

# 系统思考：生物学教学的转向

冯春艳<sup>1,2</sup> 陈旭远<sup>1</sup> (1 东北师范大学教育学部 长春 130024; 2 吉林省实验中学 长春 130022)

**摘 要** 系统思考贯穿了整个生命科学史,帮助人们综合理解生物复杂系统的一致性。本文对系统思考在生物学教学中的应用及其重要性进行了综述。

**关键词** 系统思考 系统论 生物学教学

## 1 系统思考的来源和概念本质

系统思考已成为对复杂生物学过程和现象连贯性理解的同义词<sup>[1]</sup>。该理念来源于生物理论学家 Bertalanffy 的一般系统论,旨在解释复杂生物学现象。他运用类比和同构的研究方法,从理论生物学的视角将有机体描述为“开放系统”,该系统具备稳定、反馈与自动平衡的特性。他认为任何系统都不是其组成要素的简单加和,系统内部各要素之间可能存在着协同、选择、放大、制约等关系。在生命系统中,这种关系的呈现方式是以蛋白质为主的代谢体系和以核酸为主的遗传体系之间的耦合,各要素之间通过信息传递、新陈代谢而体现出系统的不断自我更新、自动调节等特性<sup>[2]</sup>。

此后,Norbert Wiener 提出了控制论,生命系统被设想为通过非线性因果关系而进行自我调节的封闭系统,通过反馈的方式进行子系统之间的通信而达到平

衡状态。对于生物学来说,稳态和反馈来自控制论观点,体温、血糖、生物数量等稳态的调节可以看作是维持系统动态平衡的控制路径。在复杂的系统中,除了负反馈趋于平衡的调节之外,还有正反馈的放大和延续。

随着非线性过程的取向加深,在开放系统中原有条件的维持远远达不到平衡状态。于是数学和热力学被用来解释更复杂的系统,这便是动态系统理论。在生物学中,一个最简单的生命系统——细胞,也会涉及数千种的化学反应过程,运用动态系统理论中的数学模型可以描述系统的动态变化过程:即从物体到关系、从测量到绘图、从数量到质量的视角转换<sup>[3]</sup>。

## 2 生物学教学中关于系统思考的研究

越来越多的国家对于生物学教育中的系统思考给出了肯定,并将其作为培养目标中的重要内容。荷兰将系统思考列为生物学考试项目中的特定领域技能;

- [10] BHATTACHARYA A, GUPTA A. Evaluation of *Acinetobacter* sp. B9 for Cr (VI) resistance and detoxification with potential application in bioremediation of heavy-metals-rich industrial wastewater [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 20(9): 6628–6637.
- [11] SAYEL H, BAHAFID W, JOUTEY NT, et al. Cr(VI) reduction by *Enterococcus gallinarum* isolated from tannery waste-contaminated soil [J]. Annals of Microbiology, 2012, 62(3): 1269–1277.
- [12] MURUGAVELH S, MOHANTY K. Bioreduction of hexavalent chromium by free cells and cell free extracts of *Halomonas* sp. [J]. Chemical Engineering Journal, 2012, 203: 415–422.
- [13] ESSAHALE A, MALKI M, MARIN I, et al. Hexavalent chromium reduction and accumulation by *acinetobacter* AB1 isolated from Fez Tanneries in Morocco [J]. Indian Journal of Microbiology, 2012, 52(1): 48–53.
- [14] DAS S, MISHRA J, DAS SK, et al. Investigation on mechanism of Cr(VI) reduction and removal by *Bacillus amyloliquefaciens*, a novel chromate tolerant bacterium isolated from chromite mine soil [J]. Chemosphere, 2014, 96: 112–121.
- [15] TAHRI JN, BAHAFID W, SAYEL H, et al. Hexavalent chromium removal by a novel *Serratia proteamaculans* isolated from the bank of Sebou River (Morocco) [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21(4): 3060–3072.

