

基于科学本质的科学教学

邱洪杻 (武汉市江夏区第一中学 湖北武汉 430200)

摘要 科学本质是近年来科学教育的研究热点,例如《普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)》在实施建议中明确提到“注重生物科学史和科学本质的学习”,并对科学本质进行定义,梳理了适合高中生物学阶段进行科学本质培养的教学内容,阐述了科学本质教学的意义。本文对科学本质内涵、科学本质观测量评价、科学本质观教学3方面的中外研究进行归纳总结,并对在此基础上可进行的后续研究进行展望。

关键词 科学本质观 高中生物学 科学教学

中国图书分类号:G632.4 文献标识码:A

“到底什么是科学?”这一问题一直是众多学者热议的话题,对科学本质的研讨也出现在了各国科学教育文件中,在欧美国家起源较早。例如,1989年英国出版的《国家科学课程标准》中就将科学本质作为17个课程目标中的一项进行了阐述,还分不同学段进行了科学本质培养目标的规定^[1]。美国《国家科学教育标准》中“科学的历史与本质”在8项标准中单独成为1项,该文件还对科学本质的分学段目标和教学策略进行了规定^[2]。新加坡、澳大利亚、加拿大等国也在各项课改文件中对科学本质教学提出了要求^[3]。

我国将科学本质作为课程要求相对起源较晚,2001年出版的《科学(7~9年级)课程标准(实验稿)》中与后来2011年出版的《初中科学课程标

准(2011年版)》中都对初中阶段学生提出“理解科学本质”的要求^[4-5]。对于高中学段,2003年出版的《普通高中生物学课程标准(实验)》中明确指出“认识科学的本质”是课程目标之一^[6]。2018年出版的《普通高中生物学课程标准(2017年版)》在实施建议中明确提到“注重生物科学史和科学本质的学习”,并对科学本质进行定义,梳理了适合高中阶段进行科学本质培养的教学内容,阐述了科学本质教学的意义^[7]。

由此可见,国内外对科学本质教学都十分重视,将对其要求写进了科学教育的纲领性文件之中,科学本质教学已经成为各国课程改革的共性要求。加之通过研究调查发现,我国中学生对科学本质的认识情况并不乐观^[4],所以教师加强开

果树、建造民宿和引进食用菌栽培技术来提高他们的收入。

主要参考文献

- [1] 吴诗宝,马广智,廖庆祥,等.中国穿山甲保护生物学研究[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [2] Zhang F, Xu N, Yu Y, et al. Expression profile of the digestive enzymes of *Manis javanica* reveals its adaptation to diet specialization[J]. ACS Omega, 2019, 4: 19925.
- [3] 吴诗宝,刘迺发,李有余,等.中国穿山甲的食性与觅食行为初步观察[J].应用与环境生物学报,2005(3):337.
- [4] Yu Y S, Wu S B, Zhang F H, et al. Body temperatures of

Manis pentadactyla and *Manis javanica* [J]. Veterinary Medicine and Science, 2021, 7(6): 1.

- [5] Wu S B, Sun C-MN, Zhang F H, et al. Chinese pangolin *Manis pentadactyla* (Linnaeus, 1758)[C]//Challender W S D, Nash C H, Waterman C. Pangolins: Science, Society and Conservation. London, San Diego, Cambridge (U.S.) and Kidlington (U.K.): Academic Press, 2020:49-70.
 - [6] Gaudin T J, Gaubert P, Billet G, et al. Evolution and morphology[C]//Challender W S D, Nash C H, Waterman C. Pangolins: Science, Society and Conservation. London, San Diego, Cambridge (U.S.) and Kidlington (U.K.): Academic Press, 2020:5-23.
- (E-mail: wushibao@163.com)

展科学本质教学,增强学生对科学本质的理解是十分有必要的。

1 对科学本质内涵的研究

1.1 国外对科学本质内涵的研究 科学本质这一术语最初由美国国家科学数学教师协会提出,随后众多研究者与科学教育机构对其内涵进行了阐述。例如,最具有代表性的是 Rubba 和 Anderson^[8],他们在研究中提出科学知识本质包括6个层次:发展性,科学知识可以被修改与更新;简洁性,偏向于选择简单解释的理论;创造性,某

