

从博物学到科学教育： 基于重演论的历史思考与当代启示

栗静舒 周忠和*

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京, 100044)

摘要：本文首先阐述博物学在科学发展中的地位及其对现代科学教育的潜在价值；介绍生物重演论、教育重演论的基本概念及其发展过程，并阐明其作为联系博物学与科学教育桥梁的原理和重要性。在此基础上，本文进一步探讨博物学对科学教育的意义及其应用策略，主要包括注重探究实践、树立多学科交叉思维、营造真情境等。

关键词：博物学；生物重演论；教育重演论；科学教育

近年来我国开展了新一轮基础教育课程改革，2022年教育部颁布了《义务教育科学课程标准（2022年版）》。这一轮科学教育改革的特点之一是鼓励科学家的广泛、深度参与。从前科学家参与科学教育只是少数人的个人爱好，主要参与政府的科学教育政策咨询和针对青少年的科普活动，而今天的国家要求是广泛地、制度化地参与，包括参加科学课程标准的制订、科学教材的编写及其后续的教师培训等全方位的工作。教育部办公厅于2025年1月14日正式印发了《中小学科学教育工作指南》，明确规定要加强科学类课程教师的配备和培养，确保每所学校都有足够的科学教师资源，推动建立“科学副校长”制度，引入高校、科研院所资源为学校科学教育提供支持。作者基于近年来参与科学教育的实践活动，尤其是第二作者作为义务教育阶段国家教材小学《科学》（教科版）的共同主编（co-editor-in-chief）的经历，切实感受到科学教育研究与自然科学一样，也应该是一门科学，例如，中小学科学教材的编写原则不仅要保证教材中科学知识的正确性，保证不出科学性错误，还要考虑科学知识传授的时间、顺序、方式方法是否符合不同年龄学生的成长阶段特点。而编写原则的确立需要教育实验来验证，其中一个重要的基础理论问题，是科学史上科学知识的形式和内容的出现顺序，与教材内容、顺序和呈现方式的关系问题，这个问题在教育心理学中称为“教育重演论”（Educational Recapitulation）。教育重演论以及与之相关的科学早

* 周忠和, zhouszhonghe@ivpp.ac.cn。

期博物学传统，与我国目前小学科学教育内容和教学方式的改革关系重大，而且与作者的研究领域——生物演化关系密切，因此，本文将结合我国科学教育实践对该问题做进一步探讨。

一、博物学历史概述

（一）博物学的起源与发展

博物学（Natural History）^① 是科学的早期形态。博物学源自人类对自然世界的好奇心和探索欲，涵盖了对动物、植物、地质、生态、天文等多个层面的观察、记述与分类，其历史可追溯至上万年前。在史前时代，特别是旧石器时代晚期和新石器时代，古人类的思维处于原始思维阶段，对自然的观察和认识主要依赖对自然的直观感受以及神话自然观^②，此阶段可谓博物学的萌芽阶段。

在古希腊古罗马时代，博物学有过伟大的成就，亚里士多德（Aristotle）及其学生特奥弗拉斯特（Theophrastus）、老普林尼（Gaius Plinius Secundus）等都是著名的博物学家，他们的著作记载了他们所知道的全部有机生命世界^③。博物学知识在此时期被更广泛地传播，对当时的社会和文化产生了重要影响，奠定了博物学的基础。

基督教盛行的中世纪常被视为欧洲历史的“黑暗时代”，该时期博物学发展进展缓慢，但在继承古代知识的基础上，受宗教、社会等因素影响，形成了独具特色的博物学体系。在古典文献得到广泛传播后的文艺复兴时期，博物学蓬勃发展，以生物学领域为例，18世纪博物学家了解的物种数目大大增加，生物分类学出现了，物种起源问题也被提了出来，随后演化论（又被称为进化论）的创立是作为博物学分支的生物学的最高成就^④。

