处理，测定相关生理指标并进行相关性分析，结果如表。

	光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间 CO ₂ 浓度	叶绿素含量
光合速率	1				
蒸腾速率	0.95	1			
气孔导度	0.99	0.94	1		
胞间 CO ₂ 浓度	-0.99	-0.98	-0.99	1	
叶绿素含量	0.86	0.90	0.90	-0.93	1

注：表中数值为相关系数(r)，代表两个指标之间相关的密切程度。当|r|接近1时，相关越密切，越接近0时相关越不密切。

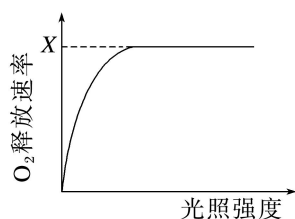
(1)据表分析，与叶绿素含量呈负相关的指标是胞间 CO₂ 浓度。已知渍害条件下光合速率显著下降，则蒸腾速率呈下降趋势。综合分析表内各指标的相关性，光合速率下降主要由非气孔限制因素(填“气孔限制因素”或“非气孔限制因素”)导致的，理由是胞间 CO₂ 浓度与光合速率和气孔导度呈负相关。

(2)植物通过形成系列适应机制响应渍害。受渍害时，植物体内脱落酸(激素)大量积累，诱导气孔关闭。

强化·迁移应用

考向二 辨析单、多因子变量对光合作用强度影响的机理

3. (2024·北京, 4)某同学用植物叶片在室温下进行光合作用实验，测定单位时间单位叶面积的 O₂ 释放量，结果如图所示。若想提高 X，可采取的做法是()

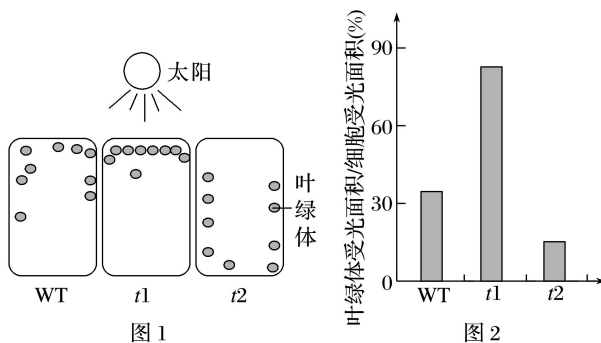


- A. 增加叶片周围环境 CO_2 浓度
- B. 将叶片置于 4°C 的冷室中
- C. 给光源加滤光片改变光的颜色
- D. 移动冷光源缩短与叶片的距离

答案 A

解析 CO_2 是光合作用的原料, 增加叶片周围环境 CO_2 浓度可增加单位时间单位叶面积的 O_2 释放量, A 符合题意; 降低温度会降低光合作用相关酶的活性, 进而降低单位时间单位叶面积的 O_2 释放量, B 不符合题意; 给光源加滤光片改变光的颜色会减少光源, 光照强度变小, 可能会使单位时间单位叶面积的 O_2 释放量降低, C 不符合题意; 移动冷光源缩短与叶片的距离会使光照强度增大, 但光饱和点之后, 光合作用强度不再随着光照强度的增强而增强, D 不符合题意。

4. (2021·广东, 15) 与野生型拟南芥 WT 相比, 突变体 $t1$ 和 $t2$ 在正常光照条件下, 叶绿体在叶肉细胞中的分布及位置不同(图 1 所示), 造成叶绿体相对受光面积的不同(图 2 所示), 进而引起光合速率差异, 但叶绿素含量及其他性状基本一致。在不考虑叶绿体运动的前提下, 下列叙述错误的是()



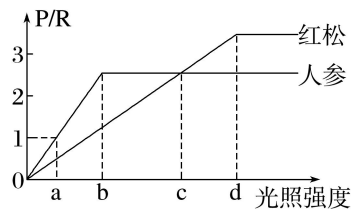
- A. $t2$ 比 $t1$ 具有更高的光饱和点(光合速率不再随光强增加而增加时的光照强度)
- B. $t1$ 比 $t2$ 具有更低的光补偿点(光合吸收 CO_2 与呼吸释放 CO_2 等量时的光照强度)
- C. 三者光合速率的高低与叶绿素的含量无关
- D. 三者光合速率的差异随光照强度的增加而变大

答案 D

解析 相比于野生型拟南芥 WT, 突变体 $t1$ 更适合生长在弱光环境中, 突变体 $t2$ 更适合生长在强光环境中, 在适当的光照强度下, 三者的光合速率有一定的差异, 但当光照强度达到光饱和点后, 光合速率不再随光照强度的增加而增加, 三者光合速率的差异也不再随光照强度

的增加而变大，D 错误。

5. (2024·广州期末)红松(阳生)和人参(阴生)均为我国北方地区的植物。如图为两种植物在温度、水分均适宜的条件下，光合作用速率与呼吸速率的比值(P/R)随光照强度变化的曲线图。下列叙述错误的是()

