DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.02.014
文献引用：陈薇薇，康春莉，杨平．环境化学实验创新教学体系的改革探索［J］．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（2）：91-96. CHEN W W，KANG C L，YANG P. Reform and explore of innovative teaching system of environmental chemistry experiment［J］. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2025，46（2）：91-96.

环境化学实验创新教学体系的改革探索*

陈薇薇**，康春莉，杨　平
（吉林大学新能源与环境学院，吉林 长春　130012）

摘要：环境科学专业应培养适应社会主义现代化建设和未来社会与科技发展需要的，具有创新精神、实践能力和国际视野的高素质人才。吉林大学环境化学实验在具有高水平实验教材、高配置实验条件和高素质实验教学队伍的基础上，以建立培养学生实践创新能力和提高实验教学质量的创新教学体系为目标，坚持以学生为主体、教师为主导的实验教学理念，采用先进的多元化实验教学手段，结合高水平的科技成果转化和实验课成绩的过程性评价方法等，从教学模式、实验教学内容、实验室安全教育和考核评价体系4个方面开展了实验创新教学体系的改革与探索。

关键词：环境化学实验；实验教学改革；实践创新能力
中图分类号：X131　　**文献标志码**：A

Reform and explore of innovative teaching system of environmental chemistry experiment*

CHEN Weiwei**，KANG Chunli，YANG Ping
（Jilin University College of New Energy and Environment，Changchun Jilin　130012）

Abstract：The major of environmental science needs to cultivate the high-quality environment professionals with innovative spirit，practical ability and international vision to meet the needs of socialist modernization and future social and technological development. On the basis of high-level experimental materials，high-configuration experimental conditions and high-quality experimental teams，with the goal of establishing an innovative teaching system of the practical and innovative abilities cultivation of students，and the principle of student-oriented and teacher-led，using advanced and diversified experimental teaching methods，combined with high-level transformation of scientific research results and process evaluation methods of experimental course results，the reform and exploration of experimental innovation teaching system of environmental chemistry experiment in Jilin University were carried out from four aspects：teaching mode，teaching content，laboratory safety education and assessment and evaluation system.

Keywords：environmental chemistry experiment；experimental teaching reform；practical and innovative abilities
CLC：X131　　**DC**：A

收稿日期：2023-12-16
*吉林大学教学改革项目（2021XYB151）；吉林大学实验技术项目“环境空气中烷烃的光催化氧化装置”；吉林大学实验技术项目“冰相中新污染物空间分布特征的原位荧光成像装置”
**通信作者：chenvv@jlu.edu.cn

0 引 言

“环境化学实验”是一门重要的基础实验课程,在环境科学专业能力型人才培养方面发挥着至关重要的作用。在环境科学专业本科教学中,环境化学实验课程是依托于专业核心基础课程“环境化学”发展起来的实践教学课程。实验教学与理论教学相辅相成又自成体系,是学生理论联系实际、提高动手能力和培养创造性思维的重要环节之一[1-2]。相对于理论教学,实验教学具有更强的直观性、实践性、综合性和创新性,在高素质综合型人才培养中具有不可替代的重要作用[2]。通过环境化学实验课程,学生能够加深对环境化学理论知识的深入理解,能够养成自主分析和独立解决问题的科研习惯,能够增强团队合作意识和实践创新能力,能够培养严谨的科学态度和工作作风,为学生将来的学习深造、从事科学研究和解决工作中的实际问题打下坚实基础。

“加强实验教学,注重学生实践能力和创新精神的培养”是高校教育改革的一项重要目标。因此,高校在重视理论教学的同时,应该进一步加强对实验教学的重视,教学目的不应该只停留在训练学生实验操作上,而是应该通过实验教学加深学生对理论知识的理解和认识,使学生对科学规律、科学研究方法有更深入的了解,能够将理论与实际有机结合,真正地做到学以致用,继而在产生浓厚科研兴趣的基础上进行更深入的科学研究[1,3]。随着高校对学生培养目标的日益提高,社会对环境类专业人才的需求越来越强调创新实践能力和综合素质,环境类专业所开展的环境化学实验教学中普遍存在的一些不足和问题就逐渐显现出来了。

