

指向科学探究素养测评的高考生物学试题探析

郭学恒^{1,*} 李东海² (1 教育部考试中心 北京 100084; 2 国家开放大学 北京 100039)

摘 要 彰显生物学科特质的科学探究素养是中学生物学教学培育、高校区分选才、高考生物学考查的目标。本文深度剖析高考试题典例,解析科学探究素养考查的命题意涵,明确高考考查科学探究素养的维度。

关键词 科学探究 素养测评 高考生物学

科学探究是生物学学科核心素养重要元素,体现了生物学科实验科学的鲜明底色,是高考考查的重要目标,也是科学工作的核心和基本范式、学习科学的有效途径^[1]。科学探究的亲历体验过程有助于学生深入理解核心概念,有助于提高创新意识。对科学探究素养表现的测评可作为高校人才选拔的重要依据,也是高考考查实验探究关键能力的切入点。高考全国卷生物学试题凸显素养导向,彰显学科特色,发挥育人功能,强化能力考查^[2-4]。对科学探究素养的考查有助于学生科学探究素养的发展,助力学生适应时代变革和支撑其长远关键能力发展的培育。

1 由果溯因,支撑结论的依据充分性

例 1 (2019 年高考理科综合全国 I 卷第 29 题) 将生长在水分正常土壤中的某植物通过减少浇水进行干旱处理,该植物根细胞中溶质浓度增大,叶片中的脱落酸(ABA)含量增高,叶片气孔开度减小。回答下列问题。

(1) 经干旱处理后,该植物根细胞的吸水能力_____。

(2) 与干旱处理前相比,干旱处理后该植物的光合速率会_____,出现这种变化的主要原因是_____。

(3) 有研究表明:干旱条件下气孔开度减小不是由缺水直接引起的,而是由 ABA 引起的。请以该种植物的 ABA 缺失突变体(不能合成 ABA)植株为材料,设计实验来验证这一结论。要求简要写出实验思路和预期结果。

评析: 本题要求考生设计实验验证植物在干旱逆境条件下导致气孔关闭的直接因素是 ABA 而非缺水。考虑考生当前的认知水平,为避免因考生不熟悉突变体的应用而未能顺利作答,试题给出 ABA 缺失突变体作为实验材料。试题多处表述为考生顺利作答设置提醒,如“叶片气孔开度减小”即暗含实验方案中的检测指标可为气孔开度。根据题目要求确认干旱条件下 ABA 是引起气孔开度减小的直接因素,即在干旱条件下植物中的 ABA 直接引起气孔开度减小;无 ABA 时气孔开度不会减小,若补充 ABA 可使气孔开度减小。ABA 是此问题的单一变量,对照组和实验组的差别在

于是否有 ABA。简言之,分别在有无 ABA 的干旱条件下测定气孔开度变化即可,即表 1 中①和②。题目要求使用 ABA 缺失突变体(无 ABA)为实验材料,对 ABA 缺失突变体喷施 ABA 之后(相当于正常植株)即可得实验所需两组材料,即②和③。厘清这一验证思路可设计出实验方案,即对 ABA 缺失突变体喷施 ABA 之后气孔开度减小,对照组因缺乏 ABA 而其气孔开度不变。对缺失突变体补充相应缺失因子后可使突变体恢复相关机能,此类回复实验是验证基因功能的重要思路。该试题对缺失突变体的应用有助于激发考生思考,从多个角度制定解决问题的方案,对科学探究素养进行有效测量。

表 1 气孔开度影响因素验证实验

编号	植株	条件	ABA	检测指标	预期结果
①	正常		-	气孔开度	变小
②	ABA 缺失突变体	干旱	-		不变
③	ABA 缺失突变体		+		变小

2 控制变量,检测方法的简约可行性

例 2 (2019 年高考理科综合全国 III 卷第 29 题) 氮元素是植物生长的必需元素,合理施用氮肥可提高农作物的产量。回答下列问题。

(1) 植物细胞内,在核糖体上合成的含氮有机物是_____,在细胞核中合成的含氮有机物是_____,叶绿体中含氮的光合色素是_____。

(2) 农作物吸收氮元素的主要形式有铵态氮(NH_4^+)和硝态氮(NO_3^-)。已知作物甲对同一种营养液(以硝酸铵为唯一氮源)中 NH_4^+ 和 NO_3^- 的吸收具有偏好性(NH_4^+ 和 NO_3^- 同时存在时,对一种离子的吸收量大于另一种)。请设计实验对这种偏好性进行验证,要求简要写出实验思路、预期结果和结论。

评析: 氮元素是植物生长所必需的矿物元素,是施用化肥常含有的元素,合理施肥可提高产量、降低成本、保持水土。本题探究农作物偏好吸收的氮元素主要形式。根据题目所述偏好性的含义,两种含氮离子 NH_4^+ 和 NO_3^- 同时存在时该种农作物对其中一种离子的吸收量大于另一种。为了比较这两种离子的吸收

