

巧用数学思想 破解细胞呼吸题型

阮海侠

(陕西省延安市延安中学)

高中生物学涉及的模型与建模、归纳与概括等思想并不是生物学独有的思维形式,与数学学科数形结合思想、分类讨论思想、转化思想具有密切的联系。在生物教学中以数学思想方法来解决生物学的数学模型,不仅能培养学生的生物学学科核心素养,还能提高学生的学科交叉能力。笔者以普通高中生物学教科书必修1《分子与细胞》第5章第3节练习与应用第2小题及部分高考真题为例,说明数学思想在生物学上的应用。

1 数学思想例析

图1表示某种植株的非绿色器官在不同氧气浓度下, O_2 的吸收量和 CO_2 的释放量的变化。下列叙述正确的是 (C)

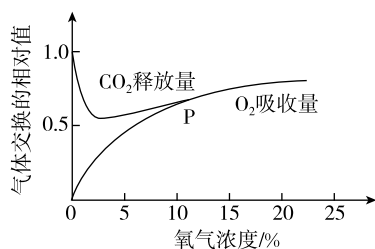


图1

- A. 氧气浓度为0时,该器官不进行呼吸作用
- B. 氧气浓度在10%以下时,该器官只进行无氧呼吸
- C. 氧气浓度在10%以上时,该器官只进行有氧呼吸
- D. 保存该器官时,氧气浓度越低越好

1.1 数学转化思想的应用

转化思想是指一种研究对象在一定条件下转

化为另一种研究对象的思维方式。以葡萄糖为底物的有氧呼吸中各物质的量比例关系为 $C_6H_{12}O_6 : O_2 : CO_2 = 1 : 6 : 6$,即 O_2 消耗量= CO_2 生成量。利用数学转化思想,将图中 O_2 的吸收量转化为有氧呼吸 CO_2 的释放量,并以“为什么 CO_2 释放量比有氧呼吸 CO_2 释放量多?”启发学生思考,引导学生理解在氧浓度为0%~10%之间细胞既进行了有氧呼吸又进行了无氧呼吸,且无氧呼吸产物为酒精和 CO_2 。在此基础上还可以要求学生在该数学模型图中利用数学思想如尺规作图法、描点法绘制出无氧呼吸所产 CO_2 量随氧气浓度变化的曲线。该数学方法的运用可以提升学生的思维水平,还可以让学生在已知细胞呼吸 CO_2 释放总量、有氧呼吸 CO_2 释放量、无氧呼吸 CO_2 释放量中任意两条曲线,要求学生画出第三条曲线。

1.2 数形结合思想的应用

数形结合作为一种数学思想方法,其应用可分为两种情形:借助于数的精确性来阐明形的某些属性,或者借助形的直观性来阐明数之间的某种关系。利用该思想能够让学生直观地看到氧气浓度变化与有氧呼吸 O_2 的吸收量、 CO_2 释放量的关系,并尝试让学生用语言描述出曲线的变化。在问题“为什么有氧呼吸 O_2 的吸收量不会随着氧气浓度的增大一直增大?为什么 CO_2 释放量随氧气浓度的增大先降低后增加最后保持不变?”的引导下,启发学生深度思考,明确在氧气浓度0%~10%之间存在无氧呼吸,且无氧呼吸随着氧气浓度的增大在

逐渐减弱,直至消失。而有氧呼吸强度在一定的氧气浓度范围内随着氧气浓度的增大而增大,最终保持不变,此过程还受到酶的数量、温度等条件的制约。

1.3 数学分类讨论思想的应用

分类的思想是自然科学、社会科学研究中经常用到的,又叫作逻辑划分。不论从宏观上还是从微观上对研究对象进行分类,都是深化研究对象、发展科学必不可少的思想。通过正确的分类,可以使复杂的问题得到清晰、完整、严密的解答。利用数学分类讨论思想和数形结合思想,让学生总结出在不同氧气浓度下的细胞呼吸方式:当氧气浓度为0时,不消耗 O_2 ,但释放 CO_2 ,说明这一非绿色器官只进行产酒精的无氧呼吸;氧气浓度大于10%时, CO_2 释放量= O_2 吸收量,即 $CO_2/O_2=1$,说明该非绿色器官只进行有氧呼吸;氧气浓度在0%~10%之间, CO_2 释放量> O_2 吸收量,说明该非绿色器官进行有氧呼吸和产酒精的无氧呼吸。