些科学知识是人为创造的;可检验性,科学知识可以被他人重复,检验其真伪;同一性,科学知识是各部分共同组成的一个体系;非道德性,科学知识本身不应该从道德上评论其好坏。美国科学本质研究领域的杰出学者 Lederman^[9]提出,科学是人们用来获得科学知识的途径,也是一种与科学发展相一致的信念。他提出的科学本质内涵与 Rubba 和 Anderson 的观点大体相同。除此以外,还有一些具有代表性的观点,分别对科学本质内涵的某些细节进行了进一步研究与阐述,如表1所示。

表1 科学本质内涵进一步研究的归纳^[10-13]

研究者	主要观点
Collette, Chiapetta	科学是一种思维方式、一种探究方法和一个知识体系
Good	科学思维按过程分为前期的创造阶段和后期的验证阶段,科学本质就是2个阶段科学思维以及科学知识体系的总和
McComas 等	科学本质与以上4个学科都存在交叉,其中科学史所占比例最大,并且提出了科学本质的14个方面
Smith 等	科学本质分为目的和过程以及科学理论的价值判断标准(包括创造力、预测力、解释力、简约性、逻辑一致性、开放的心胸和质疑等7个特性)

美国科学促进会(AAAS)也对科学本质的内涵进行了阐述,这个机构提出科学本质包括3个层面:科学世界观、科学探究与科学事业。第1个层面强调了科学具有一定的作用,但并不能面面俱到,且在不断发展之中;第2个层面强调没有一项研究具有永恒的权威性,科学家进行科学探究时应减少误差的产生;第3个层面强调了科学史社会性活动,在社会媒体中进行传播,科学研究应受伦理道德的限制,科学家同时具有专家和普通民众的身份^[14]。AAAS这一界定对后续的研究产生了巨大的影响,构建了科学本质内涵的大体框架,特别是对我国的科学本质认知体系的影响极其显著。Khishfe 和 Abd-El-Khalick^[15]在前人的基础上加以综合,提出了科学本质内涵的10个方面,即实证性、观察与推理的区别、创造性、理论负载性、暂定性、科学研究途径的多样性、科学理论的本质、科学定律的本质、科学知识建构的社群性以及科学文化的嵌入性。

1.2 我国对科学本质内涵的研究 我国关

于科学本质的研究相对起步较晚,现将具有代表性的学者及其研究成果进行介绍。项红专^[16]结合现代科学教育发展实际,提出了科学本质内涵的10个方面,即真理性、批判性、发展性、交叉性、双重性、统一性、民主性、非功利性、系统性和可验证性。刘健智^[17]梳理国际与国内学者及机构对科学本质的内涵,对科学本质内涵共识进一步加工,提出了中学生的科学本质可分为科学知识维度、科学探究维度和科学事业本质维度,每个维度由若干个因素组成,如表2所示。这一界定与AAAS提出科学本质的内涵相似,将第3个层面改为科学知识本质维度,补充了累积性、重复性、公开性、归纳性、非固定性、科学与技术等因素,这些因素在其他学者或机构的研究成果中都有所提及。

黄晓^[3]在其研究中以刘健智的科学本质维度为基础,对7篇国内外文献中提及的科学本质内涵进行归纳分析,结果表明,各研究的共性较为明显,刘健智的归纳能大体包含其他研究所提及的科学本质内涵。

表 2 中学生的科学本质观^[17]

