

【教学设计】

基于认知负荷理论探索真实情境下科学课程的教学设计

余建云 闫白洋

【摘要】认知负荷理论倡导教学设计应注意控制学习者工作记忆中的认知负荷,促进图式的构建和自动化运行。建立在认知负荷理论基础上的4C/ID模型是一种整体性的教学设计方法,有利于学生综合能力的培养及学习的迁移。在4C/ID模型的指导下,基于真实情境的科学课程设计路径包括:分析课程材料与学情,明确认知负荷程度,围绕模型基本要素整体设计单元教学活动,基于模型细化课堂教学活动。研究选取的真实情境来自社会性科学议题,为将社会性科学议题整合到科学课堂中提供了具体指导。

【关键词】认知负荷理论;4C/ID模型;真实情境;社会性科学议题

随着科学技术的飞速发展和全球化、信息化变革的不断深入,科学知识在21世纪呈现爆炸式增长。为应对这一挑战,我国《普通高中课程方案(2017年版2020年修订)》明确提出,课程设计应遵循教育教学规律和学生身心发展规律,促进学生核心素养的发展并提高其综合应用知识解决问题的能力。^[1]在教学实践中,引领教师利用认知科学和教育心理学的研究成果发展学生的关键能力、必备品格并使他们形成正确的价值观念,是发展学科核心素养的关键,也是帮助学生适应复杂的未来世界的有效途径。认知负荷理论(cognitive load theory)是一种基于人类认知结构的教学设计理论,其核心是基于学习的本质设计教学活动,促进有效学习的发生。^[2]社会性科学议题(socio-scientific issues, SSI)为科学学科教学提供了真实的情境,但由于其综合性、复杂性和争议性强,往往会带来较高的认知负荷而影响学生的有效学习。本文在认知负荷理论的指导下,基于4C/ID模型探索并提炼了真实情境下科学课堂教学的模式与路径,为社会性科学议题融入课堂教学提供了具体的应用策略与实践指导。

一、认知负荷理论的理论基础、主要观点与课堂教学模式

认知负荷是指学习者在执行学习任务时其认知系统所承受的负荷。澳大利亚教育心理学家约翰·斯威勒在《问题解决中的认识负荷:对学习的影响》

一文中首次详细描述了认知负荷理论。该理论以“学习的本质”为驱动,提出应基于人类的认知结构进行教学设计。历经三十多年的发展,认知负荷理论已成为教育心理学中最具影响力的学习理论之一。^[3]

(一)认知负荷理论的理论基础

认知负荷理论的第一个理论基础是人类认知结构中工作记忆与长时记忆的运行机制。心理学家阿特金森和谢夫林于1968年提出人类的信息处理模型(见图1)。^[4]该模型介绍了信息的三种存储方式:感官记忆、工作记忆和长时记忆。感官记忆是一种瞬时的信息存储,持续时间为0.1—0.5秒。其接收的外界信息刺激若能引起学习者的注意,则会转入工作记忆。^[5]工作记忆是学习者有意识地对外界信息进行加工处理并作出反应的系统,其容量和持续时间都非常有限。^[6]通常,工作记忆一次只能储存7±2个信息元素,信息保存的时间约为20秒。^[7]学习者只有将工作记忆中处理的信息保存到长时记忆中,其学习才是有效的。长时记忆没有容量和时间限制,它永久性地存储着人类一生累积的知识。

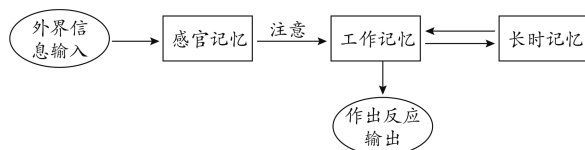


图1 信息处理模型

认知负荷理论的第二个理论基础是认知心理学对学习本质的研究。认知心理学认为,长时记忆中储存的图式是智力的主要特征,学习的本质是促进学习者构建图式。^[8]图式是人类长时记忆中知识的组织和存储形式,是人们在特定领域基于事实进行抽象、归纳和推理后形成的通用的知识结构。^[9]当工作记忆处理信息时,长时记忆中的图式能帮助学习者毫不费力地识别新信息的特征并加以有效处理。然而,新构建的图式在参与信息处理时往往是有意识、缓慢且费力的,容易产生较高的认知负荷。因此,学习的本质还包括通过多次练习促进图式的自动化运行,帮助学习者无意识、快速且顺畅地调取图式。

