

新工科背景下生物反应工程课程的多元化教学模式改革与探索

朱本伟, 倪芳, 熊强, 姚忠, 孙芸

南京工业大学 食品与轻工学院, 江苏 南京 211816

朱本伟, 倪芳, 熊强, 等. 新工科背景下生物反应工程课程的多元化教学模式改革与探索. 生物工程学报, 2021, 37(7): 2571-2580.

Zhu BW, Ni F, Xiong Q, et al. Innovation and exploration of diversified teaching patterns for Biochemical Reaction Engineering under the new engineering education background. Chin J Biotech, 2021, 37(7): 2571-2580.

摘 要: 生物反应工程作为一门理论性与应用性都很强的专业课程, 在生物工程等相关专业的课程设置中处于桥梁和纽带地位, 对新型应用型工科人才的培养发挥着重要的作用。但由于该课程中公式等抽象理论知识过多, 导致学生学习效率十分低下。因此, 为了适应新工科教育背景下对创新型人才培养的需求, 提高学生的学习兴趣 and 积极性, 并培养学生的自主学习等创新能力, 教学团队在课程教学中通过引入虚拟仿真技术、开展微课教学、采用案例式教学模式、利用科研平台等多元化方式, 对该课程的教学模式、方法和手段尝试改革和探索, 取得了一定的教学效果, 并就此进行了一些探讨, 以期能为相关课程的教学改革提供一些思路和启示。

关键词: 生物反应工程, 虚拟仿真技术, 微课, 案例式教学, 教学改革

Innovation and exploration of diversified teaching patterns for Biochemical Reaction Engineering under the new engineering education background

Benwei Zhu, Fang Ni, Qiang Xiong, Zhong Yao, and Yun Sun

College of Food Science and Light Industry, Nanjing Technology University, Nanjing 211816, Jiangsu, China

Abstract: Biochemical Reaction Engineering is a professional discipline with emphasis on both theory and practice. It is the core course in the curriculum provision for students majoring in bioengineering and plays an important role in the cultivation of professional talents. However, there are so much theory knowledge, such as formulas and deduction, that students showed poor efficiency in their study. Herein, to cater the objective command of innovative talents under new education background,

Received: August 19, 2020; **Accepted:** November 26, 2020

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No. 31601410), Graduate Education Teaching Reform Project of Nanjing Tech University (No. 19), the Teaching Reform Project of Jiangsu Higher Education Society, China (No. JGLX19_060).

Corresponding author: Benwei Zhu. Tel/Fax: +86-25-58139419; E-mail: zhubenwei@njtech.edu.cn

国家自然科学基金 (No. 31601410), 南京工业大学研究生教育教学改革课题 (No. 19), 江苏省高等教育学会教育教学改革课题 (No. JGLX19_060) 资助。

网络出版时间: 2020-12-25

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1998.Q.20201223.1644.001.html>

and to improve the practical teaching efficiency and the students' enthusiasm as well as the practical innovation capability, the teaching team innovated and explored the teaching pattern, the teaching method as well as the teaching technologies. The teaching efficiency has been remarkably improved by introducing the virtual simulate technology, the micro-lecture, the case teaching pattern attempts and the scientific platform, which can be used as reference by other peers.

Keywords: biochemical reaction engineering, virtual simulate technology, micro-lecture, case teaching, teaching innovation

众所周知, 生物技术在解决目前人类所面临的食物、资源、环境和健康等诸多挑战和危机中发挥着巨大的作用, 被视为 21 世纪最重要的高新技术^[1]。尤其是近几年, 已有超过 20% 的化工工艺被生物技术所替代^[2-3]。

生物技术的产业化发展和规模扩大离不开生物反应过程的工程化放大, 离不开生物反应工程的强大支撑和理论指导^[2,4]。生物反应工程是利用生物学、化学、工程学等技术将实验室成果进行放大而成为可供工业化生产的工艺过程, 是生物工程中不可缺少的也是极为重要的过程环节^[5], 它利用工程学知识和计算机技术将生物反应过程进行优化和控制, 并结合反应特点设计出经济合理的反应器装置来实现实验室成果的工程化放大, 是推动生物技术产业发展的重要基础和推动力。同时, 生物反应工程也是为生物工程类等相关工科专业本科生开设的专业核心课程, 该课程兼有工程“技术”与“科学”的双重特点, 是一门理论性与应用性都很强的课程, 在生物工程等相关专业的课程设置中处于桥梁和纽带地位, 对应用型创新人才的培养发挥着重要的作用^[6]。

随着生物技术的不断发展和生物技术产业化进程的不断推进, 相关行业对专业人才的培养提出了新的更高的要求, 即在具备扎实的知识的基础上, 要具有一定的创新能力和探索精神, 能够将理论知识应用于实际, 解决生产实践中遇到的问题^[7]。基于以上要求, 同时也为主动应对新一轮科技革命与产业变革对创新型人才的需求, 国家教育有关部门于 2017 年提出了新工科教育的概念, 由教育部牵头积极推进新工科建设, 并发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》和《关于推进新工科研究与实践项目的通知》^[8], 全力探索形成