1.4 数学假设思想的应用

假设法是通过对数学问题的一些数据做适当的改变,然后根据题目的数量关系实行计算和推理,再根据计算所得数据与原数据的差异实行修正和还原,最后使原问题得到解决的思想方法。将数学分类思想、数学转化思想、数学假设思想综合运用,氧气浓度在0%~10%之间有氧呼吸和无氧呼吸同时进行,此时 CO_2 释放量> O_2 吸收量,转化成数学比值即 $CO_2/O_2>1$ 。讨论有氧呼吸和无氧呼吸强度大小的比较:有氧呼吸强度和无氧呼吸强度相等时,根据有氧呼吸 $C_6H_{12}O_6:O_2:CO_2=1:6:6$,无氧呼吸 $C_6H_{12}O_6:CO_2:酒精=1:2:2$,有氧呼吸和无氧呼吸产生的 CO_2 总量的相对值为8, O_2 吸收量相对值为6,此时 $CO_2/O_2=4/3$;如果 $CO_2/O_2>4/3$,可利用数学的极限思维,让分子增大,分母不变即 CO_2 释放量增加, O_2 吸收量不变,

即有氧呼吸强度不变,无氧呼吸在不断增强,从而得出结论。当 $CO_2/O_2>4/3$ 时,无氧呼吸强度大于有氧呼吸强度;当 $1<CO_2/O_2<4/3$ 时,无氧呼吸强度小于有氧呼吸强度。

在数学思想的指引下得出的结论应用于此题,氧气浓度为0时,该器官可以进行无氧呼吸;氧气浓度在10%以下时,该器官进行有氧呼吸和无氧呼吸;氧气浓度在10%以上时,该器官只进行有氧呼吸;若有氧呼吸和无氧呼吸产生 CO_2 都来自葡萄糖,葡萄糖消耗最低对应的氧浓度才是保存该器官的最佳氧浓度,而不是氧气浓度越低越好。

2 数学思想在真题中的应用

例1.(2024年山东卷第16题)种皮会限制 O_2 进入种子。豌豆干种子吸水萌发实验中子叶耗氧量、乙醇脱氢酶活性与被氧化的NADH的关系如图2所示。已知无氧呼吸中,乙醇脱氢酶催化生成乙醇,与此同时NADH被氧化。下列说法正确的是 (ABD)

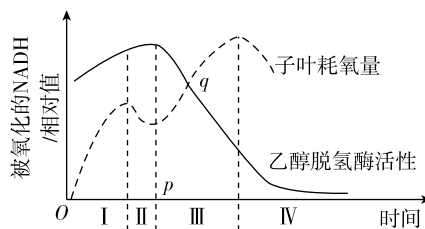


图2

- A. p 点为种皮被突破的时间点
- B. II 阶段种子内 O_2 浓度降低限制了有氧呼吸
- C. III 阶段种子无氧呼吸合成乙醇的速率逐渐增加
- D. q 处种子无氧呼吸比有氧呼吸分解的葡萄糖多

分析:利用数学转化思想和数形结合思想进行破题,将图中的子叶耗氧量看作是有氧呼吸速率的变化趋势,可以迅速得出有氧呼吸速率变化是先上升后下降再上升再下降,结合题中种皮会限制 O_2 进