在19世纪，博物学曾经风行一时，成千上万的英国人都是狂热的业余博物学家，而且他们来自社会的各个阶层，收集标本，凝视显微镜下的世界，参观博物馆^⑤。同时，随着18—19世纪博物学在全球范围内的繁荣，以及科学技术的发展，博物学逐渐分化为多个学科。在近代科学体系形成之前，包括地质学在内的众多基础学科，大多经历过“博物学”阶段，例如博物学家对岩石、矿物展开了大量收集与研究，为地层学和矿物学的诞生积累了宝贵素材，对化石的深入探究为古生物学的发展带来了深远影响等。

有学者曾提出，近代科学有两个传统，即数理科学传统与博物学传统，它们最终的分野就在于前者以数学化的方式对待自然，后者则面向自然的历史性和时间性^⑥。此外，博物学不仅催生了生命科学、地球科学等众多学科分支，而且因为它不仅包含了自然元素，还涉及一些带有人工痕迹的自然物，比如古人类遗物，所以还深刻地影响了考古学、文学和艺术的发展。

① Natural History 又可译为“自然史”。

② 肖显静. 科学思想史：自然观变革、方法论创新与科学革命 [M]. 北京：科学出版社，2024.

③ 吴国盛. 科学的故事 [M]. 南京：江苏凤凰文艺出版社，2020.

④ 吴国盛. 科学的历程 [M]. 北京：北京大学出版社，2009.

⑤ 林恩·梅里尔. 维多利亚博物浪漫 [M]. 张晓天，译. 北京：中国科学技术出版社，2021.

⑥ 同④.

（二）博物学的式微与回归

20 世纪初，出现了新达尔文主义或综合演化学派，这是生物学的一个新领域，是遗传学、古生物学和博物学跨学科综合发展的结果。从达尔文（Charles Robert Darwin）的自然选择到孟德尔（Gregor Johann Mendel）的遗传学，再到摩根（Thomas Hunt Morgan）和费舍尔（Ronald Fisher）在遗传学上的进一步发展，以及辛普森（George Gaylord Simpson）等古生物学家的贡献，都为综合演化学说奠定了坚实的基础，而博物学在这个过程中发挥了重要的作用。值得一提的是，以上提到的科学家绝大多数都是从博物学家成长起来的。不仅如此，博物学的跨学科思维在现代科学研究中也得到了继承和发展，如地球系统科学等新兴学科的出现。

但是，当今的科学体系已经很少将博物学视为一门专门学科或者将其作为科学的一个分支来看待。博物学的地位为何会下降？有人将其归咎于还原论，或者是崇尚定量实验的“硬科学”（Hard science）的影响；也有人认为是卡尔·波普尔（Karl Popper）的证伪主义哲学的发展所致；还有人认为城市化的发展导致自然环境的相对缩减等因素等。事实上，这些因素可能都存在，或许还有更多原因。也许博物学在某种意义上并不完全符合当代社会对“硬科学”的定义，但并不应该因此否定博物学的重要价值。

博物学涉及不同学科领域，其关注范围常常超越单一学科的界限，体现了学科综合或知识整合的理念。我们现在时常讨论大数据带来的科学研究范式的转变，即从传统科学研究所遵循的还原论方法（将复杂的系统、现象或问题分解为较小的、更简单的组成部分，通过对这些组成部分的研究来理解和解释整体），转变为从海量、多源的数据资源中直接洞察规律的系统论方法，在某种程度上与博物学从对自然万物广泛且细致的观察、以更宏观和全面视角理解世界的思维方式，有一定相似性。此外，生物多样性的危机、人文科学与自然科学的融合也为博物学的回归提供了机遇，譬如观鸟活动日益风靡、吸引越来越多民众投身其中的现象，代表了当基本物质需求得到充分满足后，人类内心深处对回归自然的本能诉求渐趋释放，对审美与人文体验的渴望也与日俱增。同时，博物学的一些特点包括探究性（对自然现象的细致观察与生动描述）、综合性与整体性（博物学对自然界的多学科视角）等，以及像“当代达尔文”爱德华·威尔逊（Edward Wilson）那样的热爱自然的情怀，对于现代科学教育同样具有重要价值。