量,应保持两种离子的初始浓度一致。为了降低作答难度,避免因初始浓度有差异而造成后续结果分析的困难,试题给出以 NH_4NO_3 作为唯一氮源进行实验,保证培养液中 NH_4^+ 和 NO_3^- 初始浓度一致。据此可将该种农作物置于 NH_4NO_3 作为唯一氮源的培养液中进行培养,一段时间后检测该种农作物对两种离子的吸收量。植物吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 后会转化为其他分子,且植物体内有多种含氮分子;若要吸收的 NH_4^+ 、 NO_3^- 和植物体内原有的氮元素加以区分会较为复杂和困难,由此引导考生思考简单可行的实验方案。例如,可检测培养液中两种离子的剩余量,余量低的离子即为该种农作物偏好吸收的形式(表2)。此种方案显著易于前者,且操作简便。

另外,对离子吸收偏好性还可检测培养液 pH 变化以达成验证目的。由于植物细胞内总电荷数需维持相对平衡,当植物细胞吸收某种离子时伴随着带同种电荷及相同电荷数离子的排出,或伴随着带相反电荷及相同电荷数离子的吸收。植物选择性吸收 NH_4^+ 时,伴随着 H^+ 的排出或 Cl^- 等阴离子的吸收,土壤溶液(或培养液) H^+ 浓度升高、pH 下降;植物选择性吸收 NO_3^- 时,伴随着 H^+ 的吸收或 HCO_3^- 等阴离子的排出,土壤溶液(或培养液) H^+ 浓度下降、pH 升高。用 NH_4NO_3 作为唯一氮源的培养液培养该种农作物,一段时间后检测溶液 pH 变化,即可确定其偏好性。若溶液 pH 下降,则植物排出较多 H^+ ,偏好吸收铵态氮(NH_4^+);若溶液 pH 升高,则植物吸收较多 H^+ ,植物偏好吸收硝态氮(NO_3^-)(表2)。相对于检测溶液中 NH_4^+ 和 NO_3^- ,溶液 pH 检测更简便易行。

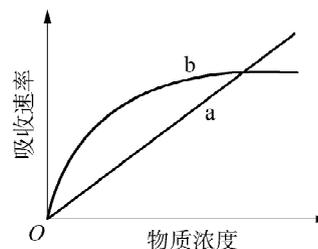
表2 含氮离子偏好性实验分析

检测参数	预期结果	结论
培养液离子余量	$c(\text{NH}_4^+) > c(\text{NO}_3^-)$	偏好吸收 NO_3^-
	$c(\text{NH}_4^+) < c(\text{NO}_3^-)$	偏好吸收 NH_4^+
培养液 pH	pH 升高	偏好吸收 NO_3^-
	pH 降低	偏好吸收 NH_4^+

3 思索周全 事象归因的多重可能性

例3 (2019年高考理科综合全国IV卷第27题) 在适宜条件下,测得的某植物根细胞对 a、b 两种物质的吸收速率与外界溶液中这两种物质浓度的关系如图所示(a、b 两条曲线分别代表植物根细胞对不同浓度 a、b 两种物质的吸收速率)。回答下列问题。

(1) 根据实验结果发现 a 是通过自由扩散方式跨膜运输的。自由扩散的含义是_____。



(2) 实验结果表明:当外界溶液中 b 的浓度达到一定数值时,再增加 b 的浓度,根细胞对 b 的吸收速率不再增加。可能的原因是_____。

(3) 王同学据图认为 b 的跨膜运输方式是主动运输,李同学则认为是协助扩散。请设计实验确定王同学的判断是否正确。要求简要写出实验思路、预期结果和结论。

评析:植物细胞物质跨膜运输方式根据是否消耗能量分为不消耗能量的被动运输和能量偶联的主动运输两类。自由扩散(简单扩散)是一些非极性小分子(如 O_2 、 CO_2) 顺着跨膜电化学势梯度直接穿过细胞膜,运输方向是由电化学势梯度决定的,不需要载体协助,不消耗能量。协助扩散是离子或分子通过跨膜运输蛋白的协助进行跨膜转运,不直接消耗能量。主动运输是离子或分子与消耗水解 ATP 的能量相偶联,需要运输蛋白进行转运,逆电化学势梯度。

根据跨膜运输方式的特点可知,植物细胞经自由扩散方式吸收物质的吸收速率主要影响因素是物质浓度,外界物质浓度越高,吸收速率越大,两者呈线性正相关关系,如图中曲线 a。协助扩散和主动运输的共同之处在于均需要运输蛋白。经运输蛋白转运的离子或分子需要与运输蛋白结合后进行,因而运输速率受运输蛋白量的影响。当物质浓度较低时,运输蛋白未被饱和,吸收速率的限制因子是物质浓度,运输速率随物质浓度的增加而增大;当物质浓度较高使所有运输蛋白达到饱和状态时,吸收速率的限制因子是运输蛋白数量,即使物质浓度增加,吸收速率不再增加,达到吸收速率饱和状态,如图中曲线 b。即运输蛋白介导的物质吸收具有饱和效应的特征。