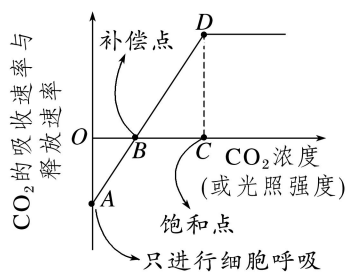


- A. 当光照强度为 a 时，持续光照一昼夜后人参干重不会增加
- B. 光照强度大于 d 时，可能是温度限制了红松 P/R 值的增大
- C. 若适当增施含镁的肥料，一段时间后人参的 a 点左移
- D. 光照强度为 c 时，红松和人参的光合速率有可能不同

答案 B

解析 光照强度为 a 时，对于人参而言，光合作用速率与呼吸速率的比值(P/R)为 1，即光合速率等于呼吸速率，没有有机物的净积累，因此，持续光照一昼夜后人参干重不会增加，A 正确；光照强度在 d 点时，红松 P/R 值达到最大，此后随着光照强度的增加，光合速率也不再增加，则此时限制光合速率的因素是光照强度以外的其他因素，如 CO₂ 浓度(非温度，因已是最适温度)，B 错误；镁是合成叶绿素的原料，适当增施含镁的肥料，会增加人参叶肉细胞中叶绿素的含量，进而促进光反应，提高光合速率，则在较低的光照强度下就可达到与呼吸速率相等的状态，即一段时间后人参的 a 点左移，C 正确；光照强度为 c 时，红松和人参的 P/R 相等，由于红松是阳生植物，而人参为阴生植物，因此二者的呼吸速率有差别，进而可推测二者的光合速率有可能不同，D 正确。

归纳总结 光(CO₂)补偿点、饱和点的移动问题



- (1)A 点：代表呼吸速率，细胞呼吸增强，A 点下移；反之，A 点上移。
- (2)B 点与 C 点的变化(注：只有横坐标为自变量，其他条件不变)

	B 点(补偿点)	C 点(饱和点)
适当增大 CO ₂ 浓度(光照强度)	左移	右移
适当减小 CO ₂ 浓度(光照强度)	右移	左移

土壤缺 Mg^{2+}	右移	左移
---------------	----	----

提醒：细胞呼吸速率增加，其他条件不变时， CO_2 (或光)补偿点应右移，反之左移。

(3) D 点：代表最大光合速率，若增大光照强度或增大 CO_2 浓度使光合速率增大时， D 点向右上方移动；反之，移动方向相反。

考向三 气孔

6. (2025·广东, 18)我国科学家以不同植物为材料，在不同光质条件下探究光对植物的影响。测定了番茄的光合作用相关指标并拟合 CO_2 响应曲线(图 a)；比较了突变体与野生型水稻水分消耗的差异(图 b)，鉴定到突变体发生了 *PIL15* 基因的功能缺失，并确定该基因参与脱落酸信号通路的调控。

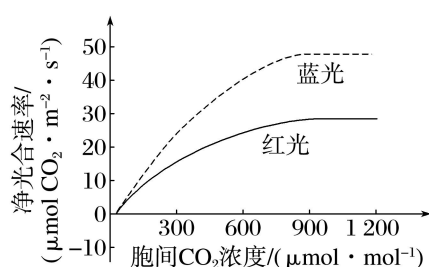
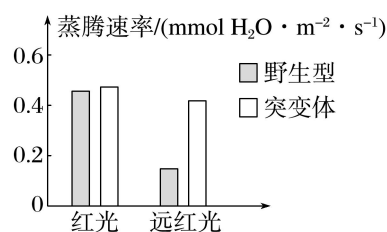


图 a



注：红光下植物的相关反应与白天相似，远红光下植物的相关反应与夜间相似。

图 b

回答下列问题：

- (1)图 a 中，当胞间 CO_2 浓度在 $900 \sim 1\,200 \mu mol \cdot mol^{-1}$ 范围时，红光下光合速率的限制因子是_____，推测此时蓝光下净光合速率更高的原因是_____。
- (2)图 b 中，突变体水稻在远红光与红光条件下蒸腾速率接近，推测其原因是_____。
- (3)归纳上述两个研究内容，总结出光影响植物的两条通路(图 c)。通路 1 中，①吸收的光在叶绿体中最终被转化为_____。通路 2 中吸收光的物质②为_____。用箭头完成图 c 中②所介导的通路，并在箭头旁用“(+)”或“(−)”标注前后两者间的作用，(+)表示正相关，(−)表示负相关。

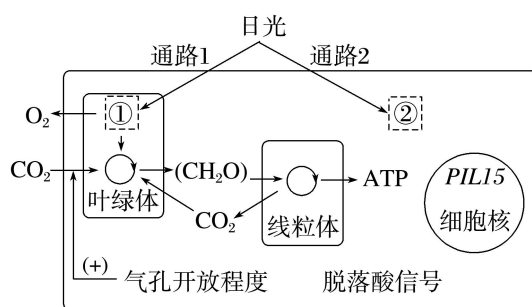
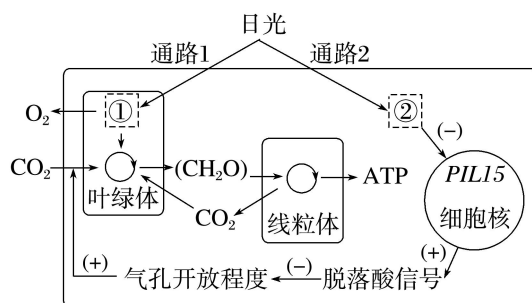