二、从重演论到教育重演论

（一）重演论的历史背景及现状

重演论（Recapitulation Theory）最早是约翰·弗里德里希·梅克尔（Johann Friedrich Meckel）和艾蒂安·塞雷斯（Étienne Serres）在 19 世纪初提出的理论，又被称为梅克尔-塞雷斯定律（Meckel-Serres Law）。在此基础上，1866 年，德国生物学家恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel）在达尔文演化论的影响下，基于自己对动物形态学和胚胎学的大量研究，正式提出了生物发生律（Biogenetic Law），也就是我们通常所说的重演论^①。

^① 道格拉斯·J. 福特马. 生物进化 [M]. 葛颂, 顾红雅, 饶广远, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2016.

虽然总体而言海克尔支持达尔文的演化学说，但他与达尔文对胚胎相似性的解释还是有所差别。海克尔认为现生物种的胚胎代表了它们祖先的成年特征，个体的发生过程重演了其祖先成年个体外形的演化历史，因此通过研究胚胎可以读出一个物种的系统发生历史，可简单概括为个体发育重演系统发育（Ontogeny Recapitulates Phylogeny）。然而达尔文认为，现生物种的胚胎与其祖先的胚胎相似；不同类群的胚胎彼此相似，是因为它们拥有共同的祖先的缘故。他认为，胚胎阶段不像成年阶段受到那么多自然选择的影响，因此变化较少，发育过程并不一定重演系统发育的过程^①。

19世纪初，冯·贝尔（Karl Ernst von Baer）提出了与海克尔不一样的胚胎发育假说，并被大多数人接受。这一假说又被称为冯·贝尔定律（Von Baer's Laws）。他说在胚胎发育过程中，一个类群的一般特征比特有特征出现更早，这就是说，某种动物早期出现一般特征，并不代表其可能连续经历本类群中其他种类成年动物的阶段，而是代表了发育分化的过程，因此他认为，个体发育过程中胚胎阶段并不能代表其他动物的成年状况，它们只能代表与其他动物的共同的胚胎阶段。达尔文在《物种起源》中有关个体发育的观点，基本来自冯·贝尔的观点。尽管冯·贝尔的理论在19世纪的大部分时间被重演论的光芒掩盖，20世纪的科学家们开始认识到冯·贝尔的理论对发育的解释是更为准确的，比如斯蒂芬·杰·古尔德（Stephen Jay Gould）基本否定了海克尔的粗浅的“个体发育重演系统发育”的重演论，帮助创立了“演化发育生物学”这一新的学科^②。当然，后期的发展并不是对早期重演论的彻底否定，而是更加准确地揭示了重演机制的复杂性。

演化发育生物学（Evolutionary developmental biology，简称Evo-Devo）兴起于20世纪后期，这一学科整合了演化生物学和发育生物学的研究方法 with 理论，深入发育的分子机制和形态发生过程，揭示了重演现象背后的遗传基础，例如通过对不同物种同源基因的比较研究，发现尽管物种间形态差异巨大，但在胚胎发育早期，一些关键基因的表达模式十分相似，这解释了生物演化过程中形态和结构变化的内在原因。

与此同时，演化发育生物学还从发育机制的角度对“重演”现象进行了新的审视。传统的重演论认为个体发育是系统发育的简单重演，但演化发育生物学的研究表明，个体发育过程中的“重演”现象是一个复杂的、受到多种因素调控的过程。发育可塑性是其中一个重要因素，它使得生物个体在发育过程中能够根据环境条件的变化调整发育进程，从而在一定程度上影响重演的方式和程度。

总之，重演论或生物发生律作为古老的科学假说，从诞生之初就备受争议，后伴随生命科学不同分支的进步，其核心假说基本被抛弃。演化发育生物学的理论虽然是基于发育生物学和演化论的整合，但是离不开分子生物学的重要贡献，从历史的角度来说也离不开海克尔的贡献，是海克尔首先讨论了个体发育与系统发育的关系，特别是他所揭示的“重演”的趋势，在现代生物学基因层次上也有所体现。

不同学科之间常常互有启发和借鉴，重演论所揭示的现象（或规律）也影响到其他诸多领域，包括教育学和认知领域。

① Colonna F T. On the Convergence of Ontogeny and Phylogeny into the Evo-Devo Theory: Why They Did not Integrate before and why they finally could? [J]. Studies in the History of Biology, 2012, 4 (4): 26.