领跑全球工程教育的中国模式、中国经验, 助力高等教育强国建设^[9]。与此同时, 教育部还实施了“卓越工程师教育培养计划”, 通过适时增加“新工科”专业点, 在产学研合作协同育人项目中设置“新工科建设专题”、汇聚企业资源、鼓励部属高校统筹使用中央高校教育教学改革专项经费、鼓励“双一流”建设高校将“新工科”研究与实践项目纳入“双一流”建设总体方案、鼓励各地教育行政部门认定省级“新工科”研究与实践项目、采用多种渠道提供经费支持等一系列措施强有力地推动了新工科教育的发展^[10]。在国家大力推行新工科教育的大背景下, 培养大学生的创新能力和科研素养成为了工科专业教学要求的重要目标^[11]。为了提升教学效果和学生学习的积极性, 国内外相关教学团队针对生物反应工程的教学内容、教学模式、评价方式等方面进行了积极的改革和探索。天津科技大学的钟成等通过利用现代教育技术、开设双语课程、加强课程教材建设等手段对生物反应工程国家级精品课程的建设进行了积极的探索与实践, 取得了丰硕的教学成果^[12]。在培养学生的工程思维和观点方面, 天津科技大学的韩培培等^[13]和西南交通大学的孟涛等^[14]教学团队从激发学生学习兴趣、帮助学生建立工程思维和工程观点等方面入手, 通过引入过程的量化等工程概念、结合例题培养和训练学生的创新工程思维等手段对教学内容和模式的革新进行了大胆尝试, 激发了学生的学习积极性; 燕山大学的朱瑞艳等从基于“卓越工程师教育培养”能力培养的角度对生物反应工程的教学方法进行了改革, 对课程的教学大纲、教学内容设置、教学手段方法及课程考核评价体系进行了优化调整, 为新工科教育背景下生物反应工程的教学内容革新提供了

借鉴和启示^[6]。在教学内容方面,华东理工大学的夏杰和厦门大学的姚传义教学团队对课程重点教学内容进行了深入发掘,提升了知识的理论层次和教学效果^[15-16]。在教学模式方面,巢湖学院的蒋慧慧等、武汉设计工程学院的何立超等、河北大学的刘建凤等分别通过引入微课程教学设计、利用“互联网+”技术辅助教学、引入讨论式教学法等手段对生物反应工程的教学模式进行了多种尝试,也为本课程的教学模式改革提供了参考^[17-19]。在课程教学评价方面,南京工业大学的曹飞等采用整体性全程化考试模式,改“单考”为“多考”,强化对于学生学习过程的考核,并试行了试卷返回制度,促使学生反思学习过程,取得了较好的效果,有利于学生巩固所学知识^[20]。

与此同时,国外一些教学团队也尝试了多种方法来提高课程的教学效果,如澳大利亚纽卡索大学的 Williams 教学团队开发了一种激励学习策略并应用在产业规模 (Industry-scale) 和小规模 (Bench-scale) 试验组学生的教学中,取得了较好的效果^[21];美国普渡大学的 Austin 教学团队尝试在生物反应工程教学中引入教学录像来形象地展示课程中的工艺操作等抽象知识,取得了不错的教学效果^[22];丹麦科技大学的 Villadsen 教学团队从教材建设、教学内容选取、教学实例应用等方面对生物反应工程的课程建设和教学模式进行了一系列探索,为提升教学效果指明了方向^[23]。

然而,当前生物反应工程的教学实践中仍存在一些问题,这极大地限制了学生创新能力的培养,从而难以达到新工科背景下的教学目标和培养要求。首先,生物反应工程课程内容涉及的公式和推导过程繁多且过于抽象,学生普遍感觉课程太难且学习效果差,对课程学习缺乏积极性和主动性;其次,课程教学内容中理论知识多而具体实例太少,学生对于课程知识的实际应用认识不足,感觉知识虚而无用,对于考试也大多应付了事,学习态度消极,教学效果差。因此,为了

解决以上问题并提高生物反应工程的教学质量,充分调动学生学习的积极性和主动性,我们通过在课程教学中引入虚拟仿真技术、利用微课和案例式教学模式以及依托科研平台等多元化方式,对课程的教学模式、方法和手段进行尝试改革和探索,以期能为相关课程的教学改革提供一些思路和启示。

1 虚拟仿真技术提供直观可视化教学平台,提高课程教学效果

生物反应工程课程中涉及较多的公式及推导、传递过程、反应动力学原理、动态过程控制等抽象的理论知识,学生由于缺乏直观的认知体验,因而难以理解相关知识点,这导致学生学习兴趣不高和课程教学效果低下等问题。针对上述问题,本团队利用虚拟仿真 (Virtual reality) 技术的直观性和可视化等特点,将虚拟仿真技术应用到生物反应工程的教学过程中,最大程度地还原真实的传递过程和催化过程^[24]。虚拟仿真技术借助于计算机模拟和软件开发手段,将授课内容、模拟情景和认知对象融合在一起,营造了一个真实直观的认知环境和学习场景,学生可以在仿真环境中完成对传递过程等抽象知识的学习^[25]。基于此,我们教学团队结合课程知识,开发了酶催化反应动力学模型、细胞反应动力学模型、底物扩散模型和生物反应器设计软件等虚拟仿真教学资源,通过计算机模拟出传递和催化过程便于学生学习和理解。这一措施不仅消除了他们对于课程中的传递过程等抽象知识的恐惧感,也使其对生物反应过程有了更为直观的认识,加深了学生对课程知识的理解,取得了良好的教学效果。此外,虚拟仿真技术还可用于生物反应器的设计和优化教学中,例如在生物反应器的构建与优化中可以借助虚拟仿真技术逼真地还原生物反应器内部的构造及整个反应工艺的流程,课程采用虚拟连续酶膜耦合生物反应器,学生可以在各个

