

“酶工程”国家一流本科课程的建设与探索

王华磊, 高伟杰, 许萌, 林金萍, 王学东, 魏东芝*

华东理工大学生物工程学院, 上海 200237

王华磊, 高伟杰, 许萌, 林金萍, 王学东, 魏东芝. “酶工程”国家一流本科课程的建设与探索[J]. 生物工程学报, 2024, 40(3): 943-952.

WANG Hualei, GAO Weijie, XU Meng, LIN Jinping, WANG Xuedong, WEI Dongzhi. Development and exploration of the national first-class undergraduate course in “Enzyme Engineering”[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2024, 40(3): 943-952.

摘要: 生物技术产业是我国战略性新兴产业, 在整个国民经济中占有重要地位, 创新型的高素质专业人才的培养意义重大。“酶工程”作为生物技术专业核心课程, 教学质量的好坏直接影响学生质量及行业发展。本课程针对目前课程教学中存在的课程内容优化不足、过分依赖教材、教学方法单一等问题, 以调整大纲、更新案例素材库、调动学生积极性为抓手, 通过立体式教学-线上线下结合、互动式教学-翻转课堂、启发式教学-基于问题的学习(problem-based learning, PBL)教学模式、专题式教学-案例教学和完善考核机制等多种手段, 激发学生的学习热情与创新能力, 以培养厚基础、强实践的高素质专业人才。通过教学探索与实践, 教学效果改善明显, 学生的工程实践能力和创新能力得到了极大程度的提高。

关键词: 酶工程; 生物技术; 教学内容; 教学方法

Development and exploration of the national first-class undergraduate course in “Enzyme Engineering”

WANG Hualei, GAO Weijie, XU Meng, LIN Jinping, WANG Xuedong, WEI Dongzhi*

School of Biotechnology, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China

Abstract: The biotechnology industry is a strategic emerging industry in our country, holding a crucial position in the national economy. The training of innovative high-quality professionals carries immense significance. As the cornerstone course in biotechnology, “Enzyme Engineering” directly impacts the students’ caliber and industry development. This course aims to address pertinent issues present in the current curriculum delivery, such as inadequately optimized content, excessive dependency on textbooks, and reliance on monotonous teaching

*Corresponding author. E-mail: dzhwei@ecust.edu.cn

Received: 2023-06-13; Accepted: 2023-10-08; Published online: 2023-10-16

methods. By adjusting the course outline, updating the case material repository, and engaging students' enthusiasm, we developed a three-dimensional approach to instruct. This approach included a blend of online and offline components, interactive teaching through the flipped classroom methodology, heuristic teaching using problem-based learning (PBL) mode, and topic teaching *via* case studies. We also improved the assessment mechanism to stimulate students' enthusiasm for learning nurture their innovation capabilities. Our objective was to foster high-quality professionals with a robust foundation and practical expertise. Through teaching exploration and practice, we have witnessed significant improvement in both teaching efficacy and students' engineering practice and innovation abilities.

Keywords: enzyme engineering; biotechnology; teaching content; teaching method

生物技术产业是我国战略性新兴产业，其行业发展关乎着国家经济走势。2022年5月，国家发展和改革委员会向社会发布《“十四五”生物经济发展规划》^[1]，描绘了未来5年生物经济发展的“路线图”，提出了“十四五”时期“生物经济成为推动高质量发展的强劲动力”的要求和到2035年“我国生物经济综合实力稳居国际前列”的目标，这说明“生物时代”即将真真切切地到来。

酶工程在现代生物技术和生物工程中占有重要地位，它是一门酶学研究学科与其应用工程结合而成的综合性科学技术。“酶工程”已成为高等院校生物工程、生物技术及相关专业的主修或重要课程^[2-3]。酶工程作为一门综合性学科，内容覆盖面广，涉及酶的生产、改性与应用等方面，包括微生物发酵产酶、动植物细胞培养产酶、酶的提取与分离纯化、酶分子修饰、固定化技术、酶非水相催化、酶定向进化、酶反应器和酶的应用等内容。

生物技术产业的迅猛发展对工程实践能力和创新型人才提出了新的要求^[4]。一是源于国家战略需求。碳中和与碳达峰政策的提出及可持续发展目标，都离不开酶工程的发展支撑，亟需培养从事酶工程科研和工业生产的高素质

