

微生物学开放性实验激发学生的创新能力

皮永蕊, 杨沛, 孙妍, 唐永政*

烟台大学海洋学院, 山东 烟台 264005

皮永蕊, 杨沛, 孙妍, 唐永政. 微生物学开放性实验激发学生的创新能力[J]. 微生物学通报, 2024, 51(4): 1363-1371.

PI Yongrui, YANG Pei, SUN Yan, TANG Yongzheng. Open experiments in Microbiology stimulate students' innovative ability[J]. Microbiology China, 2024, 51(4): 1363-1371.

摘要: 针对微生物学实验教学中存在的问题, 如未突出以学生为中心的理念、难以培养学生的创新性思维、无法激发学生学习的积极性、考核无法反应学生的真实水平等, 我们开展了以学生兴趣为前提、学生主动参与为抓手、提高学生创新能力为目标的系列微生物学相关开放性创新实验。采用三段式教学设计, 通过文献调研、开展实验和结果总结构建了综合考核方案, 达成了微生物学实验的教学目标, 丰富了与理论教学紧密联系的“基础、综合、创新”系列化、多层次、阶梯状的专业实践教学体系。开放性创新实验项目的实施, 推动了学生学习研究、科研训练和项目实践, 提高了学生科创竞赛的参赛水平。开放实验也对授课教师的科研素养和教学能力有了更高的要求, 做好实验室的管理, 进而保障开放实验项目的顺利施行。

关键词: 微生物学; 开放性实验; 三段式教学设计; 创新能力; 教师素养

Open experiments in Microbiology stimulate students' innovative ability

PI Yongrui, YANG Pei, SUN Yan, TANG Yongzheng*

School of Ocean, Yantai University, Yantai 264005, Shandong, China

Abstract: The teaching of Microbiology Experiments encountered the problems such as the failure to emphasize the center role of students, difficulty in cultivating students' innovative thinking, inability to stimulate students' learning enthusiasm, and inappropriate assessment methods that fail to reflect students' actual abilities. In response to these problems, we have designed the open experiments in Microbiology to arouse students' interests, encourage their

资助项目: 山东省本科教学改革研究项目(M2021124); 烟台大学教学改革研究重点项目(JYXM2023019)

This work was supported by the Shandong Provincial Undergraduate Teaching Reform Research Project (M2021124) and the Yantai University Teaching Reform Research Key Project (JYXM2023019).

*Corresponding author. E-mail: donaldya@ytu.edu.cn

Received: 2023-10-28; Accepted: 2023-12-26; Published online: 2024-01-17

participation, and enhance their innovation capability. A three-stage teaching design of Microbiology Experiments was adopted, involving literature research, experimentation, and result summary. This approach enables us to establish a comprehensive assessment plan and achieve the teaching objectives. Additionally, it enriches the professional practice teaching system that is closely linked to theoretical teaching and features the combination of basic, integrated, and innovative teaching. The implementation of open experiments has enhanced students' study skills, research training and project practice, and improved the level of innovation capability in participating in competitions. In addition, open experiments place higher requirements on teachers' research literacy and teaching ability. Proper laboratory management is necessary to ensure the smooth implementation of open experiments.

Keywords: Microbiology; open experiments; three-stage teaching design; innovation capability; teacher's quality

作为高等教育的重要环节,实验教学是培养学生实践、创新能力不可缺少的部分。通过实验课程的开展,将课堂学习的理论知识具象化,加深学生对理论的理解,锻炼学生的动手能力、组织能力和团队协作能力,但大学生动手能力差、创新意识弱仍然是目前中国高校教育普遍存在的问题^[1]。许多高校仍然存在“三重三轻”现象,即重理论轻实践、重知识教授轻能力培养和重课内轻课外。为适应新形势的需求,更好地发挥科研实验室在高校人才培养中的作用,对于科研实验室开放及管理模式的研究、探索、改进显得尤为重要。在实验教学实践中,对本科生开放科研实验室是近年来高校实验教学改革的新举措^[2]。开放性实验教学是高水平应用型高校建设的重要内容和实验教学改革的重要方向^[3]。根据不同科研实验室的研究方向,开放科研实验室为本科生所用,学生可根据自己的兴趣自主选择实验课题,极大地提高了实验设备及仪器的使用率,有利于创新实践型人才的培养^[2]。