角度察看反应器的结构与组成,可以模拟实际反应过程来设定生物反应器的参数并计算产物的得率(图1)。在教学实践中,学生对于虚拟仿真技术构建的可视化教学平台表现出了浓厚的兴趣,在教师讲解完毕后学生进入虚拟仿真环境进行学习,同时教师结合课程知识对学生进行提问以加深学生对于知识的理解和掌握,学生学习的积极性和主动性得到了较大提升。此外,还有部分学生利用自己的计算机知识,积极要求参与可视化平台的建设,达到了学以致用、举一反三的教学效果。

2 通过微课教学将抽象知识具体化、碎片化,方便学生吸收消化

生物反应工程课程内容庞杂,知识点多且环环相扣,如果前面的知识没有得到较好的掌握则对于后续知识的学习影响很大,因此任课教师原则上应该将关键知识点进行详细讲解,方便学生夯实基础,但是由于课程的课时安排有限,不可能将所有的关键知识点进行细致的分解剖析,需要学生在课前或者课后时间去自主学习,然而由于课程中公式和推导过程多、知识抽象难懂,学生缺乏自主学习的热情和积极性。基于以上问题,团队将微课教学模式引入到本课程的教学过程

中,将重点知识通过微课的方式进行系统细致的剖析和讲解,便于学生学习和掌握。“微课”一词来自英文“Micro-Lecture”,由美国新墨西哥州圣胡安学院的高级教学设计师 David Penrose 于 2008 年提出,目的在于依托微型的知识脉冲,短时间内提炼出课堂教学的知识核心,并结合网络视频动画及相关教学资源展开学习^[26]。团队根据本课程的教学情况对课程内容进行设计(图2)。首先选定教学内容,结合教学大纲明确授课内容的教学目标,根据知识特点及学生的认知规律制定适宜的教学策略和方法,并利用动画、视频等相关教学资源来开展教学^[27-28]。例如针对“酶催化反应动力学”这一章当中的米氏方程的推导及有抑制剂存在下的酶动力学这两个知识点,我们设计了微课演示和启发式教学相结合的教学模式,选取关键知识点设计时长约为 10–15 min 的微课,利用微课重点讲解酶催化反应动力学的分析方法,逐步引导学生运用稳态法推导出酶催化反应动力学方程,理解动力学参数的内在含义。然后,在此基础上采用启发式教学,让学生自主推导在不同类型抑制剂存在时酶催化反应动力学方程的不同形式,并学会比较各种情形下动力学参数的变化趋势,使得学生能够举一反三、融会贯通地掌握本章教学内容的核心和关键知识。

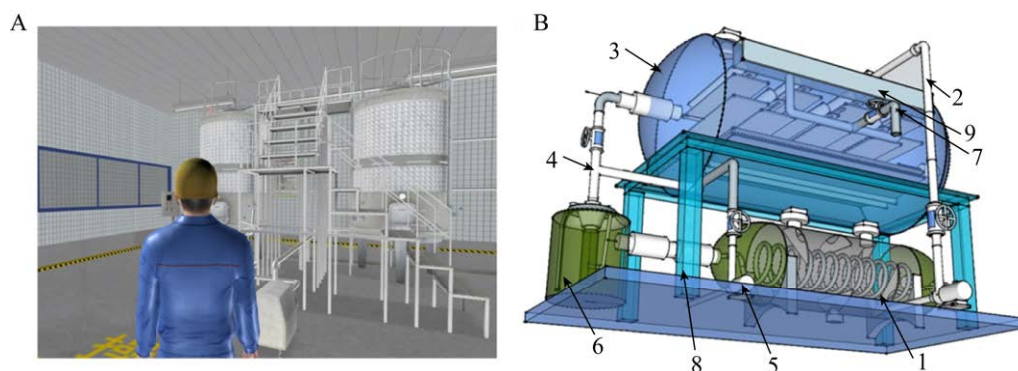
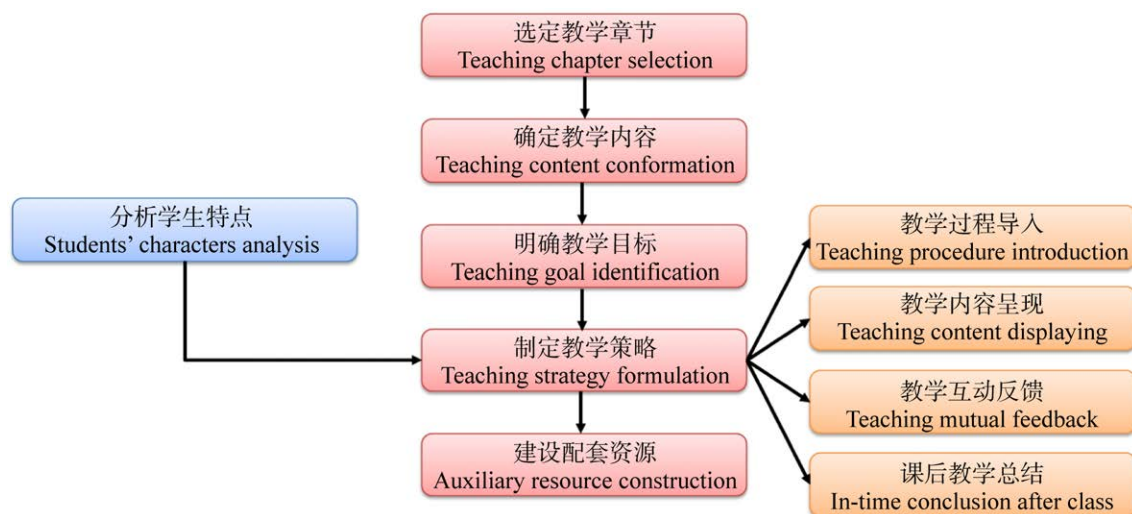