人才^[5]。二是源于生物行业需求。“酶工程”作为一门新兴的重要课程，在各方面的应用越来越广泛。面对第四次工业革命带来的历史性变革，教学方法需要不断与时俱进，加强教学研究，以加速生物行业的高效发展。

华东理工大学“酶工程”课程于2003年被列为华东理工大学重点课程、校精品课程，2006年列入上海市精品课程，2008年列入国家级精品课程，2014年成功转型为国家资源共享课程，2020年被中华人民共和国教育部认定为“首批国家级一流本科课程”（金课），是目前全国仅有的2门“酶工程”“金课”之一。华东理工大学面向本科生的“酶工程”始于20世纪80年代，是国内同类课程开设最早的院校之一。“酶工程”作为生物工程与生物技术的专业核心课，是讲述和探讨“如何发掘酶、如何获得/创制好酶、如何应用酶”的课程，是一门多学科交叉的专业课。课程团队秉承“厚基础、重实践”的教学理念，经过30多年的建设，“酶工程”已成为知名品牌课程，在国内具有重要地位和广泛影响力。本文对该课程在生物工程与生物技术专业学生的工程实践能力和创新精神等方面的探索与实践进行介绍，以期进一步促进高质量专业人才培养，并为其他相关课程的建设与改革提供参考。

1 教学现状

1.1 课程内容优化不足

“酶工程”作为生物工程与生物技术的专业核心课，是培养生物专业高质量人才中的重要一环。同时酶工程是从生物化学领域延伸发展而来的学科，因此其课程的相关章节与其他专业课不可避免地存在交叉和重复内容^[6]，如其中的微生物发酵产酶是发酵工程课程内容之一、动植物细胞培养技术是细胞工程的核心内容等。繁杂的课程内容和重复学习的情况会消耗学生的学习热情，因此需要优化教学内容。

1.2 过分依赖教材

酶工程作为一门应用性极强的学科，对于学生的素质要求较高，但传统的授课方式严重依赖教材，缺乏知识广度，仅学习课本上的理论知识难免使学生感到枯燥，逐渐产生畏难及厌学情绪，这种相对单一的知识传输方法导致学生的积极性和主动性下降，且对于整套酶工程知识体系的理解不够全面。教学开展的过程中，教师应不拘泥于课本，充分考虑到学生的个性化需求，实现“因材施教”的培养目标。

1.3 教学方法单一

传统的教学方式以教师在台上讲授、偶尔提问学生进行互动为主。但由于授课形式较为单一，浅表性互动导致的学生参与度与互动感不高等问题，致使学生出现注意力分散、学习热情消退的现象。此外，这种单向灌输的“填鸭式”授课方式不利于学生理解教学内容，尤其对于专业课程中较为晦涩难懂或者抽象的章节，教学效果更不理想。上述问题严重影响授课效果，与培养具有工程实践能力和创新精神的高素质专业人才的需求不符，制约人才质量的提升。

2 课程探索与实践

2.1 重构教学内容

教学内容的不断优化对于高速发展的酶工程行业具有重要意义，这也直接影响了学生素质教育的质量。优化教学内容，课程脉络要分明。注重理论联系实际，加强实践教学。课程设置要突出前沿性，强调应用性，紧跟学科的发展，及时更新教学中产生的新技术、新理论，保持教学内容的合理性。“酶工程”课程的教学内容优化主要包括两个方面：授课大纲的调整和素材库的更新。

2.1.1 大纲的调整

生物行业高速发展与社会需求的背景下，学生的高质量教育愈发重要。本课程以培养厚基础、强实践、具有工程实践能力和创新精神的高素质专业人才为目标，教学内容满足了综合性、系统性、科学性的要求。围绕服务人才培养，以强化设计、实践、工程能力为核心，在保证教学效果的基础上，结合多年教学基础与华东理工大学理工院校的专业特色，紧扣课程主题，调整教学大纲，优化课程内容。以酶生产应用的研究思路来组织课程内容，将课程内容分为3个模块：酶学基础、酶的改性、酶的应用。从3个方面构建酶工程的课程框架，将课程内容拆解再细化，使整个教学体系更加连贯、系统和完整。教学内容的安排以“酶的开发-酶的修饰-酶的应用”为主线，兼顾蛋白质的提取与分离纯化等几个章节介绍，而一些章节如微生物、动植物细胞培养产酶等相关内容会在发酵工程、细胞工程中出现，在此将会做部分删除以免重复。重构过之后的教学大纲将会更加精练合理，教学内容将会更加面向行业需求。确保每个层次的学生循序渐进，不断求新，避免内容重复，使获知量和获知能力均能得到