科学本质维度	因素	因素的简单解释
科学知识的本质维度	认识性	世界是可以被认识的;科学是对客观世界的解释
	相对性	科学知识不是绝对真理,是暂时性和持久性的统一
	累积性	科学知识是长期积累的结果
	重复性	得出科学结论的研究过程应该是别人也可以重复的
	公开性	科学家应该公开自己的成果,让别人来评判和学习
	局限性	科学不能为所有问题提供完美答案和解决方案
科学探究的本质维度	实证性	科学的正确性决定于观察和实验的检验
	归纳性	科学始于观察,科学知识主要来自对观察的归纳
	创造性	科学是人类推理、想象和创造力的产物
	预见性	科学有预见能力,根据观察和理论可以进行假说
	非固定性	尽管科学研究的一些基本方法是相似的,但视学科背景和不同问题不完全固定,同一问题有不同的解决方法
	非权威性	科学研究不依仗权威,没有一个科学家可以代表绝对真理,要有怀疑精神
科学事业的本质维度	非绝对客观性	科学受科学家文化背景、信仰和看待事物方式等影响
	科学与道德	科学研究中有普遍接受的道德规范
	科学与技术	科学和技术是有区别的,科学和技术具有相互作用
	科学与社会	科学总体上给人们带来福音,但也产生了不良后果
	科学家身份	科学家会运用科学知识来解决公众事务问题

1.3 关于科学本质内涵研究的总结 纵观国内外对于科学本质内涵的研究,从 1906 年科学本质这一说法被首次提及开始,科学本质的内涵经历了只包含科学知识本质(如 Rubba 和 Anderson 的研究)的早期萌芽时代,到后来科学探究与科学事业等维度的加入,科学本质内涵逐步扩充丰富,AAAS 提出的内涵“三大块”总结了前人的研究成果,几乎囊括了科学本质内涵的各个方面,对后续研究产生了深远的影响。不同的研究者在不同的学术背景与学科背景下,提出的具体内涵存在一定的差异,但大体内容保持一致。不同的内涵框架在不同学科研究中被采用的频次也不同,例如 Abd-El-Khalick 的“十方面”在物理学教学研究中采用较多,刘健智的科学本质维度以其覆盖面广,对中学生的针对性强,受到较多生物学教学研究者的青睐。

2 对科学本质观测量评价的研究

2.1 国外对科学本质观测量评价的研究 对科学本质的测量工具最早可追溯到 1954 年,由 Wilson 研制,研究结果表明学生普遍认同科学知

识是绝对的,并且科学家揭示的科学是真理。后续研究者又相继开发了各种评测工具,具有代表性的有 Klopfer 等研制的科学理解测验(TOUS),Bady 利用“约翰逊-沃森作业”测评学生对验证假说的理解,Rubba 研制的科学知识本质量表(NSKS)等^[10]。无论是哪种测量工具的结果都显示,学生的科学本质观水平是不让人满意的,例如他们认为理论经过长时间的论证可以变成定律。还有一些学者对科学教师的科学本质观进行了测评,结果同样显示,结论与所用测量工具无关,教师的科学本质观普遍不符合预期。

2.2 国内对科学本质观测量的研究 我国对科学本质观测量的研究较国外相对起步较晚,早期的部分研究中将科学本质观作为科学内涵的一个维度进行调查,后来逐渐独立出来。对科学本质观的测量从研究对象上看,可大致分为对科学或理科教师(包括职前教师)的研究和对学生的研究,对学生的研究包含了各个不同学段的研究。对于小学阶段的研究相对较少。对于初中阶段的研究,如徐蓉^[18]对杭州市 10 所初级中学的学生进行了科学本质观的调查,结果表明,不同性别

与学段的学生科学本质观水平差异不大,对科学本质各项内涵的理解程度也不尽相同;再如刘健智^[19]对长沙市5个区的初中生进行了科学本质观的调查分析,其目的在于研究其编撰的问卷的科学性,对结果的信度与效度进行分析。对于高中阶段的研究,魏冰^[20]对广州市6所中学的高中生进行了科学本质观的调查,他采用了Rubba教授的NSKS对学生的科学知识本质观进行调查研究,结果显示,不同性别与学段的学生科学本质观水平差异不大,与学业成绩水平相关,但总体上呈现不乐观的现象。姜峰^[21]对高中生的科学本质观进行了量化问卷调查与质性的学习心得问卷调查,结果显示文科和理科学生之间科学本质观差异较大,男、女生在总体上差异不大,个别维度呈现出差异。高育蒙^[22]对高二年级科学史和科学哲学(history and philosophy of science, HPS)教学前后学生的科学本质观进行了问卷调查,并进行了前测与后测,检验科学本质观教学的效果。朱满秀^[23]利用刘健智开发的科学本质观量表对贵阳市某高中学生进行了科学本质观测试,采用对照试验教学,比较HPS模式教学与常规教学对科学本质观培养效果与对生物学成绩的影响。黄晓^[3]对杭州市初中科学本质观中的科学技术观现状进行了调查,并将结果与英国、挪威的调查结果进行了比较分析,结果显示部分层面我国占优,部分层面显示弱势。严文法^[24]进行问卷调查与群组访谈,结果显示学生的科学本质观会随着年级的升高而呈现提升趋势,在高二时期提升速度最快,高三时期呈现平稳趋势。