微生物学是许多高校生物学专业的重要必修课,微生物学实验是微生物学的重要组成部分,是微生物学教学的基础^[4]。实验教学的教学目标是让学生熟练掌握微生物学实验的基本

操作,如灭菌和染色技术、普通光学显微镜的使用、固/液体培养基的配制、功能菌的筛选分离纯化等。通常一些高校的微生物学实验教学模式是以教师为主体,教师需要在课前准备实验材料、课堂讲授实验原理、演示具体实验操作步骤、学生根据教师的演示依葫芦画瓢完成操作^[5]。未体现以学生为中心的理念,也不能充分调动学生的积极性和主动性,对学生实践能力、创造性思维等能力的培养不足,导致课堂教学与学生未来深造、就业之间存在一定程度的脱节^[6]。验证实验和演示实验占据了课程的主导地位,在这些实验操作中,学生极少进行思考,只需完成简单操作,甚至部分学生课程结束后不会独立使用灭菌锅、离心机等实验室常见设备。学生的创新能力和思维得不到锻炼,学生的学习积极性不能被激发出来^[7]。另外,任课教师的科研工作与教学是脱节的,教师对学科前沿的了解起不到引导学生的作用。

微生物学实验的传统考核方式是通过单个实验的实验预习、实验报告来进行的。绝大部分学生不重视实验预习,仅仅把实验的内容机械地抄一遍,基本达不到预习的效果,课堂提问实验的相关问题,很多学生不知道答案。对于实验操作,教师仅讲解正确的操作和注意事

项,平时课堂几乎不考核操作,少数教师会考虑学生平时的操作规范性与熟练程度,也难以量化。课后的实验报告几乎千篇一律,有的学生只是把书上的内容再抄一遍,极少对实验中的问题进行反思,甚至还存在互相抄袭的情况。最终,实验课的成绩评定主要是通过实验报告的认真和完整程度、数据处理的准确性及思考答案的正确性等方面来进行。这种考核方式下的实验分数无任何意义。

在当今教育教学改革背景下,实验课程的改革和创新的目标是将各类实验融合创新,构建具备科学脉络、完整的实验体系^[8]。大学创新发展的主要内驱力是科研,如何将科研项目内容适当引入本科生的基础实验,进而拓宽本科教学资源的广度、探究教学内容的深度、驾驭教学讲授的高度成为实验教学改革的主流方向。创新开放式实验项目应运而生,实现了科教融合助推实验教学,进而考查学生基本实验技能的掌握及综合应用情况^[9]。本文以“微生物降解橄榄油的特性”这一开放实验课题为例,通过三段式教学设计将微生物学实验的基础实验操作技能培养融入开放性实验的实施中。同时,改革传统的考核方式,以结果为导向,通过小组汇报、科研报告和论文的撰写,参加互联网+大学生创新创业比赛等作为考核目标。通过本课题的开展,大大提高了学生的实验技能和科研能力,同时,学生的科学素养、创新思维和团队合作精神有了一定程度的提升。在与教师、课题组研究生面对面的讨论过程中,学生对科研前沿有了一定的认知,增强了专业认同感,极大地激发了学生投身科研工作的热情。

1 教学目标与指导思想

微生物学实验课程的教学目标是使学生掌握微生物学实验的基本技能与方法。通过实验

操作,进一步深入理解微生物学的基础知识和理论,提高实验操作技能,为进一步从事科学研究及相关专业技术工作打下基础。

本文实验设计以厨余尾水中的橄榄油为研究对象,筛选、分离和鉴定具有降解橄榄油特性的微生物,并进行微生物降解特性的研究。该项目的实施提供了丰富、多元化的微生物学实验项目,不仅培养了学生微生物学实验基本技能,而且激发了学生探索的兴趣和科研的热情,拓展了学生对微生物在环境污染修复中应用方面的理论知识。鼓励学生积极分析问题、创造性地解决问题,培养其科研能力,提高其科研素养。

2 教学设计及考核方案

2.1 三段式教学设计

开放性实验教学内容比较灵活,围绕教学目标将实验内容分为实验前的准备、实验过程和科研数据的分析及科研论文的撰写3个阶段(图1)。学生在实验前的准备这一阶段,学习掌握中英文文献的检索、实验方案的设计以及实验材料的准备。在实验过程中,学习掌握基本的微生物学常规实验技能。在后期的实验数据的分析过程中,初步学习掌握SPSS或者Origin软件,绘制科研报告所需的柱状图或者折线图等。

在开放性实验开展中,学生可根据自己的实际情况和兴趣选择项目。例如,对非生物学专业未学习过微生物学理论的学生,可以选择简单的验证性实验,比如细菌的单染色和革兰氏染色、平板菌落计数等。在熟练的基础上,再学习一些微生物学实验的操作技能,如显微镜(油镜)的使用、菌落计数操作、培养基的配制和灭菌、无菌操作等。

对于已学习过微生物学理论和实验课程的学生,可以选择独立探索实验项目,自行设计



图1 三段式教学设计

Figure 1 Three-stage teaching design.