② Stephen Jay Gould. Ontogeny and phylogeny [M]. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press, 1977.

(二) 教育重演论的提出与发展

早在 19 世纪末至 20 世纪初,就有学者将生物学上的重演论应用到教育学中,认为个体的教育发展过程在某种程度上重演了人类文化发展的历史进程,恰似生物个体的胚胎发育重演物种演化历程一般,这引发了教育界学者的广泛关注与深入思考。然而早期教育领域的重演论假说到 20 世纪 30 年代基本上销声匿迹,原因可能在于其直接将人类文化发展过程照搬到教学实践的应用^①。

70 年代以来,在多学科综合研究的背景下,重演论在教育领域的应用也得到了复兴。西方学者如让·皮亚杰(Jean Piaget)经过几十年对儿童在科学概念和逻辑推理上的发展过程的研究,正式提出了教育重演律(Educational Recapitulation),他认为儿童个体的认知过程与发展阶段,经历了感知运动阶段、前运算阶段、具体运算阶段和形式运算阶段,这重演了人类认识自然界的进程和阶段,且这些阶段不可颠倒、不可跨越。^②

伊根(Kieran Egan)也系统地提出了人类认知发展的四个阶段及其与儿童认知发展阶段相统一的关系,其中人类社会的文化发展划分为神话(敏感)阶段、浪漫(敏感)阶段、哲学思辨(敏感)阶段和隐喻批评(敏感)阶段,分别对应儿童不同年纪的认知发展。他也提出一个人的教育发展一定从低一级的阶段逐步进入高一级的阶段,阶段不可跳跃或颠倒;现代学生的学习过程,是对人类文化发展过程的一种认知意义上的重演,即现代人的认知发展是对其祖先认知水平长期演化过程的浓缩^③。

教育重演论还受到了维果茨基(Lev Vygotsky)的社会文化理论的影响。维果茨基提出人类文化的发展是社会历史的产物,强调社会文化环境对个体认知发展的重要作用,认为个体的认知诸如有意注意、逻辑记忆和概念思维等高级心理功能并非天生就有,而是个体在学习过程中,通过社会互动以及不断吸收和内化人类已有的知识和经验,从而实现发展^④。这与教育重演论中个体学习过程重演人类文化发展过程的观点相契合。

因为“教育重演论”源于“重演论”,随着学术界对于“重演论”认知的不断改变,“教育重演论”也随之面临着一些理论争议。例如,皮亚杰揭示了个体的认知过程与人类文明发展过程中的演化阶段虽有一致之处,但只是转变机制类似,并非完全相同,因为个体认知发展受到现代社会文化、科技发展等多种因素影响,有着自身独特的特点和规律,不能简单地将个体学习过程等同于人类文化发展的重演^⑤。

而且,教育重演论在强调知识传承的同时,可能会忽视学生的个性发展和创新能力的培养。在现代社会,创新能力是学生适应未来社会发展的关键能力之一,教学目标重在探究方法与求真精神,以及注重创新思维与创新精神的塑造,而不是记忆古老的甚至今天已经被证明是错误的知识点。

① 张红霞,聂克. 教育重演论与中国教育改革 [J]. 教育研究, 1998, (2): 60.

② J. 皮亚杰, R. 加西亚. 心理发生和科学史 [M]. 姜志辉, 译. 上海: 华东师范大学出版社, 2005.

③ 同①.

④ Clabaugh G K. The educational theory of Lev Vygotsky: A multi-dimensional analysis [J]. New Found, 2010, (5): 1.

⑤ 同④.

