



争分点突破 2

光呼吸、 C_4 植物、CAM植物



一 核心提炼

1. C₃植物、C₄植物和CAM植物固定CO₂方式的比较

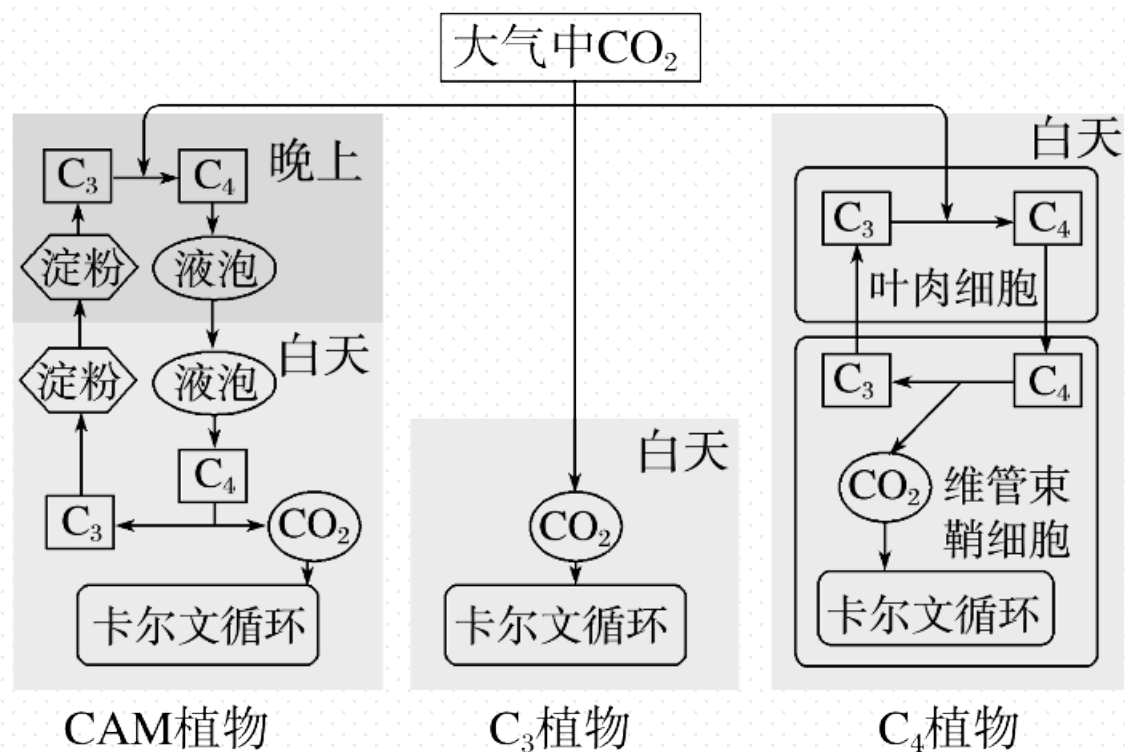
(1)比较C₄植物、CAM植物固定CO₂的方式

相同点：都对CO₂进行了两次固定。

不同点：C₄植物两次固定CO₂是空间上错开；CAM植物两次固定CO₂是时间上错开。

(2)比较C₃、C₄、CAM途径

C₃途径是碳同化的基本途径，C₄途径和CAM途径都只起固定CO₂的作用，最终还是通过C₃途径合成有机物。



注：C₃表示不同种类的三碳化合物，C₄也类似。

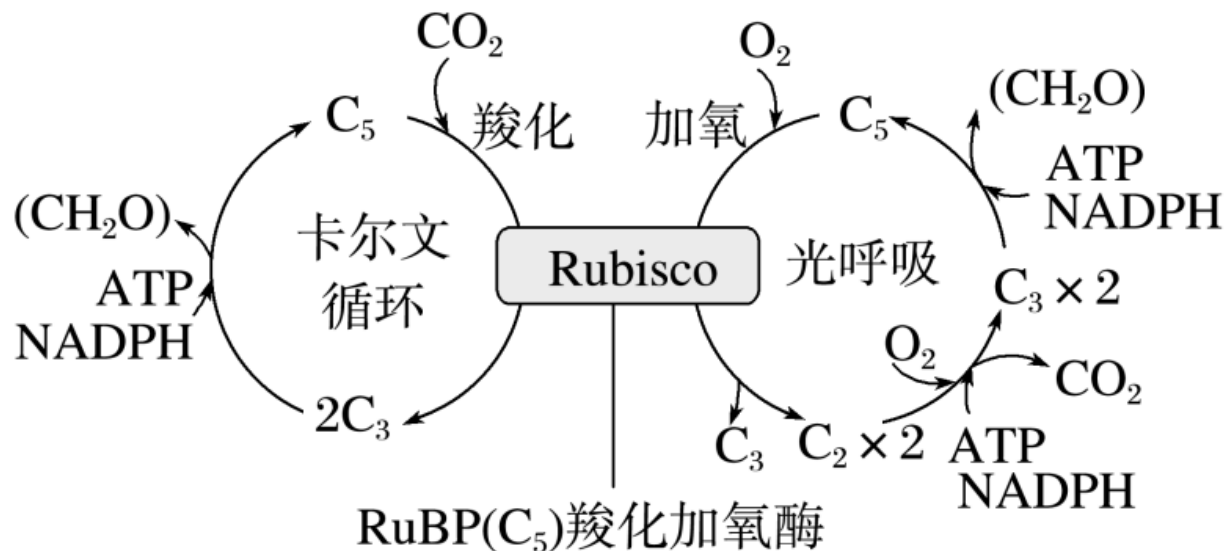
2. 光呼吸

(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具有两面性(或双功能)。

(2) 过程



(3)发生场所：叶绿体、过氧化物酶体、线粒体。

(4)不利影响：光呼吸消耗掉暗反应的底物 C_5 ，导致光合作用减弱，农作物产量降低。

(5)有利影响

①光呼吸是进行光合作用的细胞为适应高光照及高 O_2 低 CO_2 的条件下，提高抗逆性而形成的一条代谢途径；

②在干旱和高辐射等环境中，气孔关闭，胞间 CO_2 浓度降低，会导致光抑制。此时光呼吸释放 CO_2 ，用于光合作用，减少碳损失；消耗高光强产生过多的NADPH和ATP，保护光合结构。

(6)二氧化碳的猝发：指在光照突然停止之后释放出大量的二氧化碳的现象。是光合作用停止而光呼吸还在进行造成的。

(7)光呼吸与细胞呼吸的区别

反应条件不同：光呼吸的强度大致和光强度成正比。只有在光照下， CO_2 浓度降低， O_2 浓度增高时才进行。

产能情况不同：光呼吸虽然能使有机物分解为 CO_2 ，却不产生ATP或NADPH。

1. CAM植物的叶肉细胞，在夜晚否 (填“是”或“否”)进行暗反应。生成糖。夜晚没有光，不能进行光反应，不能为暗反应提供ATP和NADPH，只是对CO₂进行暂时固定，不进行暗反应。

CAM途径：夜晚；

2. CAM植物中CO₂固定的途径和发生时间分别是卡尔文循环。
白天。
夜晚细胞固定CO₂，生

3. CAM植物在夜晚细胞中的pH会下降的原因：苹果酸在细胞中积累。

4. C_4 植物固定 CO_2 的途径和发生的场所分别是 C_4 途径：叶肉细胞的细胞质基质；卡尔文循环：维管束鞘细胞的叶绿体基质。

5. 晴朗的夏季中午，水稻会出现“光合午休”现象，此时光合作用速率明显减弱，而 CO_2 生成量明显增加，其原因是 气孔关闭导致 CO_2 浓度降低，而高光照下 O_2 浓度升高， O_2 在与 CO_2 竞争Rubisco酶中有优势，光呼吸增强。



二 真题演练

1.(2021·山东, 21)光照条件下, 叶肉细胞中 O_2 与 CO_2 竞争性结合 C_5 , O_2 与 C_5 结合后经一系列反应释放 CO_2 的过程称为光呼吸。向水稻叶面喷施不同浓度的光呼吸抑制剂SoBS溶液, 相应的光合作用强度和光呼吸强度见表。光合作用强度用固定的 CO_2 量表示, SoBS溶液处理对叶片呼吸作用的影响忽略不计。

SoBS浓度/ $(mg \cdot L^{-1})$	0	100	200	300	400	500	600
光合作用强度/ $(CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	18.9	20.9	20.7	18.7	17.6	16.5	15.7
光呼吸强度/ $(CO_2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	6.4	6.2	5.8	5.5	5.2	4.8	4.3

SoBS浓度/(mg·L ⁻¹)	0	100	200	300	400	500	600
光合作用强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	18.9	20.9	20.7	18.7	17.6	16.5	15.7
光呼吸强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	6.4	6.2	5.8	5.5	5.2	4.8	4.3

(1)光呼吸中C₅与O₂结合的反应发生在叶绿体的基质中。正常进行光合作用的水稻，突然停止光照，叶片CO₂释放量先增加后降低，CO₂释放量增加的原因是光照停止，产生的ATP、NADPH减少，暗反应消耗的C₅减少，C₅与O₂结合增加，释放的CO₂增多。

SoBS浓度/(mg·L ⁻¹)	0	100	200	300	400	500	600
光合作用强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	18.9	20.9	20.7	18.7	17.6	16.5	15.7
光呼吸强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	6.4	6.2	5.8	5.5	5.2	4.8	4.3

(2)与未喷施SoBS溶液相比，喷施100 mg·L⁻¹ SoBS溶液的水稻叶片吸收和放出CO₂量相等时所需的光照强度低(填“高”或“低”)，据表分析，原因是喷施100 mg·L⁻¹ SoBS溶液后，光合作用固定的CO₂增加，光呼吸释放的CO₂减少，即叶片的CO₂吸收量增加、释放量减少。此时，在更低的光照强度下，两者即可相等。

