

“生物工程设备”国家一流本科课程建设与实践

王远山, 牛坤, 程峰, 吴哲明, 徐建妙, 宋晓菲, 郑裕国

浙江工业大学 生物工程学院, 浙江 杭州 310014

王远山, 牛坤, 程峰, 吴哲明, 徐建妙, 宋晓菲, 郑裕国. “生物工程设备”国家一流本科课程建设与实践. 生物工程学报, 2022, 38(12): 4797-4807.

WANG YS, NIU K, CHENG F, WU ZM, XU JM, SONG XF, ZHENG YG. Development and practice of national first-class undergraduate course “bioengineering equipment”. Chin J Biotech, 2022, 38(12): 4797-4807.

摘 要: 生物技术产业是我国战略新兴产业, 近年来发展极为迅速, 对实践创新型人才需求极大。作为生物工程专业核心课程, “生物工程设备”在生物技术产业实践创新型人才培养中具有重要意义。本课程针对当前课程教学中的设备可及性低、工程实训机会少和学生学习缺乏主动性等痛点, 以设备资源和素材库建设、虚实结合工程实训、学生学习积极性调动为抓手, 构建“育德、育智、育能 (实践创新能力)、对接社会发展新需求、融入学科前沿新进展、引入科研实践新成果 (三育三新)”教学内容, 创新教学方式和优化考核评价, 通过课内外联动-校内外联动、引入前沿进展及科研成果、多样化资源集成、线上线下结合等手段, 提高学生的主动性和创新能力, 以达到“三会一能”。通过教学探索和实践, 提高了课程教学的有效性, 学生实践创新能力显著提升。

关键词: 生物工程设备; 生物技术产业; 产教融合; 实践创新

Received: April 25, 2022; **Accepted:** June 27, 2022; **Published online:** July 1, 2022

Supported by: Bioengineering Equipment National First-class Undergraduate Course; University-Industry Collaborative Education Program of Ministry of Education (201801056008, 202002243001); The High Education Teaching Reform Project of Zhejiang (jg0160030, 202164, 202154); Bioengineering Equipment National Excellent Resources Sharing Curriculum (2016-54); Kuaijishan Shaoxing Wine Co., Ltd. and Shaoxing Rice Wine School

Corresponding author: ZHENG Yuguo. Tel: +86-571-88320630; E-mail: zhengyg@zjut.edu.cn

基金项目: 生物工程设备国家一流本科课程; 教育部产学合作协同育人项目 (201801056008, 202002243001); 浙江省高等教育教学改革项目 (jg0160030, 202164, 202154); 生物工程设备国家精品资源共享课程建设计划 (2016-54); 会稽山绍兴酒股份有限公司及绍兴黄酒学院项目

Development and practice of national first-class undergraduate course “bioengineering equipment”

WANG Yuanshan, NIU Kun, CHENG Feng, WU Zheming, XU Jianmiao, SONG Xiaofei, ZHENG Yuguo

College of Biotechnology and Bioengineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, Zhejiang, China

Abstract: As a strategic emerging industry of China, the biotechnology industry develops rapidly in recent years, which significantly increased the demand for creative and capable talents. As a core curriculum of bioengineering specialty, biotechnology equipment plays an important role in fostering such talents. To address the problems in biotechnology equipment course teaching such as limited equipment availability, limited engineering practice, and lack of learning motivations, curriculum reform and optimization were performed based on curriculum resource development, virtual reality-physical combined engineering training, and boosting learning motivations. The optimized teaching contents focus on fostering morality, intelligence, and creative practice abilities by connecting new requirements of social development, introducing new progress in biotechnology research, as well as new practices in research and development (R&D). Measures such as teaching methods innovation, assessment and evaluation methods optimization, cutting-edge R&D progress, diverse resources integration, and online-offline combined teaching, were developed to boost the learning motivation and foster the innovation competence of students. By above exploration and practice, the practice and innovation competence of students were significantly enhanced.