实验方案开展相关研究, 进而培养学生的独立思考能力、实践操作能力、数据处理能力和科研论文写作能力。其中, 通过数据的处理与科研论文的撰写来培养学生的科研素养, 学生在这两方面面临的困难和需要思考的问题较多, 难度也更大, 具有一定的挑战性, 需要学生有不怕困难、勇于担当的精神, 同时可培养学生尊重实验数据、实事求是的学术道德品质。

2.2 考核方案

根据三段式教学设计, 我们把实验考核分为3个部分, 将以实验报告为主的单一考核形式变更为微生物学实验专业知识(20%)、实验操作能力(40%)和科研素养(40%)的综合考核方式^[8]。首先, 实验前的准备工作。参与开放性实验项目的所有成员, 就实验项目的主题查阅文献并进行一次汇报, 在此基础上, 设计实验方案并进行汇报, 两次汇报计入考核成绩。在实验开展阶段, 更是要求学生至少独立完成5次微生物学实验操作, 如培养基的配制与灭菌、微生

物的无菌接种操作(液体培养基和半固体培养基)、微生物的革兰氏染色及观察、微生物总DNA的提取、微生物纯化操作及微生物生长曲线的绘制等。在实验结束后的阶段, 学生每人提交一份实验报告及心得, 同时以小组为单位提交一部分科研报告或者科研论文的初稿。最终, 在线发表科研论文、开放实验结题优秀、参加各级比赛获得校级以上证书等的小组成员评价为优秀。

3 开放性实验内容设计

开放实验围绕微生物学的基本操作技能展开, 包括培养基的配制与灭菌, 功能微生物的筛选、分离、生理生化指标的检测以及菌种的鉴定, 显微镜的使用, 无菌操作, 微生物生长曲线的绘制, 降解特性实验及功能酶活性的测定等。开放性实验采用开放形式, 在整个学期(学年)内教师的科研实验室对学生开放, 不限实验时间, 在空间、时间上为学生提供便利。实

验项目采取开放课题的形式, 一经学校或者学院立项后, 面向所有感兴趣的学生招募课题组成员, 每个项目 5-6 人, 分为 2 个小组, 每组 2-3 人, 组内进行分工合作。开放课题项目设立项目负责人, 总体负责实验设计、实验进展和任务分配, 组员之间需要进行资料的总结和讨论, 确定实验方案并对实验过程中遇到的问题进行总结和讨论。教师对学生设计的实验方案进行指导, 同时提前准备好完善的实验指导资料, 在实验操作时只是在必要时给予学生指导。如若教师不在现场, 学生可以请教本实验室的研究生学长, 可实现无时差指导。让学生充分发挥个人主观能动性, 充分体现以学生为中心, 锻炼学生的团队合作和沟通能力。

以“微生物降解橄榄油的特性”实验为例, 在实验准备阶段, 学生以“橄榄油降解”或者“biodegradation of olive oil”为关键词, 在中国知网或者 Web of Science 数据库中搜索相关文献。通过任务分配、分组讨论和小组汇报等形式对

实验项目有了一定的了解。在此基础上, 学生们设计的实验技术路线框图如图 2 所示。

通过这一环节, 学生们查阅了大量的中英文文献, 培养了学生主动学习、分析、思考问题的能力。只有大量阅读、分析文献资料才能深刻理解课题, 在此基础上设计实验方案, 根据实验方案准备相关的仪器耗材。在传统的微生物学实验的课堂上, 这部分内容完全由授课教师“代劳”。

