

多学科交叉发酵工程复合型研究生培养

周景文, 刘松, 刘龙, 李江华, 堵国成, 陈坚

江南大学 生物工程学院 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122

周景文, 刘松, 刘龙, 等. 多学科交叉发酵工程复合型研究生培养. 生物工程学报, 2021, 37(2): 689-695.

Zhou JW, Liu S, Liu L, et al. Interdisciplinary education of fermentation engineering graduates. Chin J Biotech, 2021, 37(2): 689-695.

摘要: 发酵工程是利用对微生物或其他生物细胞进行改造, 在特定的生物反应器内, 培养生产某种特定产品的工业化生产过程和技术体系。发酵工程从纯粹依赖经验积累的古老的食物发酵, 发展成为食品、农业、医药、化工等生产生活资料的重要生产方式, 成为支撑人类可持续发展的关键技术, 这离不开交叉学科技术的持续进步。多学科融合交叉和我国在全球产业链的不断上移, 必然对新形势下发酵工程复合型人才培养提出更高要求。为不断完善多学科交叉的发酵工程复合型人才培养体系, 近年来, 研究室不断凝练与提升人才培养理念, 积极深化人才培养体系改革。围绕培养方案、招生体系、师资背景、课题设置、科研实践、评价体系等方面展开了系统的研究和实践, 推动了发酵工程和相关支撑行业的技术进步, 为培养具有学科交叉知识的复合型人才, 进而为我国从发酵大国向发酵强国的转变贡献了重要力量。

关键词: 学科交叉, 人才培养, 发酵工程, 生物工程

Interdisciplinary education of fermentation engineering graduates

Jingwen Zhou, Song Liu, Long Liu, Jianghua Li, Guocheng Du, and Jian Chen

Key Laboratory of Industrial Biotechnology of Ministry of Education, School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China

Abstract: Fermentation engineering is an industrial process that uses the transformation of microorganisms or other cells to produce a specific product in a specific bioreactor. Fermentation engineering has developed from an ancient food fermentation relying solely on experience accumulation to an important production mode of food, agriculture, medicine, chemical industry and other means of production and life. It has become a key technology to support the sustainable development of human beings, and is inseparable from the continuous progress of interdisciplinary technology. The interdisciplinary integration and the continuous upward movement of China's global industrial chain will inevitably put forward higher requirements for the cultivation of fermentation engineering composite talents in the new situation. In order to constantly improve the interdisciplinary fermentation engineering compound talent training system, in recent years, the research lab has been refining

Received: May 20, 2020; **Accepted:** September 8, 2020

Supported by: Major Project of Jiangsu Province for Post-graduate Education and Teaching Reform (No. JGZD18_014).

Corresponding author: Jian Chen. Tel: +86-510-85918312; Fax: +86-510-85918309; E-mail: jchen@jiangnan.edu.cn

江苏省研究生教育教学改革重大课题 (No. JGZD18_014) 资助。

and improving the concept of talent training, and actively deepening the reform of talent training system. Systematic research and practice have been carried out around the aspects of training program, enrollment system, teacher background, subject setting, scientific research practice, evaluation system, etc., which has promoted the technological progress of fermentation engineering and related supporting industries, and contributed an important force to the transformation of China from a big fermentation country to a powerful fermentation country.

Keywords: interdisciplinary, personnel training, fermentation engineering, bioengineering