图 c

(4)根据图 c 中相关信息，概括出植物利用光的方式：_____。

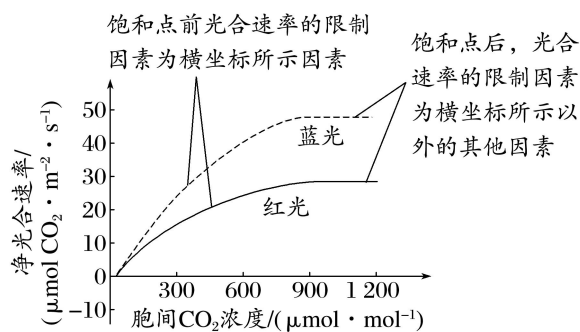
答案 (1)光照强度 植物对蓝光利用率更高

(2)突变体中 *PIL15* 基因功能缺失，阻断了脱落酸信号通路，使该通路无法发挥促进气孔关闭的作用 (3)有机物中的化学能 光敏色素



(4)光既可以为植物提供能量，又可以作为信号

解析 (1)限制因素的分析方法如图所示：



据图分析可知，当胞间 CO_2 浓度在 $900 \sim 1\,200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围时，红光下光合速率不再随 CO_2 浓度增加而明显上升，已经达到了 CO_2 的饱和状态，所以此时光合速率的限制因子不是 CO_2 浓度，而是光照强度等其他因素。叶绿素对红光和蓝紫光的吸收量大，类胡萝卜素对蓝紫光的吸收量大，蓝光下净光合速率更高可能是因为植物对蓝光利用率更高，从而更有效地促进光合作用，提高光合速率。(3)由于突变体发生 *PIL15* 基因功能缺失后，在远红光与红光条件下蒸腾速率接近，可推测光敏色素吸收光信号后，通过影响 *PIL15* 基因的表达，进而影响脱落酸信号通路，对气孔开放程度进行调控。且从图 b 中突变体在远红光和红光下蒸腾速率变化不大，野生型在红光条件下蒸腾速率较大，可推断光敏色素对 *PIL15* 基因表达的影响是负相关，*PIL15* 基因对脱落酸信号通路是正相关，脱落酸信号通路对气孔开放程度是负相

关，即光敏色素→(-)PIL15 基因→(+)脱落酸信号通路→(-)气孔开放程度。(4)综上所述，植物利用光的第一种途径是以光为能源，驱动光合作用的进行，把 CO₂ 和水合成有机物，将光能转变为化学能储存在有机物中；第二种途径是以光为信号，光敏色素接收并传递光信号影响细胞核中相关基因表达，从而调控植物的生命活动。

考向四 光抑制

7. (2024·重庆, 18)重庆石柱是我国著名传统中药黄连的主产区之一，黄连生长缓慢，存在明显的光饱和(光合速率不再随光强增加而增加)和光抑制(光能过剩导致光合速率降低)现象。

(1)探寻提高黄连产量的技术措施，研究人员对黄连的光合特征进行了研究，结果见图 1。

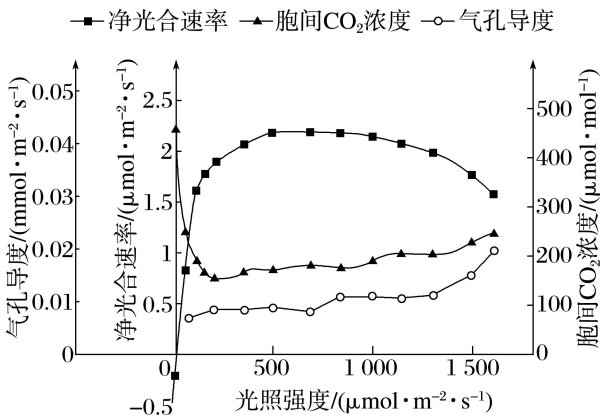


图 1

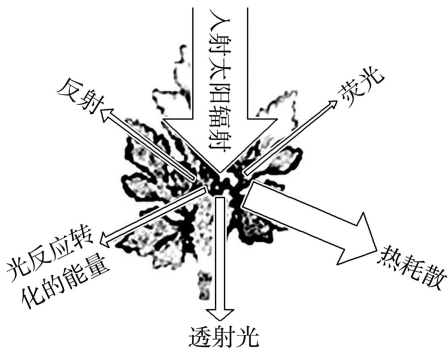


图 2

①黄连的光饱和点约为_____μmol·m⁻²·s⁻¹。光强大于 1 300 μmol·m⁻²·s⁻¹后，胞间二氧化碳浓度增加主要是由于_____。

②推测光强对黄连生长的影响主要表现为_____。

黄连叶片适应弱光的特征有_____ (答 2 点)。

(2)黄连露天栽培易发生光抑制，严重时其光合结构被破坏(主要受损的部位是位于类囊体薄膜上的色素蛋白复合体)，为减轻光抑制，黄连能采取调节光能在叶片上各去向(图 2)的比例，提升修复能力等防御机制，具体可包括_____ (多选)。