Keywords: biotechnology equipment; biotechnology industry; industry-education integration; creative practice ability

生物技术产业是我国战略新兴产业，已成为国民经济新的增长点之一，其发展备受重视，国家发展改革委国家发展和改革委员会近日也印发了发展生物产业、推动经济高质量发展的《“十四五”生物经济发展规划》^[1]。我国生物技术产业规模全球第一，近年来年均增长 12% 以上，尤其是其最重要组成部分的生物医药产业，增长最为明显^[2-3]。据统计，我国生物发酵制品、生物基精细化学品及生物基材料等主要生物制造产品年产量超过 7 000 万 t^[4]。生物技术产业的迅速发展对生物工程类专业人才实践创新能

力和素质提出了新的要求^[5]。生物工程设备是生物技术成果产业化应用的核心和关键，在现代生物技术产业中具有重要地位。“生物工程设备”课程是生物工程专类专业的核心课程，由于与生产实际联系密切^[6]，工程化特色鲜明，在学生实践创新能力培养方面具有重要意义^[7-9]。因此，本课程的主要内涵即从生物过程工程的基本原理和范畴出发，依据生物工程设备的发展历程，提炼生物工程设备共性技术，从发展的角度阐述生物制造过程中关键设备的工作原理、设计方法和设备的选型等内容；并提供与

生物过程工程匹配的相关设备的设计及实习实践,培养“会选型、会使用、会设计、能实践创新”的生物工程创新人才。

浙江工业大学“生物工程设备”课程于1984年开设,经过长期建设和几代教师的努力,取得了一定成效^[10],先后入选国家精品课程和精品资源共享课程,并于2020年入选国家一流本科线下课程建设计划。本文对该课程在生物工程专业学生实践创新能力培养等方面的思考和探索进行介绍,以期抛砖引玉,进一步提高教学质量,并为其他相关课程的建设和改革提供参考。

1 课程教学中存在的问题

目前我国有300多所高校开办了生物工程专业,由于办学背景和条件不同,办学水平和人才培养质量呈现多样化,目前已有23个专业通过工程教育认证。作为专业核心课程^[6],“生物工程设备”或类似课程被普遍开设,但硬件和教学水平存在较大差异,通过广泛交流和调研,课程组发现“生物工程设备”课程教学中普遍存在着以下问题。

1.1 设备可及性低

生物技术产业全过程涉及的设备种类多、发展快,中试和生产型设备规模大、价格贵,实际生产中都连续运行,运转成本高。限于空间和资金,大部分学校没有此类设备,不能在课堂和实验教学中展示三维立体结构、三维动态难以生动呈现,学生难以理解,由难生畏,造成兴趣缺失。

1.2 参加工程化实训机会少

课程教学内容以传统设备为主,与生产实际脱节,缺乏前沿性和时代性。但现代生物技术企业如生物医药企业由于良好生产规范(good manufacturing practice, GMP)生产规范和安全管理等原因,不愿接纳学生进行实

践,学生缺乏工程实践经验,不会实际操作,难于选型和创新,制约了学生的工程素养和实践创新能力的培养。

1.3 学生学习缺乏主动性

长期的应试教育导致学生被动学习现象严重。通过问卷调查显示,大部分同学希望通过考研深造以提升竞争力,而大三学生处于考研关键时期,本课程不是考研课程,学生不愿意投入。同时,教学方式与信息化技术发展不同步,教师“多授”和学生“多受”的“填鸭式”教学模式难以调动学生学习的主动性。

这些问题制约了课程教学效果,与面向未来的、高素质生物工程专业人才培养需求不匹配,制约了人才培养质量的提升,亟待解决。

2 课程建设与实践

2.1 教学建设思路

根据生物技术国家战略、产业发展需求、学校办学定位、生物工程专业教学质量国家标准^[5]、工程教育认证通用标准^[11]和学校生物工程专业人才培养目标,课程组坚持立德树人,秉持“以学生发展为中心、以产出为导向、科教融合、持续改进”的理念,利用现代信息技术,构建“育德、育智、育能(实践创新能力)、对接社会发展新需求、融入学科前沿新进展、引入科研实践新成果”的“三育三新”教学体系,力求将知识传授、能力培养和价值引领有机融合,激发学生内在潜力和学习动力,变被动学习为主动学习,促进学生从知识向能力、素质与创新思维能力协调发展,达到“会选型、会使用、会设计、能实践创新(三会一能)”高阶发展,提升学生专业核心竞争力。

2.2 重构教学内容

根据专业人才培养计划,本课程培养目标为:掌握进行复杂生物工程问题设计、研发等

所需的生物加工过程与装备设计、选型、应用操作等知识(知识目标);能够将生物加工过程与设备知识和设计规范等用于生物工程产品市场方案和生产工艺的设计,能够针对复杂生物工程问题中设备选型等问题,根据对象特点,设计生物工程设备、进行优化、调整和改进(能力目标);培养学生家国情怀、社会责任感和奉献精神、科学精神、创新精神和工匠精神(价值塑造目标)。根据课程培养目标,课程组以“思想性、前沿性、实践性”为主线,对教学内容进行了重构。