发酵工程是利用现代生物技术对微生物或其他生物细胞进行目的性改造,在特定的生物反应器内,培养生产某种特定的产品的工业化生产过程和技术体系。发酵工程从纯粹依赖经验积累的古老的食物发酵开始,已发展成为食品、农业、医药、化工等生产生活资料的重要生产方式,成为支撑人类可持续发展的关键技术,这离不开交叉学科技术的持续进步^[1-2]。目前,发酵工程已经发展为一门多学科综合交叉的新学科,涵盖了微生物学、生物化学、细胞生物学、免疫学、遗传学、纺织科学、食品科学等几乎所有与生命科学相关学科,以及化学、数学、机械工程、仪表与控制、计算机科学等多种基础与精尖学科。发酵工程是现代生物技术的核心组成之一,与食品、医药、农业、轻工等多个行业联系紧密,可以创造性地解决其他产业面临的问题。如何充分发挥交叉学科对发酵工程的支撑作用、拓展发酵工程在新学科中的应用范围,培养和造就推动发酵工程发展的高素质、创造性、复合型人才,将先进的发酵工程技术充分整合到与之密切相关的其他行业,是保证发酵工程适应时代发展、保障我国成为生物智能制造大国的重要前提^[3]。

江南大学生物系统与生物加工工程研究室由中国工程院院士伦世仪教授领衔建于1982年,主要从事发酵工程研究。研究室在江南大学“彰显轻工特色、服务国计民生、创新培养模式、打造行业中坚”办学理念的指导下,围绕培养方案、招生体系、师资背景、课题设置、科研实践、评价体系等方面展开了系统的研究和实践,逐步形成了立足轻工、能源、环境和工业生物技术领域国家人才需求,交叉融合生物学、工程学与化学学科

知识,提升跨学科能力,关注学科前沿,强化学生自主学习和主动实践能力,培养工业生物技术领域高素质、高水平创新创业人才的多学科交叉的发酵工程复合型人才培养目标。

1 多学科融合交叉对发酵工程复合型人才培养提出更高要求

高新科技人才的培养是支撑创新型社会发展的关键。习近平总书记指出,“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。在高端人才培养方面,只有遵循多学科融合交叉的理念,不断创新人才培养方法,才能满足时代对创新人才的需求^[4]。研究生是高校科研任务的主要承担者,是国家第一科技储备力量^[5]。发酵工程学科的高新技术人才应该既有扎实的专业理论基础,又有丰富的实践技能,并且具有创新思维能力,达到多学科交叉融合的复合型人才的要求^[6]。现代发酵工程以扎实理论为根本,立足创新性和创造性,从现实产业与科技发展需求出发,重视实践与过程,以解决问题服务社会为最终目的^[7-8],对研究生培养提出了全方位的要求。

1.1 引领国际先进发酵工程发展方向与趋势的高水平研究型人才

以培养高素质的创新型一流工程人才作为教育改革的方向和突破口,大力推进高等工程教育改革,已成为发达国家工程人才培养改革发展的方向与趋势。国内发酵工程培养普遍存在如下问题:单一学科知识掌握较好,整体综合、系统运用能力相对较弱;学科部分知识掌握较好,把握

共性、归纳总结较差；书本知识掌握较好，独立创新意识、工程素质和实践能力较差。如何正视差距，培养可以引领国际先进发酵工程发展方向与趋势的高水平发酵工程人才形势紧迫。

1.2 满足国家重大发展战略和产业技术升级的高水平工程型人才

根据我国国民经济中长期发展规划和国际发展趋势,特别是当前人口增长与环境资源矛盾日益突出的今天,国家在能源、资源和环境等方面具有重大发展战略需求。如何牢牢把握国家战略需求和产业技术需求的导向,针对我国发酵产业的技术需求,架构以发酵工程学科为核心,培养能够贯穿发酵工程上、中、下游技术应用领域、充分整合多学科交叉资源、创造性地解决当前国民经济中面临的可持续发展问题及行业发酵工程人才问题对当前很长一段时间国家实力的持续增长具有重要意义。

1.3 通过自主创业促进成果转化和技术革新的高水平创业型人才

发酵工程具有很强的应用特色,很多创新技术可以通过自主创业得到迅速的发展与升级换代。我国现行的高等工程人才培养模式在很大程度上“重”知识传授而“轻”能力培养,“重”积累继承而“轻”创造发现。学生的理论知识掌握较好,但工程素质和实践能力、自主设计的创新意识、灵活应变整合资源的创业能力都亟待提高。如何引导学生变被动学习为主动实践,创新人才培养模式,提高人才培养质量形势迫切、意义深远。

