

【学科视点】

科学思维的内涵及发展路径

苏明学 张红艳

【摘要】参考相关文献,对《普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)》所列举的科学思维方法进行梳理,以厘清科学思维的方法与形式之间的区别,把握其内在关联。聚焦科学思维的特点,提出课堂教学发展科学思维、提高思维品质的基本路径。

【关键词】科学思维;思维形式;思维方法;思维品质;发展路径

学科核心素养的培养是教师开展课堂教学的总目标,对其构成要素及相互关系的理解,支配着教师的课堂教学行为,进而决定着学科核心素养能否真正落地。在生物学概念的基础上形成生命观念,以及运用生命观念分析生命现象、探究生命活动规律、解决实际问题,均依赖于科学思维。针对特定的生物学现象提出问题、作出假设,设计方案、预期结果,分析数据、得出结论等科学探究过程无不依赖科学思维。基于生物学的认识,参与个人与社会事务的讨论、作出理性解释和判断及解决生产生活问题的担当和能力均源自科学思维。因此,科学思维是学科核心素养的“核心”。然而,广大一线教师对于科学思维的内涵普遍感到抽象难懂。本文旨在厘清科学思维的方法及品质、科学思维的形式及特点,以及科学思维的方法与形式之间的关系,从而为发展科学思维提供清晰的路径。

一、科学思维的内涵

(一)科学思维的方法及品质

科学思维是指尊重事实和证据,崇尚严谨和务实的求知态度,运用科学的思维方法认识事物、解决实际问题的思维习惯和能力。学生应该在学习过程中逐步发展科学思维,如能够基于生物学事实和证据运用归纳与概括、演绎与推理、模型与建模、批判性思维、创造性思维等方法,探讨、阐释生命现象及规律,审视或论证生物学社会议题^[1]。推理作为科学思维的运行方式,有归纳与演绎两条基本路径,因此将归纳与演绎并列更为恰当。运用模型解释生命现象,属于从一般到个别的演绎推理过程,而建立模型则需要分析与综合、抽象与概括等思维活动参与才能实现。因此,可以将“模型与建模”归入科学思维的形式,如概念(包括模型)、推理、论证、判断等,而将科学思维的方法按其内涵和逻辑关系重新梳理

为比较与分类、抽象与概括、分析与综合、归纳与演绎等常规的逻辑思维,以及批判性思维和创造性思维。批判性思维主要是指运用逻辑思维去辨别自己 and 他人思维中的谬误,主要强调对既有思维过程进行的批判性、审辨性思考^[2]。创造性思维既是发散思维与辐合思维的统一,又是分析思维与直觉思维的统一^[3]。

发展科学思维,不仅要让学生掌握科学思维的方法,更在于提升思维的品质。结合生物学自身特点,课堂教学应聚焦以下思维品质的训练。

(1)深刻性。深层次解释,即从分子与细胞水平解释个体、群体水平的生命现象;透过现象、洞察本质,通过“抽象与概括”揭示概念内涵,并按照内在逻辑关系构建概念体系。

(2)全面性。多角度分析,即从生命观念的多个视角,汇集多方证据,通过“分析与综合”运用概念,通过推理和论证对复杂生命现象作出科学解释。

(3)严谨性。基于实证、运用逻辑,强调因果关系和时序关系,不遗漏逻辑链条上的关键环节,确保思维畅通无阻。

(4)批判性。现有观点或结论是否有证据的支持?证据是否可靠、充分?从证据到结论的推理是否严谨密?对证据是否还有其他的解释?

(5)创新性。提出富有研究价值的问题,构思假设并设计方案;提出新颖、独特且富有意义的观点或想法。

(二)科学思维的形式及特点

科学思维不仅是一种态度、习惯和能力,而且也是一种基于事实证据、运用科学概念、通过科学推理和论证对客观事物的本质、规律及其相互关系作出判断和解释、对客观事物的发展变化作出预测的认识方式。因此,概念、推理、论证、判断等均为科学思