2.3 关于科学本质观测量研究的总结 纵观国内外对科学本质测量的研究,大体可分为2类:对测量方法的研究与对测量结果指导教学实践的研究。测量方法大体可分为量化评分的问卷调查与质性的问答式调查(包括书面与访谈2类),本研究中也采用2种调查方式相结合来进行,以量化评分的问卷调查进行学生科学本质观前测,以问答式问卷进行科学本质观培养情况后测,对照分析科学本质观培养规律。刘健智综合前人设计的问卷,依照自己归纳的科学本质维度,进行了适合中学生科学本质调查问卷的设计,并得到了其他研究者的肯定与引用,本研究应用的

量化问卷也是基于刘健智的调查问卷而改编设计的。质性问答式问卷参照了高育蒙的设计方式,在实践教学的每节课后以小卷的形式进行科学本质教学目标达成情况的检验,以期对实践教学提出改进意见。测量结果整体呈现的是并不乐观的现象,但与学生部分特征,如年级、性别等相关性上呈现出不同的结果,有的甚至相反。笔者认为这是由于研究者研究设计的合理性与实验对象差异性较大造成的,研究者大多选择某一地区的学生作为研究对象,不同学习背景和氛围下的学生科学本质观测量结果呈现差异属于正常情况。

3 对科学本质观教学的研究

美国科学本质研究领域的杰出学者Lederman^[9]对1950—1991年的关于科学本质的研究进行了分类整理,集中于以下4个方面,即测评学生科学本质观,提高学生科学本质观的课程发展,教师科学本质观的测评与提升途径,学生科学本质观、教师科学本质观与教学实践的相关性研究。并且这4个方面是随着时间推移而作为当下研究热点依次出现的,由此可见,科学本质的相关研究其最终主题在于指导教学实践以提升学生科学本质观水平。

3.1 科学本质教学的独立性——“融合”与“非融合”之争 对于科学本质融入教学的途径,在科学本质教学的独立性上,学者们曾有过采取“融合途径”还是“非融合途径”的争论。“融合途径”即将科学本质内涵融合在科学学科教学的知识内容之中呈现,“非融合途径”即将科学本质另称为一门课程独立进行教学。但后者对于学生与教师科学本质观提升的效果遭到否定,就像在科学教学中进行科学史教学一样,科学史应该作为构建概念的教学环节,而不是把科学史看作一门独立的“历史”进行教学,不能从科学教学的过程中剥离出来,因此,一般开展的科学本质观教学都是“融合途径”^[4]。

3.2 科学本质教学的途径——从“隐性”到“显性”再到“显性—反思” 从科学本质呈现的方式上分为“显性途径”和“隐性途径”,“显性途径”指从科学史、科学哲学等角度,在课堂中显性地提问,组织讨论与科学本质内涵相关的问

题,以达到明确的科学本质观培养目标。“隐性途径”指的是通过科学探究活动或者科学操作技能训练,即“做科学”的方式引导学生体验科学过程,在过程中学生潜移默化地体会科学本质的内涵^[4]。部分学者的研究表明,融入科学史有利于学生科学本质观的培养,但是科学探究在培养学生科学本质观方面的价值研究较少,根据科学本质内涵,科学探究的本质是其中重要的一个维度,刘恩山^[25]在多个研究中提到,进行科学本质教学,教师应注重科学史与科学探究的教学。