2 多学科交叉的发酵工程复合型人才培养体系

江南大学生物工程学院共建了粮食发酵工艺与技术国家工程实验室、食品科学与技术国家重点实验室、工业生物技术教育部重点实验室、糖化学与生物技术教育部重点实验室等科学研究基地,为学科建设和研究室人才培养搭建了良好的发展平台。为了促进学科交叉融合以及深化“政产

学研用”的协同创新,学院积极筹建协同创新中心以及未来食品科学中心。通过开展政策研究,引进优质企业、尖端行业人才、产业基金等资源,充分发挥“政产学研用”的综合优势,推动协同创新、融合创新^[9-10]。为了不断完善多学科交叉的发酵工程复合型人才培养体系,近年研究室不断凝练与提升人才培养理念,积极深化人才培养体系改革。围绕培养方案、招生体系、师资背景、课题设置、科研实践、评价体系等方面展开了系统的研究和实践,取得了良好的效果,为江南大学国家级生命科学与技术人才培养模式创新实验区的进一步建设奠定了扎实的工作基础。

2.1 确立高水平多学科交叉科研创新理念,针对性确定人才培养方案

人才培养,理念先行。江南大学发酵工程专业经过长期的实践、总结与提升,逐步确立了“以学生为本,综合培养,突出主动实践,强化创新创业”的教育理念^[11]。针对当前发酵工程的发展方向及其在解决国家重大战略问题中的重要作用,我们通过培养方案(紧跟学科前沿发展、课题来源实际生产问题、研究成果应用于生产实践)上进行改革创新,特别注重全体研究生的全面发展,强调理论与实践并重,突出创新创业精神与能力培养,倡导教师引导学生主动实践,着力培养高水平的发酵工程复合型人才,能为新时期国家高水平发展起到重要的支撑作用。

2.2 规划高水平多学科交叉本科教学体系,选择性招收学科交叉人才

现代科学经过多年来的充分发展,不断衍生出很多分支学科,这些分支学科所涉及的理论与技术背景,已经远远无法通过个人的短期学习得到充分掌握。要实现多学科的充分交叉,一个重要的途径就是招收在相关交叉学科受到良好的系统学科教育的本科生和硕士生攻读硕士或博士学位。通过到相关交叉专业的学校、学院进行学术讲座宣传课题、特色和重要任务,设置专项奖学

金等多种措施,吸引纺织工程、食品科学与工程、控制工程等专业的优秀本科生,在招收学生评价时强化学科交叉背景和能力,而不是简单的以发酵工程专业知识点的掌握作为单一参考。以上招生理念与方案的推行与实施,在应用发酵工程手段解决纺织酶工程、食品生物技术、发酵智能控制等交叉课题中的技术问题方面起到了重要作用。

2.3 加强学科交叉背景导师团队联合培养, 研究课题强化多学科交叉

为培养和提高学生的工程应用能力,研究室聘请相关支撑学科中理论水平高、经验丰富的教师和龙头企业产研部门中的技术专家为学生开设短期课程和讲座,全程参与课题指导,形成以导师为核心,由不同专业背景教授组成的学术团队,以多学科融合的思路,打造导师负责、团队指导、相互协作的研究生培养方式,利用学科交叉融合的团队模式,促进研究生的创新精神与创造能力,拓宽交叉学科的学术视野,确保复合型研究生人才的培养;一方面鼓励年轻教师参与到其他学科的研究生教学、开题、答辩、实践一线进行磨练,加快交叉学科知识更新,提高自身多学科交叉综合能力和创新意识。针对应用型研究生,聘任企业专业技术人员或管理人员作为专业学位兼职导师,指导研究生的教学实践。此外,研究室非常重视对跨学科导师的培养工作,通过培养食品、环境、纺织等具有江南大学轻工特色的优秀博士毕业留校继续工作,积极为他们提供进修和继续深造的途径,进一步深化学科交叉。