在具体实验开展的过程中, 学生按照图 2 的技术路线框图中的内容展开具体的实验。实验过程主要包括但不限于现场采集沉积物、水样, 不同培养基的配制与灭菌, 微生物的无菌培养、分离和鉴定, 微生物胞外主要酶活性的测定等。首先, 分离纯化出具有降解橄榄油能力的菌株。然后, 将分离得到的菌株用于橄榄油的降解, 通过单因素试验考察不同环境因子对降解率的影响, 具体的营养盐、温度、pH、共代谢底物等相关参数结合文献调研确定, 根据单因素试验结果确定影响最大的 3 种因素继

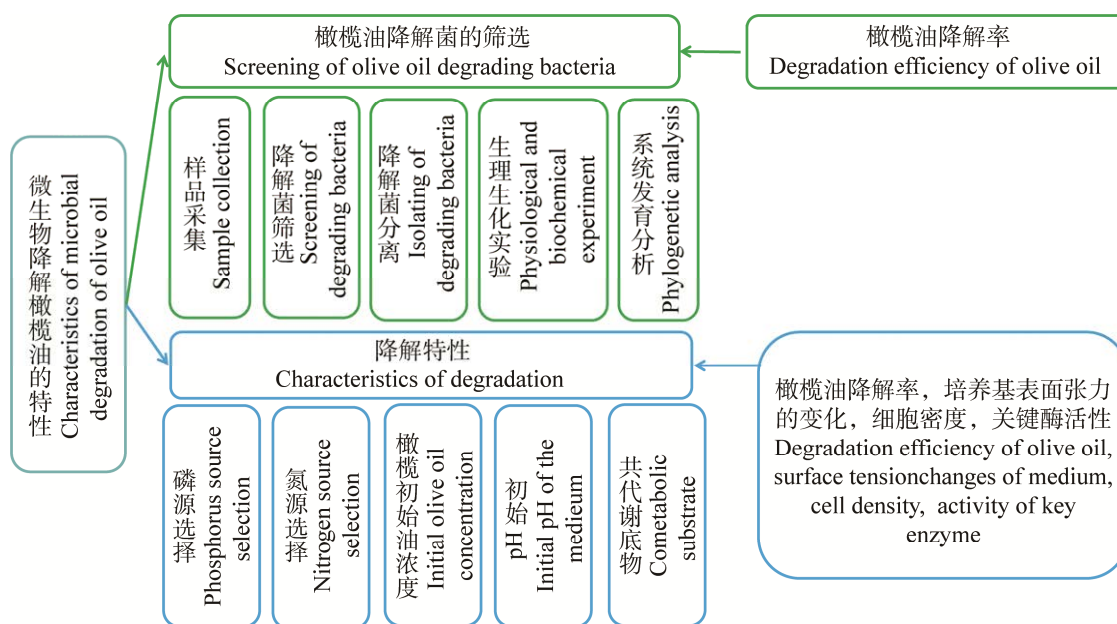


图 2 “微生物降解橄榄油的特性”技术路线框图

Figure 2 Technical route block diagram of “the characteristics of microbial degradation of olive oil”.

续进行响应面试验。在这一环节,学生需要认真做实验并记录相应的实验结果数据。同时,在安排实验进度、任务分配、提高效率等方面,学生都需要反复协调、讨论,增强学生的团队合作能力和科研实验技能。

得到实验数据后,学生需要使用 Origin 或者 SPSS 等软件进行数据的处理,撰写科研论文,并进行汇报。这一环节,对于许多学生来讲,具有很大的挑战性,觉得比较难,甚至在进行汇报的时候紧张到磕巴。在整个实验后期的总结过程中,涉及 PPT 制作、阐述实验思路、总结实验结果,也需要学生之间团结协作,才能呈现好的结果。同时,指导教师还会就学生论文写作、组会汇报、课题答辩等过程中存在的问题进行点评。学生全过程参与整项课题的开展,从而提高了学生的科研素养。

4 创新实验成效

每次开放课题结束后,均会向课题参与学

生通过微信小程序发放调查问卷,并随机抽取同级修读“微生物学实验”课程的学生进行问卷对比调查,结果如表 1 所示。

开放实验完成后,通过分析调查问卷,96%的学生对开放性实验项目比较感兴趣(表 1)。(1) 绝大多数学生认为通过实验前的准备工作,提高了自己查阅文献和文献总结的能力,对实验方案的设计方法有了一定的了解,并且能够积极参与小组讨论,与指导教师的沟通意愿大大增强,增强了团队合作意识;(2) 通过实验的开展,97%的学生认为自己的独立实验能力得到了大幅度的提升,对于实验中遇到的问题,有了自己的分析和判断,并尝试解决;(3) 对于后期的数据处理和科研论文撰写,24%的学生依然觉得很难,完成这部分任务非常吃力,然而 76%的学生认为对科研论文的撰写有了一定的理解,特别是行文逻辑、语言风格和格式排版等。