徐轶群等[4]指出目前环境科学专业实验教学中存在实验内容少、验证性多、设计性少、综合性少等问题,实验教学是理论教学的附属物,不利于创新型人才的培养。朱维琴等[2]指出目前环境化学实验课程普遍采用以教师为主的单项教学评价方式存在过分强调评价性结果,难以实现教学过程控制,实验报告评价标准不明确,评价体系不健全等弊端。董昭君等[1]和王展等[5]均指出环境化学实验中存在教学质量薄弱,内容陈旧不能与环境科学前沿接轨,教学方法滞后无法激发学生学习积极性,考核方法单一和考核机制不完善等问题。由此可见,目前全国高校开展的环境化学实验课中集中存在的问题主要包括:实验课仅为理论课做配套,实验内容薄弱,导致学生缺乏学习兴趣和动力[6];教学方式传统单一,学生按照教师的规定步骤进行实验,缺乏与教师之间的互动,缺少主动思考过程和创新动力,无法从实验中充分积累经验和锻炼能力,缺少能够引起学生学习积极主动性和调动学生参与积极性的教学手段和实验内容;没有形成能够客观反映学生综合能力和实验教学效果的实验成绩综合考评办法。此外,还存在对学生安全意识和良好实验习惯养成的重视程度普遍不足、实验室安全教育培训缺失的现象[7-8]。以上都是亟待改革的影响环境化学实验教学质量、阻滞实现教学目标和人才培养目标的共性问题。

针对环境化学实验课程设立的教学目标和教学现状中存在的不足。吉林大学环境科学专业环境化学实验教学团队实施了一系列改革创新举措。在学科优势的基础上,结合自身的实验教学特点,以建立培养学生实践创新能力和提高实验教学质量的创新教学体系为目标,坚持以学生为主体、教师为主导的实验教学理念,采用先进的多元化实验教学手段,结合高水平的科技成果转化和实验课成绩的过程性评价方法等,从环境化学实验教学方式、实验教学内容、实验室安全教育、考核评价体系4个方面开展了创新教学体系的改革与探索。

1 环境化学实验教学的优势

1.1 高起点的学科背景

立足于化学学科发展起来的环境化学学科是吉林大学环境科学专业的一大特色,也始终是环境科学专业发展建设的中心。吉林大学环境化学专业于1979由国家批准设立,是国内首批设立的环境类专业之一。1987年,原吉林大学环境化学专业获批准成立环境科学系,从成立之初就奠定了其扎实的化学基础和人才优势。2001年至今,环境科学专业高质量的迅速发展,在不断完善学科建设的同时取得了很多优异成绩,先后被评为吉林省重点学科、吉林省一类特色专业、“十二五”省级优势特色重点学科、吉林省高校本科品牌专业、吉林省一流专业等。依托于强大的学科背景优势,环境化学实验课一直是学科专业基础课,属于核心课程,目前包括8个实验项目(48学时),与环境化学理论课相辅相成又独立成课。环境化学实验教学在课程设置、教学条件和教学内容等方面持续发展并不断改革,在

40余年教学实践过程中积累了较丰富的经验,为环境化学实验课的持续性发展奠定了坚实基础。

1.2 高水平的实验教材

采用高水平的实验教材有利于规范学生的标准化操作,在提高学生实验技能方面更是事半功倍。面向环境科学专业本科生的课程配套教材,一直由本教学团队编写。由早期的自编讲义逐步发展为正式出版的教材—《环境化学实验》。教材所包含的所有实验项目由教学团队几经修订和完善,先后出版3次,且最新版的实验教材目前也正在筹划修订中。已出版的三版教材分别是:由康春莉教授主编,吉林大学出版社于2000年出版的《环境化学实验》[9];由董德明教授作为主编之一、康春莉教授参编的高等教育出版社于2009年出版的《环境化学实验》[10],该版教材被评为国家"十一五""十二五"规划教材;由董德明、花修艺、康春莉教授主编,由北京大学出版社于2010年出版的《环境化学实验》[11]。

1.3 高配置的实验条件

宽敞的实验场地空间、完善的实验配套装置、充足的仪器设备数量等实验硬件设施是完成高质量实验教学的先决条件[4-5,11]。目前设立有环境化学综合实验室、气相色谱实验室、液相色谱实验室和原子吸收光谱实验室等不同功能的环境化学教学实验室,实验用房面积近1 000 m^2。随着实验项目的不断更新,测试手段的迅速发展,分析测试采用的仪器设备也不断更新补充,原子吸收光谱仪、高效液相色谱、气相色谱、总有机碳分析仪、荧光分光光度计等高精仪器设备逐渐应用于实验教学中,显著提高了分析测试效率。