2.4 强化国家重大发展战略和产业技术需求导向, 精心设置研究课题

根据我国国民经济中长期发展规划和工业生物技术的国际发展趋势,以发酵工程学科为核心,以国家在能源、资源和环境等方面的重大发展战略需求为出发点,针对我国发酵产业的技术需求,以培养学生的创新创业能力为核心,架构了以国家重大发展战略需求和产业技术需求为导向,贯

穿发酵工程上、中、下游的培养体系^[12]。交叉学科培养人才很重要是协同创新。以纺织用酶为例,为实现利用酶来替代原有化学法的绿色制造,纺织工程专业的学生可以进行酶的应用、评价,并及时地向发酵工程专业研究人员进行反馈,如果没有两者在应用中的有机结合,将会使这项工作的难度大增;而纺织背景的学生在应用中遇到反应效率问题时,可及时地与发酵工程专业的学生沟通,让他们来改造、生产性能更好的酶,以真正实现纺织用酶的应用。为了使这一过程更为顺畅,研究室积极推广研究生海外联合培养模式,聘请海外兼职教授,从多方面拓宽研究生国际视野,引导学生将国际上最先进的理论与技术引入到对国家重大发展战略和产业技术需求的支撑中。研究室针对国家重大战略需求,先后申请立项并主持完成了一系列与环境工程、纺织工程、食品生物技术等相关的重要课题,通过与交叉学科的研究人员和一线技术人员充分交流,设立了一大批具有鲜明行业特色的重要课题,如染整用纺织酶制剂的挖掘、生产与应用,淀粉和蛋白类食品加工生物技术的研发与产业化实施等,组织不同背景的研究生应用不同学科知识、理论、方法,进行群体、团队的协同创新,创造性地解决支撑行业长期以来未能得到妥善解决的关键技术问题。基于深度融合的学科交叉,将研究成果发表在食品、纺织、皮革、环境等领域的重要行业期刊,对支撑国家重大发展战略和产业蓬勃发展作出了重要贡献。

2.5 引导师生深入实践发现交叉学科需求, 革新学科交叉培养模式

针对传统实验教学体系重理论、重知识,轻实践、轻工程等问题,我们以突出“以学生为本”的现代教育教学理念为核心,充分利用学校发酵工程学科优势,优化实践教学环节。学院和研究室通过一系列教学实践平台的建立,实现了“实验教学、实践基地、实例研究”三位一体的实践教学模式^[13]。基于发酵工程专业的高度实践性的特

点,结合学科拥有的一大批高质量实践教学基地,如青岛蔚蓝生物集团有限公司、武汉新华扬生物股份有限公司、江苏洋河酒厂股份有限公司、贵州茅台酒股份有限公司、青岛啤酒集团有限公司、浙江古越龙山绍兴酒股份有限公司等一批国内龙头知名企业,选派研究生到企业中进行学位论文工作或参与科技研发,这不仅提高了研究生的科研实践能力,也为企业储备优秀的多学科交叉人才奠定坚实基础,部分驻企实践的研究生毕业后顺利入职合作企业,并飞快成长为中层和高层技术管理人员。(其中,硕士毕业生唐波担任青岛蔚蓝生物集团有限公司技术中心科技开发部主任、硕士毕业生杨帆担任贵州茅台酒股份有限公司技术中心第三研究室主任、硕士毕业生孙福新担任江苏国信协联能源有限公司生物研发中心主任等)。上述举措夯实了学生技术技能,通过引导学生主动实践,革新实践教学模式,强化研究生对于多学科交叉必要性的认识,在实践中发现问题、解决问题,有意识地通过多学科交叉,构建突出创新意识与实践能力、工程能力培养为特点的具有不断自优化功能的多学科交叉的发酵工程复合型人才培养体系。