①叶片叶绿体避光运动 ②提高光合产物生成速率 ③自由基清除能力增强 ④提高叶绿素含量 ⑤增强热耗散

(3)生产上常采用搭棚或林下栽培减轻黄连的光抑制,为增强黄连光合作用以提高产量还可采取的措施及其作用是_____。

答案 (1)①500 光合作用受到抑制,消耗的二氧化碳减少,且气孔导度增加 ②黄连在弱光随光强增加生长快速达到最大,光照过强其生长受到抑制 叶片较薄,叶绿素较多(叶色深绿,叶绿体颗粒较大,叶绿体类囊体膜面积更大) (2)①②③⑤ (3)合理施肥增加光合面积,补充二氧化碳提高暗反应

解析 (2)为减轻光抑制,黄连能采取调节光能在叶片上各去向的比例,提升修复能力等防御机制,具体可包括①叶片叶绿体避光运动(减少对光的吸收)、②提高光合产物生成速率(从而提高光合速率消耗更多的光能)、③自由基清除能力增强(减少对光合结构的破坏)、⑤增强热耗散;而④提高叶绿素含量会增加对光能的吸收不能减轻光抑制。

拓展延伸 光抑制

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。

(1)光抑制机理:光合系统的破坏,PS II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。

(2)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PS II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。

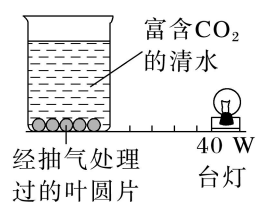
③进行光呼吸: C₃植物的光呼吸有很高的能量需求。光呼吸可以防止强光和CO₂亏缺条件下发生光抑制。

课时精练

选择题 1~4 题,每小题 7 分, 5~7 题,每小题 8 分,共 52 分。

一、选择题

1.如图所示装置可用来探究光照强度对光合作用强度的影响。根据该图的材料及设置,下列说法错误的是()

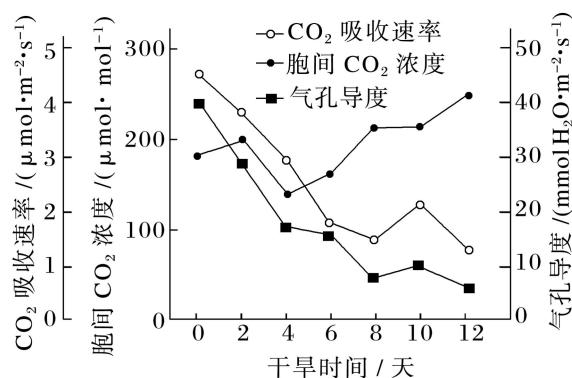


- A. 叶圆片上浮说明叶肉细胞的光合作用强度等于细胞呼吸强度
- B. 实验前将各叶圆片内的气体排出，其目的是排除原有气体对实验结果的干扰
- C. 最直接的净光合速率观测指标是相同时间内叶圆片上浮的数量
- D. 此装置也可以用于探究 CO_2 浓度对光合作用强度的影响

答案 A

解析 叶圆片上浮说明叶肉细胞的光合作用强度大于细胞呼吸强度，A 错误。

2. 西洋参易受干旱胁迫而影响生长。检测西洋参在重度干旱条件下光合作用的相关指标，结果如图所示。下列叙述正确的是()

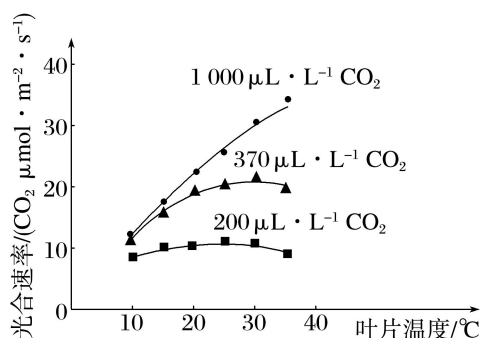


- A. CO_2 的固定速率随着干旱时间的延长而上升
- B. 干旱既影响光反应又影响暗反应
- C. 胞间 CO_2 浓度仅受气孔导度影响
- D. 降低气孔导度不利于西洋参适应干旱环境

答案 B

解析 随着干旱时间的延长， CO_2 的吸收速率降低，胞间 CO_2 浓度增加，说明叶肉细胞固定 CO_2 的速率在下降，A 错误；干旱影响 CO_2 的吸收，从而影响暗反应，干旱也会影响植物吸收水分，从而影响光反应，B 正确；胞间 CO_2 浓度既受气孔导度影响，也受叶肉细胞的光合作用强度的影响，C 错误；降低气孔导度可减少通过蒸腾作用散失水分，利于西洋参适应干旱环境，D 错误。

3. (2022·北京, 2)光合作用强度受环境因素的影响。车前草的光合速率与叶片温度、 CO_2 浓度的关系如图。据图分析不能得出()

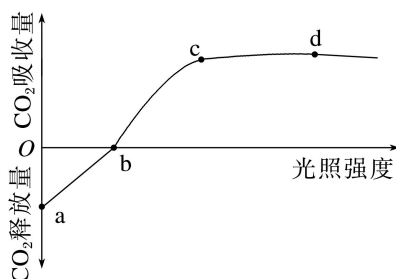


- A. 低于最适温度时, 光合速率随温度升高而升高
- B. 在一定的范围内, CO_2 浓度升高可使光合作用最适温度升高
- C. CO_2 浓度为 $200 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 温度对光合速率影响小
- D. 10°C 条件下, 光合速率随 CO_2 浓度的升高会持续提高