SoBS浓度/(mg·L ⁻¹)	0	100	200	300	400	500	600
光合作用强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	18.9	20.9	20.7	18.7	17.6	16.5	15.7
光呼吸强度/ (CO ₂ μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	6.4	6.2	5.8	5.5	5.2	4.8	4.3

(3)光呼吸会消耗光合作用过程中的有机物，农业生产中可通过适当抑制光呼吸以增加作物产量。为探究SoBS溶液利于增产的最适喷施浓度，据表分析，应在 100~300 mg·L⁻¹之间再设置多个浓度梯度进一步进行实验。

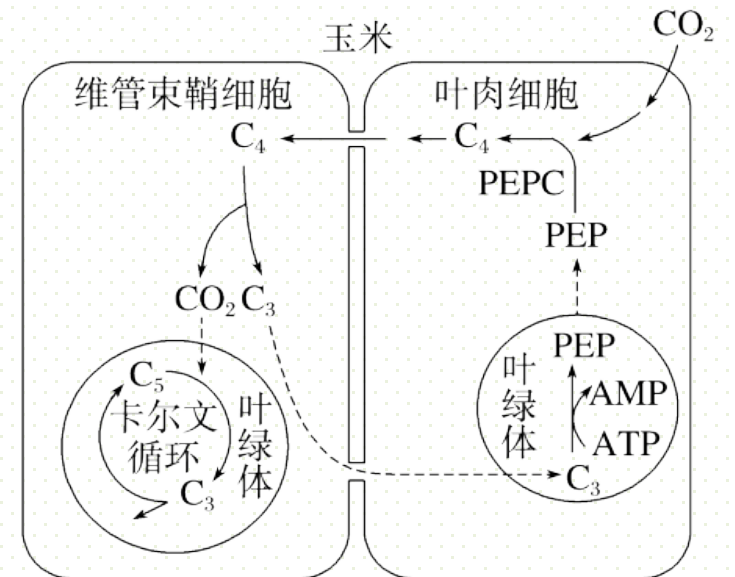
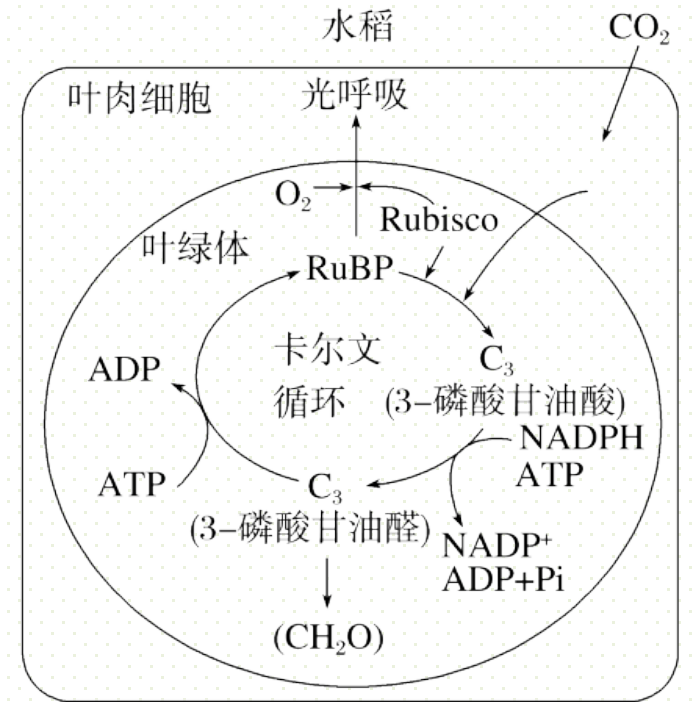
解析

SoBS浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0	100	200	300	400	500	600
光合作用强度/ ($\text{CO}_2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	18.9	20.9	20.7	18.7	17.6	16.5	15.7
光呼吸强度/ ($\text{CO}_2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	6.4	6.2	5.8	5.5	5.2	4.8	4.3

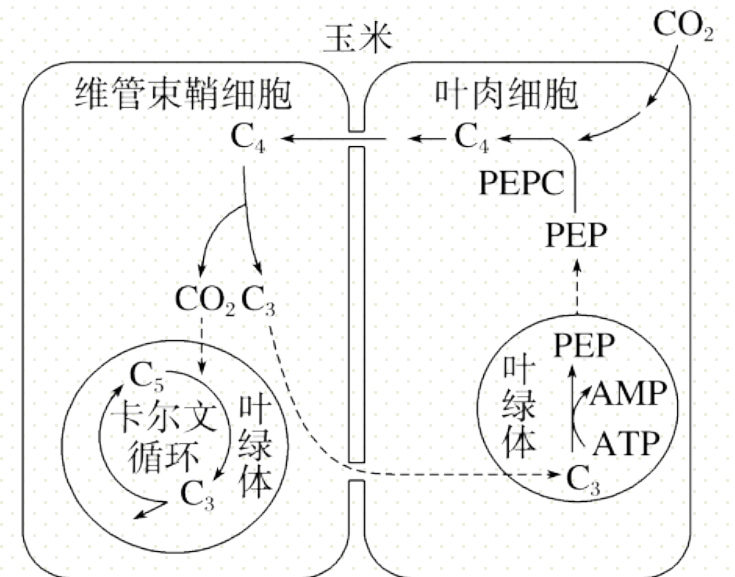
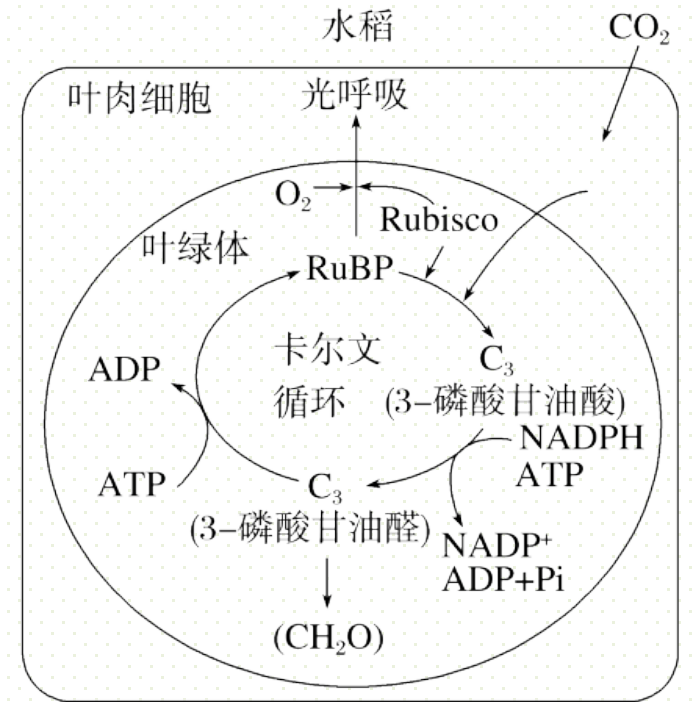
光呼吸会消耗有机物，因此当光合作用强度与光呼吸强度差值最大时，最有利于农作物增产。由表可知，在 SoBS 溶液浓度为 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时光合作用强度与光呼吸强度差值最大，即光合产量最大，为了进一步探究最适喷施浓度，应在 $100\sim 300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间再设置多个浓度梯度进一步进行实验。

2.(2023·湖南, 17节选)如图是水稻和玉米的光合作用暗反应示意图。卡尔文循环的Rubisco酶对 CO_2 的 K_m 为 $450 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (K 越小, 酶对底物的亲和力越大), 该酶既可催化RuBP与 CO_2 反应, 进行卡尔文循环, 又可催化RuBP与 O_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。

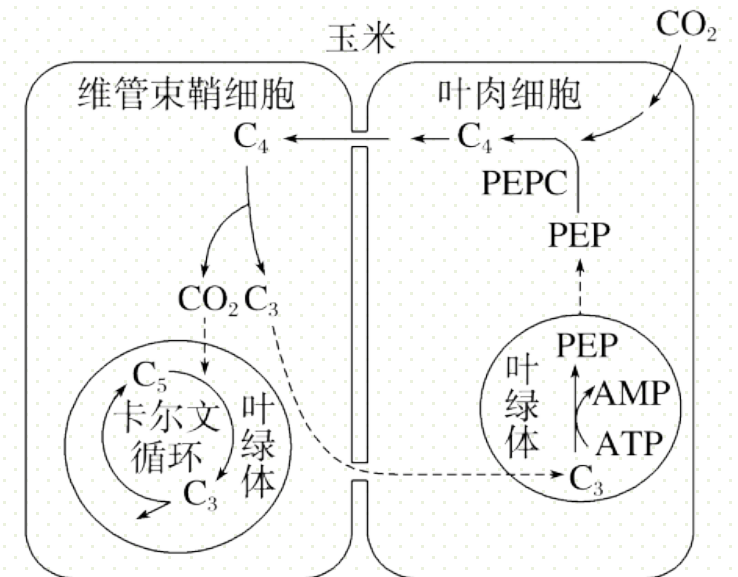
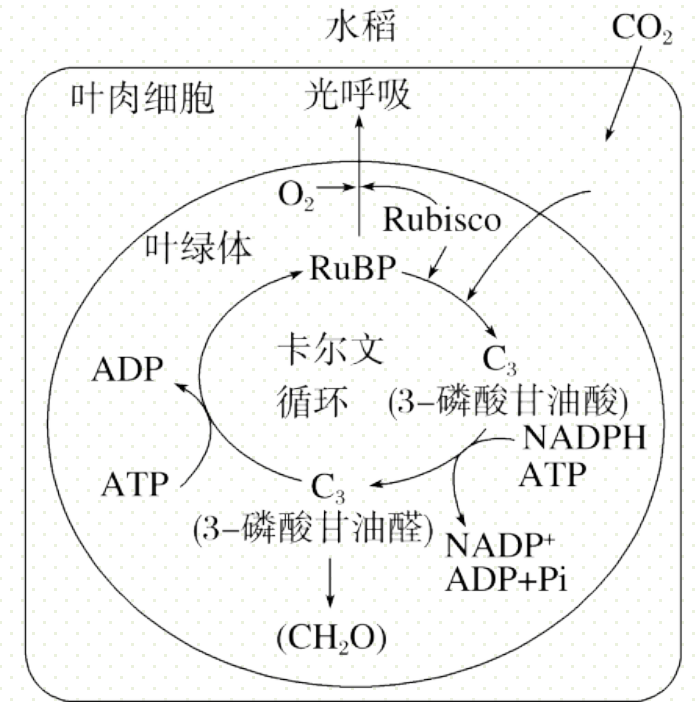
与水稻相比, 玉米叶肉细胞紧密围绕维管束鞘, 其中叶肉细胞叶绿体是水光解的主要场所, 维管束鞘细胞的叶绿体主要与ATP生成有关。玉米的暗反应先在叶肉细胞中利用PEPC酶(PEPC对 CO_2 的 K_m 为 $7 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)催化磷酸烯醇式丙酮酸(PEP)与 CO_2 反应生成 C_4 , 固定产物 C_4 转运到维管束鞘细胞后释放 CO_2 , 再进行卡尔文循环。回答下列问题:



(1)在干旱、高光照强度环境下，玉米的光合作用强度 高于 (填“高于”或“低于”)水稻。从光合作用机制及其调控分析，原因是 高光照条件下玉米可以将光合产物及时转移；玉米的PEPC酶对CO₂的亲合力比水稻的Rubisco酶更高；玉米能通过PEPC酶生成C₄，使维管束鞘细胞内的CO₂浓度高于外界环境，抑制玉米的光呼吸 (答出三点即可)。



(2)某研究将蓝细菌的CO₂浓缩机制导入水稻，水稻叶绿体中CO₂浓度大幅提升，其他生理代谢不受影响，但在光饱和条件下水稻的光合作用强度无明显变化。其原因可能是酶的活性达到最大，对CO₂的利用率不再提高；受到ATP以及NADPH等物质含量的限制；原核生物和真核生物光合作用机制有所不同 (答出三点即可)。



3.(2024·黑吉辽, 21节选)在光下叶绿体中的 C_5 能与 CO_2 反应形成 C_3 ; 当 CO_2/O_2 比值低时, C_5 也能与 O_2 反应形成 C_2 等化合物。 C_2 在叶绿体、过氧化物酶体和线粒体中经过一系列化学反应完成光呼吸过程。上述过程在叶绿体与线粒体中主要物质变化如图1。

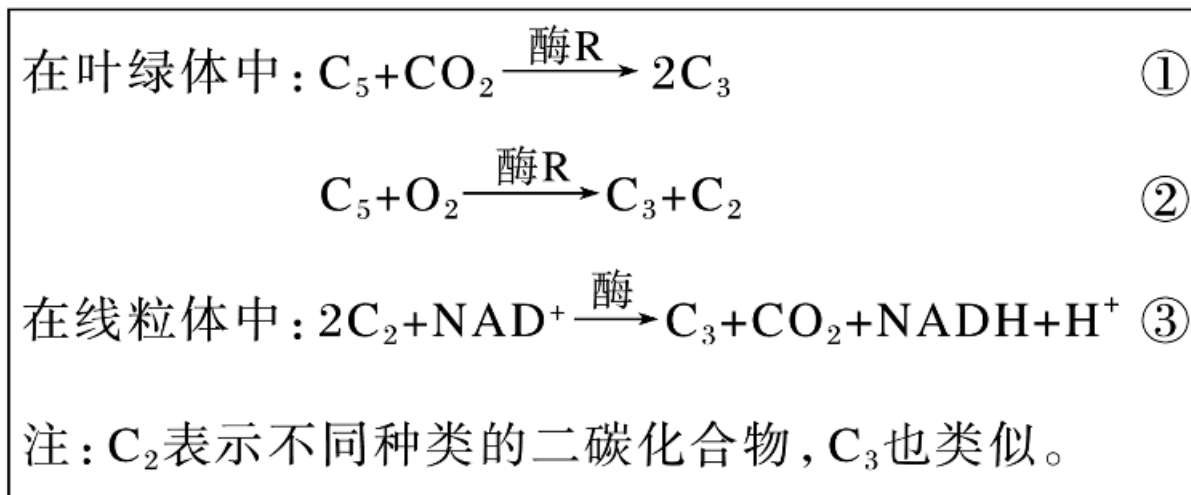
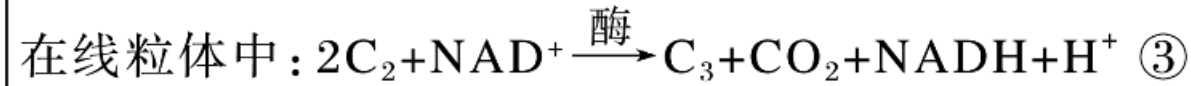
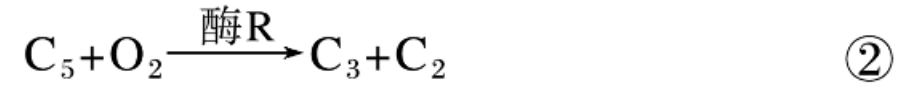
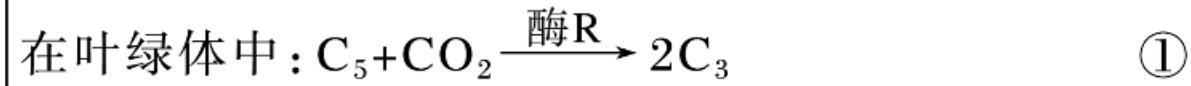


图 1

光呼吸将已经同化的碳释放, 且整体上是消耗能量的过程。回答下列问题:

(1)反应①是 CO_2 的固定 过程。



注: C_2 表示不同种类的二碳化合物, C_3 也类似。

图 1

(2)与光呼吸不同, 以葡萄糖为反应物的有氧呼吸产生NADH的场所是 细胞质基质 和 线粒体基质。

(3)我国科学家将改变光呼吸的相关基因转入某种农作物野生型植株(WT), 得到转基因株系1和2, 测定净光合速率, 结果如图2、图3。图2中植物光合作用 CO_2 的来源除了有外界环境外, 还可来自 光呼吸和 细胞呼吸(填生理过程)。7~10时株系1和2与WT净光合速率逐渐产生差异, 原因是 7~10时, 随着光照强度的增加, 株系1和2由于转入了改变光呼吸的相关基因, 导致光呼吸速率降低, 光呼吸将已经同化的碳释放, 且整体上是消耗能量的过程。