入种子可以判断 p 点种皮被突破, O_2 进入种子导致子叶有氧呼吸增加, 从而也说明在 II 阶段种子内 O_2 浓度降低限制了有氧呼吸, 从而判断 A、B 项正确。将乙醇脱氢酶活性看作是无氧呼吸速率的变化趋势, III 阶段无氧呼吸速率下降, 即种子无氧呼吸合成乙醇速率下降, C 项错误。 q 点为有氧呼吸和无氧呼吸消耗 NADH 的交点, 而分解相同葡萄糖有氧呼吸生成 NADH 比无氧呼吸多, 因此 q 点无氧呼吸比有氧呼吸分解的葡萄糖多, D 项正确。

例 2. (2023 年山东卷第 17 题) 某种植株的非绿色器官在不同 O_2 浓度下, 单位时间内 O_2 吸收量和 CO_2 释放量的变化如图 3 所示。若细胞呼吸分解的有机物全部为葡萄糖, 下列说法正确的是

(BC)

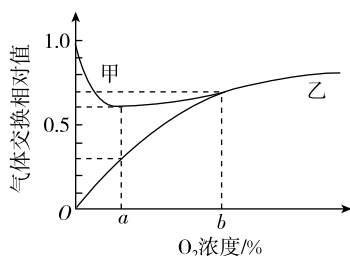


图 3

- A. 甲曲线表示 O_2 吸收量
- B. O_2 浓度为 b 时, 该器官不进行无氧呼吸
- C. O_2 浓度由 O 到 b 的过程中, 有氧呼吸消耗葡萄糖的速率逐渐增加
- D. O_2 浓度为 a 时最适合保存该器官, 该浓度下葡萄糖消耗速率最小

分析: 直接利用数学转化思想中的结论破题, 判断甲曲线表示 CO_2 释放量, 乙曲线表示 O_2 吸收量, A 项错误。图中 O_2 浓度为 $O \sim b$ 时 $CO_2/O_2 > 1$, 此时该器官既进行有氧呼吸又进行无氧呼吸, 但有氧呼吸速率逐渐增大; O_2 浓度为 b 时 $CO_2/O_2 = 1$, 只进行有氧呼吸, B、C 项正确。贮藏植物器官应选择葡萄糖消耗速率最小对应的 O_2 浓度, 而产生 CO_2 最少的点, 经计算后, 并不是葡萄糖消耗速率最小的点, D 项错误。

例 3. (2024 年贵州卷第 17 题) 农业生产中, 旱粮地低洼处易积水, 影响作物根细胞的呼吸作用。据研究, 某作物根细胞的呼吸作用与甲、乙两种酶相关, 水淹过程中其活性变化如图 4 所示。回答问题。

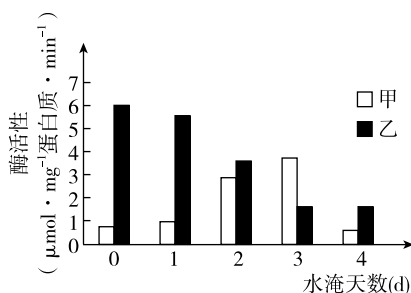


图 4

(1) 正常情况下, 作物根细胞的呼吸方式主要是有氧呼吸, 从物质和能量的角度分析, 其代谢特点有 _____; 参与有氧呼吸的酶是 _____ (填“甲”或“乙”)。

(2) 在水淹 0~3d 阶段, 影响呼吸作用强度的主要环境因素是 _____; 水淹第 3d 时, 经检测, 作物根的 CO_2 释放量为 $0.4 \mu mol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$, O_2 吸收量为 $0.2 \mu mol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$, 若不考虑乳酸发酵, 无氧呼吸强度是有氧呼吸强度的 _____ 倍。

(3) 若水淹 3d 后排水, 植株长势可在一定程度上得到恢复, 从代谢角度分析, 原因是 _____ (答出 2 点即可)。

分析: 本题主要利用数形结合的思想, 结合题意进行破题。(1) 正常情况下(水淹 0 天), 作物根细胞的呼吸方式主要是有氧呼吸, 特点是根细胞在有氧气条件将葡萄糖彻底氧化分解, 产生能量。根据自变量水淹天数可判断乙是有氧呼吸有关的酶, 甲是无氧呼吸有关的酶, 利用转化思想将乙看作有氧呼吸速率, 将甲看作无氧呼吸速率, 从而得出随水淹天数的增加, 有氧呼吸速率逐渐下降, 无氧呼吸速率先上升后下降。(2) 在水淹 0~3d 阶段, 随着水淹天数的增加, 氧气含量减少, 有氧呼吸减弱,