答案 D

解析 10°C 条件下, CO_2 浓度为 $200 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $370 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 光合速率有显著提高, 而 CO_2 浓度为 $370 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $1000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 光合速率无明显的提高, 且题图中只做了三种不同 CO_2 浓度的实验组, 所以不能表明 10°C 条件下, 光合速率随 CO_2 浓度的升高会持续提高, D 错误。

4. (2024·汕头期中) 已知小麦光合作用最适温度为 25°C , 细胞呼吸最适温度为 30°C , 科学家研究小麦 30°C 时光照强度与光合作用强度的关系, 得到如图所示曲线。下列有关叙述错误的是()



- A. 在 25°C 条件下研究时, cd 段位置会上移, a 点会上移
- B. b 点时叶肉细胞产生 ATP 的细胞器有线粒体和叶绿体
- C. 其他条件适宜, 当植物缺 Mg 时, b 点将向左移动
- D. c 点之后小麦光合作用强度不再增加可能与光合色素的量有关

答案 C

解析 Mg 是构成叶绿素的元素, 当植物缺 Mg 时, 叶绿素含量减少, 光合作用强度减弱, 细胞呼吸强度不变, b 点将向右移动, C 错误。

5. (2025·揭阳联考) 为探究不同光质对玉米光合速率的影响, 在大田条件下, 以玉米 ZD958 为供试材料设置 3 种光质处理, 分别为红色膜(R)、蓝色膜(B) 和绿色膜(G), 以白色膜作为对照(CK), 结果如表所示。下列分析错误的是()

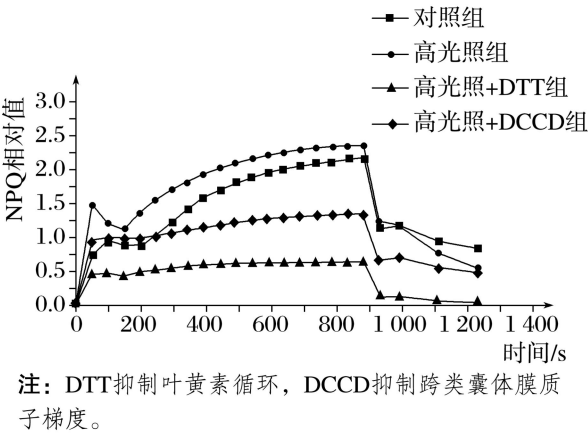
处理	净光合速率 $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	气孔导度 $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
CK	30.3	159.7	271.0
B	22	170.2	199.6
R	18.9	185.5	184.3
G	16.1	217.5	171.2

- A. CO_2 作为光合作用的原料由 C_5 固定进入卡尔文循环
- B. 不同光质处理下净光合速率下降是气孔限制因素引起的
- C. 绿色膜处理组的蓝紫光和红光减少，导致植物光合速率下降
- D. 光质、 CO_2 浓度和温度都是影响玉米光合速率的主要环境因素

答案 B

解析 与对照组相比，各处理组的气孔导度显著下降，但胞间 CO_2 浓度却显著上升，这说明不同光质处理下净光合速率下降不是气孔导度引起的，B 错误。

6. 浒苔是一种生活在潮间带的大型绿藻，为避免过高的光强对其造成损伤，进化出了多种适应机制，其中 NPQ(非光化学淬灭：光合色素吸收的部分光能不用于光合电子传递途径的 ATP 合成，而以热能的形式耗散)是一种重要的快速能量耗散机制。为探究高光胁迫对浒苔 NPQ 的影响及 NPQ 变化原因，研究人员进行了相关实验，结果如图所示。下列相关叙述正确的是 ()



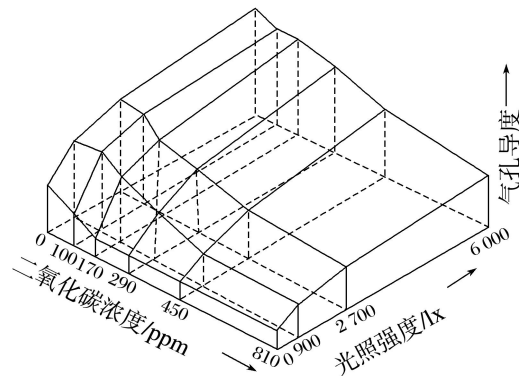
- A. 采用纸层析法分离浒苔光合色素，滤纸条由上至下第三条色素带呈黄绿色
- B. 叶黄素循环和跨类囊体膜质子梯度促进浒苔 NPQ 的产生，且后者影响更显著
- C. 其他条件不变，在高光环境下，浒苔的二氧化碳饱和点更高
- D. 高光照下浒苔的 NPQ 增强，细胞损伤减少，但光能利用率下降

答案 D

解析 纸层析法分离叶绿体中的色素，滤纸条由上至下第三条色素带为叶绿素 a，呈蓝绿色，A 错误；当加入 DTT 或 DCCD 后，浒苔 NPQ 相较于高光组都有所降低，故叶黄素循环和