(二) 认知负荷理论的主要观点

第一,教学设计应控制学习者工作记忆中的认知负荷。^[10]认知负荷取决于工作系统中同时处理的信息元素的交互程度,包括内在认知负荷和外在认知负荷。前者受学习任务的内在复杂性影响,取决于任务的性质和学习者的专业水平。后者则由学习材料呈现方式不当或学习者被要求同时处理过多不必要的、与图式建立无关的信息元素所致。^[10]当学习者处理复杂任务时,高内在负荷和高外在负荷组合在一起,容易超出工作记忆处理信息的限度,导致学习失败。特定的学习者面对课程标准规定的学习任务时,其工作记忆中的内在认知负荷是固定的,此时应降低因教学设计而产生的外在负荷。

第二,教学设计应促进学习者构建图式并使其自动化运行。图式构建的模式分为两种:归纳学习和精制加工。^[11]前者是对具体的事实性知识进行归纳、抽象和概括以形成图式,后者则是学习者调取长时记忆中的已有图式参与处理新信息,以构建新图式或整合构建更高水平的图式。新构建的图式在运行时往往是有意识且不熟练的,会占用工作记忆并带来认知负荷。因此,教学设计应提供机会让学习者反复运用新图式以促进其自动化运行,减少工作记忆的负担。

(三) 基于认知负荷理论的课堂教学模式

认知负荷理论不仅为教学设计提供了框架性的指导,也基于大量研究证实了影响学习者认知负荷的效应,如范例学习效应、目标自由效应、注意力分散效应等。但这些具体的认知负荷效应通常用于指

导相对较短的单元设计或课堂片段设计。荷兰马斯特里赫特大学的范麦里恩博尔于1992年开发了针对一门课程或一个大主题进行教学设计的“四元教学设计模型”(以下简称“4C/ID模型”)。该模型在后续发展中吸收借鉴了认知负荷理论的研究成果,被斯威勒称为认知负荷理论的重要拓展。^{[12]xi}

4C/ID模型旨在通过对真实情境中的复杂任务进行整体设计,来发展学习者的知识、能力与态度,全面提升综合能力与专业素养,促进学习的迁移。^{[12]2}模型设计包含学习任务、支持性信息、过程性信息和专项练习四个基本要素,充分体现了“控制认知负荷”和“促进图式的构建及自动化运行”。认知负荷理论的主要观点与4C/ID模型各要素及其设计原则的对应关系如下页表1所示。

二、基于4C/ID模型设计真实情境下科学课程的路径

社会性科学议题指由科学技术发展所引起的一系列与政治、经济、文化、自然环境以及社会伦理道德相关的社会性问题。社会性科学议题教学(以下简称“SSI教学”)是一种基于真实情境的教学活动,是提高科学学科核心素养的有效途径。^[13]我国新修订的普通高中生物学、化学等学科课程标准均提出将社会性科学议题作为培养学生核心素养尤其是社会责任的载体。^[14-15]然而,由于社会性科学议题具有较强的综合性、复杂性和争议性,科学教师在开展SSI教学时面临着诸多挑战,包括:社会性科学议题如何与教材中的相应教学内容进行整合?SSI教学实施的模式框架和一般流程是怎样的?社会性科学议题涉及的复杂的科学知识应如何呈现以避免引起过高的认知负荷?为帮助科学教师更好地实践SSI教学,本研究以人类健康议题“如何提高公众对器官移植的认知及器官捐献的意愿”为例,基于4C/ID模型对高中生物学中“免疫调节”单元进行单元整体教学设计与课堂教学设计,以展示模型的应用策略,并提炼出将真实情境下的社会性科学议题整合到科学课程中的模式与路径。

(一) 分析课程材料与学情,明确认知负荷程度

我国高中生物学课程标准在内容要求中列出了“稳态与调节”模块“免疫调节”单元的重要概念,学生需要在构建重要概念的同时发展“结构与功能观”“稳态与平衡观”等生命观念,提升归纳与