最大效率的提高。使学生掌握以应用为导向的酶的生产、改造和设计、修饰和固定化、酶反应器以及酶催化反应控制等理论和技术,能运用工程思维方法,针对酶的生产和应用问题提出优化解决方案。

2.1.2 更新案例素材库

酶工程是一门快速发展的学科,教学内容的与时俱进具有重要意义。在传授教材理论基础的同时,教师不拘泥于课本内容,时刻关注酶制剂领域最新研究动态与行业发展信息,如转氨酶生产抗糖尿病药物西他列汀、酶法合成L-草铵膦成功产业化等实例。将这些前沿进展与经典案例结合,总结归纳后分享给学生,作为对教材内容的补充,体现教学内容的先进性、应用性、实践性,实现“寓研于教”。将前沿技术手段的科研成果转化特色项目与课本的基础理论相融合,强调案例教学和理论联系实际。使学生更加直观深刻地体会到所学之所用,深刻理解学科的意义,这不但能激发学生的学习热情、增加创造力,使之紧跟学科的发展,还能培养学生科研思维的敏锐度与前瞻性,使学生形成立足行业需求的意识,将所学知识应用到食品、工业、农业、生物医药行业和化妆品行业以解决实际问题。

2.2 教学方法

2.2.1 线上线下一体化

在“互联网+”时代,成熟的现代化信息技术使得课堂教学方式更加丰富,教学资源的共享打破了信息壁垒,通过将线上和线下教学结合,能够有效减少传统教学方法在时间和空间上的局限性。基于现有的网络信息技术,建设酶工程虚拟教研室对于提高教育教学水平、优化教学资源、实现协同育人具有重要的意义。虚拟教研室是一种新型的教研组织形式,通过信息手段整合优质资源,打破学校间、教师间的交

流阻碍,有组织、有计划地收集、更新、总结和分享教学资源,这些资源涉及教材讲义、经典案例、学术前沿等多方面,从而能够促进对教学资源的利用实现最大化。尽管国内的虚拟教学应用较晚,但发展极为迅速,并且就技术的角度来看与国外的水平相差无几,只是在普及程度方面仍有较大空间^[7]。

互联网为教研形态的数字化、网络化、智能化赋能。华东理工大学酶工程虚拟教研室入选教育部第二批建设试点名单,酶工程虚拟教研室依托2门“国家级一流本科课程”,优质教学资源丰厚,连通了课程教指委、高校院系与具体课程教学改革之间的“最后一公里”,将信息技术与教育教学理念进行深度融合。团队持续创新教研形态,积极利用信息技术,探索突破时间与空间限制的多样化的线上结合线下的教学模式,促进形成基层教学组织建设和管理的新思路,充分激发教师的教学热情与学生的积极性。协同更多教研主体、聚合更丰富的教研资源、采用更便捷的教研技术和获取更丰富的教研数据。此外还完成“酶工程”课程的分层次大型开放式网络课程(massive open online courses, MOOC)和虚拟仿真实验项目的建设,这均为后续打造“递进式、结构化”的实践教学体系,为学生工程素质培养奠定坚实基础。华东理工大学酶工程虚拟教研室在20余年酶工程实体教研室的基础之上不断发展,建立了科学的工作机制,并与各合作高校和企业共建共享优质教学资源、构建新型教研形态、创新提出教育理念、持续改进教学内容和方法以及改革人才培养模式,为培养酶工程专业人才群策群力(图1)。