维的形式。各种思维形式并非独立运行,每一种思维形式又需要运用不同的思维方法。

概念既是思维的形式,又是思维的结晶。因为判断和推理往往运用概念才能进行,而概念主要通过抽象与概括形成。推理包括归纳和演绎2种方式。其中,归纳推理包括简单枚举归纳法、因果推理和类比推理;演绎推理主要以“三段论”的形式进行。“假说—演绎”的科学方法实际上包括归纳和演绎双向思维运动。基于事实,通过想象建立假说的思维运动称为归纳性发现(简称归纳);而基于假设,走向展现、应用和检验的思维运动则称为演绎性证明(简称演绎)^[4]。思维必须始于具体观察而又终于具体观察,才是完整的思维^[4]。推理的目的在于得出一个合理的判断,但仅靠推理只能使得出的判断合乎逻辑,并不能保证它符合客观实际,验证判断的真实性还要靠论证。科学论证是科学实践的核心,它以理性思维为基础,在证据与结论之间通过构建合理的逻辑使结论被接受^[5]。因此,论证过程同样需要归纳与演绎等思维活动的参与。通过厘清科学思维的方法与形式之间的区别,把握二者之间的内在关联,就能够在课堂教学中以科学思维的形式带动科学思维方法的训练和获得。

概念、推理、论证、判断等思维形式均要在事实证据的基础上,通过严密的逻辑才能运行,由此体现出科学思维的主要特点在于实证和逻辑,正如《美国国家科学教育标准》所描述,科学是格物致知的一种路径,其基本特点是以实证为判别尺度,以逻辑作论辩的武器,以怀疑作审视的出发点。

二、科学思维的发展路径

既然明确了科学思维的方法与品质科维的形式与特点,那么生物学教学应该如何发展学生的科学思维?唯有聚焦科学思维的特点——实证、逻辑与质疑,以概念、推理、论证、判断等思维形式,带动思维方法的学习和思维品质的提高,才是切实有效的途径。

(一)在概念构建中发展科学思维

生物学家通常并不建立定律,而是将其概括组织成概念结构(体系),生物科学的进展大多是这些概念或原则发展的结果^[6]。抽象与概括是形成生物学概念的主要思维方法,高中生物学10个大概念均是在生物学事实、次位概念、重要概念的基础上通过抽象、概括形成的。思维的深刻性主要体现在概括水平和逻辑水平上,概念的概括水平和逻辑水平越高,其迁移能力和解释力越强,思维也就更加密和严谨。因此,生物学教学需要将概念构建与思维训练

融合在一起,使学生的思维融入概念的形成过程,使其深刻感受到逻辑的力量。例如,选择性必修1《稳态与调节》第5章“植物生命活动的调节”,其在《普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)》中的概念体系如下:

1.6 植物生命活动受到多种因素的调节,其中最重要的是植物激素的调节。

1.6.1 概述科学家经过不断的探索,发现了植物生长素,并揭示了它在调节植物生长时表现出两重性,既能促进生长,也能抑制生长。

1.6.2 举例说明几种主要植物激素的作用,这些激素可通过协同、拮抗等方式共同实现对植物生命活动的调节。

1.6.3 举例说明生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯等植物激素及其类似物在生产上得到了广泛应用。

1.6.4 概述其他因素参与植物生命活动的调节,如光、重力和温度等。

在实际教学中如何建立1.6这个重要概念?如何引导学生构建植物激素调节、环境因素调节与基因表达调控之间的关系?这需要教师从单元视角思考教学,按照认知逻辑,整体设计单元教学主干脉络。单元伊始,让学生观察“影响植物生长发育的环境因素”图片,引导其提出问题:植物体如何调节生命活动以适应环境条件变化?第1节追溯生长素的发现历程,重在提高科学探究能力,引导学生像科学家一样思考,从细胞与分子水平揭示生长素的作用机制,能够提高学生思维的深刻性,学会多层次解释生命现象;而对生长素“两重性”特点的追问,能够驱动学生探究生长素与乙烯等其他植物激素之间的关系。在学习第2节“其他植物激素”时,让学生观察人教版教材(2020年版)第97页,通过比较与分类,将5大类植物激素分成主要表现为相互拮抗的2组,而同组中的激素主要表现为协同关系。通过抽象与概括,发现5大类激素均是由植物体特定部位产生,然后运输到作用部位,通过与靶细胞上的受体结合,调节细胞代谢,进而引起细胞水平和器官水平的变化,最终建立起植物激素的概念(图1)。第3节通过“评述植物生长调节剂的应用案例”,旨在训练学生的批判性思维,领悟研究植物激素的社会价值。学习第4节“环境因素参与调节植物的生命活动”时,通过分析与综合,建立植物生长发育的整体调控网络(下一页图2),从而回应单元伊始提出的综合性问题。