三、重演论视角下博物学对科学教育的启示

虽然“重演论”以及“教育重演论”仍然存在一定的争议，但不可否认，个体学习过程确实存在“重演”人类文化发展过程的现象，这与博物学在不同历史时期以及向现代科学转变的过程具有相似性。例如在学习植物时，个体往往从常见的植物现象和经验开始，逐渐深入对生物概念和规律的理解，最后尝试用新的模式去解释植物世界，这类似于让·皮亚杰所描述的人类从早期对自然的直接感知和简单实践阶段，逐渐具备逻辑思维和抽象思维能力，而这与博物学发展最初阶段对自然的直接观察和经验积累，到后来对生物世界规律的总结和理论构建的过程相呼应。

这种认知重演不仅体现在知识的学习上，还体现在思维方式、研究方法等方面。博物学家在学习过程中逐渐掌握的方法，如观察、实验、归纳、演绎等，也是人类在科学发展过程中逐渐形成和完善的研究方法。

不过，根据“重演论”的历史现状与发展来看，应用“教育重演论”时，一定要考虑个体认知发展受到多种因素影响，不能简单地将个体学习过程等同于人类文化发展的重演，博物学的发展以及不同博物学家的学习过程同样有自身的规律性和特殊性。据此，本文基于重演论与教育重演论的视角，提出将博物学理念融入科学教育（尤其是小学阶段）的三点启示。

（一）注重探究实践

博物学最具特色之处，在于其依靠人的好奇心和感觉器官的亲身观察实践，具有极强的探究性。采集、收藏、记录、分类、显微镜、好奇心和近距离观察都是博物学的标志。博物学的实证精神和方法论对现代科学方法的形成产生了深远影响，这些方法也成为现代科学研究的基本工具。此外，博物学传统所提供关于生物、地质、天文等方面的实践活动与认知体验，比抽象的知识更能激发人尤其是儿童的探索欲。

教育重演论从根本上为小学科学课程内容选择及其进阶顺序的理论问题提供了理论支撑，博物学传统则为其提供了更贴近学生认知规律的教育理念，例如注重博物学强调的实地观察与亲身体验能力培养，而不是过度聚焦理论知识学习，甚至好高骛远将最新科技成果引进小学课程教材。基于博物学传统的探究式教育，是一种回归教育本质的方式，知识灌输不再是教育的唯一目的，更需强调兴趣、探究、讨论、实践、参与，强调学生在实践活动中的主动思考与探究，在亲身体验科学发现的过程中生发对科学的兴趣与好奇心。

博物学的发展也是一个复杂的过程，涉及多个领域和学科，而且不同地区、不同民族的文化发展也存在差异。博物学家的认知发展也受到多种因素的影响，如遗传、环境、教育等，不同年代的人的认知发展速度和水平存在差异。因此，探究的内容和方式也要显示多样性，做到因地制宜、因势利导。

（二）树立多学科交叉思维

博物学，顾名思义是一门多学科交叉的领域。博物学的跨学科性质，以及博物学强调的整体观和系统观，对事物整体面貌以及相互之间关联性的关注，可以促进不同领域知识的交流和整合，为现代科学的跨学科研究提供了范例。

如今,在英美大多数学校中,小学阶段的教学多采取综合课制与分科制相结合、以综合课制为主导地位的方案,这恰好与早期学科不分家的人类认知发展阶段相一致,也是基于博物学传统的小学科学教育范例。

在我国同样如此,在课程设计方面,可以根据学生不同阶段的认知特点,深化对博物学历史的挖掘与运用,系统地将博物学历史内容融入科学教育课程体系,并且加强跨学科融合,将博物学与物理、化学、生物、地理等学科以及人文社会学科有机结合,从而培养学生的整体思维和解决复杂问题的能力。

(三) 营造真情境

博物学强调整体思维与自然智能^①的培养。只有真实的情境和问题才能够引发一系列真实的、灵活应用专业知识的探究行动^②。真实的情境有利于知识的综合,因为真实的实践问题必然是综合的,因而关注真实情境与关注跨学科综合是一致的。真实情境中的“真实”不是指“真实与谎言”的真,也不是“真实与虚构”的真,而是“真实可靠”的真,是指与科学问题的提出有必然的、合情合理的联系^③。例如,在生态系统研究中,博物学的整体观可以帮助我们更好地理解生物与环境之间的复杂关系。