对于“显性资源”,即以科学史为主的科学本质教学资源,“历史—探究”模式就是一种典型的适用于此的教学模式,其中较为典型的操作方法有“PEHDSR”“IHVs”“AIH”等。Monk与Osborne^[26]提出的“PEHDSR”模式,教师引导学生置身于与当时科学家相同的情境中,进行探究活动,去解决面临的问题与困难,教师引导回顾历史来体会科学本质内涵。其操作步骤分为陈述某一科学现象、启发学生发表观点、教师讲述历史、设计实验测试、教师给出科学观点和回顾与评价6个阶段。Wandersee J H^[27]提出“IHVs”模式,即 interactive historical vignettes,译为“交互式历史小故事”。该模式要求教师讲述科学故事时设立观点的冲突,学生自发解释问题从而解决冲突,在教师的引导下体会其中的科学本质内涵。我国台湾省学者郑子善等提出的AIH模式,即 Anchored in History,译为“锚定历史”。该模式将科学史影片锚定历史情境,使学生直观地体会科学史情境,在其中进行学习,再在教师的引导下反思其中的科学本质内涵。

对于“隐性资源”,即以独立科学探究实验为主的科学本质教学资源,少有研究开发具体的教学模式以提升学生科学本质观水平。潘瑶珍^[28]曾阐述“V形图”模式在高中物理学构建概念的实验教学中的应用,鲁世明等^[29]也对现有的物理学实验的策略进行了分析并提出改进意见,但这些研究并非专门针对学生科学本质观的提升。在生物学学科方面,马文悦^[30]曾将探究型学习内容分为资料型探究、实验探究、科学史研究与调查型探究,其中对于实验型探究设计的探究过程为:

提出假设—设计实验方案—实验操作—收集信息—结果分析—反思交流6个步骤,并对如何做好探究性实验给出教学意见。刘书梅^[31]曾针对提升学生科学本质中的科学探究本质观水平,对探究性实验教学做出研究,研究中更多的是对实验的可操作性进行分析,并提出一线教学基础操作意见。

后来有学者提出,这2种途径不应该有明显界限,应该可适当融合。他们给出的理由是:以科学史教学为主的显性途径中难以排除科学探究的内容,例如部分学者采用“还原科学史实验”的方式进行科学史教学,在科学史的学习中自然地融合了科学探究的内容;以科学探究为主的隐性途径中若缺少有意识的科学本质观显性凸显方式,学生难以直观对科学本质内涵有所体验。Khishfe和Abd-El-Khalick^[15]的对照试验证实了反思对于科学本质提升的作用,研究中实验组学生进行科学探究并参与反思性的讨论,对照组仅进行科学探究,结果显示,实验组科学本质观的提升效果更加显著,他们也提出“显性途径”不应该只局限于科学史教学,而不能应用到科学探究中。因此,学者们提出了对“显性途径”与“隐性途径”进行缺陷补充的“显性—反思途径”,其“显性”体现在课程上教师对科学本质内涵进行挖掘,在教学上有意识地组织相关提问与讨论,其“反思”体现在教师引导学生在科学探究或学习科学史之后对科学探究或科学史中科学本质体验进行有意识地提问,引起学生的反思从而提高科学本质观水平。“显性—反思途径”的优越性也被诸多学者的研究所验证^[32-33]。

3.3 HPS教学——科学本质教学策略的未来

“科学是什么?”是对科学本质的追问,这一问题本身就是哲学问题,科学史作为重要的科学哲学载体,二者的结合是科学本质教学的大势所趋。HPS教学的必要性在诸多科学教学纲领性文件中都有所提及,如美国《国家科学教育标准》明确将“科学史与科学本质”规定为科学素养的核心内容之一,英国“国家科学课程”要求HPS教育占总科学课程的5%左右,荷兰PLON课程和挪威的核心课程等都将HPS教育纳入科学课程标

准^[34-35]。近年来,也有研究将科学社会学纳入HPS教学中,但是对于研究科学技术与社会的互动更加注重前沿与发展,大多在社会实时进展中正在发生,这是科学史难以涉及的内容,因此,有学者将这部分教学研究留给了STS(science, technology, society)教学,正如赵占良^[36]所说,或许今天的STS就是明天的HPS。