2.2.2 计算模拟辅教学

目前,随着学科交叉思维的引入,计算机科学正在被越来越多地应用于酶工程领域的研

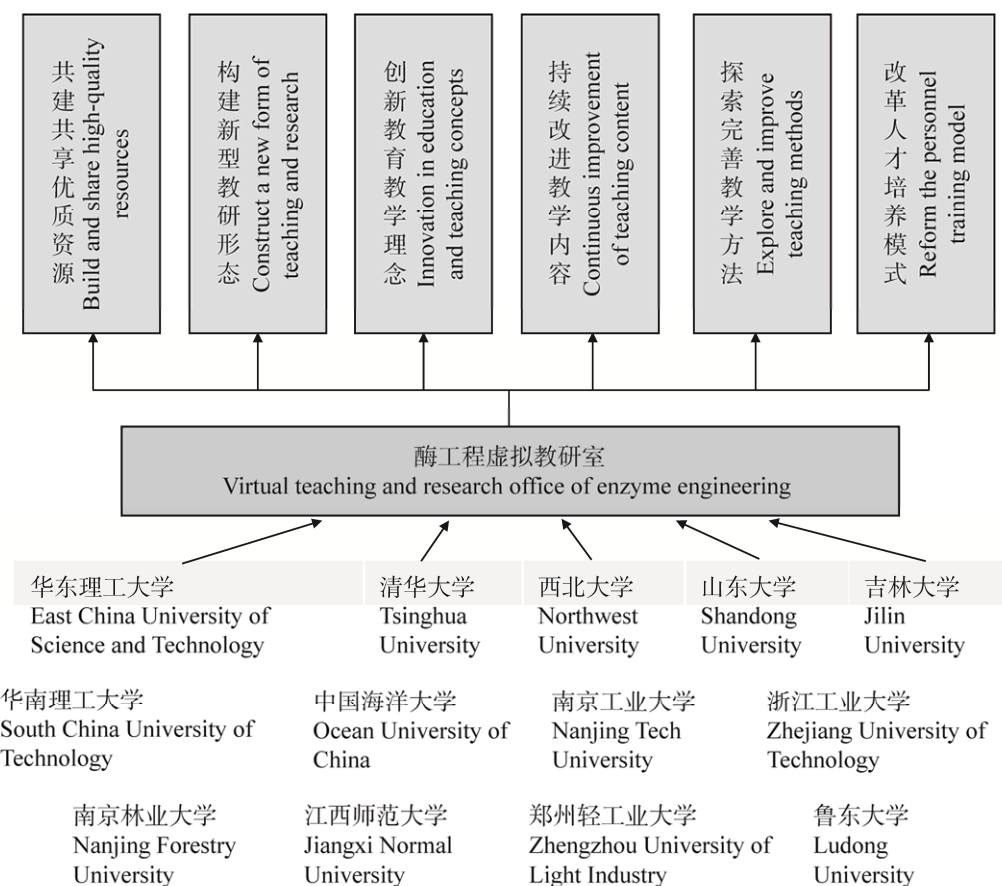


图 1 酶工程虚拟教研室建设

Figure 1 Construction of virtual teaching and research office of enzyme engineering.

究,与此同时,计算机模拟教学也逐渐发展成型。计算机模拟教学是计算机辅助教学的一种^[8],利用网络数据库、计算机软件,使研究对象具体化、可视化,增强学生学习的直观性。

在酶工程的教学过程中,借助计算机模拟的手段,有利于提高教学效率并激发学生的学习热情。比如,应用酶工程仿真实验室,学生可以在电脑上进行虚拟操作,学习相关实验过程,加深对实验原理的理解^[9];利用 Pymol、Caver 等软件工具,使酶蛋白结构可视化,变抽象为具象,从而帮助学生进一步了解酶分子的结构;此外,NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov)、PDB (www.rcsb.org)等数据库含有海量的蛋白质信

息,可以供学生进行课后学习与探究。

在对目标酶进行改造时,计算机模拟发挥着重要的作用。对于已知氨基酸序列但结构未知的酶蛋白,使用 SWISS-MODEL (www.swissmodel.expasy.org)在线平台,可以基于蛋白之间的同源性,根据已知结构的蛋白对该蛋白进行三维结构的预测。利用 Autodock 软件,可以实现底物分子和蛋白分子间的对接,将底物与酶蛋白之间的相互作用可视化、形象化,分析二者之间的相互作用力,从而预测有可能影响酶分子催化效率的氨基酸残基,并对其进行改造。通过分子动力学模拟,可以根据酶分子的运动、能量变化,预测并分析突变体与野生型酶在稳

定性、反应性方面的差异。教师在课堂上使用计算机模拟手段进行教学, 指导学生进行实操, 能够将酶分子改造的步骤及动态变化更加清楚形象地展示给学生, 加强学生理解。因此, 借助计算机辅助的教学手段对于酶工程教学意义重大。

当然, 计算生物学在酶工程研究中日益广泛地应用, 对生物专业学生的计算机语言水平也提出了更高的要求。因此, 面对学科交叉的逐渐深入, 酶工程的课堂上有必要引入计算机语言相关知识, 包括常用的编程语言, 如 Python、C 语言和 R 语言等, 用于脚本、代码的撰写和解读; 还有一些酶设计与筛选的相关软件, 这些软件往往基于不同的生物分子力场与算法, 如 Rosetta、AMBER、GROMACS 等^[10]。在酶工程课堂介绍这些内容, 将有助于学生理解计算机辅助酶设计的原理, 更有效地实践和运用计算生物学手段。