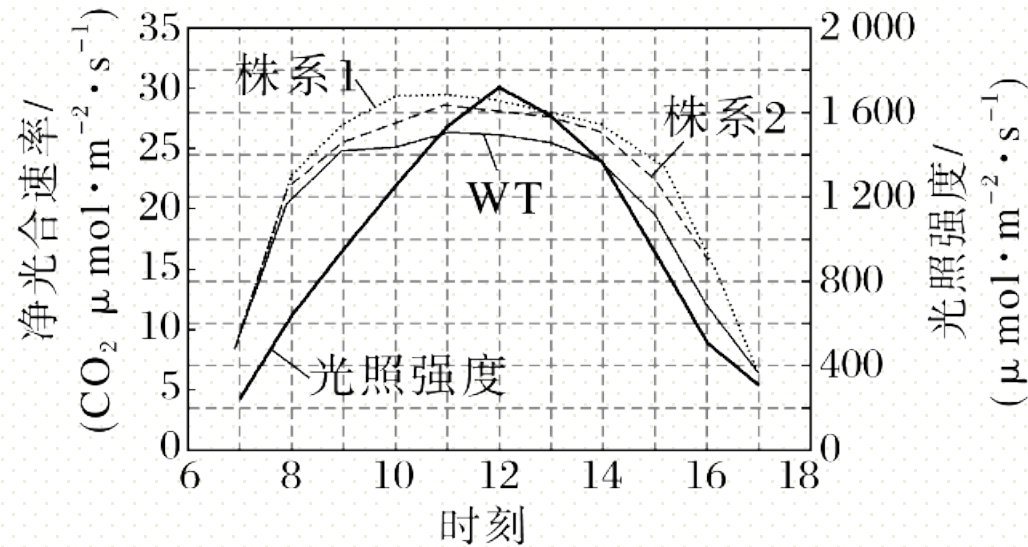


图2

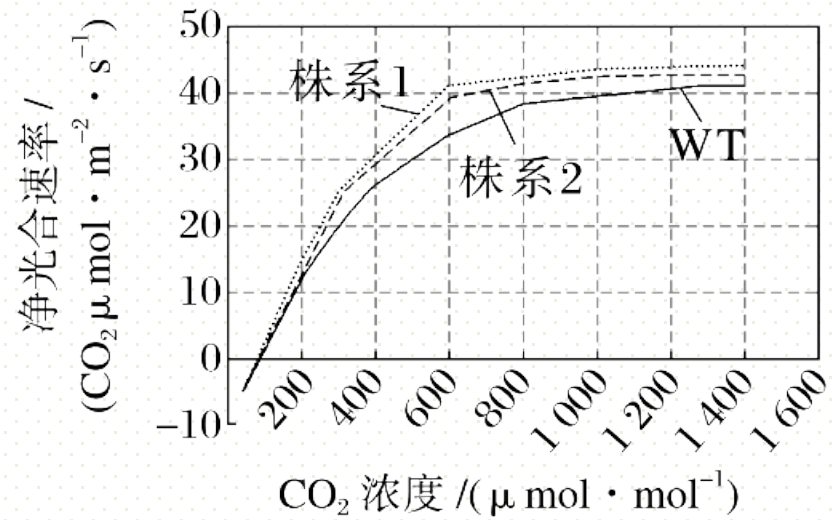


图3

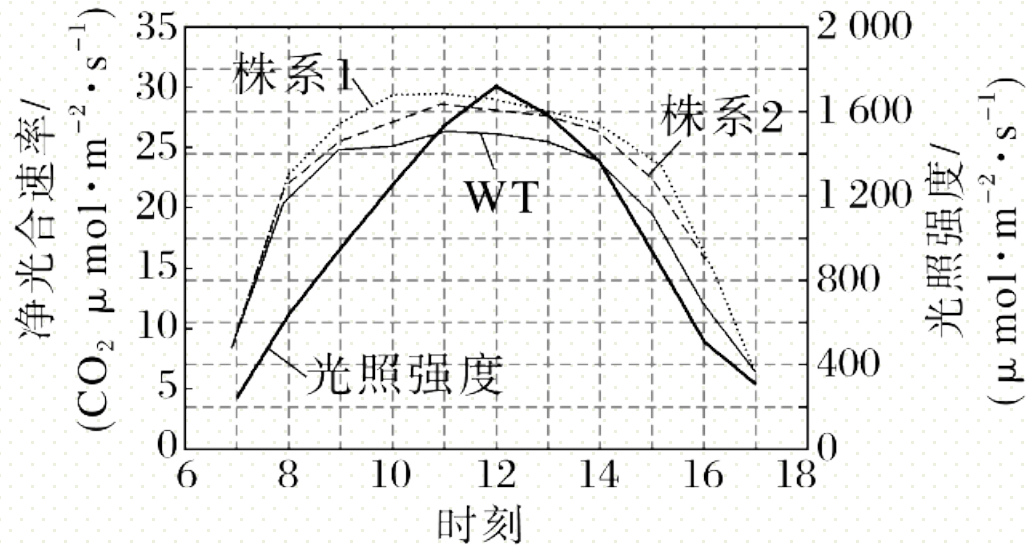


图 2

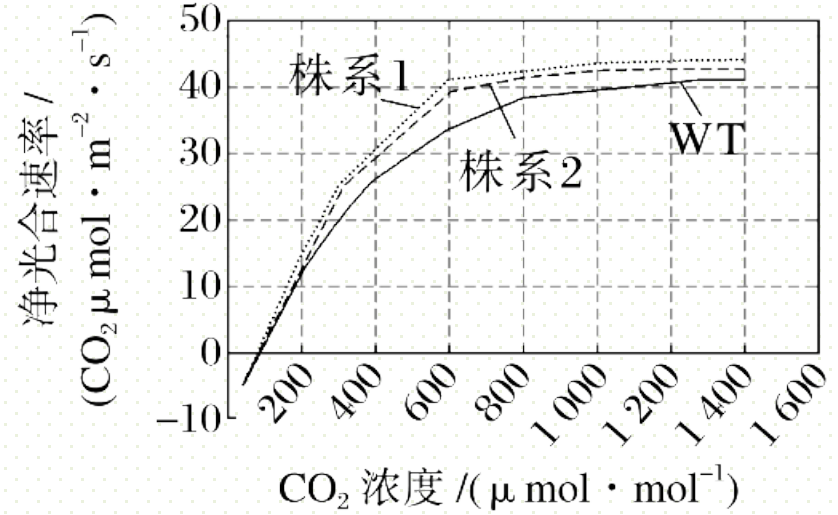


图 3

据图3中的数据 不能 (填“能”或“不能”)计算出株系1的总光合速率，理由是 总光合速率 = 净光合速率 + 呼吸速率，呼吸速率是光照强度为0时的CO₂释放速率，图3横坐标为CO₂浓度，无法得出呼吸速率。

4.(2021·全国乙, 29节选)生活在干旱地区的一些植物(如植物甲)具有特殊的 CO_2 固定方式。这类植物晚上气孔打开吸收 CO_2 , 吸收的 CO_2 通过生成苹果酸储存在液泡中; 白天气孔关闭, 液泡中储存的苹果酸脱羧释放的 CO_2 可用于光合作用。回答下列问题:

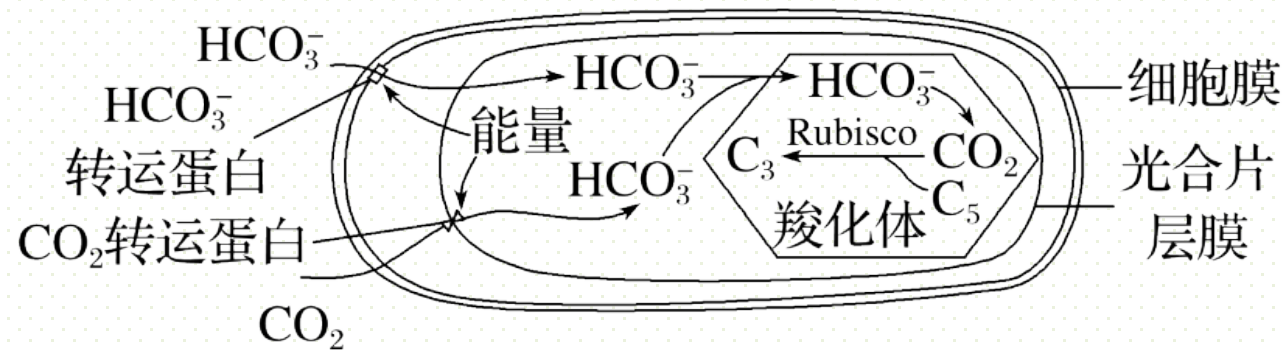
(1)光合作用所需的 CO_2 来源于苹果酸脱羧和细胞呼吸释放的 CO_2 。

(2)若以pH作为检测指标, 请设计实验来验证植物甲在干旱环境中存在这种特殊的 CO_2 固定方式(简要写出实验思路和预期结果)。

答案 实验思路: 植物甲在干旱的环境条件下(其他条件适宜)培养一段时间, 分别在白天和晚上测定植物甲液泡内的pH, 统计分析实验数据。

预测结果: 晚上的pH明显小于白天。

5.(2021·天津, 15节选)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。蓝细菌具有 CO_2 浓缩机制, 如图所示。回答问题:



注: 羧化体具有蛋白质外壳, 可限制气体扩散。

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。

6.(2021·辽宁, 22节选)早期地球大气中的 O_2 浓度很低, 到了大约3.5亿年前, 大气中 O_2 浓度显著增加, CO_2 浓度明显下降。现在大气中的 CO_2 浓度约为 $390 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 是限制植物光合作用速率的重要因素。核酮糖二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)是一种催化 CO_2 固定的酶, 在低浓度 CO_2 条件下, 催化效率低。有些植物在进化过程中形成了 CO_2 浓缩机制, 极大地提高了Rubisco所在局部空间位置的 CO_2 浓度, 促进了 CO_2 的固定。回答下列问题:

(1)海水中的无机碳主要以 CO_2 和 HCO_3^- 两种形式存在，水体中 CO_2 浓度低、扩散速度慢，有些藻类具有图1所示的无机碳浓缩过程，图中 HCO_3^- 浓度最高的场所是叶绿体 (填“细胞外” “细胞质基质” 或 “叶绿体”)，可为图示过程提供ATP的生理过程有呼吸作用和光合作用。

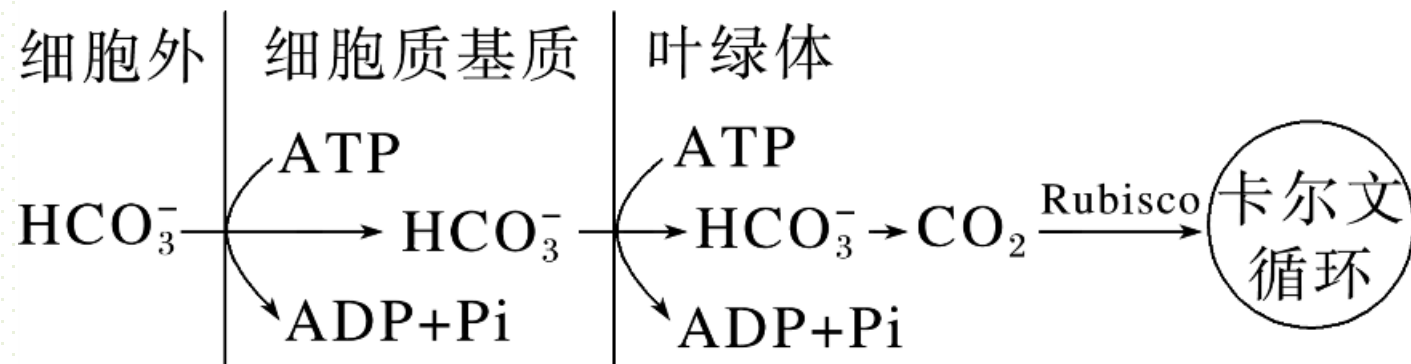
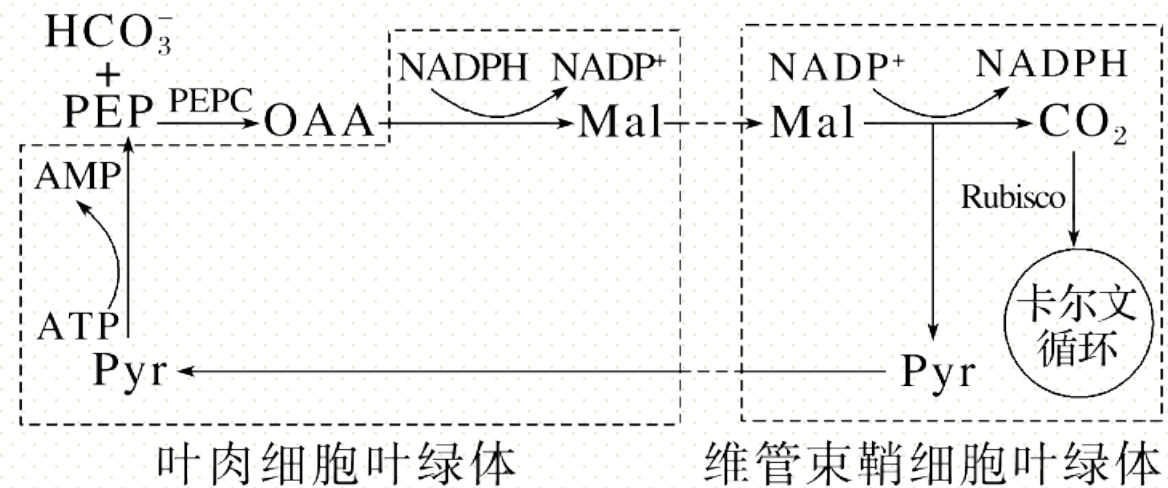