图1 虚拟仿真技术在生物反应工程课程中的应用范例

Fig. 1 The applicable examples of virtual reality technology in Biochemical Reaction Engineering. (A) The virtual reality interface of fermentation system. (B) The virtual reality interface of bioreactor.

图2 生物反应工程微课教学设计流程图^[17]Fig. 2 The flow chart of micro-lecture design in Biochemical Reaction Engineering^[17].

此外,微课设计既可以是教师围绕单一知识点或某个具体问题展开教学,也可以安排学生通过微课自主预习、复习,使教与学真正实现灵活选择,使得学生能够在较短时间内掌握课程中的基本原理,并可以迅速学会解决问题的方法,取得了良好的教学效果。在随后的教学评价反馈中,大部分学生表示相比于传统的教学模式,微课程更能有效地引导学生针对重点内容进行自主学习,改变了学生以往茫然无措、轻重不分的学习情况,极大地增强了学生学习的自信心;同时微课程教学资源可发布在“超星学习通”等学习平台上,便于学生反复观看学习,提高了学生课前预习和课后复习的积极性和主动性。

3 在课程教学实践中开展案例式教学,培养学生的应用型创新能力

生物反应工程是一门应用性很强的课程,与工业化生产实践密切相关,通过这门课的学习,学生能够系统掌握生物反应过程的控制和优化、生物反应器的设计与放大等知识,从而针对特定的生产需求来设计合理的生物反应流程和工艺。该课程培养了学生“学以致用”的创新能力和创新

素养,以迎合新工科教育背景下经济与社会发展对复合型创新人才的需求^[29]。但是在实际教学中,由于本门课程中理论知识多而实际案例少,很多学生对于本课程的应用价值认识不足,往往消极应付。同时,在生物反应工程的课程教学改革措施中较多设计的是在调整教学内容、改善考核方式等方面,但鲜见案例式教学引入课程的报道。

为了改善以上现状和提高教学效果,我们尝试了在生物反应工程教学中引入案例式教学法。案例式教学是指在教学中通过引入真实案例并引导学生对其进行问题分析,锻炼学生运用所学知识解决实际问题的综合能力。此外,案例教学通过真实案例的情景再现,将抽象的课堂理论知识与直观的实践操作结合起来,加深学生对知识体系及知识点等细节的认识和理解,使得学生能够系统、连贯地掌握课程知识并应用到生产实践中去,对于促进学生理论联系实际和培养学生“学以致用”的应用型创新能力具有重要作用。目前,尚未有关于生物反应工程课程案例式教学的报道,教学团队根据课程教学的重点内容,并结合本课程的教学实际从《生物工程学报》、Applied

Microbiology and Biotechnology 等国内外期刊及硕士、博士学位论文选取了部分案例。例如教学中使用了“厌氧氨氧化菌混培物生长及代谢动力学研究”、“基于动力学模型的法夫酵母发酵生产虾青素的补料策略优化”等实际案例^[30-31], 对其中涉及的“不同操作方式对发酵过程的影响”、“基于底物抑制模型对发酵策略进行优化”等课程知识点进行详细剖析, 加深学生对于该部分抽象知识的理解, 唤起学生自主学习和探究的兴趣, 为学生真正掌握解决复杂生物过程问题的能力奠定了基础。此外, 为了让学生将所学知识融会贯通, 我们还尝试利用前期大学生创新创业训练项目以及成熟并被广泛应用的生物反应工艺流程作为案例素材来开展案例式教学, 根据学校政策, 鼓励学生以团队形式、在专业教师的指导下申报大学生创新创业训练项目。同时学院也为此提供了积极的支持和帮助, 先后开展了“大学生创业项目孵化器”、“本科生轮转实验室”等活动, 让学生结合自身的科研经历实现理论与实践的结合, 从而加深对课程知识的理解, 达到学以致用目标。同时, 在理论知识的讲授过程中, 还可以选择性地穿插相关的生物反应过程的产业化案例, 从工业化生产实际入手, 让学生了解生物产品或药品的开发流程、产业化规模及发展趋势等相关内容, 让学生认识到本课程知识的应用价值并以此来激发学生的学习动力。例如, 我们以青霉素的发酵法生产为案例 (图 3), 从发酵体系的建立、发酵过程的控制、发酵过程的监测及反应器的选取等方面向学生展示生物制品的生产流程, 让学生将课程理论知识与工业化生产紧密联系起来, 从而激发学生的学习积极性, 加深学生对于课程知识的理解。