通过 2017–2021 级学生的实践,本课题组已经成功开设了一系列基于微生物在环境修

表 1 开放实验学习效果与普通实验学习效果调查结果

Table 1 The survey results of opening experiments and routine experiments (%)

评价阶段 Evaluation phase	调查内容 Survey content	学生评价 Student evaluation							
		实践组 Test group				对照组 Control group			
		4	3	2	1	4	3	2	1
实验前 Before experiments	自主学习 Autonomic learning	80	16	3	1	20	26	50	4
	与教师沟通 Communicate with teachers	60	34	4	2	23	24	45	8
	团队协作 Teamwork	73	24	2	1	28	34	30	8
实验中 During experiment	发现问题 Problem discovery	62	28	7	3	21	20	50	9
	解决问题 Problem solving	73	20	5	2	17	32	39	12
	实验技能 Experiment skill	85	12	3	0	49	31	20	0
实验后 After experiment	数据处理能力 Data-handling capacity	51	35	14	0	22	26	43	9
	论文写作能力 Paper writing	36	40	20	4	20	23	47	10
	科研汇报能力 Presentation	54	38	5	3	8	14	67	11
总体评价 Total assessment	对“微生物学实验”的兴趣 Interest in the Microbiology Experiment	56	40	3.5	0.5	15	22	62	1

4: 作用显著; 3: 有作用; 2: 作用一般; 1: 无作用

4: Significant effect; 3: Effective; 2: Little effect; 1: No effect.

复中应用的创新开放性实验项目,包括若干校级开放实验课题,2项省级大学生创新训练计划,1项国家大学生创新训练计划并顺利结题。开放性实验项目成功吸引了大量学生的参与,说明学生对实验的兴趣很高,也愿意参加科研实验,只是对守旧的验证性实验的兴趣不高。相较于基础性实验的课堂,学生在开放性创新实验课题的参与过程中更加积极思考、提问与发言,进而提升学生发现问题和解决问题的能力。在实验过程中,学生全身心地投入实验,对于实验数据的分析和讨论更加深入。部分学生还提出了一些建议:(1)在实验准备阶段,希望增加相关操作视频或者虚拟仿真实验,包括实验操作、软件(SPSS、Origin)使用、压力仪器(灭菌锅)的操作等;(2)对于实验过程的记录,除了传统的实验记录本,还可以拍照、录小视频,甚至将其发布至学生的自媒体账号,增加实验的趣味性及科普性;(3)开放性实验项目结题后,除了结题报告和科研论文,还可以将学生参与整个实验项目过程中的感悟小文发布到微信/QQ群、微信朋友圈/公众号、自媒体等。

基于本开放实验的研究,学生们展开了相关的开放课题,如基于微纳米机器人的原理,学生设计了磁性生物基材料用于水相中染料的去,同时以本科生为独立第一作者在 *Process Safety and Environmental Protection* 发表科研论文1篇^[10],以指导教师为第一作者,学生为第二作者在 *Journal of Applied Microbiology*^[11]发表科研论文1篇,*Journal of Hazardous Materials*发表科研论文2篇^[12-13]。学生以相关结果为基础,参加山东省大学生互联网+创新创业大赛,获得了省级铜奖以及若干校级奖项。同时,开放实验室项目带动项目组学生积极参与大学生“挑战杯”、节能减排大赛、大学生课外学术科

技作品竞赛和设计大赛。真正实现了“以学促赛,以赛促学”,给“学有所长、术有专攻”的学生提供一个施展才华的舞台。通过开放性创新实验项目的实施,学生的实验技能和科研能力得到了提升,参与竞赛的兴趣较高、创新能力有所提升,为后续毕业论文的顺利完成打下了坚实的基础。培养了学生的科学素养、创新思维和团队合作精神,增强了专业认同感,极大地激发了学生投身科研工作的热情。