思想性:我校生物工程专业在专业课程教学过程一直注重实施德育^[12]。因此,课程组在教学过程中强化立德树人,把塑造学生的价值观、世界观和人生观放在首位。生物工程设备是我国生物技术成果产业化的核心和关键,也是无数科研工作者奉献爱国、勇攀高峰、奋发进取的神兵利器和成果结晶,可挖掘提炼出诸如生物技术成果和设备研发过程中的科学精神(探索未知,激情求解)、爱国精神、创新创业精神教育;理论和实践教学中蕴含的职业道德、工匠精神教育;工程实践案例中蕴含的诚信教育等元素。

课程组精心设计,在相关知识点教学过程中将育人元素有机融入教学内容,如在讲授生物反应器结构与设计计算时,引入课程组教师潜心研发 20 余年,开发的新型气升式反应器成功用于冬虫夏草菌丝体规模化生产的案例,培养学生为国家需求进行科研攻关的意识。也通过辨析让学生了解生物反应器(器具)对他们未来的学术生涯和职业发展(成器)的重要性。

前沿性:生物技术产业是目前发展最为迅速的产业之一,为保证与时俱进,课程组及时更新教学内容,将我校生物工程学科科研成果(科技成果奖项、产业化成果等)融入教学内

容,把科研优势转化为教学优势,并及时引入我国科学家通过化学-酶法成功利用二氧化碳合成淀粉、率先实现 0 到 1 的突破等学科前沿进展^[13]。同时,为了适应现代生物医药产业的发展,在生物反应器结构与设计计算章节引入了基于一次性生物反应器和连续生产的动物细胞规模化灌流培养生产蛋白药物工艺(奕安济世生物药业的灌注细胞培养平台和药明生物的 WuXiUP™ 连续生产工艺平台)等内容。为扩大学生国际视野,引入了两部英文教材^[14-15]和丰富的国内外视频及动画材料等,在此基础上,持续更新教学内容,构建了动态更新的教学素材和资源库,实现了教学内容与时俱进,密切联系生产实际,表 1 列出了绪论中的部分素材。并通过微信和 QQ 等将前沿研究和生产最新进展推送给学生。

实践性:生物工程设备课程具有明显的工程化特色和实践性^[7-9],课程组高度重视实践教学^[16]。课程组依托生物化工浙江省一流学科,借力可再生资源加工与利用等学校国家级、省级教学科研平台和华东医药股份有限公司、会稽山绍兴酒股份有限公司等校外头部企业,构建了课程校内外结合的工程实践平台^[17]。在课堂教学以外,也布置任务让学生到校内外平台接触和使用发酵罐等小型生物工程设备,并利用这些设备进行课外科技活动,提升其工程创新能力和设备使用能力。而校外实践平台则为学生提供了接触中试和大型设备的机会。校内外工程实践平台有效解决了以往教学中存在的设备不可及问题。

同时,课程组也对教学内容进行了适当调整,如现代生物技术产业产品品系发生了极大改变,高附加值的抗体等大分子药物比重显著增加,很多传统设备如物料输送设备、蒸馏设备和干燥设备等发展速度明显变缓,因此,

领学生自主、探究、合作学习。即课前布置任务,学生基于问题主动学习思考,利用资源共享课程和数字课程进行线上学习,查阅文献和资料,撰写小论文并制作 PPT 进行课堂交流;课堂上教师补充介绍,师生互动;课后学生通过到校内教学和科研平台熟悉并进行小型生物反应器的拆装、使用操作,并通过“荧光蛋白的中试发酵生产”和“阿卡波糖工业化发酵生产及其车间设计 3D 虚拟仿真”两个省级虚拟仿真项目模拟中试和生产型生物反应器的操作;最后再通过校外实践教学基地进一步了解中试和生产规模设备情况,层层推进,落实引领学生自主学习。

2.3.3 双语教学拓宽学生国际视野

根据工程教育认证、教师国际化背景,进行双语教学,直接用英文教材和文献进行授课和研讨,学习全球领先的关于设备的英文视频(如关于重组蛋白药物培养工艺工程放大的“从研发到中试/生产:细胞培养工艺如何有效地进行放大”在线培训和罗氏制药单抗药物生产工艺视频,既锻炼了英语能力,又加深了对生物工程设备和现代生物制造的了解和兴趣。