图 1

(2)某些植物还有另一种CO₂浓缩机制，部分过程见图2。在叶肉细胞中，磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPC)可将HCO₃⁻转化为有机物，该有机物经过一系列的变化，最终进入相邻的维管束鞘细胞释放CO₂，提高了Rubisco附近的CO₂浓度。由这种CO₂浓缩机制可以推测，PEPC与无机碳的亲合力 高于 (填“高于”“低于”或“等于”)Rubisco。



PEP: 磷酸烯醇式丙酮酸; OAA: 草酰乙酸;
 Mal: 苹果酸; Pyr: 丙酮酸

图 2

(3)通过转基因技术或蛋白质工程技术，能进一步提高植物光合作用的效率，以下研究思路合理的有 ACD。

A.改造植物的 HCO_3^- 转运蛋白基因，增强 HCO_3^- 的运输能力

B.改造植物的 $PEPC$ 基因，抑制 OAA 的合成

C.改造植物的 $Rubisco$ 基因，增强 CO_2 固定能力

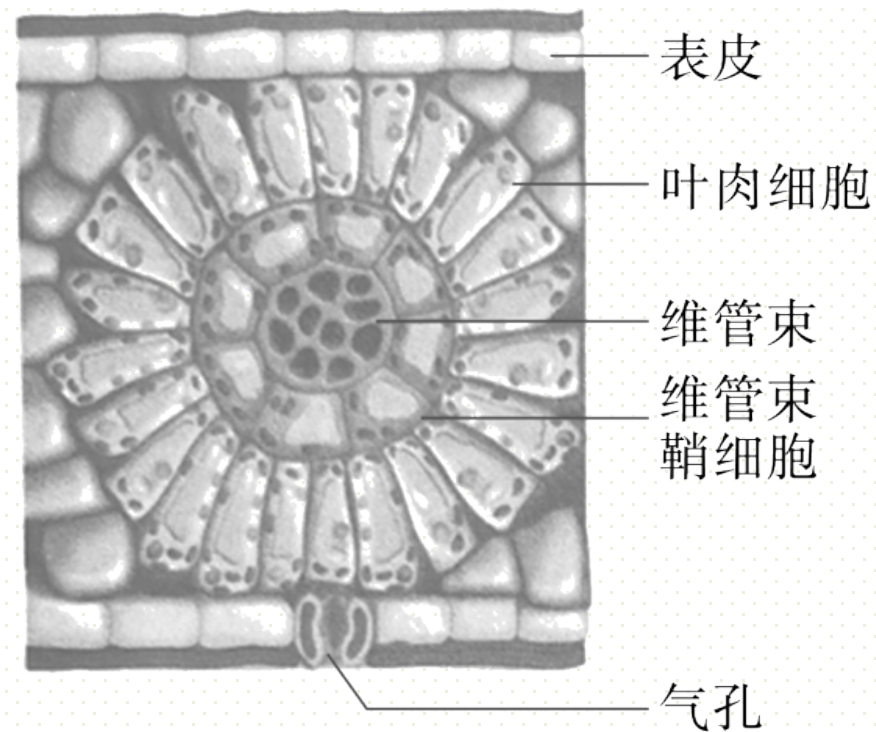
D.将 CO_2 浓缩机制相关基因转入不具备此机制的植物



三 模拟预测

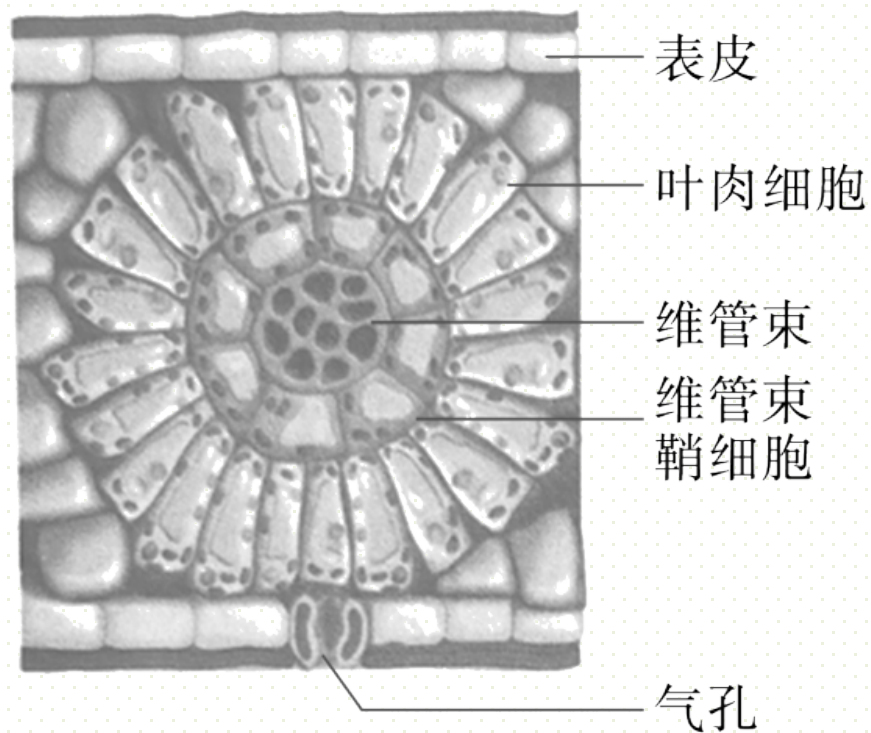
1.玉米是一种生活在高温、高光强环境的农作物，存在于其叶肉细胞中的PEP羧化酶(PEPC)具有高 CO_2 亲和力，可在低浓度 CO_2 条件下高效固定 CO_2 ，PEPC把叶肉细胞中的 CO_2 转化成 C_4 ， C_4 被运入维管束鞘细胞后会释放 CO_2 参与卡尔文循环，PEPC起到了“ CO_2 泵”的作用。

玉米的光合作用需要叶肉细胞和维管束鞘细胞共同完成，图示为两类细胞在叶片中的位置示意图。



请回答问题：

图中的维管束鞘的外侧紧密连接一层环状的叶肉细胞，组成了花环型结构。结合“花环型”结构和“CO₂泵”，解释C₄植物光合作用效率高的原因：“花环型”结构中，四周的叶肉细胞中含PEPC，可以利用低浓度CO₂生成C₄，C₄从四周被运入维管束鞘细胞后，释放高浓度CO₂，光合作用原料增加。



2. 多肉植物因形态可爱越来越受到人们的欢迎。这类植物一般夜晚气孔张开，吸收 CO_2 并固定在一种四碳化合物中；白天气孔关闭，由四碳化合物分解产生的 CO_2 进行固定和还原。回答下列问题：

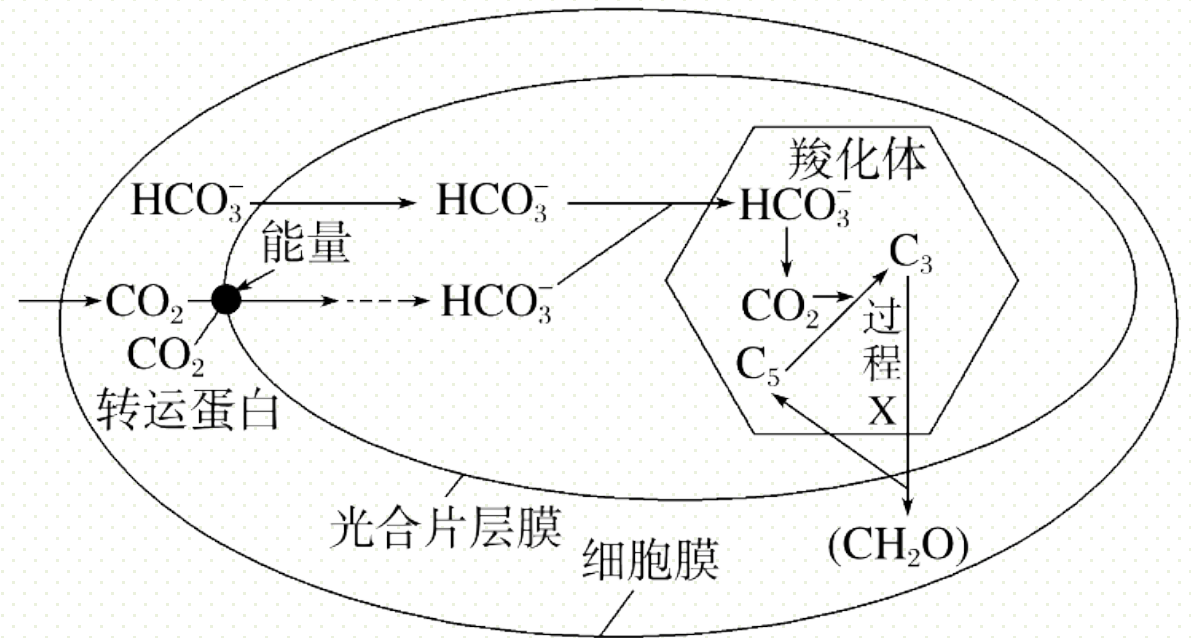
(1) 在叶绿体中，由四碳化合物分解产生的 CO_2 的固定和还原所需要的条件是 有光 (填“有光”“黑暗”或“有光或黑暗”)，需要 光 反应阶段为其提供 ATP 和 NADPH。