表 1 认知负荷理论与 4C/ID 模型的对应关系

主要观点	基本要素	设计原则
控制认知负荷、促进图式构建	学习任务	· 为避免教学出现“分割化”和“碎片化”问题,每项学习任务都应提供完整的任务体验,帮助学习者全面发展知识、能力与情感态度 · 不同学习任务的难度是有差异的,应遵循从简单到复杂的呈现顺序 · 任务设计应有一定的变式,以促使学习者通过归纳学习构建图式 · 在每个任务组的学习中,可通过支持性信息和过程性信息为学习者搭建“脚手架”,但“脚手架”应逐渐撤出
	支持性信息	· 为学习者提供学习领域解决问题的方法,如科学家是如何解决科学问题的 · 为学习者提供学习领域知识的组织模式,如科学学科的学科观念或核心概念
控制认知负荷、促进图式自动化运行	过程性信息	· 为学习者提供完成学习任务需要的认知规则、正确运用规则所需的前提知识 · 对规则运用进行矫正性反馈 · 即时提供过程性信息
	专项练习	· 对学习任务进行反复练习,促进图式自动化运行 · 将专项练习安排在理解整体任务的学习之后

概括、论证与决策等科学思维能力,并能够参与器官移植、疫苗接种等社会性科学议题的讨论。人教版高中生物学教材“免疫调节”单元包含四个小节,分别是免疫系统的组成和功能、特异性免疫、免疫失调、免疫学的应用。该章内容属于细胞和分子水平的研究,学生普遍认为免疫调节过程复杂抽象,是学习难点。由此可知,学生在学习该单元时工作记忆中需要同时处理的信息元素多且交互性强,会产生较高的内在认知负荷。教师在进行教学设计时应控制并降低外在认知负荷,避免学生无效学习。

(二)运用 4C/ID 模型,整体设计单元教学

1. 构建 SSI 教学情境并提出核心问题

SSI 教学将现实世界中与科学和技术相关的问题引入课堂,为科学课程提供了真实的问题情境,使课堂更加灵动鲜活,充满挑战。社会性科学议题主要包括生态与环境议题、资源使用议题、人类健康议题、伦理与道德议题等。^[16]教师在单元备课时可主动寻找与本单元内容相关的社会性科学议题,设计 SSI 教学情境并使其贯穿整个单元,使科学课堂沉浸于真实的情境中。以“免疫调节”为例,本研究通过查阅相关资料设计了“提高公众对器官移植的认知及器官捐献意愿”的 SSI 教学情境。单元引入部分的

情境设计如下:

现代医学的进步 1951—1953 年,美国布列根医院的休姆医生进行了 9 例肾移植手术,由于免疫排斥等原因,患者肾脏的存活时间仅为 37—180 天。1954 年,布列根医院的穆雷医生成功进行了全球首例同卵双胞胎之间的肾移植,移植的肾脏存活了 8 年。近 50 年来,随着移植排斥反应的准确诊断、新型免疫抑制剂的成功研发和外科手术技术的不断进步,器官移植技术逐渐成熟并成为挽救终末期器官衰竭患者生命的唯一有效手段。

器官短缺的困境 我国人体器官捐献管理中心的统计数据显示,截至 2022 年 3 月 25 日,我国累计实现器官捐献 39114 例,捐献的器官共计 117498 个。^[17]然而,据临床统计数据,我国每年约有 30 万名终末期器官衰竭患者在等待器官移植,每年捐献的器官数量仅约 1.7 万个,大部分患者在等待中去世。器官短缺成为困扰我国器官移植临床救治工作的重大难题。

SSI 情境可以有效激发学生的好奇心与兴趣。在此基础上,教师可以重构本单元的核心问题和学习逻辑,螺旋上升式地建立本单元的图式,并利用图式去解决 SSI 情境问题。例如,“免疫调节”单元的核心问题包括“人体的免疫系统如何识别并清除

入侵机体的病原体、异物细胞以及衰老或死亡的自身细胞”“器官移植技术应用了哪些免疫学原理”等。

2. 围绕模型基本要素,设计单元教学活动

认知负荷理论指导下的4C/ID模型适用于真实情境中的复杂任务。根据模型的基本要素,教师可模式化地进行单元整体设计并绘制单元教学设计图。为帮助教师清晰理解模型设计的核心要领,本研究以范麦里恩博尔等人设计的4C/ID模型框架图为基础,绘制了“免疫调节”单元的教学设计图(见图2)。