2.6 构建多学科深入交叉融合科研评价导向,改革科研实践管理机制

研究生培养是一个系统性工程,建立研究生综合培养评价体系符合我国研究生教育转型的需要。为了培养多学科交叉的发酵工程复合型人才,研究室不断深入优化课题研究的评价体系,鼓励通过多学科交叉更好地完善研究生培养体系,不仅可以为研究生自身长远职业发展指引方向,也为研究生整体培养质量提供量化反馈,不断优化管理体系。从招收研究生开始,就开始有意识地考查交叉学科的学习特点,而不是仅仅考察发酵工程的相关知识。结合学校对不同类型研究生的培养要求,研究室将科研的各研究方向和围绕研究生教育的导师工作室进行有机结合,举办研究生创新论坛等丰富多样的创新交流活动,逐渐形成了交叉渗透、互联互动

的教学运行和管理机制。为了激发研究生的创新能力,研究室建立了伦世仪教育基金,注重表彰在学科交叉中促进发酵工程理论与技术上的创新工作。通过一系列的评价导向和管理措施,有效地强化了研究团队将多学科交叉贯穿于科研始终的意识。

通过上述系统举措,在深入挖掘和理解现代发酵工程的新内涵的基础上,积极对现代发酵工程学科发展方向进行调整优化。坚持“江南特色、世界一流”的核心理念,以立德树人为根本,以支撑创新驱动发展战略、服务经济社会发展为导向,形成“善于实践、勇于创新”的特色学科文化,保持学科可持续发展的特色。

3 多学科交叉的发酵工程复合型人才培养成果

通过积极开展以学科交叉作为关键支撑的系列改革举措,在学校的关心和研究室师生的不懈努力下,通过人才培养模式的一系列改革与创新,在科研产出、人才培养等方面成效显著。通过上述系列举措,研究室凝练了先进的人才培养理念,初步形成了符合国际工程人才培养趋势和符合我国高等教育实际的切实可行的生物工程高水平创新创业人才培养方案,并奠定了坚实的可持续的人才培养模式改革与发展的思想基础、物质基础和组织管理系统。近年来,研究室培养了大量优秀复合型多学科交叉的发酵工程专业人才。自研究室成立以来,研究室先后培养中国工程院院士2人、国家杰出青年基金获得者3人、教育部长江学者5人、国家优秀青年基金获得者5人、教育部青年长江学者2人;他们走进科研一线,逐渐成长为国内外学术精英,成为中国科学院、南京大学、上海交通大学、同济大学、华南理工大学等多所著名大学环境、食品、生物、化工、控制等学科的教授或者学术带头人。

江南大学发酵工程学科带头人陈坚教授,1984年获得清华大学环境工程学士学位后进入研

究室学习,于1990年获得无锡轻工学院发酵工程博士学位,由于在发酵工程领域作出的重要贡献,其获得2013年何梁何利科学与技术创新奖——产业创新奖,并于2017年入选中国工程院院士,是环境与轻纺学部发酵与轻工生物技术专业方向的两位非资深院士之一;南京大学环境学院院长任洪强教授于1997年在华北电力大学获环境工程硕士学位后进入研究室学习,于2000年获得无锡轻工大学发酵工程博士学位,他将发酵工程技术与理念用于工业废水、工业园区水污染防治方向的应用基础研究、新技术研发和工程实践,在生物处理强化理论、技术和装备方面取得了系统创新成果,开拓了我国复杂废水生物处理增效调控技术与工程应用研究新领域,获得2015年何梁何利科学与技术创新奖——产业创新奖,并于2019年入选中国工程院环境工程专业方向院士。研究室还有一批室友走进产业界,成长为行业的中流砥柱,担任杰能科(中国)生物工程有限公司、百威英博啤酒投资(中国)有限公司、洋河酒厂股份有限公司等多个著名企业的技术骨干。