(2)若晴朗白天突然降低环境中 CO_2 浓度，多肉植物的光合作用强度基本不受影响，说明多肉植物白天所利用的 CO_2 的来源是四碳化合物分解和细胞呼吸产生。

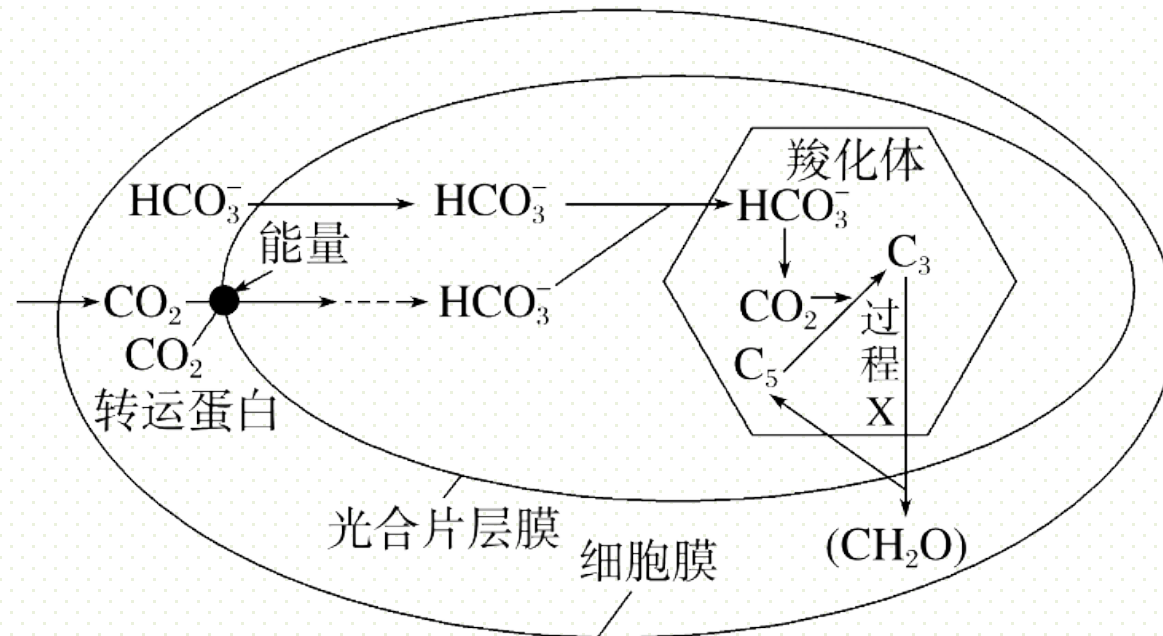
(3)某同学将多肉植物置于密闭容器内进行遮光处理，测定容器内 CO_2 的增加量，并以单位时间内 CO_2 的增加量作为该植物的呼吸速率。你认为这种做法合理吗？不合理，原因是多肉植物在遮光条件下进行细胞呼吸产生 CO_2 ，但同时也吸收 CO_2 并固定在四碳化合物中，所以容器内单位时间 CO_2 的增加量不能作为该植物的呼吸速率。

3.(2024·德州高三三模)蓝细菌是一类光能自养型细菌，其光合作用的原理与高等植物相似，但具有一种特殊的 CO_2 浓缩机制，如图所示，其中羧化体具有蛋白质外壳， CO_2 无法进出。回答下列问题：

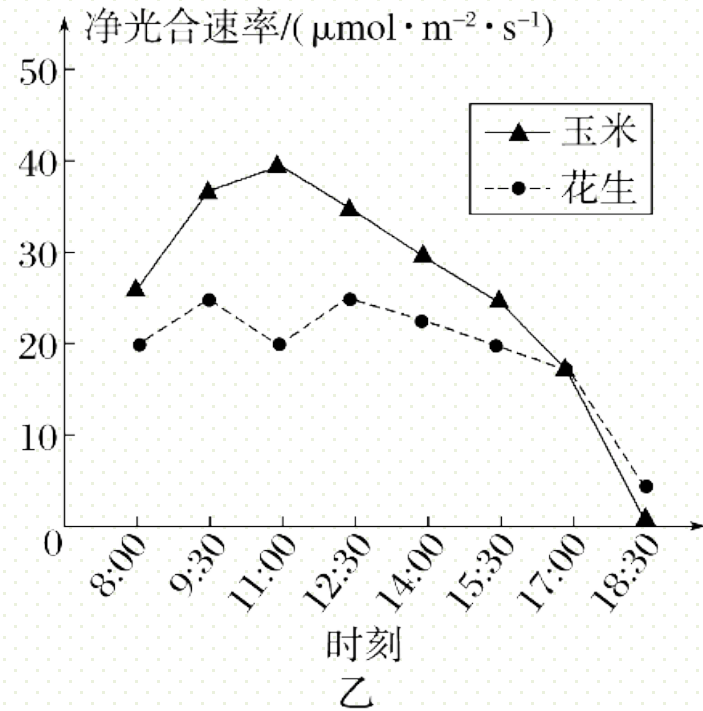
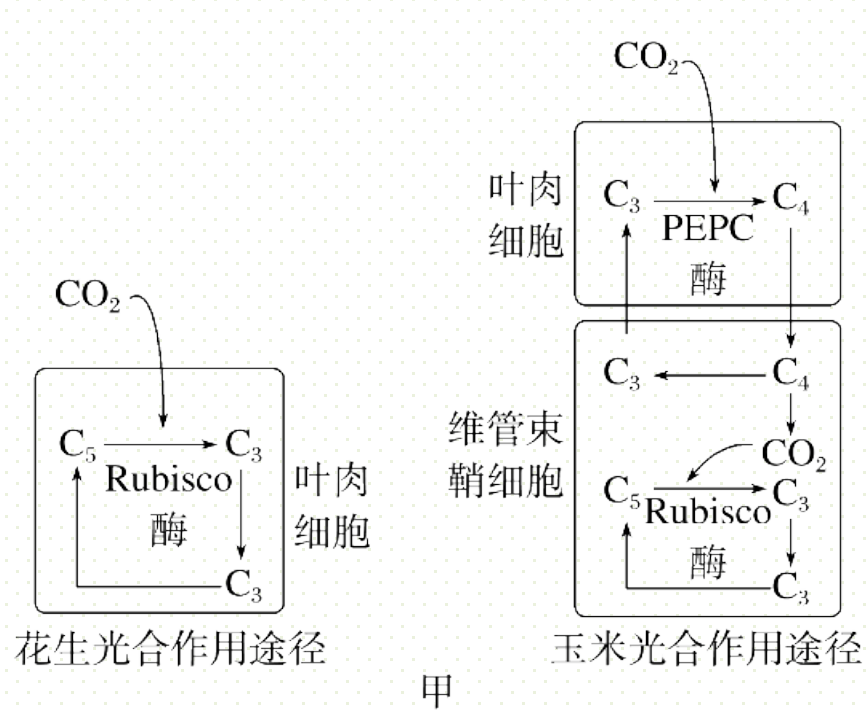
(1)蓝细菌的 CO_2 浓缩机制可提高羧化体中 CO_2 浓度，据图分析， CO_2 浓缩的具体机制有 HCO_3^- 在羧化体内可转变为 CO_2 ；光合片层膜可以通过主动运输的方式吸收 CO_2 ；羧化体的蛋白质外壳可避免 CO_2 逃逸 (答出两点)。