基本要素1:设计学习任务。学习任务的设计是4C/ID模型的基石,为避免教学的分割化和碎片化,模型倡导设计基于真实情境的整体学习任务。笔者基于SSI情境为“免疫调节”单元设计了难度逐渐递增的四组学习任务,分别是:①免疫系统的组成;②特异性免疫;③免疫失调及原因;④器官移植中的免疫学应用。这四组任务既参考了教材的编排顺序,又遵循了认知负荷理论的原理。每组任务包含多个具体的学习任务,用以支撑对任务组中核心问题的回答。例如,任务组②中包含的具体学习任务有:免疫系统识别病原体;细胞免疫应答过程;体液免疫应答过程。图2中的虚线框表示任务组,虚线框内的大圆圈表示具体的学习任务。值得注意的是,4C/ID模型不仅要求任务组是真实且完整的,同

时提倡每个具体学习任务也基于真实情境且尽量完整。

基本要素2:设计支持性信息。4C/ID模型中的支持性信息是指学习领域中“解决问题的方法”和“知识的组织模式”。科学学科中解决问题的方法即科学家解决问题的研究方法,知识的组织模式即学科观念或核心概念。支持性信息可以引导学生基于学科观念和核心概念思考问题,促进新图式或更高水平图式的构建。例如,“免疫调节”单元诠释的学科观念包括结构与功能观、稳态与平衡观、系统论观点等。单元的核心概念包括免疫细胞之间通信交流的模式,免疫系统协调配合的模式、免疫系统反馈调节的模式等。图2中的灰色“L”形代表支持性信息,大圆圈内的灰色阴影面积代表教师提供支持的程度。4C/ID模型建议,对同一任务组中不同任务支持的力度应由大到小递减。因此,教师在设计教学活动时可在最开始的学习任务中提供最完整的支持性信息,在后续学习任务中将“脚手架”逐渐撤除。

基本要素3:设计过程性信息。过程性信息是为学习任务提供的即时的前提信息,主要包括完成学习任务所需的认知规则、正确运用规则所需的前提知识以及对学习者出现错误时的即刻纠正。过程性信息提供的知识与支持性信息中的知识是有区别的。支持性知识指学科观念或核心概念,而过程性信息中的前提知识则主要指科学事实和学科核心概