同时, 利用学生认知实习的机会, 让学生亲身参与到实际的生产流程中去, 带领学生到南京新百药业公司的青霉素生产工厂车间, 亲身实际地体验案例教学中的关键知识点, 如发酵反应器

的选取、发酵过程的控制、发酵基质的传质过程等等, 让学生学以致用, 将案例教学中的关键环节落实到生产实际中, 加深学生对于课程知识的理解和掌握。

4 借助科研平台丰富和扩展学生认知视野, 激发学生自主探索兴趣

科研反哺教学是创新大学教育的重要路径, 有利于克服教学和科研分立状态, 形成相互促进、相互滋养、相互支撑的关系^[32]。科学研究是高校教师的重要职责之一, 在做好课堂教学及教学研究工作的同时, 任课教师应将自身科研工作的思路、方法和进展带入教学领域, 将科研精神融入教育理念, 将科研方法转化成教学手段, 以科研成果丰富教学内容, 实现科研反哺教学, 并以此来培养学生的创新思维 and 创新能力^[33]。在生物反应工程的教学过程中, 我们首先注重利用学校的科研平台和教师的科研项目作为生物反应工程教学的补充, 例如, 我校国家生化工程技术研究中心主要担负着国家重点工业生物技术项目及战略发展课题的研究, 同时也承担着生物技术相关专业的本科生工程实践教学的重任^[34]。在年产 10 t 的果糖-1,6-二磷酸 (Fructose-1,6-diphosphate, FDP) 和年产 5 t 的核苷酸生产车间, 面对 10 m³ 的搅拌式和气升式发酵罐、模拟移动床离子交换柱、1 m³ 的连续蒸发结晶器等装置, 教师为学生详细解说生产流程中每一块的功能和作用机理, 让学生通过实践教学, 实实在在地学习到生物反应工艺过程及生产方式。其次, 我院教师承担了较多的生物反应工程相关的国家 (省部) 级课题和校企合作项目, 为激发学生积极参与科研课题的积极性和主动性提供了必要的物质条件和保障。根据项目安排及学生实际情况, 建立了大学生创新实验室, 由指导教师依据项目需求设定选题, 学生进行自由选择并组成研究型学习团队, 解决项目中实际存在的技术问题, 从而培养学生的应用型创