5 教学反思

5.1 对教师的科研素养和教学能力要求高

在传统的微生物学教学过程中,教师只需要按照实验教材上的实验备课即可,很多实验是验证性实验,很多教师可以很轻松的完成授课。然而,开放性实验虽然突出以学生为中心,教师不再发挥主体作用,但是作为开放实验课题的指导者,需要教师对学生的学情有足够的认识,需要对开放课题涉及的所有基础实验操作和课程资源均要熟悉。在审阅学生的实验方案和指导学生开展实验的过程中,给出科学的建议并及时地给出建设性的意见,甚至要抛开传统的教师的面子,需要查阅文献,与课题组成员讨论、总结后才能给出有针对性的答案。实事求是、尊重数据,即便学生做出的实验结果并不是预设的结果也要鼓励学生,从问题的另一面剖析实验结果,肯定学生的付出,激发学生的学习热情。对于实验结果要反复验证,这一点跟传统实验课上完全不同,学生会出现不理解甚至不耐烦的情绪,需要指导教师对学生进行引导,让学生体会和理解科研的严谨性。指导教师自身素质和参与程度直接决定开放性实验的教学效果,需要教师付出更多的时间和精力,这对教师具有非常大的挑战性^[14]。

5.2 完善实验室管理, 保障实验开放

在传统微生物学实验中, 对于超净工作台、灭菌锅等台套数较少的设备, 只有少数的学生在操作, 或者教师操作, 学生在旁边观看, 极大地打击了学生对微生物学实验的兴趣, 进而无法实现实验教学目的^[15]。通过开放性实验课题的实施, 科研实验室对参与项目的本科生全面开放。首先, 所有进入实验室参与项目的学生, 需要进行实验室安全制度及微生物学实验基本操作技能的培训和考核, 考核合格后方可独立进入实验室进行实验。考核内容包括实验室安全常识, 常用培养基的配制及灭菌, 微生物涂布、划线接种等无菌操作, 显微镜的使用以及革兰氏染色实验等。否则, 需要在实验室研究生或者指导教师在场的情况下方可进行实验。其次, 建立实验室管理的各项规章制度, 明确师生职责, 如建立实验室仪器使用登记制度, 明确使用人、使用时间段、用于某个具体开放实验项目。最后, 为实现以学生为中心和实践创新的要求, 需要成立专门的“开放性实验专项基金”, 用于实验设备和耗材的购置, 从而保障开放实验的顺利实施。

6 结语

开放性实验教学是实验教学改革和发展的内在要求, 也是高水平应用型高校建设的重要内容, 也是建立与理论教学紧密联系的“基础、综合、创新”系列化、多层次、阶梯状的专业实践教学体系中的重要一环。在创新型和应用型人才培养的时代需求下, 开放性实验项目是深化实验/实践教学改革的一项重要举措, 将教师的日常科研和教学工作进行交叉融合, 充分挖掘和优化资源配置, 不仅提高教学质量, 也培养学生的创新意识和实践能力。开放性实验项目是完全以学生为主导的实验教学, 教师仅起

到引导和辅助的作用, 需要充分调动学生的主观能动性, 激发学生科研兴趣, 从而使学生在逻辑思维、数据处理、论文写作等方面得到提升。

REFERENCES

- [1] 李存金. 大学生创新思维能力培养的实践途径与机制[J]. 创新与创业教育, 2013, 4(1): 1-5.
LI CJ. Practical ways and mechanisms of cultivating college students' innovative thinking ability[J]. Journal of Innovation and Entrepreneurship Education, 2013, 4(1): 1-5 (in Chinese).
- [2] 王森, 梁艳. 制浆造纸专业开放性实验的探索和研究[J]. 新西部(理论版), 2012(13): 167, 166.
WANG S, LIANG Y. Exploration and research on open experiment of pulp and paper specialty[J]. New West, 2012(13): 167, 166 (in Chinese).
- [3] 梁丽华, 侯振华, 唐琳. 以创新创业能力培养为导向的应用型高校本科生开放性实验教学研究与实践: 以山东建筑大学为例[J]. 高教学刊, 2022, 8(25): 44-47, 51.
LIANG LH, HOU ZH, TANG L. Research and practice of open experimental teaching for undergraduate students in application-oriented universities—taking Shandong Jianzhu University as an example[J]. Journal of Higher Education, 2022, 8(25): 44-47, 51 (in Chinese).
- [4] 徐琳. 生物工程专业微生物学实验教学改革探讨[J]. 微生物学杂志, 2011, 31(6): 110-112.
XU L. Reformation of experimental teaching of biological engineering microbiology[J]. Journal of Microbiology, 2011, 31(6): 110-112 (in Chinese).
- [5] 徐晓宇, 王睿, 邱立朋. 制药工程“微生物学实验”课程的项目化教学探索与实践[J]. 微生物学通报, 2023, 50(12): 5604-5613.
XU XY, WANG R, QIU LP. Exploration and practice of project-based teaching in Microbiology Experiment of pharmaceutical engineering[J]. Microbiology China, 2023, 50(12): 5604-5613 (in Chinese).
- [6] 张会香, 李子院, 李静, 李霞, 李海云. “以成果为导向, 以赛促学”理念下微生物学实验教学改革与实践[J]. 工业微生物, 2023, 53(3): 145-147.
ZHANG HX, LI ZY, LI J, LI X, LI HY. On the reform and practice of microbiology experimental teaching under the concept of “outcome oriented education and promoting learning by competition”[J]. Industrial Microbiology, 2023, 53(3): 145-147 (in Chinese).

