

生物

“光合作用”重难点问题分析

北京市第四中学教师 李小岑

光合作用相关知识体系是高中生物学的核心主干内容,也是高考的高频考点。光合作用的具体过程及发生场所是高考的重点,同时光反应和暗反应的辩证辨析、胞间 CO_2 浓度与光合速率的关系、光合速率的影响因素、光合产物的分配在高考中也经常涉及,考生在解决科研情景下的相关问题时会遇到困难。本文将探讨光合作用中的上述重难点问题。

一、如何理解光反应和暗反应的相互依赖、相互限制

光合作用的过程如图1所示。光反应产生的ATP和NADPH为暗反应提供能量和还原力,而暗反应产生的ADP、 P_i 和 NADP^+ 也成为了光反应的必要底物。光反应和暗反应好比自行车的前后轮,而ATP、NADPH消耗和生成的过程则好比两个车轮之间的关键“链条”。

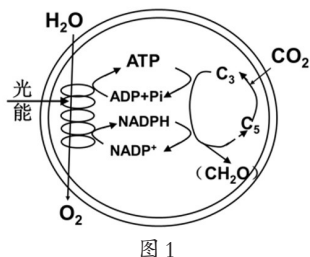


图1

【例1】图2是水生植物黑藻在光照等环境因素影响下光合速率变化的示意图。下列有关叙述错误的是()

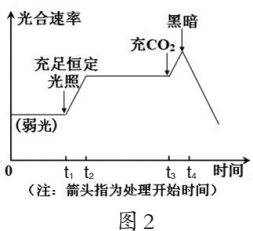


图2

- A. $t_1 \rightarrow t_2$, 叶绿体类囊体膜上的色素吸收光能增加,且水光解加快、 O_2 释放增多。
- B. $t_2 \rightarrow t_3$, 暗反应限制光合作用,若在 t_2 时刻增加 CO_2 浓度,光合速率将再提高。
- C. $t_3 \rightarrow t_4$, 光照强度不变,光合速率提高是由于光反应速率不变、暗反应增强的结果。
- D. t_4 后短时间内,叶绿体中ADP、 P_i 和 C_3 的含量升高, C_5 的含量降低。

【分析】 $0 \rightarrow t_1$,前后轮速度都很慢; $t_1 \rightarrow t_2$,提高光照强度后,“自行车”的速度有所提升,说明 $0 \rightarrow t_1$ 条件下, CO_2 浓度相对于光照强度而言,并非“自行车速度”的限制因素。即后轮本可以跑得更快,但受限于光强过弱导致的前轮速度有限,因“链条”(ATP和NADPH不足)导致后轮快不起来。 $t_2 \rightarrow t_3$,充 CO_2 ,“自行车”的速度有所提升,说明 t_1 提高光照强度后, $t_2 \rightarrow t_3$ 段 CO_2 浓度成为了限制因素。光照强度较强,前轮本可以跑得更快,但受限于 CO_2 浓度过低导致的后轮速度有限,“自行车”速度受限。简而言之, $t_1 \rightarrow t_2$,经历了前轮和后轮先后松绑的过程,自行车速度有所提升。但 t_4 后,突然停止光照,前轮突停,ATP和NADPH生成不足,又会牵累后轮, C_3 转化为 C_5 的过程减弱。C选项的错误很典型。 $t_3 \rightarrow t_4$ 段,虽然光强这个外因未变,但此前受后轮的牵累,前轮的潜能一直未能得到发挥。 $t_3 \rightarrow t_4$ 暗反应增强的同时,实现了光反应速率的增强,整体“自行车”的速率才会呈现增强。本题答案:C。

二、“胞间 CO_2 浓度”和“净光合速率”究竟是何关系

CO_2 作为光合作用的原料,胞间 CO_2 浓度与净光合速率通常呈正相关,这一点比较容易理解。那么,是否存在二者呈负相关的情况呢?

【例2】三倍体西瓜由于含糖量高且无籽,备受人们青睐。图3是三倍体西瓜叶片净光合速率(以 CO_2 吸收速率表示)与胞间 CO_2 浓度(Ci)的日变化曲线,以下分析正确的是()

A. 与11:00时相比,13:00时叶绿体中合成 C_3 的速率相对较高。

B. 14:00后叶片的 P_n 下降,导致植株积累有机物的量开始减少。

C. 17:00后叶片的 Ci 快速上升,导致叶片暗反应速率远高于光反应速率。

D. 叶片的 P_n 先后两次下降,主要限制因素分别是 CO_2 浓度和光照强度。

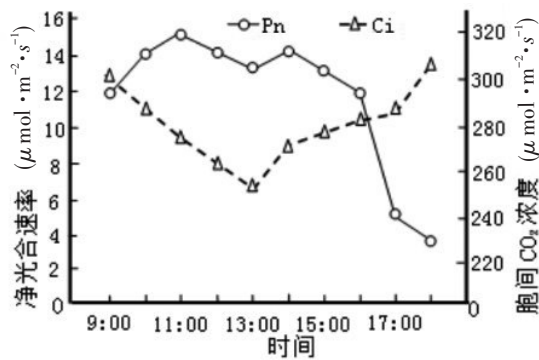


图3

【分析】11:00-14:00是“午休”现象,中午光强大、温度高,植物为减少蒸腾作用而关闭气孔,导致 CO_2 供应不足,净光合速率下降;随着气孔慢慢打开, CO_2 供应稍好,净光合速率提升。此时段,胞间 CO_2 浓度变化是因,净光合速率变化为果。不同的是,9:00-11:00和14:00之后,光合速率和胞间 CO_2 浓度之间呈负相关。这种负相关的出现是因为该时段净光合速率的主要影响因素为光照强度。以9:00-11:00为例,净光合速率随光照强度增加而增高,从而导致胞间 CO_2 浓度降低。也即,胞间 CO_2 浓度降低是光合速率增高导致胞间 CO_2 消耗过快的结果。显然,此时段光合速率变化是因,胞间 CO_2 浓度变化是果。B选项, P_n 下降代表净光合速率下降,即积累有机物的速率下降,但只要速率大于0,积累有机物的量仍然在上升。C选项,自行车前后轮的速率永远一致。17:00后, P_n 下降代表光反应速率和暗反应速率均下降,进而导致 Ci 升高。本题答案:D。