图1 植物激素对靶细胞的调节作用

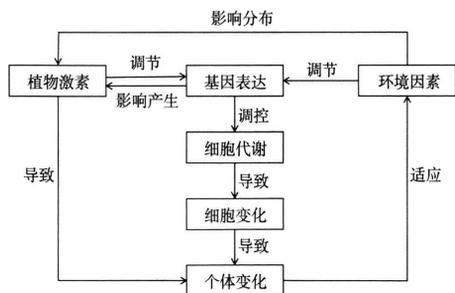


图2 植物生长发育的整体调控网络

(二) 在实验探究中发展科学思维

科学探究与科学思维相互依存、相互依赖。按照科学探究的一般过程分析二者之间的关系(表1)。因此,在科学探究中发展学生的科学思维是一条有效途径。

表1 科学探究与科学思维之间的关系

科学探究	科学思维
问题与假设	归纳推理、创造性思维
设计与预期	演绎推理、因果推理
结果与结论	因果推理、科学论证、判断
反思与讨论	批判性思维

1. 挖掘经典实验的教育价值

经典实验凝聚着科学家认识问题的视角、分析问题的方法、解决问题的策略等智慧,充分挖掘经典实验所蕴藏的丰富教育价值,使学生沿着科学家探索生命世界的道路,理解科学的本质、科学研究的思路和方法,促进科学思维的发展。下面以“促胰液素的发现”为例加以说明。

(1) 质疑与评价。沃泰默认为,这是一个十分顽固的反射,小肠上的神经难以切干净。是否同意沃泰默的观点?对实验结果是否还有其他解释?该问题旨在训练批判性思维,同时还能诊断学生的激素调节等初中生物学知识。

(2) 推理与论证。1902年,英国生理学家斯塔林和贝利斯作出了另一种假设:这不是反射而是化学调节——在盐酸的作用下,小肠黏膜可能产生了一种化学物质,这种物质进入血液,随血液循环到达胰腺,引起胰液的分泌。随后他们剪下一条狗的一段小肠→刮下黏膜→加入稀盐酸→研磨过滤→将提取液注射到同一条狗的静脉中→胰液大量分泌。实验结果是否支持假设?实验如何排除神经调节的干扰?是否还需要一个只注射稀盐酸的对照组?该问题聚焦科学思维的特点——证据与逻辑,驱动学生进行因果推理、演绎推理和科学论证以得出合理的判断,领悟排除无关变量的处理方法和对照原则的

灵活应用。

(3) 反思与讨论。是什么因素使斯塔林和贝利斯抓住了成功的机遇?提供反思支架,引导学生回溯和反思学习经历,促进知识、技能向学科核心素养过渡或升华。

2. 亲历获取事实的过程

学生实验可以分为验证性实验和探究性实验。事实上,验证也是一种探究,探究又是对假设的验证,二者是辩证统一的^[7]。人教版教材(2019年版)将学生实验称为“探究·实践”,意在凸显探究的性质和动手实践。多数教师虽然加强了实验方案的设计,尤其是对自变量的设置、无关变量的控制、因变量的检测等理论探讨,但是只有在实施方案的过程中,才会发现原来的“美好”设计有时并不可行,这需要引导学生反思、评估实验方案的科学性和可行性,加以修改完善,再付诸实践来检验,从而不断增强学生的批判性思维和实验探究能力。

(三) 在问题解决中发展科学思维

学生解答等级考试试题实际上是一个认识问题、分析问题和解决问题的过程。其中,生命观念是问题解决的向导,必备知识和探究技能是问题解决的保障,而科学思维则是高质量完成问题解决的保障。下面选取1道等级考试题,重在分析科学思维的考查方式、考查核心以及科学思维在问题解决中的关键作用。

北京市2022年普通高中学业水平等级性考试第17题:干旱可诱导植物体内脱落酸(ABA)增加,以减少失水,但干旱促进ABA合成的机制尚不明确。研究者发现一种分泌型短肽(C)在此过程中起重要作用。

(1) C由其前体肽加工而成,该前体肽在内质网上的_____合成。

(2) 分别用微量($0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的C或ABA处理拟南芥根部后,检测叶片气孔开度,结果如图3所示。