HPS教学在不同学术与学科背景下,相关研究成果也呈现百花齐放的态势,不同学者选取不同角度对HPS教学进行了深入的研究。早在1997年,英国学者Monk等就提出HPS教学模式的6个环节,即演示现象、引出观念、学习历史、设计实验、呈现科学观念和实验检验、总结与评价。郭小玲^[35]总结了近年来国外关于HPS教学的研究,提出HPS教学的意义在于其中蕴含着科学知识的形成过程,蕴含着科学家创造性思维和科学方法,体现科学态度和科学精神,这些无一不是科学本质教学的优良资源,她还总结了国外用于HPS教学有效的有探究教学、科学写作、还原科学史实验和科学家角色扮演等教学方法。谭永平^[37]对于目前进行的HPS教学总结了4个常见的问题,即目标单一、大材小用,拔高拓宽、加重负担,材料粗放、教学吃力,理解偏颇、评论不当,并针对每个常见问题给出了合理意见。赵占良^[36]根据教学观察提出了HPS教学应注意五项原则,即价值优先、去粗取精、问题导向、融合互动以及客观评述。除了理论方面的研究,实践方面也有许多研究取得了丰硕的成果。例如,黄晓^[3]开发了HPS教学的一般框架,并以此框架进行教学实验,实证了HPS教学对于培养中学生科学本质观的有效性。还有许多研究采用HPS教学进行具体科学教学课例的教学设计与实验,以此达到培养学生科学本质观的目的^[38]。

3.4 关于科学本质观教学研究的总结 科学本质教学途径经历了从“隐性”到“显性”再到“显性—反思”的变革与发展,并且“显性—反思”途径适用于科学史和科学探究这2项科学本质教学资源。但目前对于科学史教学与科学本质的关系的研究较多,学者们开发了适用于科学史教学的“历史—探究”模式,并给出了许多具体的操作方法,许多学者对这一模式进行了丰富。对于

独立的科学探究教学与科学本质的关系的研究相对较少,少有具体的用以提升科学本质观的教学实施模式,笔者认为出现这种现象的原因有:1)独立的科学探究在传统认知中由隐性途径实施教学,并且部分科学史中融合了科学探究;2)科学探究种类较多,难有通用的教学模式,需要结合具体类型进行开发。HPS教学模式已经成为科学本质教学的一种潮流,并且出现与其他教学模式相结合的研究案例,如与STS、CAT、PBL以及抛锚式等教学模式的结合,在科学本质观培养、概念教学、探究教学等方面呈现出勃勃生机^[36]。

4 研究展望

采用“显性—反思”教学途径的案例教学,对于有意识设定的学科本质目标在一定程度上能有效完成,学生的科学本质观水平能有效提升。值得注意的是,科学本质观在每节内容中不可能全面提升,教师应当选取其中重点的几项内涵进行强化。HPS教学在科学本质观培养中展示了其出众的能力,值得教师加强理论研究和科学教学实践应用。此外,科学史与科学探究对于科学本质教学都是极具价值的教学资源,以往的研究将过多的眼光聚集在科学史上,而忽略了科学探究的科学本质观培养价值。当然部分科学史中包含了科学探究的内容,但对于教材中出现的独立的科学探究也应引起注意,教师应在实验探究教学中有意识地凸显科学本质的内容,开发合适的教学模式,达到培养科学本质观的目的。

主要参考文献

- [1] 胡献忠.新版英国《国家科学教育课程标准》及其启示[J].全球教育展望,2001(3):44.
- [2] 国家研究理事会.美国国家科学教育标准[M].北京:科学技术文献出版社,1999.
- [3] 黄晓.体现科学本质的科学教学[D].上海:华东师范大学,2010.
- [4] 中华人民共和国教育部.科学(7~9年级)课程标准(实验稿)[S].北京:北京师范大学出版社,2001.
- [5] 中华人民共和国教育部.初中科学课程标准(2011年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2011.