2.2.3 “翻转课堂”增互动

近年来, 信息技术的飞速发展发展为互动式教学方法提供了良好的基础和有利的条件, 随之发展的一种协同教学模式——“翻转课堂”正在被广泛实践。事实上, 这种教学模式已在国外开展多年, 并且较为成熟, 虽然国内的相关教学实践和研究起步较晚, 但这一教学方式正逐渐被重视并具有很大的应用潜力^[11-12]。“翻转课堂”强调以学生为中心, 主张教师将学习的主动权转移给学生^[13]。在这种教学模式下, 教师通过网络信息平台, 向学生提供学习资料, 比如课程 PPT、教学视频、教学指导单等, 让学生进行课前自主学习; 在课上, 教师组织学生对所学内容进行讨论, 对学生学习过程中遇到的问题与疑惑进行解答, 并对重、难点加以强调和巩固; 在课后, 学生可以根据自身学习与吸收情况, 自主安排学习地点与时间, 把握学习

进度^[13]。

将“翻转课堂”运用于酶工程的课堂, 有利于激发学生的学习主动性与积极性。比如, 酶工程的教学内容中涉及很多专有名词, 包括“定向进化”“理性设计”和“半理性设计”等, 学生在课前自主学习的过程中, 可以通过教师提供的教学资料对学习内容进行初步认识, 或是通过查阅文献等其他学习途径加强对概念的理解。在课堂上, 学生可以分享课前了解到的关于定向进化的实例、理性设计和半理性设计的策略等, 教师则可以对交流的内容加以总结, 对问题加以反馈。

无疑, “翻转课堂”的模式为师生互动、学生之间的互动提供了更多的时间与空间, 教师在教学过程中起导向和引领作用, 学生能够在课堂上逐渐养成主人翁意识, 在交流与讨论中学习, 有利于提高学生的协作能力, 培养学习兴趣, 加深对知识的记忆与理解。

2.2.4 问题导向促启发

酶工程是一门综合性强、覆盖面广的学科, 它与基因工程、细胞工程、发酵工程等学科之间有着密不可分的关联^[14], 因此, 在教学过程中, 教师应当注重对学生发散性思维和工程思维习惯的培养, 在这一点上, 借鉴了国外高校教学的经验, 将教学目的明确定位于如何运用所学理论知识解决实际问题, 即通过问题引导学生自主思考, 学以致用^[15]。基于问题的学习 (problem-based learning, PBL) 教学模式是一种以问题为导向的教学方法^[16], 从问题出发, 启发学生自主思考, 并主动寻找问题的答案, 增强了学生在学习过程中的参与感, 激发学生的求知欲, 使学生能够充分发挥所学、运用所学。

在酶工程的教学过程中, 教师可以适时向学生抛出问题, 比如, “酶制剂在日常生活中的应用有哪些实例”“如何从土壤样品或者宏基因

组文库中筛选需要的酶”“固定化酶和游离酶在实际应用中分别具有哪些优缺点”“如何通过定向进化的手段改造一个酶的热稳定性”等,这些问题具有实际应用的意义,在解决这些问题的过程中,学生可以拓宽知识面,锻炼活学活用的能力,加深对知识的理解。

2.2.5 专题案例助理解

案例教学法最早出现在 20 世纪初,由哈佛大学发源及推广^[17],现在作为一种成熟的教学方法在国内多门学科中已有成功的应用^[18-21]。案例教学法相较于传统的教学方法最突出的特点是它将单向灌输的教学模式转变为双向的交流^[22],这种互动式的教学模式促使学生由被动听讲变为主动参与,大大缩短课堂教学与实际工业生产的距离^[23],推动学生完成角色与观念的转变,培养学生将所学基础理论知识应用于分析并解决复杂工程实际问题的能力。

在传统的教学模式中,教师通常依赖教材为主要教学内容,这种教学方法虽然覆盖的知识面较广,但往往较为枯燥且抽象,使学生难以提起兴趣,学习效率也比较低下。为了解决这一问题,可以在教学过程中开展专题课,引入酶工程领域的相关案例,从研究内容、研究