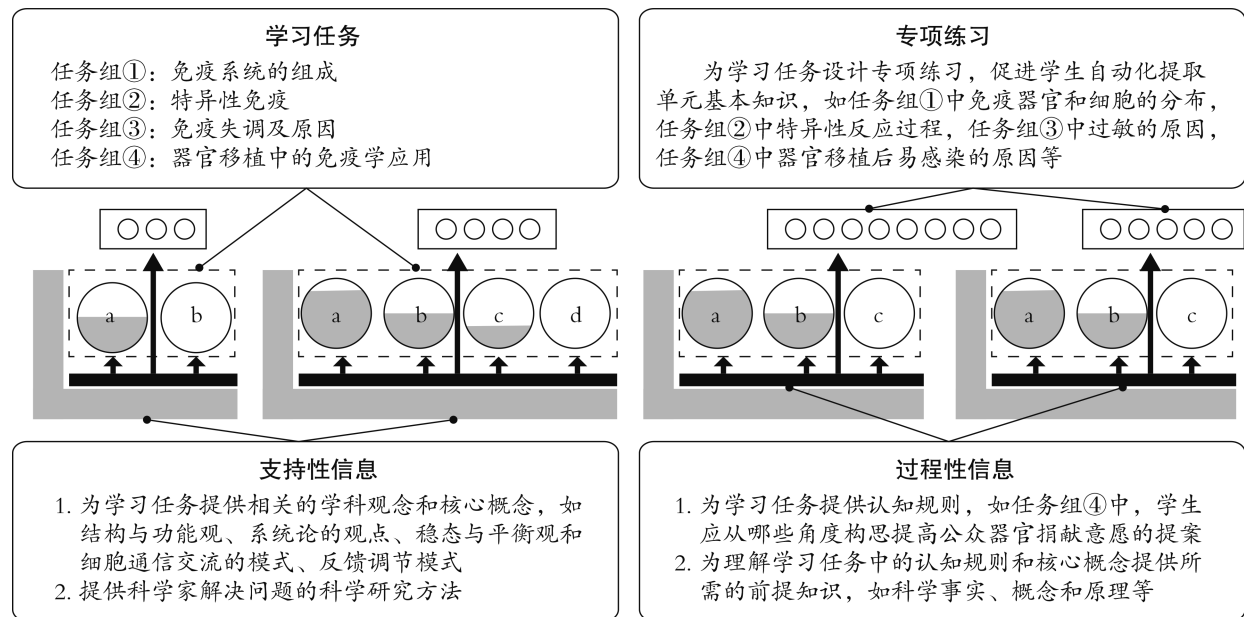


图2 基于4C/ID模型的“免疫调节”单元教学设计

念的下位概念等。为减少认知负荷,过程性信息应在学习者需要帮助时即时提供。例如,在“免疫调节”教学中,免疫器官的名称、免疫细胞的种类、免疫抑制剂的种类以及免疫相关的科学研究数据等都属于过程性信息。过程性信息可以帮助学生构建图式,但其本身并不是学习的重点。图 2 中的黑色条形和箭头表示过程性信息,其提供应该是即时的。

基本要素 4:设计专项练习。专项练习指为学习任务提供一定量的重复训练。整体性的任务设计有利于克服分割化与碎片化问题,但新构建图式若不能熟练运用,迁移至新任务中解决问题时反而会占用工作记忆的资源。因此,在每个任务组学习后都设置专项练习环节,有助于学生通过精心设计的练习实现图式的高度自动化,以减少认识负荷。专项

练习在图 2 中用实线条形方框中的小圆圈表示,一个任务组中可安排多个习题让学生进行反复练习。

(三)基于 4C/ID 模型,细化课堂教学活动

课堂实施是教学的核心,也是发展学生核心素养最为关键的环节。为帮助教师实现真实情境下的社会性科学议题在科学课堂中的落地,本研究以图 2 中的学习任务组 4 为例,详细示范了基于 4C/ID 模型设计的科学课堂教学案例(见表 2),课时安排为 1 课时。

培养学生的科学学科核心素养是科学教育的宗旨与目标,其落实寄托在每位科学教师的课堂上。在实际教学工作中,教师可尝试借鉴本研究中基于 4C/ID 模型提炼的单元教学设计路径,创造性地开发更多以社会性科学议题等真实情境为背景的科学课程教学设计。

表 2 基于 4C/ID 模型的 SSI 情境教学案例

【SSI 议题】如何提高公众对器官移植的认知及器官捐献的意愿?	
【支持性信息】结构与功能观、稳态与平衡观、系统论观点、细胞间通信交流模式等	
【学习任务 4-a】器官移植中发生免疫排斥的原因是什么	
回顾单元引入 SSI 情境中的肾移植手术,引导学生具体分析: ① 休姆医生进行的肾移植手术失败的主要原因是什么? 尝试构建模型,解释人体的免疫系统是如何排斥移植进入身体的异体器官的 ② 从免疫学角度分析,进行器官移植的供者和受者需要具备怎样的条件 备注:学生在任务组 2 中已经建立了特异性反应过程的模型,此任务是对该模型的应用	【过程性信息】 ① 提供资料:移植排斥反应通常认为由细胞免疫介导,但最新研究发现,在移植受者的体液中存在抗供者 HLA 抗体 ② 对学生描述的特异性反应过程模型进行即时的反馈与修正 ③ 提供资料:国际通用的肾移植组织配型
【学习任务 4-b】器官移植中免疫抑制剂的使用	
通过病例分析活动,引导学生具体分析: ① 基于学习任务 4-a 中构建的特异性反应过程模型,解释患者 A 为什么需要长期服用免疫抑制剂,这些药物是如何发挥作用的 ② 推测患者 A 近期出现不适症状的原因 ③ 根据资料分析,与抗原无错配的移植相比,抗原错配会带来哪些风险,提出可以减少错配带来风险的策略备注:此任务是对特异性反应过程模型的应用	【过程性信息】 ① 提供病例分析活动资料:患者 A,行肾移植手术 6 个月,术后长期口服 MMF 胶囊和 FK506 胶囊等药物,近期出现咳嗽、咳痰、发热等症状 ② 提供上述活动中药物的主要机理信息 ③ 提供研究资料:随着移植受者与供者抗原错配数量的增加,患者术后发生急性排斥反应的比例增加,肾脏存活的时间也在缩短 ^[18]
【学习任务 4-c】如何提高公众对器官捐献的意愿	
播放视频,开展以下活动: ① 叶沙捐献了哪些器官挽救了其他患者的生命? 你怎样看待叶沙生命的意义?	【过程性信息】 ① 视频短片《一个人的篮球队》讲述了热爱篮球的 16 岁少年叶沙因突发脑溢血不幸离世。他的父母决定让爱延续,捐献了叶沙的器官。因叶沙的器官获得新生的 5 名患者组成了一支叶沙篮球队