据图3可知,C和ABA均能够_____,从而减少失水。

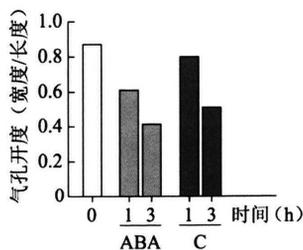


图3 试题附图

(3) 已知N是催化ABA生物合成的关键酶。研

研究表明 C 可能通过促进 N 基因表达,进而促进 ABA 合成。图 4 中支持这一结论的证据是,经干旱处理后_____。

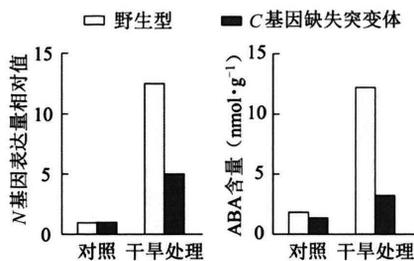


图 4 试题附图

(4) 实验表明,野生型植物经干旱处理后,C 在根中的表达远高于叶片;在根部外施加的 C 可运输到叶片中。因此设想,干旱下根合成 C 运输到叶片促进 N 基因的表达。为验证此设想,进行了如表 2 所示的嫁接实验,干旱处理后,检测接穗叶片中 C 含量,又检测了其中 N 基因的表达水平。以接穗与砧木均为野生型的植株经干旱处理后的 N 基因表达量为参照值,在表中填写假设成立时,与参照值相比 N 基因表达量的预期结果(用“远低于”“远高于”“相近”表示)。

表 2 嫁接实验

接穗	野生型	突变体	突变体
砧木	野生型	突变体	野生型
接穗叶片中 N 基因的表达量	参照值	_____	_____

注:突变体为 C 基因缺失突变体。

(5) 研究者认为 C 也属于植物激素,作出此判断的依据是这一新发现扩展了人们对植物激素化学本质的认识。

本题以探究干旱诱导 ABA 合成机制的科研素材为命题情境,侧重考查科学思维和科学探究。第(2)题考查学生分析数据、得出结论的能力。C 和 ABA 均能降低气孔开度,但二者之间是平行关系还是因果关系尚不能确定。第(3)题设问方式与第 2 题相反,要求考生提供支持结论的证据,主要考查学生运用“减法原理”进行因果推理和科学论证的能力。在干旱条件下,敲除 C 基因,N 基因表达量和 ABA 含量均比野生型显著降低。因此,C 是引起 ABA 合成的必要条件,即 C 可通过促进 N 基因表达,进而促进 ABA 合成。C 是否为 ABA 合成的充分条件?由此引导学生运用“加法原理”设计方案并作出预期;运用转基因技术将 C 基因再转入 C 基因缺失突变体中,若转基因植株 N 基因表达量和 ABA 含

量均显著高于突变体,而与野生型相近,即可证明 C 是导致 ABA 合成的充分条件。“减法原理”和“加法原理”是控制自变量的 2 种方法,但从因果推理的角度看,实际上是求证某一因素是否为引起某一结果的必要条件和充分条件。第(4)题要求考生基于假设预测结果。题目给定的设计方案并不完善,可发动学生予以评价,补充一个砧木为突变体,接穗为野生型的实验组,以训练批判性思维。解答第(5)题需要考生运用植物激素的概念,通过演绎推理作出判断;大前提是植物激素的概念;小前提是植物根产生的 C 运输到叶片,微量即可调节气孔开度的变化;结论是 C 属于植物激素。

科学思维的考查方式除了上述题目所涉及的推测、推理、论证、预期、判断外,还有解释、评价、设计、建模、预测等,但都以推理(主要是因果推理和演绎推理)作为考查核心。以素养立意的等级考试试题作为高三备考的重要资源,应充分挖掘其承载的“磨砺科学思维、淬炼科学探究、涵养科学精神、培育社会责任”等教育价值,引导学生将“解题”当作“解决问题”来看待,使其体验“科学思维是基于事实和严密逻辑得到更好结论、获得明智答案的途径和方法”^[8],领悟“大胆假设、小心求证”的科学探究精髓。

参考文献:

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020:5-6.
 [2] 赵占良. 对生物学学科核心素养的理解(二):科学思维及其教学[J]. 中学生物教学,2019(10 上):4.
 [3] 林崇德. 核心素养时代,培养创造性的突破口在哪里[EB/OL]. (2020-11-02). https://www.sohu.com/a/437792873_100020578.
 [4] 约翰·杜威. 我们如何思维[M]. 伍中友,译. 北京:新华出版社,2010:67-78.
 [5] 谢群,苏咏梅. 论证:科学教育的本质[J]. 生物学通报,2016,51(3):10.
 [6] 恩斯特·迈尔. 生物学思想发展的历史[M]. 成都:四川教育出版社,1990:29-32.
 [7] 朱正威. 我和中学生物科学教育[M]. 北京:北京教育出版社,2000:79-81.
 [8] 刘恩山,曹保义. 普通高中生物学课程标准(2017 年版)解读[M]. 北京:高等教育出版社,2018:40-51.

【作者简介】苏明学、张红艳,北京理工大学附属中学(北京 100089)。

【原文出处】《生物学通报》(京),2023.9.8~12