1.4 高素质的实验教学队伍

素质优良、技术精湛的实验教学队伍是建立一流学科、培养一流人才的支撑,是高质量完成实验教学任务的有力保障[12]。任课教师与实验技术人员所组成的高素质环境化学实验教学队伍又是一显著优势,团队成员全部为博士学历,副高级以上职称。多年来坚持不懈地贯彻高质量培养任课教师的原则,任课教师不仅能熟练、灵活地掌握实验教学内容,而且能积极主动地关注课程相关的前沿内容和最新动态,不仅能充分把握实验教学的基本思路,而且能对实验课内容做出合理的变动与调整。近年来,随着着力引进高水平实验技术人员,通过提供交流培训机会,实施多方位的激励政策,鼓励参与教学改革和科研创新等方式不断提高实验技术人员的专业能力,从根本上打破了过去由于实验技术人员人手不足和学历不高等因素产生的制约,提升了环境化学实验教学队伍的整体水平。

2 环境化学实验教学改革内容与方式

2.1 "124"实验教学模式

在以往的环境化学实验教学中,仍采用教师主动讲授、学生被动接受为主的模式以及传统的实验教学方法。学生以教师布置的实验内容为准,按照固定的实验方法和步骤进行操作,虽然可以基本满足对学生实验操作技能的培训要求,但对于开展综合性、开放性等实验项目,已逐渐显现出不足,甚至成为弊端。为改进陈旧的实验教学模式,以及单一的实验教学方法,环境化学实验尝试采用"124"教学模式,其中1是实验教学目标,2是以学生为主体、教师为主导的2个核心组成部分,4是实验教学的4个环节。以"空气中烷烃的光催化氧化"实验项目为例,对改革教学模式加以说明。培养学生实践创新能力和提高实验教学质量的目标,以学生为主体、教师为主导的教学理念,时刻体现在4个实验教学环节当中。

(1)以提高学习主动性为导向的预习环节。通常会在开课之前将实验大纲及要求等文字版资料发给学生,要求学生完成实验目的、原理、方法和步骤的预习。从以往的课堂表现来看,学生普遍对实验项目的理解仅浮于浅显的理论认知,对光催化氧化烷烃的原理理解不够透彻,对光催化实验操作步骤、方法印象不深。这种预习环节无法让教师掌握学生预习的真实情况,也不能有效调动学生学习的主动性,导致学生对实验项目缺乏独立思考性,在课堂上难以提出有价值的问题,无法与教师之间产生积极互动以获得良好的实验教学效果。随着现代化信息技术在教学领域中的广泛应用,传统的教学模式迅速向线上线下相结合的混合式教学方式转变[13-14]。因此,在此次环境化学实验创新教学体系的改革探索中,教师在"长江雨课堂"平台创建班级群,组织学生实名制加入,并于开课2周前上传预习资料。学生可以自主地利用碎片化时间自行完成预习任务,通过多媒体课件和真人演示视频的学习,学生能够详细了解光催化氧化烷烃的机理、影响因素,并且能够直观地了解光催化实验操作的步骤和方法等,如果遇到有疑惑的问题,大家可以通过平台进行询问和探讨,充分调动了学生的学习自

主性。与此同时,教师也可以掌握每位学生的预习情况,既能高效灵活地解决学生的疑问、促进师生之间的交流互动,又有助于教师总结出学生们在预习过程中碰到的难点,并在线下教学时着重讲解和进行操作指导。此外,利用微信建立课外交流网络平台进行补充,方便学生随时提问,既可以形成讨论群,也可以一对一私聊。将混合式教学法运用于环境化学实验教学过程,既能将传统课堂学习与数字化学习的优势结合起来,又能充分体现学生的主体地位和教师的主导作用。

(2)突出学生主体地位的课上实践环节。从实验操作开始前光催化装置的气密性检查、高压汞灯的固定位置、配气方法,到操作过程中的取样、测样,再到实验结果记录、分析等,每个步骤都以学生动手操作为主,遇到难点、学生操作不规范等问题,教学会及时加以纠正并做出正确示范。在整个实验教学过程中,教师主要负责指导实验操作过程、仪器使用方法,同时鼓励学生以小组为单位提出对现有实验方案的看法,实验操作中遇到的问题,特别是不符合一般规律的实验现象等,由指导教师给出建议,引导学生通过思考和讨论去积极解决问题而非由教师直接给出标准答案。利用启发式和讨论式的教学方式代替过去"填鸭式"的教学方式,不仅能调动学生的学习自主性,而且能提高学生自主分析、独立解决问题的能力。