近20年来,研究室主持承担与食品、纺织、化工、医药、环境等充分交叉的国家重点基础研究发展计划项目、国家高技术研究发展计划项目、国家自然科学基金重点项目等在内的国家和省部级课题200余项,企业横向项目300余项,充分体现了多学科交叉融合的特点,被成功推广应用于多家行业龙头企业,多项科研成果获得国家和省部级科研奖励。以纺织工业为例,染整前处理工艺是棉织物加工成为服装的关键步骤,主要包括退浆、精练、漂白等环节。传统棉织物染整前处理工艺采用的高温碱处理(pH 11.0–14.0, 90–100 °C)方法造成高能耗、高污染和棉纤维损伤大等问题。长期以来,纺织工业一直希望建立酶法工艺替代传统的处理方法。酶法工艺具有条件温和、耗水量小、处理时间短等优势,其应用能够有效实现染整前处理过程的节能减排。然而,要真正实现酶法染整前处理工艺的工业化,面临着酶品种缺乏、酶性能不佳、酶

成本过高、酶效果较差等一系列问题。由于纺织专业研究人员对生物技术缺乏了解,而发酵工程研究人员对纺织工业缺乏了解,一直未能获得突破。针对这一情况,研究室通过招收纺织工程毕业生攻读学位、与纺织服装学院(现纺织科学与工程学院)导师联合培养、外聘知名纺织企业工程技术人员作为兼职导师等多种举措,通过十余年的协同科研攻关,在国内外率先实现了棉织物酶法染整前处理所需关键酶制剂群(角质酶、PVA酶、碱性果胶酶和碱性过氧化氢酶)的系统开发与应用,产生了显著的经济和社会效益。“棉织物染整前处理关键酶制剂发酵生产和应用”成果获得2012年国家技术发明二等奖。研究室92届硕士生吴敬教授主持完成的“淀粉加工关键酶制剂的创制及工业化应用技术”,通过创制系列淀粉加工关键酶制剂,获得2019年国家技术发明二等奖。研究室将学科交叉深度融入科研工作中,推动了发酵工程和相关支撑行业的技术进步,为我国从发酵大国向发酵强国的转变贡献了重要力量。

4 展望

高校是人才教育的基地,不仅要满足社会的需求,更要引导需求,预测未来人才需求方向。发酵工程是生命科学技术产业化推广的重要支撑学科之一,在生物技术飞速发展的新时代背景下,大力发展发酵工程,培育适应新时代发展的发酵工程人才,是实施科教兴国战略、实现中华民族伟大复兴和实现中国梦的需要。在今后的人才培养和科研实践中,我们需要立足国家重大战略需求,积极参与发酵产业和相关支撑行业的转型升级,以创新与创造为根本,抓住多学科融合交叉的特点,贯彻“政产学研用”的理念,培养符合新工科背景下多学科交叉的发酵工程复合型人才。

REFERENCES

- [1] 葛道凯. 江苏高等工程教育的发展与未来. 中国大学教学, 2017(12): 4-7.