2.3.4 虚实结合加深学生感性认知

自 2010 年以来,通过生物工程学科和生物工程专业建设购置了数十台套 1-300 L 机械搅拌生物反应器在内的实验室规模国产和进口设备,有效地提高了学生对小型设备的掌握和操作。针对生物工程专业学生在课程学习过程中对于中试和大型设备“缺乏感性认知、没有实操机会”的教学难题,在虚拟参观国外生物医药龙头企业的基础上,以本学科国家科技成果奖项目为模型,对应现代重组蛋白药物生产和微生物药物生产,构建了绿色荧光蛋白规模化中试发酵虚拟仿真实训和智能化微生物药物发酵及其车间设计 3D 虚拟仿真实训(图 1),采用虚实结合的混合式教学模式进行实训。如 3D 虚拟仿真项目,学生可以进行基于 120 m³

全自动发酵罐的现代化智能化车间的虚拟操作和车间设计,实现线上工程培训,加深了对相应设备的感性认识,也了解了现代生物制造产业的过程分析技术,有利于其以后的职业和学术发展,全面提升学生解决复杂工程问题的能力。

2.3.5 学赛融合提高学生实践创新能力

随着我国建设创新型国家战略的实施,学生实践创新能力日益受到重视^[18]。课外科技活动和竞赛项目是培养学生实践创新能力的重要载体^[19]。学院已建立了包括国际基因工程机器大赛、“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛、中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛金奖、全国大学生生命科学竞赛、全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛等组成的学科竞赛体系,课程组积极组织学生参加科技竞赛项目和课外科技活动,通过课程考核中的创新创业活动板块,帮助学生在不同赛事中参与技术研发和成果转化,使学生学以致用、能学能创。此外,学生主持和参与不同级别的赛事不仅能够提高自身各方面的素质,还能获得竞赛推免机会,增加综测分,丰富评价评优材料。目前每年都有 5 名左右学生因参加科技竞赛获奖获得保研名额。课程考核中创新创业活动也有一定分值,见 2.4 中的“平时表现”。这充分调动了同学们的积极性,提升了他们的获得感。

2.3.6 产教融合强化学生工程实践能力

课程组依托与生物工程设备生产企业和使用企业的长期合作,从迪必尔生物工程(上海)有限公司、宁波星邦生化设备有限公司、会稽山绍兴酒股份有限公司、上海百仑生物科技有限公司、阿法拉伐、华东医药股份有限公司和杭州奕安济世生物药业有限公司等国内外企业获得了大量教学素材,企业专家也参与了素材库建设。同时,每学期课程组都会邀请两名生物工程设备生产企业的专家讲授相关章节。