跨类囊体膜质子梯度都促进了 NPQ 的产生，当抑制叶黄素循环时，NPQ 下降更显著，故二者中叶黄素循环对 NPQ 的影响更加显著，B 错误；高光环境下浒苔吸收光能更多，但 NPQ 也会增强，阻止 ATP 的合成，故不能判断高光环境下浒苔 ATP 合成量是否增多，也不能断定其二氧化碳饱和点更高，C 错误；高光照下，浒苔 NPQ 增强，更多能量以热能形式耗散，光能利用率降低，D 正确。

7. 气孔导度(植物叶片气孔张开的程度)受 CO_2 浓度、光照强度、温度等多种环境因素的影响，其也会影响植物光合作用、蒸腾作用等生命活动。研究人员测量某植物在不同 CO_2 浓度和光照强度下的气孔导度，绘制出图示立体图。下列叙述正确的是()



- A. 气孔导度达到最大时，植物的光合作用强度将达到最大
- B. 170 ppm CO_2 浓度时，适当提高光照强度会增加气孔导度
- C. 当光照强度为 0 时，气孔导度不受 CO_2 浓度增加的影响
- D. CO_2 浓度和光照强度均不变时，气孔导度也不会发生改变

答案 B

解析 气孔导度随着 CO_2 浓度的升高而降低，气孔导度达到最大时， CO_2 浓度较低，植物的光合作用强度不一定最大，A 错误；当 170 ppm CO_2 浓度时，适当提高光照强度会增加气孔导度，B 正确；当光照强度为 0 时， CO_2 浓度小于 170 ppm 时，气孔导度随 CO_2 浓度增加而减小，C 错误；气孔导度受 CO_2 浓度、光照强度、温度等多种环境因素的影响，当 CO_2 浓度和光照强度均不变时，气孔导度也可能会发生改变，D 错误。

二、非选择题

8. (14 分)(2022·广东，18)研究者将玉米幼苗置于三种条件下培养 10 天后(图 a)，测定相关指标(图 b)，探究遮阴比例对植物的影响。

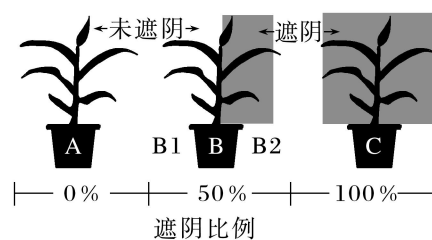


图 a

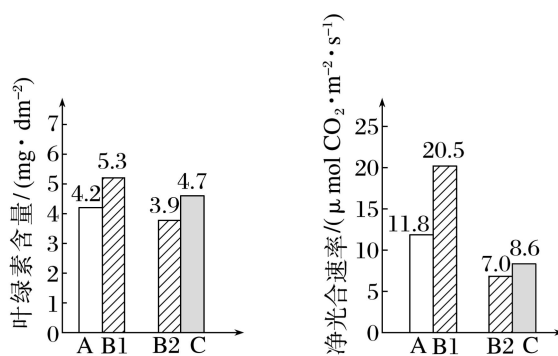


图 b

回答下列问题:

- (1)结果显示,与 A 组相比, C 组叶片叶绿素含量_____,原因可能是_____。
- (2)比较图 b 中 B1 与 A 组指标的差异,并结合 B2 相关数据,推测 B 组的玉米植株可能会积累更多的_____,因而生长更快。
- (3)某兴趣小组基于上述 B 组条件下玉米生长更快的研究结果,作出该条件可能会提高作物产量的推测,由此设计了初步实验方案进行探究:
实验材料:选择前期_____一致、生长状态相似的某玉米品种幼苗 90 株。
实验方法:按图 a 所示的条件,分 A、B、C 三组培养玉米幼苗,每组 30 株;其中以_____为对照,并保证除_____外其他环境条件一致。收获后分别测量各组玉米的籽粒重量。
结果统计:比较各组玉米的平均单株产量。
分析讨论:如果提高玉米产量的结论成立,下一步探究实验的思路是_____。