三、如何综合分析光合速率的影响因素

上述内容分析了 CO_2 对光合速率的影响。另外,光照主要通过光照强度和光的波长影响光合速率。温度可通过影响酶的活性影响光合速率,同时也可以通过综合影响光合速率和呼吸速率影响光合产物的积累。无机盐可以通过影响ATP、NADPH、光合色素、酶等物质和类囊体等膜结构影响光合作用。

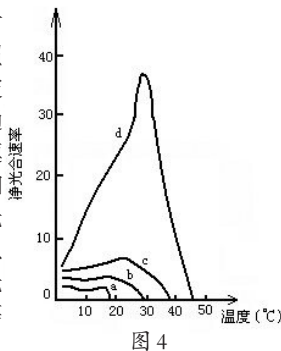


图4

【例3】科学家通过一些实验,获得了小麦在大田中的相关的实验数据,并将这些数据绘制成图4。

曲线a:光照非常弱, CO_2 浓度最低(远小于0.03%);
曲线b:适当遮荫(相当于全光照的1/25), CO_2 浓度为0.03%;

曲线c:全光照(晴天不遮荫), CO_2 浓度为0.03%;

曲线d:全光照, CO_2 浓度为1.22%

请据图回答。

(1)本实验的自变量是_____

(2)本实验确定的最有利于小麦生长的条件为_____

(3)某同学推测“图中净光合速率下降的原因是温度升高破坏了光合作用相关酶的活性”,请评价该推测。

【分析】本题中多因素对净光合速率的综合影响为知识考点。此情境下,自变量有三个:光照强度、温度和 CO_2 浓度。“生长”最佳意味着净光合速率最大,题图中对应的是全光照, CO_2 浓度为1.22%和30℃条件,此条件下最有利于生长。某同学的推测不正确。净光合速率是总光合速率与呼吸速率的差值。以曲线a条件下的植物为例,光合作用相关酶的结构在20℃前不可能被破坏而活性降低。净光合速率下降的原因可能是因其光照强度和 CO_2 浓度条件不佳,限制了光合作用的进行,呼吸速率随温度升高的增加值大于光合速率的增加值。

四、光合产物的去向如何

高中生物学中光合作用的学习往往更侧重于微观水平,但个体水平的光合作用意义的探讨同样不容忽视。植物往往只有绿色器官才能进行光合作用,但产物需供给整个个体的生长发育,会涉及不同器官的分配问题。

【例4】植物叶片光合作用制造的有机物可运输到其他器官利用或储存,为研究棉花去棉铃(果实)后对叶片光合作用的影响,研究者选取至少具有10个棉铃的植株,去除不同比例棉铃,3天后测定叶片的 CO_2 固定速率以及蔗糖和淀粉含量(结果如图5)。请尝试解释 CO_2 固定速率与叶片光合产物含量呈负相关的原因。

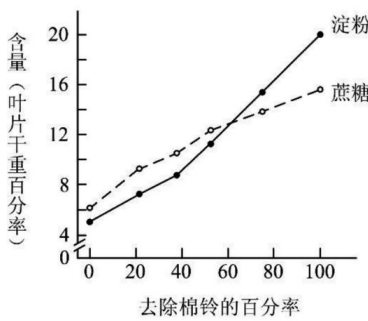
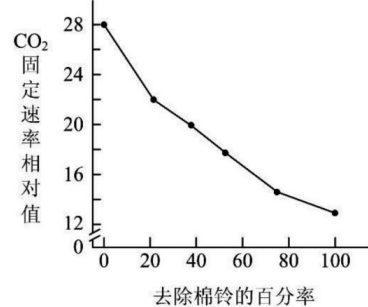


图5

【分析】受“胞间 CO_2 浓度”和“净光合速率”关系探讨的启发,尝试对“ CO_2 固定速率与光合产物含量呈负相关”这一看似反常的现象作出解释。叶片中光合产物的积累是因, CO_2 固定速率下降是果。继续追问,为什么随着去除棉铃比例的增大叶片光合产物的积累会增加呢?因为叶片制造的有机物除了供给自己,更多的要输出给其他器官。即,此情境中,棉花处在生殖生长期,叶片是“源”,生殖器官“棉铃(果实)”是“库”。 CO_2 固定速率与叶片光合产物含量呈负相关的原因是:随着果实的去除,叶片光合产物的输出量减小,叶片光合产物含量升高,抑制了叶片的光合作用, CO_2 固定速率降低。

以此类推,在植物的营养生长期,叶片制造的有机物会更多地运输给根、茎等营养器官。分配情况的变化,可以通过测量各器官的干重变化来确认。总之,于植物本身而言,光合作用的意义在于将光能转化为有机物中的稳定化学能,满足生命活动所需。植物体在不同的生命阶段,“智慧”地调配光合产物,将更好地实现个体的生长发育和种群繁衍。