(3)以培养创新能力为导向的实验结果分析环节。在以往的环境化学实验教学中,经常出现学生不重视或者不知道如何去分析实验结果的现象。为提高学生对实验结果的分析与讨论能力,指导教师不应因实验结果的好坏判定学生实验成绩,而是将考查重点落在学生对实验结果的分析讨论上。针对不同小组的实验结果存在差异,甚至出现异常的实验结果时,指导教师不持否定态度,而是耐心引导学生尝试挖掘实验结果所反映的规律、问题以及产生原因。首先,让学生明白分析、讨论的意义与重要性,指导教师可向学生举例说明如何进行结果分析,让学生在从模仿的学习过程中锻炼自主分析与讨论的能力;还可以鼓励学生去文献资料中查找有力的论据去支持自己的实验结果,或论证导致实验结果出现错误的原因[15]。这种分析与讨论问题能力的锻炼加强了学生学习主动性的同时提高了学生的创新能力,有助于学生研究生阶段的专业学习和以后从事科学研究工作。

(4)以培养归纳总结能力为导向的实验报告撰写环节。实验报告是对整个实验过程和实验结果的总结与升华,是获得科学结论必不可少的重要依据,也是考查学生归纳和总结水平的主要依据[16]。为规范环境化学实验报告的书写,提高撰写质量,报告设有固定格式要求,主要包括实验目的、实验原理、仪器和试剂6个部分。实验报告中的符号、图标等严格按照《吉林大学本科生毕业论文格式要求》规定的标准执行,同时要求必须做到数据真实可靠,尽可能做到条理清晰、语言精练、论据充分。通过撰写严谨、规范的实验报告可达到提高学生分析表达与归纳总结能力的目的,为全面提升学生科技写作水平打下良好基础。

2.2 实验教学内容的结构性调整与优化

实验教学是培养学生创新精神和实践能力的重要途径,在高素质创新人才培养中具有不可替代的重要作用[17-18]。根据环境化学实验课程不断提高的培养要求和教学目标,环境化学实验教学内容已暴露出教学内容陈旧、发展迟滞的态势[19-20]。以往的课程内容均出自实验教材,受实验条件、学时数等因素限制均为验证性和综合性实验,如"有机物的正辛醇-水分配系数""苯甲腈水解速率常数测定"等实验项目都有固定的实验方法,理论成熟且难度不大,虽然有助于学生巩固理论知识和锻炼动手能力,但在实验内容上缺乏创新性,导致学生在操作过程中遇到的问题较少,难以启发学生充分思考,也无法给学生提供创新和实践的空间。因此,对原有的实验项目重新进行论证和优化。调整前的实验项目中,验证性实验比例为12.50%,综合性实验比例为87.50%;经优化后的教学实验项目中,综合性实验比例为80.00%,研究性和设计性实验分别比例为10.00%,其中陈旧的验证性实验项目"有机物的正辛醇-水分配系数"被淘汰,补充了新的综合性实验项目"菲在土壤上的有机碳标化吸附系数",并新增了研究性实验项目"生物炭活化过硫酸盐氧化降解双酚A"和设计性实验项目"水中痕量抗生素类污染物的分析"。

在选择新增实验项目的过程中,紧跟科技发展步伐、关注热点环境问题,着重将基础实验教学与科研相结合,将成熟的科技成果转化到实验教学当中,让学生在了解当今环境化学领域的最新发展动态和最新发展趋势的同时,初步掌握理论联系实际的基本方法。以新增设计性实验项目"水中痕量抗

生素类污染物的分析”为例,由指导教师提供选题,学生可自由组队,自己动手查阅文献资料,增加对近年来越来越引起重视的新污染物的了解,尤其对具有代表性的抗生素类污染物的了解并产生自己的想法。由于实验对象和实验方法都是开放性的,各小组可结合实验项目考核要求与本组的兴趣点,选择目标污染物,规划实验思路,理清实验步骤,对比不同的可行性实验方法尤其是测试方法等内容,并编写预实验方案,与指导教师探讨通过后,自行做好实验前准备工作后即可开展实验研究。开展设计性实验项目与基础性实验项目不同,学生全程都要自己思考、自己设计、自己发现问题并积极需求解决办法,学生在实验教学中的主体地位更加突出。例如,学生在确定目标污染物时会详细了解污染物性质,然后根据其特点去筛选合适的前处理方法和测试方法。可行的实验方法并不唯一,且各有优劣,学生就需要通过实际操作去对比其效果,进而确定哪种才是最适合的实验方法,甚至有可能在摸索方法的过程中融入自己的想法,对现有的实验方法进行一定改进,这一系列的动手操作和尝试摸索能够切实加强实践创新能力的锻炼。学生在遇到难题和探讨实验方案的过程中,会寻求小组其他成员的帮助,也会听取小组其他成员的意见,实验操作也时常需要与小组其他成员合作,学生的团队合作意识会因此得到大幅度提升。