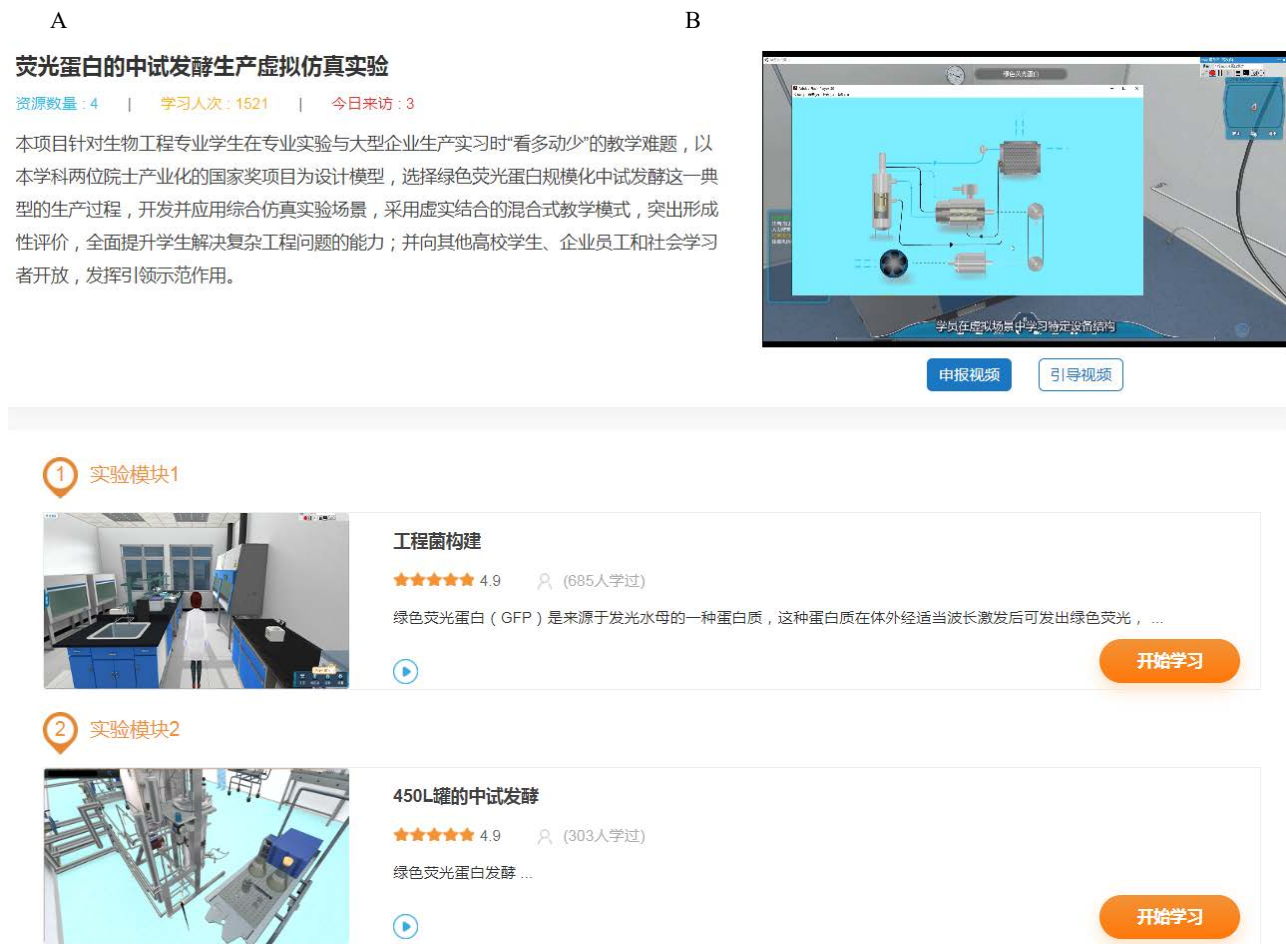


图1 重组蛋白药物生产和智能化微生物药物发酵及其车间设计3D虚拟仿真实训

Figure 1 Virtual reality training of production of recombinant biopharmaceutical proteins (A), and intelligent microbial fermentation of pharmaceuticals and 3D design of the workshop (B).

学院已在华东医药股份有限公司、杭州奕安济世生物药业有限公司、浙江博锐生物制药有限公司等行业龙头企业建立了20余个校外实践教育基地，与华东医药股份有限公司等企业联合承担了浙江省重点现代产业学院—现代生物产业学院建设项目，与会稽山绍兴酒股份有限公司承担了教育部产学研协同育人项目“产教融合共建大学生现代黄酒酿造技术实践教育基地”。课程组在组织学生进行实践的同时，也邀请企业专家进课堂为学生授课。推荐的会稽山绍兴酒股份有限公司杨国军教授级高工、华东医药股份有限公司张薇高工和轻工部

杭州机电设计院王维新高工成功入选浙江工业大学首批课程特聘教授。

产教融合的一个范例是华东医药股份有限公司，校企联合开发的科研成果“阿卡波糖原料药和制剂关键技术及产业化”获得国家科学技术进步二等奖，建成了年产200 t阿卡波糖原料药智能化发酵生产线，并入选了省级智能工厂。基于上述成果，双方合作开发了阿卡波糖工业化发酵生产及其车间设计3D虚拟仿真实训项目，也承担了学生的实习、毕业设计等实践教学活

同时，为了进一步深化产学研合作，由课

程组教师牵头组织所在学院主动对接国家和区域生物技术产业需求,在国家人力资源和社会保障部和浙江省人力与社会资源保障厅的支持下,分别于2019年和2021年承办了“微生物发酵与生物催化”省重点高级研修班和“现代生物制造发展”国家级高级研修班,发挥高校和学科优势,培训企业研发和管理骨干,以推动产业发展,并搭建了一个高水平交流平台,为产学研合作和产教合作育人提供了新机遇和新思路,促进了实践基地建设和教学资源库建设。2022年也获得国家人力资源和社会保障部支持,继续承办“现代生物制造发展”国家级高级研修班。