- Ge DK. Development and future of higher engineering education in Jiangsu Province. *China Univ Teach*, 2017(12): 4-7 (in Chinese).
- [2] 刘续航, 薛飞燕, 马兰青. 生物工程专业高素质复合型应用人才培养研究. *教育教学论坛*, 2020(3): 247-248.
- Liu XH, Xue FY, Ma LQ. Study on the training of high quality compound applied talents in bioengineering specialty. *Edu Teach Forum*, 2020(3): 247-248 (in Chinese).
- [3] 黄瑶, 邓冬梅, 廖春燕, 等. 培养发酵工程卓越工程师后备人才的教学改革与实践. *微生物学通报*, 2019, 46(5): 1220-1225.
- Huang Y, Deng DM, Liao CY, et al. Teaching reform and practice of cultivating backup outstanding engineers in fermentation engineering. *Microbiol China*, 2019, 46(5): 1220-1225 (in Chinese).
- [4] 李霞, 李海云, 江玲, 等. 新工科背景下生物工程专业实践教学引入创新创业教育的探索. *教育现代化*, 2019, 6(80): 46-47.
- Li X, Li HY, Jiang L, et al. Exploration of introducing innovation and entrepreneurship education into practice teaching of biological engineering specialty under the background of new engineering. *Edu Modernizat*, 2019, 6(80): 46-47 (in Chinese).
- [5] 林健. 新工科专业课程体系改革和课程建设. *高等工程教育研究*, 2020(1): 1-13, 24.
- Lin J. The curriculum system reform and courses construction of new engineering majors. *Res High Edu Eng*, 2020(1): 1-13, 24 (in Chinese).
- [6] 金黎明, 权春善, 张艳梅, 等. 生物工程学术学位型研究生创新人才培养研究. *科技风*, 2019(34): 224.
- Jin LM, Quan CS, Zhang YM, et al. Research on the cultivation of innovative talents of academic degree graduate students in bioengineering. *Technol Wind*, 2019(34): 224 (in Chinese).
- [7] 生书晶, 余婷婷, 孙婷琪, 等. 发酵工程课程教学改革探索与实践. *高教学刊*, 2016(13): 69-70.
- Sheng SJ, She TT, Sun TQ, et al. Exploration and practice on teaching reform of fermentation engineering course. *J Higher Edu*, 2016(13): 69-70 (in Chinese).
- [8] 王陶, 李文, 陈宏伟. 应用型本科院校生物工程专业产学研人才培养模式探索. *微生物学通报*, 2015, 42(3): 591-597.
- Wang T, Li W, Chen HW. Analysis of the talent cultivation mold of production-teaching-research for specialty in biological engineering in application-oriented universities. *Microbiol China*, 2015, 42(3): 591-597 (in Chinese).
- [9] 嵇波. 基于政产学研用的协同创新人才培养体系建设研究. *江苏教育研究*, 2019(15): 57-60.
- Ji B. Research on the construction of innovative talent training system based on the collaboration of government, industry, education, research and application. *Jiangsu Edu Res*, 2019(15): 57-60 (in Chinese).
- [10] 李忠云, 邓秀新. 高校协同创新的困境、路径及政策建议. *中国高等教育*, 2011(17): 11-13.
- Li ZY, Deng XX. The dilemma, path and policy suggestions of collaborative innovation in universities. *China Higher Edu*, 2011(17): 11-13 (in Chinese).
- [11] 余旭亚, 赵鹏, 韩本勇. 生物工程新工科人才产教融合育人的实习模式改革与实践. *教育现代化*, 2019, 6(85): 45-46.
- Yu XY, Zhao P, Han BY. The reform and practice of the practice model of the integration of industry and education in the new engineering talents of bioengineering. *Edu Modernizat*, 2019, 6(85): 45-46 (in Chinese).
- [12] 史春薇, 杨占旭, 王吉林, 等. “新工科”背景下环境微生物学课程实践教学育人模式的探索. *微生物学通报*, 2020, 47(4): 1202-1209, doi: 10.13344/j.microbiol.china.190650.
- Shi CW, Yang ZX, Wang JL, et al. Exploration on the practical teaching model of environmental microbiology course under the background of “new engineering”. *Microbiol China*, 2020, 47(4): 1202-1209, doi: 10.13344/j.microbiol.china.190650 (in Chinese).
- [13] 程新宽, 马龙. 微生物遗传学与育种课程教学改革与探索. *生物工程学报*, 2020, 36(6): 1249-1256, doi: 10.13345/j.cjb.200019.
- Cheng XK, Ma L. Reform of courses for microbial genetics and breeding. *Chin J Biotech*, 2020, 36(6): 1249-1256, doi: 10.13345/j.cjb.200019 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)