- [16] PULIMI M, JAMWAL S, SAMUEL J, et al. Enhancing the hexavalent chromium bioremediation potential of *Acinetobacter junii* VITSUKMW2 using statistical design experiments [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 22(12): 1767–1775.
- [17] MURUGAVELH S, MOHANTY K. Isolation, identification and characterization of Cr(VI) reducing *Bacillus cereus* from chromium contaminated soil [J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 230: 1–9.
- [18] LELES DMA, LEMOS DA, FILHO UC, et al. Evaluation of the bioremoval of Cr(VI) and TOC in biofilters under continuous operation using response surface methodology [J]. Biodegradation, 2012, 23(3): 441–454.
- [19] PANDEY S, SINGH NK, BANSAL AK, et al. Alleviation of toxic hexavalent chromium using indigenous aerobic bacteria isolated from contaminated sites of tannery industry [J]. Preparative Biochemistry and Biotechnology, 2015: 151012130254000.
- [20] DEY S, PAUL AK. In-vitro bioreduction of hexavalent chromium by viable whole cells of *Arthrobacter* sp. SUK 1201 [J]. Journal of Microbiology Biotechnology & Food Sciences, 2014, 4(1): 19–23.
- [21] 刘海华, 汪 葵, 吴 奇, 等. 微生物法处理柴油-Cr~(6+)复合污染水体的研究[J]. 材料保护, 2018, 51(12): 150–154. ◆

美国国家研究理事会(NRC)将系统思考作为 21 世纪的关键技能,“系统”和“系统模型”被列为下一代科学标准(NGSS)中的横切概念;以色列的高中生物学中引入了“人类生物学:动态平衡”的国家课程<sup>[4]</sup>,强调以人为系统,整体学习其内部结构之间的动态平衡关系。

在遇到复杂问题时,系统思考可以帮助人们从纷繁的表象中抽离出系统的框架,基于整体解决问题。Nguyen 用系统思考的方式研究了气候变化对畜牧业生产的影响<sup>[5]</sup>,利用由计算机创建的因果循环图来识别系统问题,阐释气候变化所带来的影响。Bergan-Roller 和 Galt 等人利用计算机模型模拟细胞呼吸过程来进行教学,结果显示该策略能够提高学生的系统思维技能<sup>[6]</sup>。对伊斯坦布尔八年级学生围绕食物链、光合作用、呼吸作用这几个主题进行基于系统思考的教学,结果显示该教学不仅提高了学生的系统思维能力,也提升了他们的成绩<sup>[7]</sup>。Tripto 等人对学生使用概念图进行生物学习的效果予以评估,研究表明对学生明确的系统思考的教学效果更好<sup>[8]</sup>。从以上研究可以看出,系统思考在生物学教学中的应用主要集中在动植物生理和生态学方面,尤其是构建过程循环的模型时。概念图、计算机模型的使用都是在迫使学生从系统的视角来思考问题,促使其思维穿梭于整体与局部之间,更好地理解深层次的序列结构关系。

### 3 系统思考在生物学教学中的价值指向

**3.1 深度理解之艺术** 系统思考能够增强对生物学事实的连贯性理解。生物科学要研究的不仅仅是其各部分的组成,更要清楚各个组件之间的关系以及它们如何链接成为一个系统。所以,将生物学本身视为一个系统,将其作为一个连贯的整体框架,才能有利于其中“关键概念”的理解。系统思考还能够深化对复杂系统的理解,系统思考能够透过混乱的表象,厘清相互依存的各组分之间的关系,进行理解性的综合选择。对于生物学当中充满动态变化的复杂事物,如果将其作为一个系统,便能够从纷繁复杂的现象和事实中找到关键节点和它们之间的联系,以及问题解决的路径。

**3.2 演绎事实为观念** 生命科学经过长期的研究,逐渐形成了独特的理论体系和方法体系,基于生命本质认识的生物学观念是系统论的实践价值,也是系统论对人类认知的完整阐释。碎片化的事实不断地降低人类认知的效率和质量,不利于构建出对世界完整的认识,而观念有助于学生在学科内部和不同领域之间建立联系。观念具备抽象、概括的属性,必须要以系统的