由此可知,曲线 b 表示运输蛋白介导的物质运输,可能是协助扩散、可能是主动运输。进一步确定曲线 b 所代表的物质运输方式,即区分协助扩散和主动运输。两者的主要区别在于是否需要能量。限制能量供应时,若物质吸收速率受影响而下降,说明曲线 b 表示主动运输;若物质吸收速率不受影响,说明曲线 b 表示协助扩散。

此处解决问题的关键在于识别曲线 b 所代表运输方式的多重可能性及其主要区别。题目通过两位同学的假设告之两种可能的运输方式,仅要求设计实验加

以区分。实验设计的关键在于找准限制因子、选取可行的检测方法。选择是否需要能量而未选择电化学势浓度梯度方向,是由于后者不便于检测。

4 重构思绪,巧用图表的直观自明性

例4 (2019年高考理科综合全国II卷第31题) 回答下列与生态系统相关的问题。

(1) 在森林生态系统中,生产者的能量来自于_____,生产者的能量可以直接流向_____ (答出2点即可)。

(2) 通常,对于一个水生生态系统来说,可根据水体中含氧量的变化计算出生态系统中浮游植物的总初级生产量(生产者所制造的有机物总量)。若要测定某一水生生态系统中浮游植物的总初级生产量,可在该水生生态系统中的某一水深处取水样,将水样分成三等份,一份直接测定O₂含量(A);另两份分别装入不透光(甲)和透光(乙)的两个玻璃瓶中,密闭后放回取样处,若干小时后测定甲瓶中的O₂含量(B)和乙瓶中的O₂含量(C)。据此回答下列问题。

在甲、乙瓶中生产者呼吸作用相同且瓶中只有生产者的条件下,本实验中C与A的差值表示这段时间内_____ ; C与B的差值表示这段时间内_____ ; A与B的差值表示这段时间内_____。

评析: 能量流动是生态系统的基本功能,是驱动物质循环和信息传递的动力。生态系统的能量源于生产者固定的能量,主要是通过光合作用将太阳能转化而贮存的化学能。能量流动的主要特征是单向流动、逐级递减,始于生产者固定的能量可因植食性动物取食而流向初级消费者,可供生产者自身生命活动的运行,可被分解者分散,还可耗散于环境中。

与生产者相关的能量流动途径有5个,1个流入源,4个流出向。

总初级生产量(GP)是指生产者所固定的所有能量总和,包括可用于生产者生长和生殖的净初级生产量(NP)和生产者呼吸所消耗的能量(R),其关系是:

$$GP = NP + R$$

初级生产量的测定方法较多,其中氧气测定法(黑白瓶法)多用于水生生态系统。植物进行光合作用光解H₂O产生O₂,进行呼吸作用消耗O₂,可通过测定O₂的量以衡量该生态系统的初级生产量。题目所述实验操作即采用黑白瓶法测定水生生态系统的初级生产量(图1)。A为初始水样中的O₂含量,是基准。不透光瓶因缺乏光照不能进行光合作用,没有生产者产生O₂

而只有呼吸作用消耗O₂,因此B为这段时间内呼吸量消耗O₂后的剩余量。透光瓶中生产者既进行光合作用产生O₂,又通过自身呼吸代谢消耗O₂,因此C表示这段时间内生产者经过光合贮存和呼吸消耗后积累所达的O₂量。

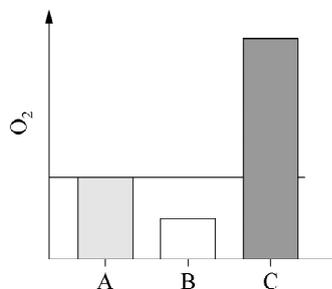


图1 氧气测定法测定初级生产量

由此可知,A-B表示该段时间内生产者呼吸作用耗氧量,即呼吸量(R);C-A表示该段时间内生产者净光合作用的放氧量,即净初级生产量(NP);C-B表示生产者总光合作用的放氧量,即总初级生产量(GP)。由

$$NP + R = (C - A) + (A - B) = C - B = GP$$

本题关键在于明确所测数据表示该状态下O₂余量,数值之差有意义;光是光合作用的必要条件;生产者在进行光合作用释放O₂的同时进行呼吸作用消耗O₂,呼吸作用产生能量是维持生命活动进行的必要条件。

据高考考后调研情况,考生对C与B差值的判定较为困难,说明对相关概念的理解不够深入,或许可简要作图助于明晰思路。

(基金项目:全国教育科学规划单位资助教育部规划课题“基于核心素养的高考内容改革研究”,No.FBB160606; * 通信作者)

主要参考文献

[1] 杨 铭,刘恩山.生物学核心素养视角下的科学探究[J].生物学通报,2017,52(9): 11-14.
 [2] 教育部考试中心.关注对生命过程的深度思考服务高考选拔功能——2017年高考生物试题评析[J].中国考试,2017(7): 27-31.
 [3] 教育部考试中心.科学设计试题 助力素质教育——2018年高考生物试题评析[J].中国考试,2018(7): 29-35.
 [4] 教育部考试中心.彰显学科特质 发挥育人功能——2019年高考生物试题评析[J].中国考试,2019(7): 25-28.◆