续表 2

【学习任务 4-c】如何提高公众对器官捐献的意愿	
播放视频,开展以下活动: ②《等待》中的患者等待的器官有哪些来源?你认为我国志愿捐献器官登记人数较低的原因有哪些? ③分组讨论并构思“提高公众对器官捐献意愿”的模拟政协提案。引导学生分析意愿低的原因,如传统思想的影响、担心器官分配不公平、对脑死亡认知不足、对器官移植的知晓率和积极性低等。基于原因分析和过程性信息③中的资料,提出切实可行的提案。开展班级“模拟政协”活动,学生分组阐述提案并讨论	【过程性信息】 ② 视频短片《等待》讲述多位等待器官移植的患者对生命的渴望,一些人在等待中离开了这个世界 ③ 提供我国器官移植的法律法规资料;提供器官捐献工作流程资料;介绍捐献的器官通过中国人体器官分配与共享计算机系统(COTRS)进行分配;提供不同国家和地区器官捐赠政策的资料
【专项练习】提供心脏移植、肺移植中免疫排斥的相关题目,对特异性反应过程模型进行练习	

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中课程方案(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020:前言 3.
- [2] SWELLER J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning[J]. Cognitive Science, 1988(2): 257-285.
- [3] SWELLER J, VAN MERRIËNBOER J J G, PAAS F G W C. Cognitive architecture and instructional design: 20 years later [J]. Educational Psychology Review, 2019(2): 261-292.
- [4] ATKINSON R C, SHIFFRIN M. Human memory: A proposed system and its control processes [M]//SPENCE K W, SPENCE J T. The psychology of learning and motivation. New York: Academic Press, 1968: 89-195.
- [5] STEWART J H, ATKIN J A. Information processing psychology: A promising paradigm for research in science teaching[J]. Journal of Research in Science Teaching, 1982(4): 321-332.
- [6] FORSBER A, GUITARD D, COWAN N. Working memory limits severely constrain long-term retention [J]. Psychonomic Bulletin and Review, 2021(2): 537-547.
- [7] MILLER G A. The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information[J]. Psychological Review, 1956(2): 81-97.
- [8] SWELLER J. Cognitive load theory and educational technology[J]. Educational Technology Research and Development, 2020(1): 1-16.
- [9] CHI M T H, GLASER R, REES E. Expertise in problem solving [M]//STERNBERG R J. Advances in the psychology of human intelligence. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1982.
- [10] SWELLER J. Cognitive load theory [M]//MESTRE J, ROSS B. Psychology of learning and motivation. Oxford: Academic Press, 2011: 37-76.
- [11] VAN MERRIËNBOER J J G. How people learn [M]//

RUSHBY N, SURRY D. The wiley handbook of learning technology. New York: John Wiley & Sons, 2016: 15-34.

[12] VAN MERRIËNBOER J J G, KIRSCHNER P. A ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design [M]. New York: Routledge, 2018.

[13] SADLER T D. Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education [M]//SADLER T D. Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research. Dordrecht: Springer, 2011.

[14] 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: 5.

[15] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版)[S]. 北京:人民教育出版社, 2018: 4-5.

[16] SADLER T D, FRIEDRICHSEN P, ZANGORI L. A framework for teaching for socio-scientific issue and model-based learning (SIMBL) [J]. Education and Borders, 2019(25): 8-26.

[17] 捐献完成登记 [EB/OL]. [2022-03-31]. <https://www.codac.org.cn>.

[18] 郭予和, 马俊杰, 李光辉, 等. HLA 配型对肾移植长期存活的影响[J]. 中华器官移植杂志, 2015(11): 4.

【作者简介】余建云, 香港大学教育学院博士研究生, 主要从事科学教育与教师教育研究(香港 999077); 闫白洋, 上海市行知中学教科室主任, 特级教师, 主要从事生物学教育与测评研究(上海 201999)。

【原文出处】《课程·教材·教法》(京), 2022. 7. 140~146

【基金项目】上海市教育委员会专项经费项目“高中学生个性化化学程与学分制管理的实践探索”(201612); 上海市教育委员会上海市教育科学规划项目“以培养学生创新思维品质为导向的新行知课堂教学形态的实践与研究”(B12108)。