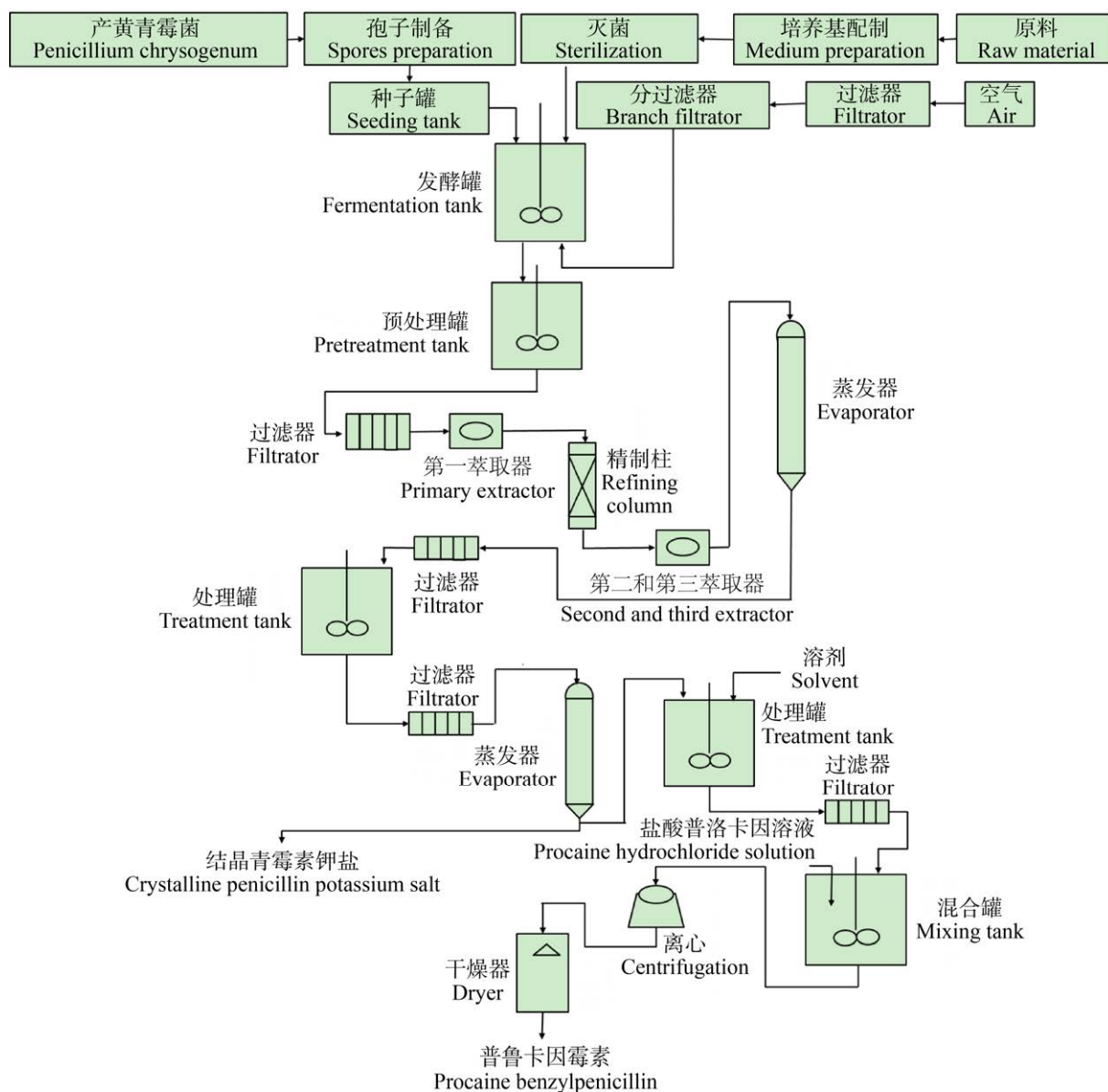


图3 生物反应工程课程的青霉素生产流程案例

Fig. 3 The case of flow chart for penicillin production in Biochemical Reaction Engineering.

新能力。同时，对于学生在探索过程中取得的成果，可在指导教师的帮助下由学生整理成发明专利或者学术论文，激励学生进行深入的学习和探究，许多学生由此坚定了自己继续深造的信念。此外借助于校外实习基地，可以在课程末期安排学生到基地亲身参与生产过程中的每一个环节，这样就极大地提高了学生的实际问题处理能力。本专业以科研平台为依托、以实践创新为目标的

教学模式,强化工程实践与创新能力培养,根据社会对生物技术人才的需求及时进行课程体系的改革和实践,取得了良好的教学效果。

本课程自 2015 年尝试进行教学模式改革以来, 经过逐步的丰富和完善, 已经完成了生物工程、生物化工等专业 3 个年级 (2015 级-2017 级) 的教学任务, 取得了良好的教学效果, 学生对于生物反应工程中的基本概念、生物反应过程中的

动力学分析及代谢分析、生物反应器分析和设计的基本原理和方法并运用以上原理进行设计和过程分析等知识点的掌握与改革之前相比有了较大提高。此外,我们还设计了微信小程序用于课程知识掌握程度的问卷调查,以此来对课程的教学效果进行及时的反馈和总结,让学生对“能否激发学习兴趣”、“能否培养自主学习能力”、“是否有利于掌握所学知识”等调查内容进行评分,从而综合评价本课程教学改革措施的实施效果。统计结果表明,学生对于改革后教学效果的满意程度达到90%以上,尤其是在提高学习兴趣、巩固课程知识等方面获得了学生广泛的赞同,以上诸多反馈结果充分体现了上述多元化教学模式改革在生物反应工程教学实践中的应用效果。

5 总结

生物反应工程是一门理论与实践密切结合的课程,对创新型专业人才的培养发挥着重要的作用,尤其在新工科教育背景下,通过教学模式改革等手段来培养和提升学生的创新能力和科研素养以满足经济与社会发展的需求成为了工科专业教学要求的重要目标。教学团队总结了近几年通过引入虚拟仿真技术、开展案例式教学以及依托科研平台通过科研反哺教学等多种方式的教学实践经验,对本门课程的教学方式、手段和方法进行了一些有益的探索与尝试,并取得了一定的教学效果,希望在以后的教学实践中不断总结经验与教训,遵循学生的认知规律,加强对动手能力和创新能力的定向培养,突出应用型创新型人才需求,强化技能培养和提倡工匠精神,为相关课程的教学改革和探索提供一些思路和启示。