答案 (1)高 遮阴条件下植物合成较多的叶绿素

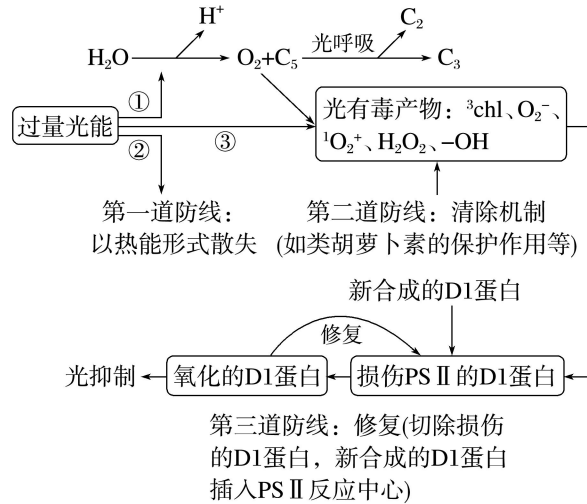
(2)糖类有机物 (3)光照条件 A 组 遮光程度

探究能提高作物产量的具体的最适遮光比例是多少

解析 (1)分析题图 b 结果可知,培养 10 天后, A 组叶绿素含量为 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$, C 组叶绿素含量为 $4.7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$,原因可能是遮阴条件下植物合成较多的叶绿素,能更多地吸收光能。(2)图 b 中 B1 叶绿素含量为 $5.3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$, B2 叶绿素含量为 $3.9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$, A 组叶绿素含量为 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$; B1 净光合速率为 $20.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, B2 的净光合速率为 $7.0 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, A 组净光合速率为 $11.8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,可推测 B 组的玉米植株总叶绿素含量为 $(5.3 + 3.9)/2 = 4.6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$,净光合速率为 $(20.5 + 7.0)/2 = 13.75 (\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$,两项数据 B 组均高于 A 组,推测 B 组可能会积累更多的糖类有机物,因而生长更快。(3)分析题意可知,该实验目的是探究 B 组条件下是否能提高作物产量。该实验自变量为玉米遮光程度,因变量为作物产量,可用籽粒重量表示。实验设计应遵循对照原则、单一变量原则、等量原则等,无关变量应保持相同且适宜。

9. (20 分)(2025·肇庆一模)当光照过强,植物吸收的光能超过植物所需时,会导致光合速率下降,这种现象称为光抑制。光能过剩时,叶肉细胞内因 NADP^+ 不足,使电子传递给 O_2 ,形

成超氧阴离子自由基(O_2^-)等一系列光有毒产物,破坏叶绿素和 PS II 反应中心(参与光反应的色素—蛋白质复合体)的 D1 蛋白,使 D1 蛋白高度磷酸化,并形成 D1 蛋白交联聚合物,随后 D1 蛋白降解,从而损伤光合结构。绿色植物通过如图所示的三重防御机制有效避免光系统损伤。回答下列问题:



(1)PS II 位于_____ (填细胞结构)上。强光条件下,叶肉细胞内 $NADP^+$ 不足的原因是

_____。

光呼吸能_____ (填“增强”或“缓解”)光抑制,原因是_____。

(2)(8 分)持续强光照射前后,叶片中的叶绿素含量可通过实验测定,先用有机溶剂提取绿叶中的色素,然后将提取到的色素溶液置于_____ (填“红光”“蓝紫光”或“白光”)下测定吸光度,根据吸光度值测定叶绿素含量。如果植物类胡萝卜素合成受阻,强光下会导致光合速率_____ (填“增大”“不变”或“减小”),原因是_____。

_____ (答出两点即可)。

(3)(4 分)植物在长期进化过程中形成了多种方法来避免或减轻光抑制现象,具体可包括_____ (多选,填序号)。

①叶片叶绿体避光运动 ②提高光合产物生成速率 ③增强自由基清除能力 ④提高叶绿素含量

⑤增强热耗散 ⑥D1 蛋白磷酸化程度升高

答案 (1)类囊体薄膜 强光条件下,光反应消耗的 $NADP^+$ 多于暗反应生成的量,导致 $NADP^+$ 不足 缓解 光呼吸会消耗过多的能量和 O_2 减少光有毒产物的生成,减少对光合结构的损伤 (2)红光 减小 对蓝紫光的吸收减少;无法及时清除光有毒产物 (3)①②③⑤

解析 (1)根据题意可知,PS II 是参与光反应的色素—蛋白质复合体,光反应发生在类囊体薄膜上。叶肉细胞内的 $NADP^+$ 是光反应的反应物、暗反应的产物,在强光条件下,光反应较强,

其消耗的 NADP^+ 多于暗反应生成的量，导致 NADP^+ 不足。(2)叶绿素主要吸收红光和蓝紫光，类胡萝卜素主要吸收蓝紫光，因此对叶片中的叶绿素含量进行实验测定时，可以将提取到的色素溶液置于红光下测定吸光度，用红光检测可排除类胡萝卜素对结果的干扰。据图可知，第二道防线是类胡萝卜素的保护作用，如果类胡萝卜素合成受阻，强光下会导致光合速率减小更明显，原因是对蓝紫光的吸收减少，且无法及时清除光有毒产物。(3)当光照过强，植物吸收的光能超过植物所需时，会导致光合速率下降，这种现象称为光抑制，由图可知，光能的去向之一为热耗散，所以植物避免或减轻光抑制现象的方法具体可包括：⑤增强热耗散；①叶片叶绿体避光运动，可以减少对光的吸收；②提高光合产物生成速率，即提高光合速率，消耗更多的光能；③增强自由基清除能力，减少对光合结构的破坏。而④提高叶绿素含量会增加对光能的吸收，不能减轻光抑制；⑥D1 蛋白磷酸化程度升高，D1 蛋白降解得更多，从而损伤光合结构，不能减轻光抑制。故选①②③⑤。

10. (14 分)(2025·广东六校联考)镁(Mg)是影响植物光合作用的重要元素，为研究植物中 Mg^{2+} 调节光合作用的机制，科研人员进行了相关实验。回答下列问题：

(1)R 酶是光合作用暗反应中的关键酶，在_____ (填场所)中可催化 CO_2 与 $\text{RuBP}(\text{C}_5)$ 结合，生成 2 分子_____。