2.3 纳入教学全过程的实验室安全教育

学校实验室是开展实验教学的主要场所,实验室安全管理是维护师生人身安全和实验教学正常进行的前提和保证。近年来,高校实验室安全工作越来越受到重视,随着2019年教育部出台了《关于加强高校实验室安全工作的意见》,学校和学院都陆续发布了关于实验室安全的管理办法。然而,由于本科生进入实验室的机会有限,对实验室的使用现状及安全因素了解较少,导致学生对实验室安全问题的理解和防范意识比较模糊,即使通过实验室安全集中专项培训后能顺利通过安全知识考核而获得实验室准入资格,但仅局限于理论化的安全教育实效在实验具体操作中难免会大打折扣。因此,在环境化学实验教学改革中加强了对学生的实验室安全教育,并将其贯穿于课程始终。

在整个环境化学实验教学过程中,紧密结合实验教学的各个环节,分别在课前对学生进行安全专项教育,课上进行安全渗透教育,课后进行安全延伸教育[8,21]。要求学生在开课之前,参加学院组织的实验室安全知识集中专项培训,掌握实验室着装、消防安全、药品取用和废弃物处理等实验室安全通识知识,强化安全意识,并必须取得实验室准入资格。督促学生自查自学环境化学实验项目可能涉及的安全隐患,了解实验所需试剂、仪器的使用安全注意事项等。在课堂上,教师通过讲解、演示和指导等将安全教育知识点渗透到具体实验操作中,如化学试剂的安全使用,实验步骤的规范化操作,化学废弃物处置,仪器设备使用的标准操作规程等,最大限度避免由于人为原因可能造成的人身伤害,仪器设备损坏等实验室安全事故,同时提高学生的安全实践技能。关于环境化学实验的安全教育不会随着课程的结束而终止,且有必要在课后继续延伸,因此在课后的实验报告撰写环节,在原有与实验项目内容、结果相关的思考题之外,增加一道与实验室废弃物处置相关的思考题,引导学生通过环境化学实验教学树立具有环保理念的责任感。

2.4 全面科学的过程性考核评价体系

建立合理的评价指标,构建全面科学的评价体系,是实验教学改革可以健康有序进行的有力保证,对学生的学习主动性与实践创新积极性具有重要影响。原有的环境化学实验教学考核量化包括预习报告、实际操作、结果和实验报告比例分别为20.0%、30.0%、30.0%和20.0%,可以看出以往实验课成绩评定更看重学生是否能够完成实验以及完成结果的质量,并且没有将实验过程质量考核进行细化纳入考核评价体系当中,无法充分体现环境化学实验教学目标和人才培养目标。因此,整个实验教学团队经过教学经验总结、研讨调研等方式,以培养实践创新人才和提高实验教学质量为目标,在坚持以学生为主体、教师为主导的基础上,紧紧围绕着“124”教学模式展开实验教学考核评价体系改革。结合学生在实验教学过程中的表现与实验报告完成情况,在原考核方式及成绩评定基础上,补充了考核内容、完善了考核细则,加强了对学生实验室安全培训情况、对实验结果分析情况等方面的考核,同时通过研究性、设计性实验考查学生实践创新能力是否通过实验教学得到了提高。新的环境化学实验教学考核量化见表1。

表1 环境化学实验教学考核量化表

考核内容	考核评价指标	成绩评定标准百分比/%
预习情况	实验室安全知识考核情况;实验目的、原理掌握程度;参考文献查阅总结情况;对实验内容理解或自行设计实验方案可行性;提问与讨论积极性	20.0
实际操作	实验服穿戴与安全防护情况;化学试剂取用规范情况;实验操作规范程度;仪器使用熟练程度;实验习惯	30.0
实验结果与分析	实验结果是否真实可靠;数据处理是否科学合理;图表制作是否规范;结果分析是否准确到位	30.0
实验报告	报告结构完整性;卷面整洁性;分析表达与归纳总结能力;对思考题的理解	20.0