2.4 形成性评价激发学生积极性

设计多元化的考评体系,学习过程形成性评价,促进学生学习能力和创新能力提升。课程考核成绩由平时成绩、期末考核成绩进行综合评定。课程期末进行统一考试,按百分制评定分数,其中,期末考核成绩占50%,平时成绩占50%。以平时表现、作业和课堂讨论或小论文记平时成绩。总评成绩为:期末卷面成绩(50%)+平时作业(20%)+期中考试成绩(20%)+平时表现(10%,含创新性成果奖励等)。

3 建设成效与推广应用

经过探索和实践,课程组有效解决了课程教学中存在的设备可及性低、实训机会少和学生不积极等痛点,取得了良好的成效。

3.1 学生“三会一能”工程实践创新能力提升

近年来本专业毕业生升学率保持在40%以上,毕业生工程创新能力受到产业界充分认可,良好的设备选型、使用、设计以及创新能力使他们能快速适应产业环境,成为研发、生产和管理骨干。学生广泛参与课外科研活动和

科技竞赛,在实践创新能力提升的同时,也连创佳绩,如2017–2021年连续5年参加国际遗传机器大赛,获得4项金奖、1项铜奖,近3年学生获得“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛1项和中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛金奖3项,每年有5名左右的学生获得推免资格。

3.2 课程建设和教学团队建设成果丰硕

本课程于2020年入选国家首批一流课程,并于2021年入选浙江省首批课程思政示范课程。课程组教师积极进行课程建设和教学改革,承担和参与国家一流课程、国家一流专业等各级教学建设和改革项目等20余项,主编教材和专著4部:《生物加工过程与设备》^[20]、《生物工程设备》第一版^[21]和第二版^[22]、《生物制药工程原理与技术》^[23],其中《生物工程设备》第一版自出版以来,已重印12次,在全国高校中得到广泛应用。尤其是《生物工程设备》第二版,在第一版基础上,课程组教师根据理论问题工程化、复杂结构核心化、单元设备集成化、最新发展实用化的原则,力求反映生物工程设备的国内外最新进展,以培养生物工程类高级技术人才,解决生物过程中的技术瓶颈,促进更多的生物技术成果实现工业应用。发表教学论文10余篇。课程组注重师德师风建设,教师为全国高校黄大年式教师团队的核心成员、全国教育系统先进集体、全国高校党建工作样板支部、“生物催化与微生物发酵”浙江省首批重点科技创新团队、“生物净化和生物转化”教育部创新团队主要成员。课程组教师获评全国优秀教师和浙江省功勋教师,获得浙江省高校教学成果特等奖和二等奖各1项、浙江省第二届高校教师教学创新大赛正高组三等奖、校教师教学创新大赛特等奖等荣誉和奖励。课程组教师分别被遴选为教育部

生物技术和生物工程类专业教指委副主任委员和浙江省本科高校生物类课程教指委委员。

3.3 示范引领作用明显

课程建设成效受到专家、同行和学生们的充分肯定。课件等教学资源已辐射华中科技大学、大连理工大学和华中农业大学等多所高校,课程组教师建立了生物工程设备课程建设线上教学交流群,教师们对课程组教学资源和教师予以高度评价,学生们也认为受益匪浅。

《生物工程设备》教材已发行全国,多媒体课件、授课录像、电子版教材、动画演示等资源均已上辅助教学网站(爱课程网站, https://www.icourses.cn/sCourse/course_2616.html),并于2020年抗击新冠疫情期间与高等教育出版社合作,开设了“生物工程设备”云课程,服务国内兄弟院校生物工程类专业人才培养。进而于2021年出版发行了“生物工程设备”数字课程^[24]。相关资源可供校内外同行和学生浏览、共享,同时课程网站也对社会开放共享。课程组教师在高校生命科学课程报告论坛、新时代高校生命科学教学改革与创新研讨会等国内教学会议交流十余次,课程资料已被20余所兄弟院校应用,反响良好。

同时,课程组所在团队的事迹“探索未知、激情求解——生物催化与微生物发酵创新团队”入选第十五届全国党员教育电视片观摩交流活动中的“学榜样、践初心”系列(<https://www.12371.cn/2020/03/24/VIDE1585029122325523.shtml>)。