REFERENCES

- [1] 曹飞, 范伟平, 韦萍. 强化工程实践的生物工程专业课程建设改革. 化工高等教育, 2007, 24(5): 5-8.
Cao F, Fan WP, Wei P. Reform on bioengineering curriculum by strengthening engineering practices. Higher Edu Chem Eng, 2007, 24(5): 5-8 (in Chinese).
- [2] 濮润, 郭伟, 李萍萍, 等. 我国生物医药产业聚集效应分析及发展建议. 中国医药生物技术, 2018, 13(6): 564-565.
Pu R, Guo W, Li PP, et al. Analysis and development suggestions on the aggregation effect of China's biomedical industry. Chin Med Biotechnol, 2018, 13(6): 564-565 (in Chinese).
- [3] 白京羽, 林晓峰, 尹政清. 全球生物产业发展现状及政策启示. 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).
- [4] 谭之雷, 贾士儒, 王敏, 等. 生物反应工程国家级精品课的课程建设. 中国科教创新导刊, 2012(2): 36, 39.
Tan ZL, Jia SR, Wang M, et al. The curriculum construction of the national class of Bioreaction Engineering. China Educ Innov Herald, 2012(2): 36, 39 (in Chinese).
- [5] 曾庆伟, 王江川, 罗洪镇, 等. 基于工程教育专业认证下的生物反应工程课程教学改革. 教育教学论坛, 2019(34): 123-124.
Zeng QW, Wang JC, Luo HZ, et al. The study of biological reaction engineering reform under the environment of engineering education professional certification. Educ Teach Forum, 2019(34): 123-124 (in Chinese).
- [6] 朱瑞艳, 高大威, 张晓宇, 等. 基于“卓越工程师教育培养”能力培养的生物反应工程教学方法改革. 教育教学论坛, 2017(44): 136-137.
Zhu RY, Gao DW, Zhang XY, et al. Reform of the teaching method of biological reaction engineering based on the cultivation of the ability of excellent engineer education. Edu Teach Forum, 2017(44): 136-137 (in Chinese).
- [7] 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(2): 130-132.
Cui Y, Fan XH, Zhang CY, et al. Exploration on the cultivation of innovative and entrepreneurial talents in biological engineering. Univ Edu, 2018(2): 130-132 (in Chinese).

- [8] 教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知[EB/OL]. [2020-11-26] <https://gaokao.chsi.com.cn/gkxx/zc/moe/201703/20170301/1669197998.html>.
- [9] 芮杰, 张健, 陈华. 新工科背景下高等院校创新人才培养研究. 教育教学论坛, 2020(26): 182-183. Rui J, Zhang J, Chen H. Research on innovative talent training in universities against the background of emerging engineering education. Edu Teach Forum, 2020(26): 182-183 (in Chinese).
- [10] 杨莉, 凤权, 徐文正. 基于“卓越工程师”教育理念下的创新能力培养. 轻工科技, 2020, 36(2): 186-188. Yang L, Feng Q, Xu WZ. Innovation ability cultivation based on the educational concept of “excellent engineer”. Light Ind Sci Tech, 2020, 36(2): 186-188 (in Chinese).
- [11] 丁鹏飞, 樊宏, 杨恽菲, 等. 工科大学生的应用与创新能力培养. 科技创新导报, 2019, 16(23): 181-182. Ding PF, Fan H, Yang YF, et al. Training of application and innovation ability of engineering college students. Sci Tech Inno Herald, 2019, 16(23): 181-182 (in Chinese).
- [12] 钟成, 贾士儒, 谭之磊, 等. 国家级精品课——《生物反应工程》建设的探索与实践. 广州化工, 2011, 39(23): 148-150. Zhong C, Jia SR, Tan ZL, et al. Exploration and practice of constructing national top quality course—Biochemical reaction engineering. Guangzhou Chem Ind Technol, 2011, 39(23): 148-150 (in Chinese).
- [13] 韩培培, 谭之磊, 贾士儒, 等. 生物反应工程本科实践教学活动的改革和实践. 科技信息, 2011(35): 788. Han PP, Tan ZL, Jia SR, et al. Reform and practice of practical teaching activities in biological Reaction Engineering undergraduate course. Sci Technol Inf, 2011(35): 788 (in Chinese).
- [14] 孟涛, 吴坚, 李学如, 等. 创新思维和工程观点在生物反应工程教学中的应用. 化工高等教育, 2006(6): 91-93, 98. Meng T, Wu J, Li XR, et al. Application of innovation thinking and engineering idea in the teaching of bioreactor engineering. Higher Educ Chem Eng, 2006(6): 91-93, 98 (in Chinese).
- [15] 夏杰. 对生物反应工程原理课程重点教学内容的探讨. 化工高等教育, 2015, 32(2): 25-27, 34. Xia J. The discussion about the key knowledge points at the course of bio-reaction engineering principles. Higher Educ Chem Eng, 2015, 32(2): 25-27, 34 (in Chinese).
- [16] 姚传义. 提高生化反应工程教学效果的探索. 化工高等教育, 2007, 24(6): 44-45, 108. Yao CY. Study on improving the teaching effect of bioreaction engineering. Higher Educ Chem Eng, 2007, 24(6): 44-45, 108 (in Chinese).
- [17] 蒋慧慧, 鲁文胜, 晏娟. “生物反应工程”微课程教学设计. 安庆师范学院学报: 自然科学版, 2016, 22(3): 155-158. Jiang HH, Lu WS, Yan J. Design of the micro-lecture for bioreaction engineering. J Anqing Normal Univ: Nat Sci Ed, 2016, 22(3): 155-158 (in Chinese).
- [18] 何立超, 罗璇, 张轩. “互联网+”背景下生物反应工程教学改革. 现代农业科技, 2020(6): 256, 259. He LC, Luo X, Zhang X. The teaching reform of biological reaction Engineering under the background. Modern Agr Sci Tech, 2020(6): 256, 259 (in Chinese “Internet +” nese).
- [19] 刘建凤, 董丽君, 吴立柱, 等. 讨论式教学法在“生物反应工程”教学中的应用研究. 河北农业大学学报(农林教育版), 2015, 17(6): 72-75. Liu JF, Dong LJ, Wu LZ, et al. Research on the application of discussion teaching method in the teaching of “Biological reaction engineering”. J Agr Univ Hebei: Agr For Edu, 2015, 17(6): 72-75 (in Chinese).
- [20] 曹飞, 张进明, 朱建良, 等. 本科生物反应工程课程考试方式的改革与实践. 化工高等教育, 2011, 28(4): 36-38, 92. Cao F, Zhang JM, Zhu JL, et al. Reform and practice of course examination in bioreaction engineering. Higher Educ Chem Eng, 2011, 28(4): 36-38, 92 (in Chinese).
- [21] Williams AP, Moghtaderi B. A practice initiated learning strategy for biochemical engineering. Engineering Education Conference. IEE, 2003, 18: 1-3.
- [22] Austin GD, Beronio PB, Tsao GT. Biochemical engineering education through videotapes. Chem