- [6] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物课程标准(实验)[S]. 北京:人民教育出版社, 2003.
- [7] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社, 2018.
- [8] Rubba P A, Andersen H O. Development of an instrument to assess secondary school students understanding of the nature of scientific knowledge[J]. *Science Education*, 1978,62(4):449.
- [9] Lederman N G, Abd-El-Khalick F, Bell R L, et al. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, 39(6):497.
- [10] 王健, 刘恩山. “科学本质”的研究及其进展[J]. *生物学通报*, 2007, 42(6):38.
- [11] Good R, Shymansky J. Nature-of-science literacy in benchmarks and standards: Post-modern/relativist or modern/realist?[J]. *Science & Education*, 2001, 10(1):173.
- [12] Mccomas W F, Almazroa H, Clough M P. The nature of science in science education: An introduction[J]. *Science & Education*, 1998, 7(6):511.
- [13] Smith M U, Scharmann L C. Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators[J]. *Science Education*, 1999, 83(4):493.
- [14] 美国科学促进协会. 面向全体美国人的科学[M]. 北京:科学普及出版社, 2001.
- [15] Khishfe R, Abd-El-Khalick F. the influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, 39(7):551.
- [16] 项红专. 论科学本质的教育[J]. *科技导报*, 2002(11):35.
- [17] 刘健智. 论中学生科学本质观的内涵[J]. *物理教学探讨*, 2006(9):1.
- [18] 徐蓉. 初中生科学本质观调查及提升策略[D]. 杭州:杭州师范大学, 2011.
- [19] 刘健智. 学生科学本质观调查问卷的设计及检验[J]. *教育测量与评价(理论版)*, 2009(5):34.
- [20] 魏冰. 高中生对科学知识本质认识状况的调查报告[J]. *教学与管理*, 1998(增刊2):44.
- [21] 姜锋. 高中生科学本质观的现状与转变[D]. 北京:首都师范大学, 2005.
- [22] 高育蒙. 高中生物学中 HPS 教育对学生科学本质观的影响[D]. 金华:浙江师范大学, 2012.
- [23] 朱满秀. 高中生物教学中 HPS 模式对学生科学本质观的影响研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2019.
- [24] 严文法. 高中生科学本质观及其影响因素的研究[D]. 重庆:西南大学, 2009.
- [25] 郭舒晨, 刘恩山. 科学本质观中“科学知识可能随着研究的深入而改变”对科学教学的启示[J]. *生物学通报*, 2018, 53(12):16.
- [26] Monk M, Osborne J. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy[J]. *Science Education*, 1997, 81(4):405.
- [27] Wandersee J H, Roach, L H. Interactive historical vignettes[C]//Mintzes J J, Wandersee. J H, Novak J D. *Teaching Science for Understanding A Human Constructivist View I* San Diego, CA: Academic Press, 1998: 281-306.
- [28] 潘瑶珍. 从物理实验形成物理概念: V 形图在物理概念教学中的应用[J]. *现代中小学教育*, 2006(2):54.
- [29] 鲁世明. 高中物理学习策略的培养研究[D]. 苏州:苏州大学, 2010.
- [30] 马文悦. 高中生物新课标中探究性实验教学的研究[D]. 长春:东北师范大学, 2007.
- [31] 刘书梅. 探究性实验教学体现科学探究本质的研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2011.
- [32] 黄晓, 高琦, 郭泓霖. “历史—探究—反思”的科学本质教学实证研究[J]. *教育科学研究*, 2019(2):57.
- [33] 黄晓. “历史—探究—反思”——谈“单摆”的科学本质教学[J]. *中学物理教学参考*, 2014, 43(增刊1):40.
- [34] 韩丽梅, 于一真, 郭芳侠. 中美英澳高中物理教材科学本质表征比较[J]. *中学物理*, 2022, 40(15):33.
- [35] 郭小玲. HPS 教育融入科学课程的国外研究成果简介[J]. *物理教师*, 2017, 38(6):80.
- [36] 赵占良. 生物学概念教学论[M]. 南宁:广西教育出版社, 2021.
- [37] 谭永平. 高中生物科学史教学中的问题及对策[J]. *教育科学论坛*, 2011(12):15.
- [38] 楼柏丹, 赵立铭. 高中生物学科学本质教学的方法及原则[J]. *中学生物教学*, 2022(22):22.

(E-mail:903074201@qq.com)