视角才能扩展思维的范畴,使学生像科学家一样看待事物,在事实和概念性知识之上建立深层次的理解,这样才能抽象出可以跨时间、跨文化和跨情境迁移的观念。

**3.3 高阶认知之技能** Peter Checkland 指出系统思考是一种认识论。生物系统是复杂的、自适应的、内部交互的,包含了对生命本质、思想和社会深层问题的研究。系统思考在自然科学和认知领域都是一种关键能力,这种能力是一种可转移的技能,一旦获得,就可以应用于许多复杂的情况。系统思考还是一种高阶认知技能,是基于变化的事物整体及其内部各组件之间的关系而进行的思考。系统思考最重要的是如何识别系统,一个系统是对彼此和整体有一定影响零件的集合,要被视为一个系统,组件必须以某种方式相互作用和相互影响。

**3.4 知情决策之应用** 系统思考可以作为迁移应用的思维工具,在不同事物之间类比和创新。例如,反射的概念最初是笛卡尔基于人体神经反射现象提出的,后被俄国生理学家谢切诺夫用到心理学当中,他提出“人的思想实质是反射”,之后又应用到物理中光的反射、计算机的处理方式等领域。这种对应性来自于对事物的系统思考,只有先将其视为一个整体,才便于找到两者性状上的相似性。系统思考是在深入链接学科内或不同领域之间学习内容的过程中所形成的思维模式,当遇到复杂难题时,这样的思考模式能够帮助学生从中抽离出事物的整体,利用系统相关理论的基本规律和模型,梳理出问题解决的方法和路径。

### 4 如何在生物学教学中构建系统思考

系统概念是对经验概念的进一步抽象,系统中包含许多概念的组构,如何从众多的事实和片段中抽象出系统是我们应该思考的问题。许多工具和策略可以帮助教师在生物学教学中建立系统思考,如图表、概念图、yo-yo 策略。其中,yo-yo 策略是指从具体的生物体层面开始,通过上升和下降这些层次进行向前思考和向后思考,以获得对生物现象的连贯性理解<sup>[9]</sup>。

除了工具之外,很多学者还构建了基于系统思考的教学模型。Assaraf 和 Orion 提出了系统思考层次结构(STH)的 8 个分层步骤(图 1)<sup>[10]</sup>。Nguyen 提出了构建系统思考的 4 个层次:首先意识到问题或事件是什么,然后基于问题寻找与其匹配的模式或创建模式,再次揭示复杂模式之间关系的系统结构,最后是“心理模型”,即深层次思考之后能够体现出来信仰、价值观和问题取向的行动逻辑<sup>[5]</sup>。Maani 和 Cavana 指出系统思考建模的 5 个阶段:问题结构、因果循环建模、动态建模、情景规划和建模、实施和组织学习<sup>[11]</sup>。可以看

到基于系统思考建模的前提必须是要明确问题是什么、问题的结构如何,然后才能据此建立模型,最后进行实验验证。实施这些系统思考教学模型都需要花费一定的时间和精力,但这并不是说忽略当前的生物学教学计划和内容,也不是说要在原有内容基础上再增加新的冗杂的知识容量,而是应该根据发展的教育观念做出重要的选择,即大胆地重组教学内容:以“系统”为单位,整合同质性知识,创设问题情境,让学生参与实践,引导学生预设系统的心理模型,通过向前向后反复思考,最后实施验证。