无氧呼吸增强,说明影响呼吸速率的因素为 O_2 的含量。根据有氧呼吸中各物质的量的比例关系 $C_6H_{12}O_6 : O_2 : CO_2 = 1 : 6 : 6$,说明有氧呼吸 CO_2 释放量为 $0.2 \mu mol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,无氧呼吸和有氧呼吸产生的 CO_2 速率相同,可直接利用结论:当无氧呼吸和有氧呼吸速率相同时,无氧呼吸强度是有氧呼吸强度的 3 倍。(3)随水淹天数增加,有氧呼吸速率下降,无氧呼吸产生的酒精对细胞有毒害作用。若水淹 3d 后排水,从代谢角度来说,一方面排水后氧气含量上升,有氧呼吸增强,产生的能量增多;另一方面,缓解了酒精的毒害作用。

数学思维在高中生物学中的应用非常的广泛,如研究种群数量的增长需要利用数学模型建构思想和函数思想理解 J 形和 S 形曲线之间的关系和

特征;研究种群、群落、生态系统的重要概念需要利用集合思想将其分门别类、直观表达概念之间的关系;研究细胞增殖过程中 DNA 分子数量和染色体数量的变化曲线需要利用图形转化思想构建曲线图,直观表示其在细胞分裂过程中的变化趋势;研究基因自由组合定律需要利用数学思想将复杂问题简单化等。在教学中教师要通过教材资料 and 情境,渗透和利用数学思想来解决生物学问题。通过数学思想的引入,可以帮助学生更好地理解生物学现象的本质和规律,快速解决生物学问题,提高学生的解题能力和解题速度。这种跨学科的教学方式也有助于学生综合能力和创新能力的提高,发展学生的生物学学科核心素养。7

可合成辅酶 Q_{10} 的水稻新种质研制成功

2025 年 2 月 14 日,中国科学院院士、分子植物科学卓越创新中心研究员陈晓亚团队,联合遗传与发育生物学研究所研究员高彩霞团队等,在《细胞》(Cell)上在线发表了题为《基于植物进化的辅酶 Q_{10} 性状设计》(Design of Co Q_{10} crops based on evolutionary history)的研究论文。

该研究通过剖析辅酶 Q 在陆生植物中的演化轨迹与关键酶自然变异,解析了植物辅酶 Q 侧链长度控制的分子机制,并利用引导编辑技术改变水稻基因组 Coq1 酶的 5 个氨基酸,创制了合成辅酶 Q_{10} 的水稻新种质,同时使小麦编辑取得了重要进展。

辅酶 Q_{10} 与人体健康尤其是心脏健康相关。辅酶 Q_{10} 是线粒体呼吸链的电子传递体,也是脂

溶性抗氧化剂。人体自身可以合成辅酶 Q_{10} ,而水稻等谷物以及一些蔬菜和水果主要合成辅酶 Q_9 。创制辅酶 Q_{10} 作物、提高植物食品中辅酶 Q_{10} 的含量,是性价比高且环境友好的营养强化新方法。

要精准改造农作物性状,创造高营养品质,需要精确锚定性状形成的关键因子。该研究确定了决定链长的 5 个氨基酸位点并通过精准编辑,创制了主要合成辅酶 Q_{10} 的水稻。该水稻的叶片和籽粒中辅酶 Q_{10} 占总辅酶 Q 的 75%,籽粒中辅酶 Q_{10} 达 $5 \mu g/g$,且对水稻产量没有影响。 Q_{10} 水稻的研制成功有望丰富辅酶 Q_{10} 的食物来源,并为大数据和 AI 辅助育种提供范例。

摘编自网络,有删减