- [7] 鲁乐乐, 李林珂, 李文华, 郝越, 董海亭, 汤欣妍, 苏春. STEAM 教育理念下“线上+线下”混合教学模式初探: 以微生物学实验为例[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1472-1482.
- LU LL, LI LK, LI WH, HAO Y, DONG HT, TANG XY, SU C. The “online+offline” blended teaching mode under the concept of STEAM education: taking Microbiology Experiment as an example[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1472-1482 (in Chinese).
- [8] 王智文, 冯远航, 朱勇. “三位一体”育人理念在微生物学实验教学中的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2022, 49(6): 2378-2387.
- WANG ZW, FENG YH, ZHU Y. The exploration and practice of trinity education concept in the teaching of Microbiology experiment[J]. Microbiology China, 2022, 49(6): 2378-2387 (in Chinese).
- [9] 杨颖丽, 李家雯, 丁艳平, 杨少斌, 张娅, 伍雨娟, 王飞, 于鹏. “人体解剖及动物生理学实验”教学中科教融合理念的强化与运用[J]. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1425-1433.
- YANG YL, LI JW, DING YP, YANG SB, ZHANG Y, WU YJ, WANG F, YU P. Strengthening and application of science and education integration in experimental course of human anatomy and animal physiology[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2021, 37(4): 1425-1433 (in Chinese).
- [10] CHENG XC, DUAN CY, YANG P, PI YR, QI HL, SUN ZK, CHEN SH. Effective adsorption of crystal violet onto magnetic nanoparticles decorated bacteria: kinetic and site energy distribution analysis[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2023, 173: 837-846.
- [11] WANG A, LIU C, GE X, MENG W, PI Y, LIU C. Enhanced removal of Congo red dye from aqueous solution by surface modified activated carbon with bacteria[J]. Journal of Applied Microbiology, 2021, 131(5): 2270-2279.
- [12] PI YR, JIA WP, CHI SK, MENG HK, TANG YZ. Effects of terminal electron acceptors on the biodegradation of waste motor oil using *Chlorella vulgaris*-*Rhodococcus erythropolis* consortia: kinetic and thermodynamic windows of opportunity analysis[J]. Journal of Hazardous Materials, 2023, 458: 131960.
- [13] PI YR, DUAN CY, ZHOU YL, SUN SJ, YIN ZD, ZHANG HC, LIU CF, ZHAO Y. The effective removal of Congo red using a bio-nanocluster: Fe₃O₄ nanoclusters modified bacteria[J]. Journal of Hazardous Materials, 2022, 424: 127577.
- [14] 贾艳萍, 张兰河, 郑胜. 体现不同专业特色的微生物学实验教学改革研究[J]. 微生物学通报, 2013, 40(4): 700-705.
- JIA YP, ZHANG LH, ZHENG S. Study on the teaching reform of microbiology experiment based on different specialized characteristic[J]. Microbiology China, 2013, 40(4): 700-705 (in Chinese).
- [15] 夏险, 赵琪, 苏平, 涂俊铭. 慕课背景下“微生物工程”实验课开放式教学模式探索[J]. 微生物学通报, 2021, 48(3): 994-1000.
- XIA X, ZHAO Q, SU P, TU JM. Exploration of the open teaching mode of Microbiological Engineering experiment course under the background of MOOC[J]. Microbiology China, 2021, 48(3): 994-1000 (in Chinese).