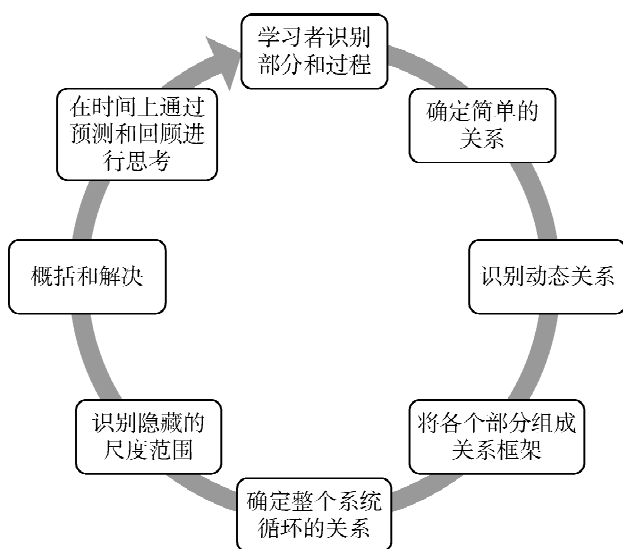


图 1 STH 的 8 个分层步骤

生物体不断熵增的过程中,生物科学的信息也在不断地叠加,如若学生不能够基于整体的视角对生物学内容进行思考,那么所接收到的知识碎片将难以堆积至系统认知的高度,更难以创新、难以迁移。因此,我们应该转变以事实为全部内容的教学观念,利用先进的教学理念开发多样化的教学模型,促使生物学教学紧跟时代的发展。

[基金项目:国家社会科学基金教育学“中小学课堂教学实践样态 40 年变迁的教育族志学研究”(1977—2017),No. BHA160082;吉林省教育学会“十三

五”科研规划课题“思维导图教学法在高中生物专题式复习中应用的研究”,No. 13513419B]

#### 主要参考文献

- [1] VERHOEFF RP, KNIPPELS MCPJ, GILISSEN MGR, et al. The theoretical nature of systems thinking: perspectives on systems thinking in biology education [J]. *Frontiers in Education*, 2018, 3(40): 1–11.
- [2] 胡春风. 自然辩证法导论 [M]. 上海: 上海人民出版社, 2007: 80–84.
- [3] CAPRA F, LUISI PL. The systems view of life: a unifying vision [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [4] State of Israel Ministry of Education Curriculum Center. Curriculum in biology in high school (10th–12th grades) [EB/OL]. (2018–4–9) [2019–4–3]. [http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut\\_Pedagogit/Biology/Tochnit-Limudim/tochnitmutemet.htm](http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut_Pedagogit/Biology/Tochnit-Limudim/tochnitmutemet.htm).
- [5] NGUYEN QV, NGUYEN NC. Systems thinking methodology in researching the impacts of climate change on livestock industry [J]. *Journal of Vietnamese Environment*, 2013, 4(1): 20–27.
- [6] BERGAN-ROLLER HE, GALT NJ, CHRISTOPHER CJ, et al. Simulated computational model lesson improves foundational systems thinking skills and conceptual knowledge in biology students [J]. *Biology Science*, 2018, 68(8): 612–621.
- [7] ÖZYURT SOYTÜRK BB, ŞAHİN F. An analysis of the relationship between systematic thinking skills and academic achievement of middle school students [J]. *International Journal of Human Sciences*, 2016, 13(1): 1473–1487.
- [8] TRIPTO J, ASSARAF OBZ, SNAPIR Z, et al. The “What is a system” reflection interview as a knowledge integration activity for high school students’ understanding of complex systems in human biology [J]. *International Journal of Science Education*, 2016, 38(4): 564–595.
- [9] VERHOEFF RP. Towards systems thinking in cell biology education [M]. Utrecht: CD-β Press, 2003: 54.
- [10] ASSARAF OBZ, ORION N. System thinking skills at the elementary school level [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2010, 47: 540–563.
- [11] MAANI K, CAVANA RY. Systems thinking, systems dynamics: managing change and complexity. 2nd Edition [M]. New Zealand: Pearson Education, 2007. ◇

## 欢迎订阅 2020 年《生物学教学》杂志

《生物学教学》杂志是由国家教育部主管、华东师范大学主办、向国内外正式发行的全国教育类核心期刊,入选上海高等教育高水平学术期刊支持计划,上海市编校质量优秀期刊。《生物学教学》杂志为月刊,国际标准 16K, 80 页,定价 13.50 元,全年 162 元。国内订购:全国各地邮局,代号 4—450。也可通过本刊微信公众平台购买,微信号:swxjxzz。杂志在线投稿系统网址:swxjx.ecnu.edu.cn,联系电子信箱:swxjx@bio.ecnu.edu.cn,电话:021-54341005,62232225。