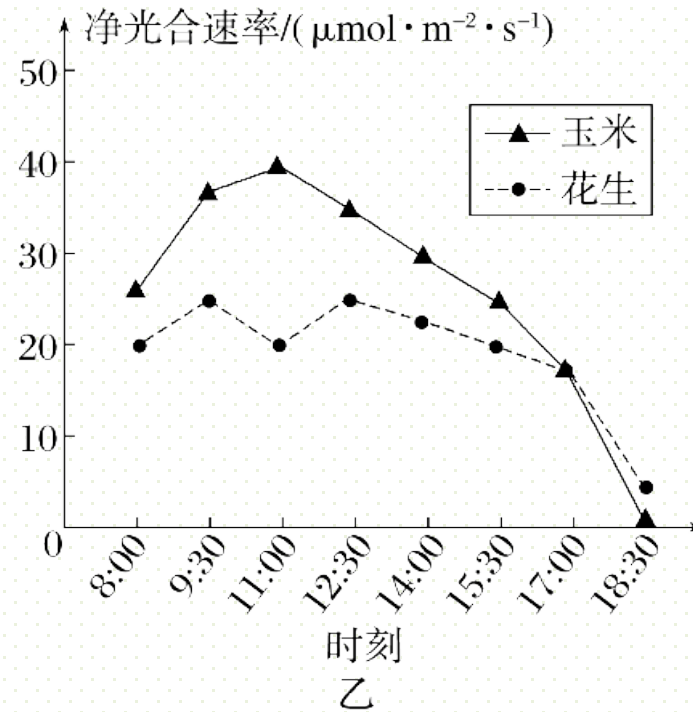
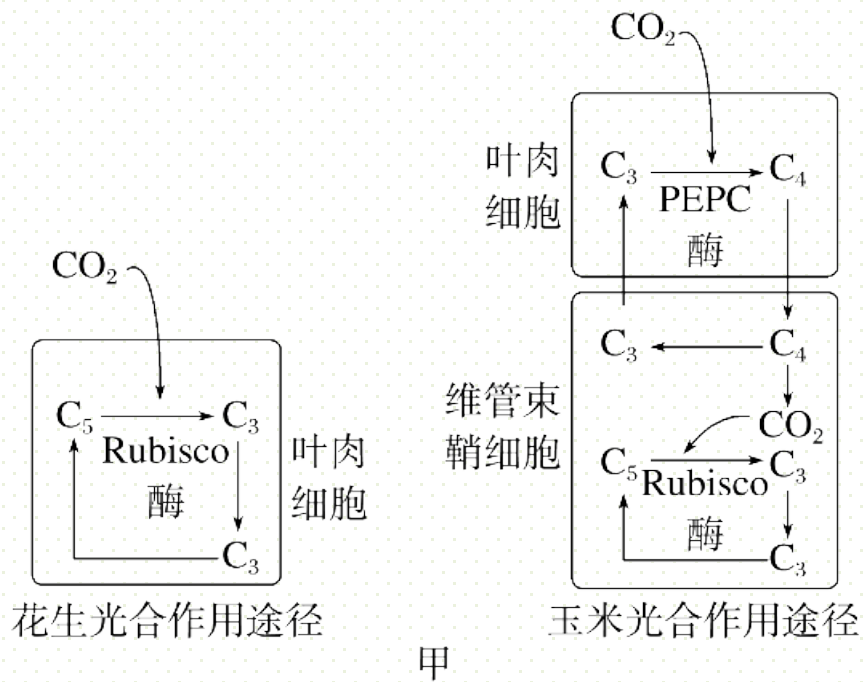


(2)植物的光补偿点是指光合速率与呼吸速率相等时的光照强度。若将蓝细菌的 HCO_3^- 转运蛋白基因和 CO_2 转运蛋白基因转入烟草内并成功表达和发挥作用，理论上该转基因植株光补偿点比正常烟草要低 (填“高”或“低”)，原因是转基因成功后，通过 CO_2 浓缩机制，进入叶绿体中的 CO_2 浓度增大，在较弱的光照条件下，光合作用强度即可等于细胞呼吸强度。



4.起源于热带的玉米，除了和其他 C_3 植物(如花生)一样具有卡尔文循环(简称 C_3 途径)外，还存在另一条固定 CO_2 的途径，固定 CO_2 的初产物是四碳化合物(C_4)，简称 C_4 途径，玉米也被称为 C_4 植物。图甲表示花生和玉米的光合作用部分途径示意图，研究发现 C_4 植物中PEPC酶对 CO_2 的亲合力约是Rubisco酶的60倍；图乙表示夏季晴朗的白天，玉米和花生净光合速率(单位时间、单位叶面积吸收 CO_2 的量)的变化曲线。



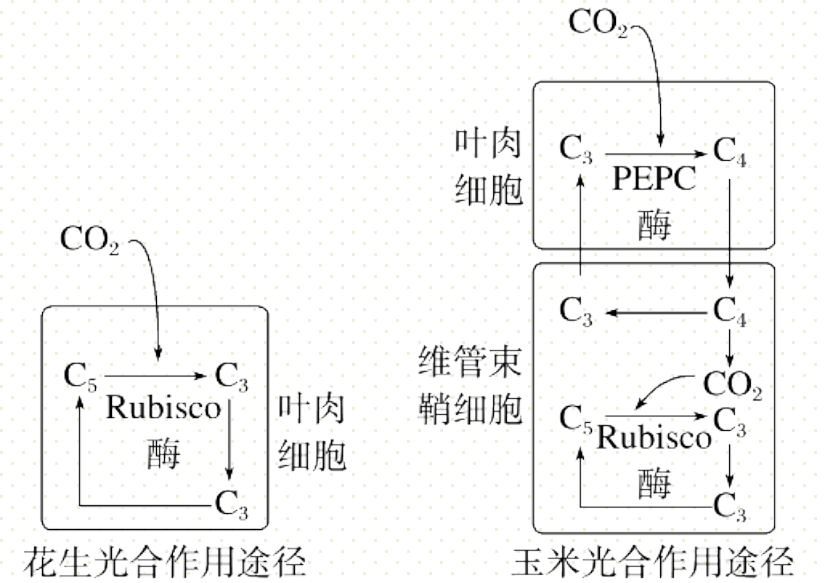


请回答下列问题：

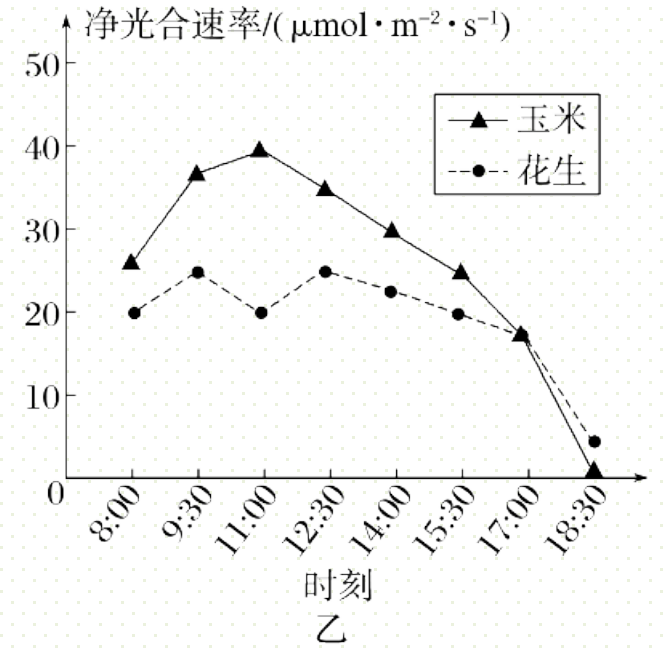
(1) 写出玉米光合作用中CO₂中碳转化成有机物(CH₂O)中碳的转移途径

CO₂ → C₄ → CO₂ → C₃ → 有机物 (用箭头和符号表示)。

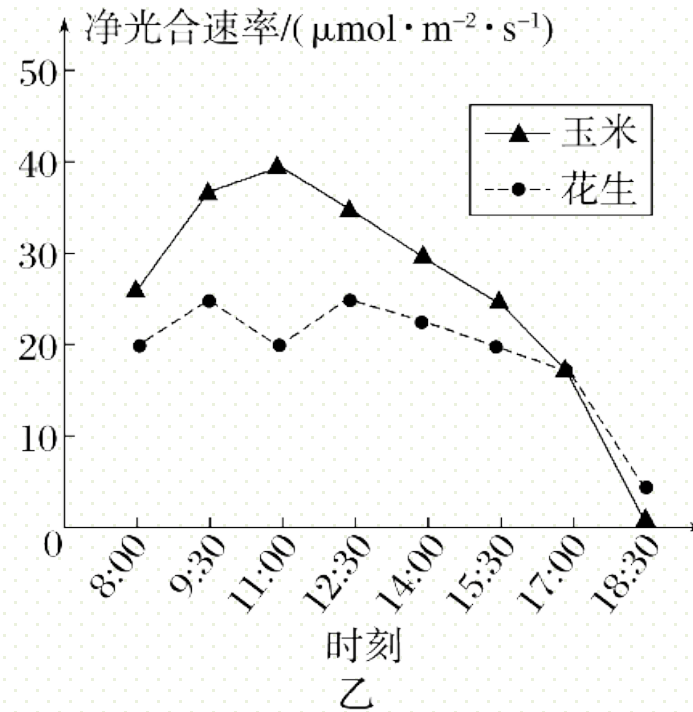
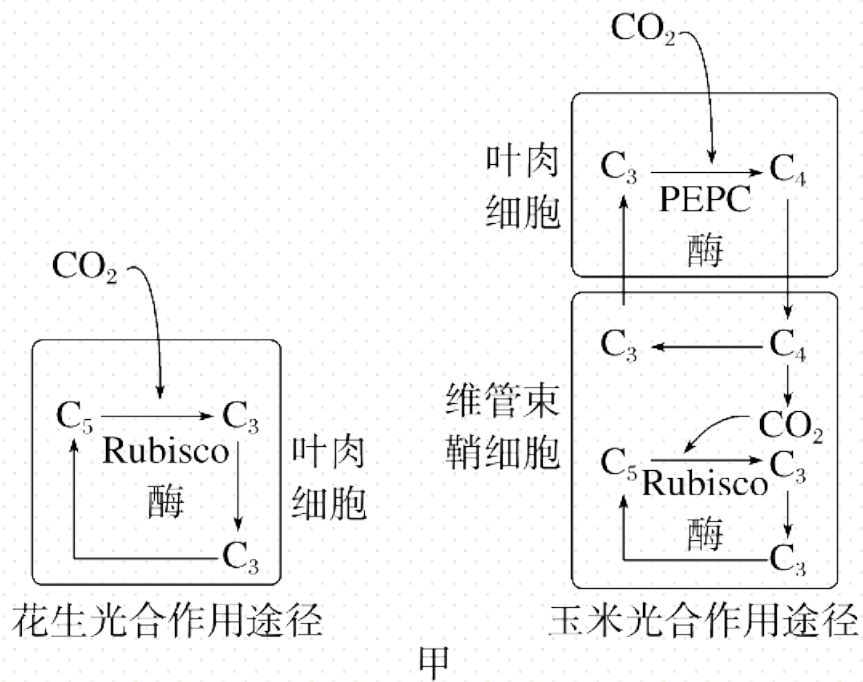
(2)图乙中花生净光合速率在11:00左右明显减弱的主要原因是 植物蒸腾作用加强，叶片部分气孔关闭，吸收CO₂减少，导致光合作用降低，而此时玉米净光合速率仍然很高的原因是 玉米中的PEPC酶与CO₂的亲合力高，对CO₂的利用率高，可以利用低浓度CO₂进行光合作用，叶片部分气孔关闭对其光合作用无影响。