博物学涵盖的实践活动,皆于大自然的广袤怀抱中展开,但是如今的科学教育已经脱离了原初的真情境,学生的亲身经历和感受的体验性较弱,这和教育模式不断演变有关,如传统教育模式就是在前工业化时代,教育以学徒制为主,很多技术就从熟练的人那里传授给后人;工业时代,专门化逐渐盛行,教师成为专门的职业。如今现代教育也遇到了新的挑战,数字智能时代,信息爆炸式增长,知识结构日趋复杂,人类接受教育的时间被延长,教育方式呈现程式化(教材、学校与培训机构)、规模化。

现代教育方式的优点是,不仅可以实现大规模人群的教育普及,适应社会对专门性人才的需求,同时在线教育的便利性、高效性也显而易见。但是存在问题,包括“先天本能”与“后天学习”逐渐失衡,教育方式呈现的程式化、规模化也不可避免地压制人类的天性,削弱自主性,难以做到因材施教,这或许也是导致近年来世界范围内原创性重大科学发现匮乏的一个重要原因。

可以利用现代技术手段,如虚拟现实、增强现实等,创造沉浸式的博物学学习环境,唤起学生热爱自然的真实情感。再例如,各年级科学课的主题次序可与科学历史发展过程相一致,加强科学史教学与科学内容本身的教学相结合,让学生在体验科学历史的过程中,感受科学家的探索精神、严谨态度与社会责任感,培养学生的科学态度与价值观,提高科学教育的教学质量。

四、结论

对教育重演论在连接博物学与科学教育中的作用与价值展开研究,具有重要的理论与实践意义。从理论层面来看,对于“重演论”“教育重演论”的探讨,有助于挖掘出教育发展背后更深层

① Gardner H. Multiple intelligences: new horizons [M]. New York: BasicBooks, 2006.

② Chinn C A, Malhotra B A. Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks [J]. Science Education, 2002, (86): 149.

③ 张红霞,郁波.从“探究”到“实践”:科学教育的国际转向与本土应对[J].教育研究,2023,(7):66.

次的生物学根源，为教育理论的发展提供新的支撑和依据，丰富教育理论体系。在实践层面，基于教育重演论的博物学传统，对科学教育的教学活动具有重要的指导价值，小学阶段的科学教育，可以推广融入博物学理念的探究式、多学科、真情景教学方法，这样更有助于朝着符合学生认知发展规律、融合多元知识与文化的方向发展，有利于培养具有强烈探索欲望与综合实践能力的新时代人才。与此同时，对当前一些分歧和争议，如是否将最新科技成果引入小学科学教材、怎样引进，具有启发意义。

不过值得注意的是，这种教学方法虽然能够激发学生的学习兴趣 and 主动性，但实施过程中对教师的专业素养和教学能力也提出更高要求。未来，也许通过构建科学教师队伍的培训体系、改革和完善科学教育评价体系等措施，能让基于教育重演论、融入博物学理念的教学方法获得更好的效果。

作者简介

栗静舒，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，高级工程师，研究方向：古生物学、古人类学、科学传播。

周忠和，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，研究员、院士。研究方向：古生物学，科学教育，科学普及。

From Natural History to Science Education: Historical Reflections and Contemporary Insights Based on Recapitulation Theory

LI Jingshu, ZHOU Zhonghe

(Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100044)

Abstract: This paper first elaborates on the role of natural history in the development of science and its potential value for modern science education. It then introduces the basic concepts and development processes of biological recapitulation theory and educational recapitulation theory, clarifying their principles and significance as a bridge connecting natural history with science education. Building on this foundation, the paper further explores the implications of natural history for science education and proposes application strategies, which primarily include emphasizing inquiry-based practice, establishing interdisciplinary thinking, and creating authentic learning contexts.

Key Words: Natural history; biological recapitulation theory; educational recapitulation; science education