在本课程建设的同时,作为主要骨干也助推了本专业生物工艺学^[25]、基因工程^[26]、酶工程^[27]等课程建设和改革,为优质课程群建设作出了贡献。

4 结论

在我国创新型国家建设、生物技术产业迅速发展的背景下,学生实践创新能力培养的培养和提升已成为生物工程专业教学重要目标。“生物工程设备”实践性强、工程化特色突出,是实践创新型生物工程专业人才培养的关键课程。课程组在前期建设的基础上^[8],主动对接产业和社会需求,在教学内容优化、产教融合、教学方法等方面进行了有益探索和尝试,也取得了一定效果。课程组将继续按照国家一流课程要求,持续总结经验和教训,突出实践创新能力培养,以培养高素质生物工程创新人才,服务生物技术产业和社会发展。同时,本课程的建设经验,也可以为相关课程的建设提供借鉴。

REFERENCES

- [1] 国家发展和改革委员会关于印发《“十四五”生物经济发展规划》的通知[EB/OL]. [2022-05-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/10/content_5689556.htm.
- [2] 白京羽,林晓锋,尹政清. 全球生物产业发展现状与政策启示. 生物工程学报, 2020, 36(8): 1528-1535. Bai JY, Lin XF, Yin ZQ. Status quo of global bioindustry and its policy implications. Chin J Biotech, 2020, 36(8): 1528-1535 (in Chinese).
- [3] 新浪医药,赛迪顾问. 2019 中国生物医药产业发展报告 [EB/OL]. [2019-12-28]. https://med.sina.com/article_detail_103_1_76015.html, 2019. Sina medicine, China center of information industry development. 2019 development of biopharmaceutical industry in China report [EB/OL]. [2019-12-28]. https://med.sina.com/article_detail_103_1_76015.html, 2019 (in Chinese).
- [4] 国家发展和改革委员会创新和高技术发展司,中国生物工程学会. 中国生物产业发展报告 2020-2021. 北京: 化学工业出版社, 2021: 166-190. Department of innovation and high-tech of national development and reform commission, Chinese society of biotechnology. Annual Report on Bioindustry in China: 2020-2021. Beijing: Chemical Industry Press,