(2)(6 分)科研人员将水稻幼苗分为两组，分别在含(+) Mg^{2+} 和无(-) Mg^{2+} 的培养液中培育一段时间后，进行光暗交替处理，检测两组水稻中 R 酶催化的化学反应速率，结果如图 1 所示。

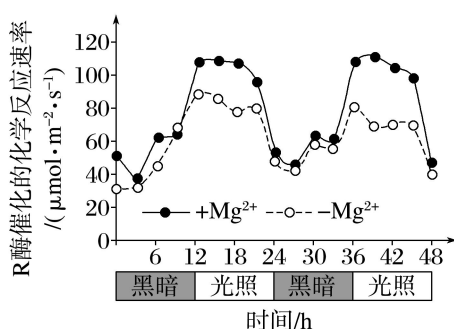


图 1

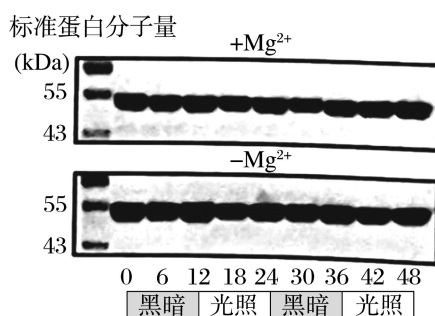


图 2

①图 1 实验结果说明_____。

②科研人员利用蛋白质电泳技术检测两组水稻叶片 R 酶的含量，结果如图 2。据上述结果推测， Mg^{2+} 通过_____提高 R 酶催化的化学反应速率。

(3)进一步研究发现，叶绿体中 Mg^{2+} 的浓度受光暗周期的调控，推测叶绿体膜上的 M_3 蛋白与 Mg^{2+} 的转运有关。为探究 M_3 蛋白的转运功能，科研人员以无 M_3 的非洲爪蟾卵母细胞为对照组，在此细胞中转入编码 M_3 的基因，使 M_3 蛋白分布于爪蟾卵母细胞膜，以此细胞为实验组。实验设计及结果如表所示。

组别	实验材料	实验操作	检测指标	数值
I	对照组	卵母细胞置于含 $^{25}Mg^{2+}$ 的缓冲液中一段时间，用无 Mg^{2+} 的缓冲液冲洗	每个卵母细胞内的 $^{25}Mg^{2+}$ 含量	A
II	实验组			B
III	对照组	置于无 Mg^{2+} 的缓冲液，向卵母细胞内注射含 $^{25}Mg^{2+}$ 的溶液，放置一段时间	外部溶液 $^{25}Mg^{2+}$ 含量	C
IV	实验组			D

结果表明， M_3 蛋白的功能是将 Mg^{2+} 单向转运进入叶绿体。支持该结论的结果为 _____ (用 A、B、C、D 的关系表示)。

(4)结合上述研究结果，为解释图 1 实验结果，对 M_3 蛋白提出需要进一步探究的关键问题是 _____。

答案 (1)叶绿体基质 C_3 (2)①光照时， Mg^{2+} 能显著提高 R 酶催化的化学反应速率；黑暗下 Mg^{2+} 对 R 酶催化的化学反应速率无明显作用 ②提高 R 酶活性 (3)B 大于 A，且 A、C、D 无明显差异 (4) M_3 蛋白在叶绿体膜上的含量(或转运活性)是否受光暗周期的调控；或 M_3 蛋白在叶绿体膜上的含量是否受 Mg^{2+} 的影响

解析 (1) $CO_2 + C_5 \rightarrow 2C_3$ ，该过程为 CO_2 的固定，发生在叶绿体基质中。(2)①分析图 1，与在无 Mg^{2+} 的培养液中培育相比，含 Mg^{2+} 的培养液在光照时 R 酶催化的化学反应速率较高，黑暗下两组结果接近，说明光照条件下 Mg^{2+} 能显著提高 R 酶催化的化学反应速率；黑暗下 Mg^{2+} 对 R 酶催化的化学反应速率无明显作用。②分析图 2，两组水稻叶片 R 酶的含量几乎相等，说明 Mg^{2+} 无法提高 R 酶的含量，进而推测 Mg^{2+} 可能是通过提高 R 酶活性来提高 R 酶催化的化学反应速率。(3)该实验的目的是探究 M_3 蛋白与 Mg^{2+} 的转运关系，自变量是有无 M_3 蛋白及卵母细胞的处理方式。为支持 M_3 蛋白的功能是将 Mg^{2+} 单向转运进入叶绿体的结论，分析组别 I 与 II：组别 I 是无 M_3 蛋白的对照组，组别 II 是有 M_3 蛋白分布的实验组，结合实验操作、检测指标和结论分析，若 B 大于 A，则说明 M_3 蛋白能将 Mg^{2+} 转运进入卵母细胞；同理分析组别 III 和 IV，结合实验操作、检测指标和结论分析，若 C、D 无明显差异，两者外部溶液 $^{25}Mg^{2+}$ 含量几乎为零，则说明 M_3 蛋白单向转运 Mg^{2+} 。综上分析可知，支持该结论的结果

为 B 大于 A，且 A、C、D 无明显差异。