- Eng Educ, 1990, 24(4): 176-179.
- [23] Villadsen J. Biochemical engineering education for the future//Proceedings of the 2nd European Symposium on Biochemical Engineering Science. Porto, Portugal: Seminario de Vilar Conference Centre, 1998: 20-22.
- [24] 倪芳, 刘洋, 熊强, 等. “互联网+”发酵工程实操与虚拟仿真中试实验室平台的建设与探索. 微生物学通报, 2020, 47(11): 3725-3732.
- Ni F, Liu Y, Xiong Q, et al. Exploration and construction of Internet Plus fermentation engineering practice and virtual simulation pilot laboratory platform. Microbiol China, 2020, 47(11): 3725-3732 (in Chinese).
- [25] 王卫国, 胡今鸿, 刘宏. 国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展. 实验室研究与探索, 2015, 34(5): 214-219.
- Wang WG, Hu JH, Liu H. Current situation and development of virtual simulation experimental teaching of overseas universities. Res Explor Lab, 2015, 34(5): 214-219 (in Chinese).
- [26] 肖萌, 杨柳帆. 微课在高等教育中存在的问题及策略. 教育观察, 2019, 8(13): 121-123.
- Xiao M, Yang LF. The problems and strategies of micro-course in higher education. Sur Edu, 2019, 8(13): 121-123 (in Chinese).
- [27] 马美范, 刘纪文. 生物工程专业课程群建设的探索与实践. 教育教学论坛, 2018(33): 192-193.
- Ma MF, Liu JW. Exploration and practice of the construction of the course group of bioengineering. Educ Teach Forum, 2018(33): 192-193 (in Chinese).
- [28] 赵宏宇, 季祥, 蔡禄. 生物工程专业发酵课程群建设探索. 微生物学通报, 2016, 43(4): 793-797.
- Zhao HY, Ji X, Cai L. Exploration on the construction of fermentation course group in bioengineering specialty. Microbiol China, 2016, 43(4): 793-797 (in Chinese).
- [29] 贾士儒, 钟成, 邱强, 等. 生物工程专业课程改革中加强工程能力培养的思考. 高校生物学教学研究(电子版), 2015, 5(1): 24-26.
- Jia SR, Zhong C, Qiu Q, et al. Thinking of strengthening engineering capability building in curriculum reform on bioengineering. Biol Teach Univ: Elec Ed, 2015, 5(1): 24-26 (in Chinese).
- [30] 郑平, 胡宝兰. 厌氧氨氧化菌混培物生长及代谢动力学研究. 生物工程学报, 2001, 17(2): 193-198.
- Zheng P, Hu BL. Kinetics of anaerobic ammonia oxidation. Chin J Biotech, 2001, 17(2): 193-198 (in Chinese).
- [31] 鲁明波, 纪磊, 刘永胜, 等. 基于动力学模型的法夫酵母发酵生产虾青素的补料策略优化. 生物工程学报, 2008, 24(11): 1937-1942.
- Lu MB, Ji L, Liu YS, et al. Kinetic model for optimal feeding strategy in astaxanthin production by *Xanthophyllomyces dendrorhous*. Chin J Biotech, 2008, 24(11): 1937-1942 (in Chinese).
- [32] 郝晓亮, 樊增广, 高云, 等. 基于科研反哺理念的生物工程专业创新创业教学研究. 农业技术与装备, 2020(4): 106-107, 109.
- Hao XL, Fan ZG, Gao Y, et al. Research on innovation and entrepreneurship teaching of bioengineering specialty based on the concept of scientific research feedback. Agr Tech Equ, 2020(4): 106-107, 109 (in Chinese).
- [33] 栗孟飞, 张真, 孙萍, 等. 科研反哺综合模式在生物分离工程教学中的应用. 生物学杂志, 2020, 37(2): 110-112.
- Li MF, Zhang Z, Sun P, et al. Application of research feeding comprehensive model in teaching of biological separation engineering. J Biol, 2020, 37(2): 110-112 (in Chinese).
- [34] 朱皓, 边高峰. 国家生化工程技术研究中心. 生物产业技术, 2011(1): 66-67.
- Zhu H, Bian GF. National engineering research center for biotechnology. Biotechnol Bus, 2011(1): 66-67 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)