- 2021: 166-190 (in Chinese).
- [5] 崔艳, 樊秀花, 张陈云, 等. 生物工程专业创新创业人才培养探索. 大学教育, 2018, 7(2): 130-132.
Cui Y, Fan XH, Zhang CY, et al. Exploration on the cultivation of innovative and entrepreneurial talents in biological engineering. Univ Educ, 2018, 7(2): 130-132 (in Chinese).
- [6] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准. 北京: 高等教育出版社, 2018: 567-574.
Ministry of education of the People's Republic of China. National Standard for Teaching Quality of Undergraduate Majors in Colleges and Universities. Beijing: Higher Education Press, 2018: 567-574 (in Chinese).
- [7] 陈必链, 郑毅, 陈建平, 等. 提高《生物工程设备》课程教学质量的探索与实践. 微生物学通报, 2007, 34(4): 822-825.
Chen BL, Zheng Y, Chen JP, et al. Exploration and practice on the improvement of bioengineering equipment curriculum teaching quality. Microbiology, 2007, 34(4): 822-825 (in Chinese).
- [8] 张嗣良, 陆兵, 唐寅, 等. 生物工程设备课程建设的思考与实践. 化工高等教育, 2009, 26(1): 12-15.
Zhang SL, Lu B, Tang Y, et al. Reflection and practice on the course building of biochemical engineering equipment. High Educ Chem Eng, 2009, 26(1): 12-15 (in Chinese).
- [9] 鞠鑫, 李良智, 王桃云, 等. 以培养工程实践能力为目标的“生物工程设备”课程教学改革. 高校生物学教学研究(电子版), 2021, 11(6): 48-51, I0011.
Ju X, Li LZ, Wang TY, et al. Teaching reform of “bioengineering equipment” curriculum towards engineering practice ability building. Biol Teach Univ (Electron Ed), 2021, 11(6): 48-51, I0011 (in Chinese).
- [10] 王远山, 胡忠策, 徐建妙, 等. 生物工程设备精品课程建设实践与探索. 微生物学通报, 2008, 35(11): 1817-1820.
Wang YS, Hu ZC, Xu JM, et al. Top-quality course construction for bioprocess equipment. Microbiology, 2008, 35(11): 1817-1820 (in Chinese).
- [11] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证标准. 2017.
China engineering education accreditation association. Criteria for engineering education accreditation. 2017.
- [12] 胡忠策, 王远山, 郑裕国. 在生物工程专业课程教学过程中加强德育. 广东化工, 2011, 38(2): 193-194.
Hu ZC, Wang YS, Zheng YG. Performing moral education during professional course teaching for bioengineering. Guangdong Chem Ind, 2011, 38(2): 193-194 (in Chinese).
- [13] Cai T, Sun H, Qiao J, et al. Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide. Science, 2021, 373(6562): 1523-1527.
- [14] Panda T. Bioreactors: Analysis and Design. New York: McGraw-Hill Professional, 2011.
- [15] Liu SJ. Bioprocess engineering: kinetics, biosystems, sustainability, and reactor design. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2016.
- [16] 徐建妙, 王远山, 郑裕国. 实践教学对生物工程设备课程教学质量的提高. 化工高等教育, 2011, 28(6): 34-37.
Xu JM, Wang YS, Zheng YG. Improvement of teaching quality by the practice teaching. High Educ Chem Eng, 2011, 28(6): 34-37 (in Chinese).
- [17] 金利群, 胡忠策, 汤晓玲, 等. 基于OBE的实验教学示范中心实践教学改革探索—以浙江工业大学为例. 浙江工业大学学报(社会科学版), 2017, 16(2): 227-231.
Jin LQ, Hu ZC, Tang XL, et al. Practical teaching system reform and the practice of Experimental Teaching Demonstrating Center based on the concept of OBE—taking Zhejiang University of Technology as an example. J Zhejiang Univ Technol (Soc Sci Ed), 2017, 16(2): 227-231 (in Chinese).
- [18] 教育部办公厅发布《关于做好深化创新创业教育改革示范高校 2019 年度建设工作的通知》[EB/OL]. [2019-03-28]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s5672/201904/t20190408_377040.html.
- [19] 王启要, 李鹏飞, 高淑红, 等. 国际基因工程机器大赛对本科生综合能力培养模式的探索. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1457-1463.
Wang QY, Li PF, Gao SH, et al. Exploration of an integrated competency development model for undergraduates training by participating the international Genetic Engineering Machine Competition. Chin J Biotech, 2021, 37(4): 1457-1463 (in Chinese).
- [20] 郑裕国, 薛亚平, 金利群. 生物加工过程与设备. 北京: 化学工业出版社, 2004.
Zheng YG, Xue YP, Jin LQ. Bioprocessing Engineering and Equipment. Beijing: Chemical Industry Press, 2004 (in Chinese).
- [21] 郑裕国, 薛亚平. 生物工程设备. 北京: 化学工业出版社, 2007.
Zheng YG, Xue YP. Bioengineering Equipment.

- Beijing: Chemical Industry Press, 2007 (in Chinese).
- [22] 郑裕国, 薛亚平. 生物工程设备. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- Zheng YG, Xue YP. Bioengineering Equipment. 2nd Ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2022 (in Chinese).
- [23] 郑裕国, 邹树平. 生物制药工程原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- Zheng YG, Zou SP. Principles and Technology of Biopharmaceutical Engineering. Beijing: Higher Education Press, 2019 (in Chinese).
- [24] 王远山, 牛坤, 程峰, 等. 生物工程设备数字课程. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- Wang YS, Niu K, Cheng F, et al. Bioprocessing Equipment (digital course). Beijing: Higher Education Press, 2021.
- [25] 金利群, 汤晓玲, 王远山, 等. 生物工艺学原理课程教学改革与探索. 化工高等教育, 2017, 34(3): 61-63, 68.
- Jin LQ, Tang XL, Wang YS, et al. The development and exploration of teaching reform in principle of biotechnology. High Educ Chem Eng, 2017, 34(3): 61-63, 68 (in Chinese).
- [26] 翁春跃, 王远山. 基于 OBE 的翻转课堂教学模式在基因工程课程中的应用. 高校生物学教学研究(电子版), 2021, 11(2): 16-20.
- Weng CY, Wang YS. Application of OBE-based flipped classroom model on genetic engineering teaching. Biol Teach Univ (Electron Ed), 2021, 11(2): 16-20 (in Chinese).
- [27] 周海岩, 王亚军, 牛坤, 等. “酶工程”课程教学改革的探索与实践. 高校生物学教学研究(电子版), 2016, 6(3): 40-43.
- Zhou HY, Wang YJ, Niu K, et al. Exploration and practice in the teaching reform of enzyme engineering. Biol Teach Univ (Electron Ed), 2016, 6(3): 40-43 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)