3 结束语

环境化学实验教学团队基于自身专业优势及特色,在实验教学模式、实验教学内容、实验室安全教育、考核评价体系4个方面进行了创新改革与探索。一方面,通过采用以学生为主体、教师为主导的"124"教学新模式,利用"长江雨课堂"等数字化多媒体手段实现线上线下混合式教学新方式,增加与学科前沿内容紧密相关的研究性、设计性实验项目,激发了学生对环境化学实验课程的学习兴趣和高度认可,形成了教师与学生之间教与学的良好互动机制;另一方面,通过侧重对学生实验结果分析与归纳总结能力的考查,新增实验室安全教育,补充完善考核评价体系,加深了学生对专业理论知识的理解和掌握,提高了学生的实验积极性和主动性,增强了学生的团队合作和实践创新能力,最终形成了一个完整有效地培养学生实践创新能力和提高实验教学质量的创新性实验教学体系。

参 考 文 献

[1] 董昭君,蒋惠忠,牛姝,等.环境化学实验教学改革新思路[J].教育教学坛,2017(52):276-278.

[2] 朱维琴,王娇娇,张杭君,等.基于能力培养的《环境化学实验》课程教学评价方式改革与实践[J].教育教学论坛,2019(19):274-275.

[3] 彭莉,贺铭,李小洁,等."互联网+"混合式教学法在实验教学改革中的实践:以《生物化学与分子生物学》实验为例[J].科教资讯,2022(13):155-158+171.

[4] 徐轶群,熊慧欣,王子波,等.创新型人才培养下的环境科学专业实验教学改革[J].科技创新导报,2015,8(26):187-188.

[5] 王展,邹洪涛,杜立宇,等.浅析环境化学实验教学改革与创新[J].教育教学论坛,2020,7(29):382-383.

[6] 朱倩倩,王稳.培养化学拔尖人才为导向的综合化学实验(I)教学改革探索[J].大学化学,2022,37(7):2111035.

[7] 杨莉,程林,杨利民,等.基于生态学专业特色的实验安全教育课程设计与管理模式探索[J].高教学刊,2023,20:138-141.

[8] 杨美盼,刘丽军,王珊等.安全教育融入高校化学实验教学中的探索与实践[J].安全管理,2023(8):78-80+111.

[9] 康春莉,徐自力,马小凡.环境化学实验[M].长春:吉林大学出版社,2000.

[10] 董德明,朱利中.环境化学实验[M].北京:高等教育出版社,2009.

[11] 董德明,花修艺,康春莉.环境化学实验[M].北京:北京大学出版社,2010.

[12] 高然,薛凌云,樊冰,等.立德树人背景下高校实验技术队伍能力提升对策[J].实验室研究与探索,2022,41(10):277-281.

[13] LORICO D S, LAPITAN J, CRISTINA E, et al. An effective blended online teaching and learning strategy during the COVID-19 pandemic [J]. Education for Chemical Engineers,2021,35:116-131.

[14] ADARKWAH M A, HUANG R H. Blended learning for the "multi-track" undergraduate students in Ghana in an adverse era[J]. Scientific African,2023,21:e01772.

[15] 刘红艳,任树锋,王磊,等.基于创新型人才培养的大学物理实验报告评判体系[J].大学教育,2023(1):133-135.

[16] 周炎.通过化学实验报告改革提升大学科技写作水平[J].化学教育(中英文),2018,39(18):41-45.

[17] SAUER P. Art of designing teaching laboratory experiments:the case of water management[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences,2014,122:204-209.

[18] WANG X, YAN Z H, WANG S, et al. Training model of practical innovative talents in polytechnic colleges based on fuzzy set and its extended modeling[J]. Learning and Motivation,2023,84:101941.

[19] 张彦峰.国外高校实验教学的他山之石:以澳大利亚为例[J].实验室科学,2020,23(1):237-240.

[20] 刘雪莲,张占梅,潘瑾,等.基于"大学生创新计划"的环境化学实验教学改革与优化探索[J].教育教学论坛,2017(18):100-101.

[21] GALASSO A, LUO H, ZHU B. Laboratory safety and research productivity [J]. Research Policy, 2023, 52: 104827.

(责任编辑:李拓宇)