甲

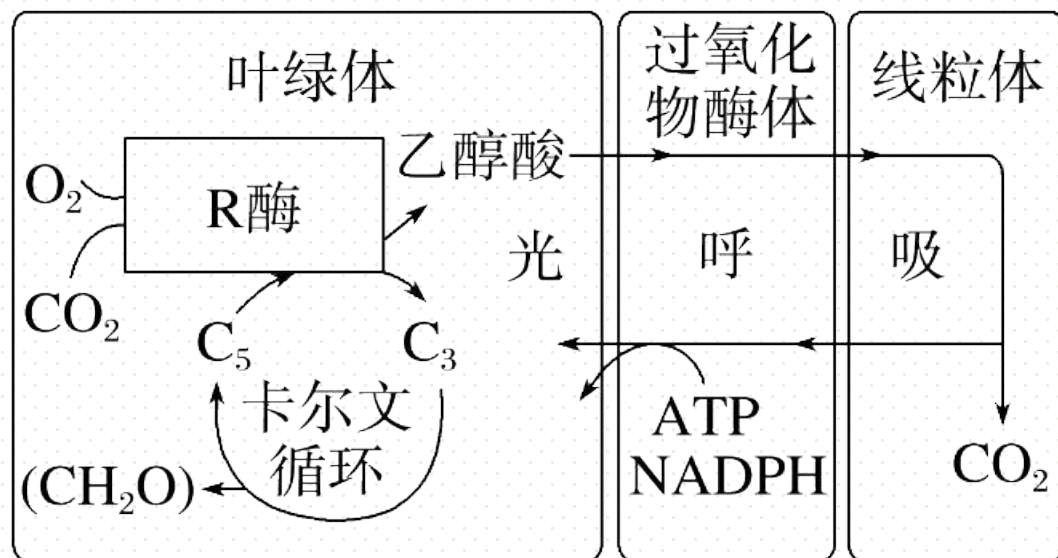


乙



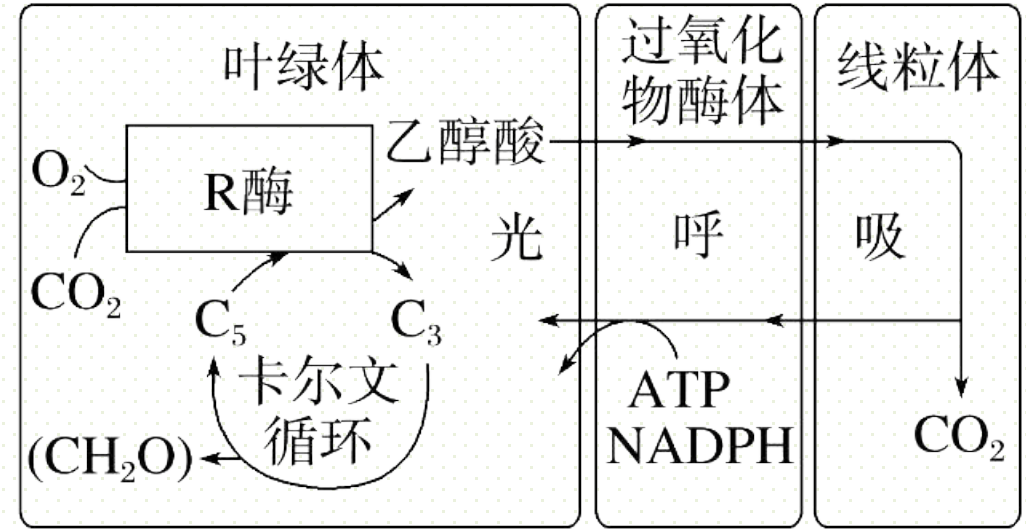
(3)玉米具有此特殊光合作用途径的意义是 适应高温、强光照、干旱环境，既能保持体内水分，又能进行高效的光合作用。

5.(2024·长沙高三三模)炎热干燥的天气往往会导致植物出现光呼吸现象，图示为植物叶肉细胞发生的光呼吸过程简图，光呼吸发生的原因是图中的R酶的双功能性，当 CO_2 与 O_2 浓度之比较高时，R酶能够催化 CO_2 与 C_5 反应生成 C_3 ，反之，当 CO_2 与 O_2 浓度之比较低时，光呼吸水平增加，R酶就会更多地催化 C_5 与 O_2 反应生成乙醇酸(C_2)， C_2 最后在相应细胞器中可转化成 C_3 和 CO_2 。



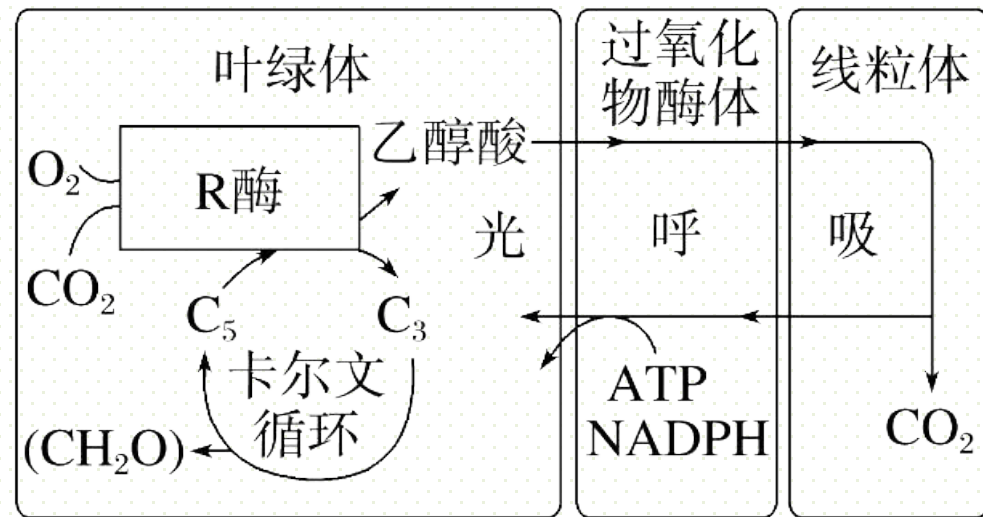
请完成以下问题：

(1) 炎热干燥的天气导致植物出现光呼吸的原因是 炎热干燥天气，蒸腾作用强导致水分散失过快，植物为了避免水分散失，部分气孔关闭，CO₂吸收减少，光合作用产生的O₂在叶片中堆积，使得CO₂与O₂浓度之比降低，光呼吸水平增加。

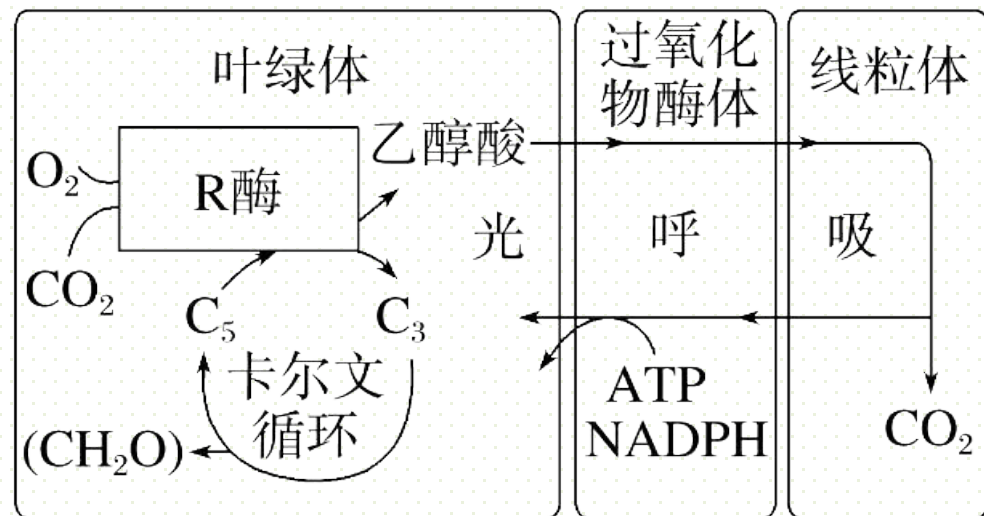


(2)比较光呼吸与植物细胞有氧呼吸的不同点:

条件: 光呼吸发生在光照条件下, 有氧呼吸在有光、无光条件下均能发生; 场所: 光呼吸的发生需要叶绿体、过氧化物酶体和线粒体的参与, 有氧呼吸发生在细胞质基质和线粒体中; 能量角度: 光呼吸消耗ATP, 有氧呼吸生成ATP; 物质角度: 光呼吸利用 O_2 和 C_5 生成乙醇酸和 C_3 , 有氧呼吸利用葡萄糖和 O_2 生成 CO_2 和水 (描述三个方面)。



(3)研究发现，水稻等作物的光合产物有较大比例要消耗在光呼吸底物上。那么，这些作物中光呼吸存在的意义是避免光反应过程中积累的ATP和NADPH对叶绿体的伤害，同时消除乙醇酸对细胞的毒害，回收碳元素，减少碳的流失。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/106121004240011011>