方法以及研究结果等角度,展开介绍和分析,将课本上的知识点与实际案例进行联动,以培养学生理论结合实际的能力。

在这种教学方法的具体实施中,可以采取传统的授课教学模式基于讲座的学习(lecture-based learning, LBL)与基于团队的学习(team-based learning, TBL)教学模式相结合的方法^[24]。一方面,教师从积累的素材库中挑选经典案例,在课堂上穿插讲解,比如,讲到酶的改造时,以国内小分子 CRO 知名企业凯莱英医药集团设计用于高效合成瑞美吉洋关键中间体的转氨酶为例,介绍其新颖的改造策略,紧跟学术前沿;同时邀请酶工程领域各个研究方向的其他教师开展专题讲座和分享会,从多角度出发拓宽学生视野。

此外,基于“产学研用”一体化的理念,通过产教融合深化企业与学校的合作,能够加强学生的工程实践能力。在“酶工程”的课堂上,以“年产 5 000 t 精草胺磷除草剂绿色生物制造技术与应用”这一科研成果为例(图2),从实际问题出发,考察并培养学生利用所学知识解决问题的能力与思维,并从酶的发酵、粗酶液制备、生物催化反应各种条件优化调控和反应后处理

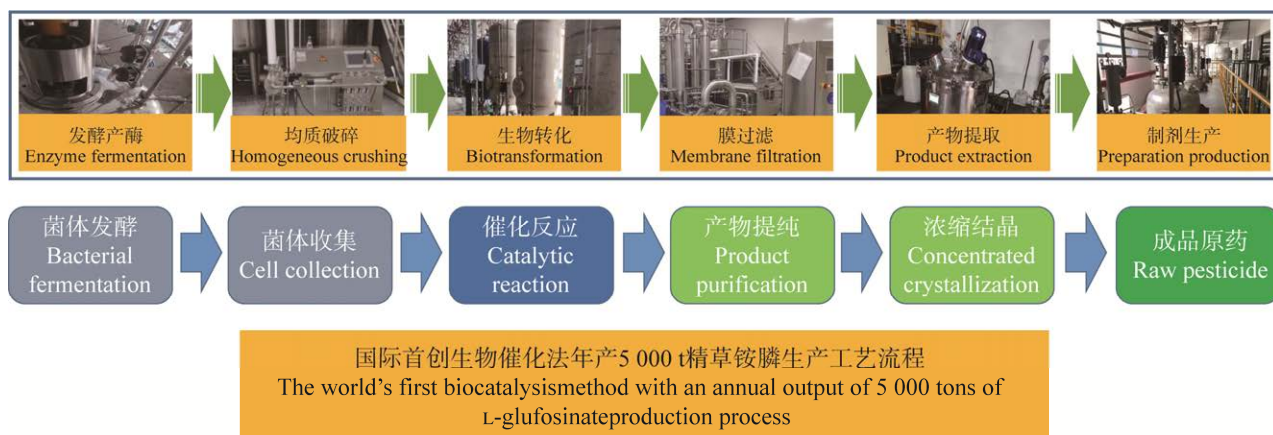


图 2 年产 5 000 t 精草胺磷工业化案例

Figure 2 The case of industrialization with an annual output of 5 000 tons of L-glufosinate.

直到拿到产品整个环节进行详细讲解,使学生系统了解酶工程在产业化实施过程和步骤中所起的作用,认识到酶工程研究的实际意义与应用前景,不断充实教学案例,实现以实践反哺教学的初衷。案例教学的开展,将酶工程领域的前沿动态带到了课堂,不仅丰富了教学内容,还培养了学生的科研前瞻性与敏锐度。

2.3 完善考核机制

为了更加合理、准确地对学生的学习情况进行评价与考核,设计多元化的考评体系是十分必要的。首先,要做到考核指标全面化。考核不应仅仅拘泥于一次考试、一张试卷,教师需记录学生在课前、课中、课后多环节的学习表现,比如,课前预习情况、课堂讨论参与度、随堂测试得分和课后作业完成情况,以及在小组活动中的表现情况等,通过合理划分分数占比,实现对学生的全方位考核。

其次,需要考虑考核主体多样化。在小组活动中,除了教师的评价外,还可以让学生参与打分,包括各小组之间的互评、组内同学的互评、学生个人自评,从更多的角度考核学生表现,体现考核的公开透明、公正合理。

此外,还需保持过程考核的常态化。比如教师可以经常性抽查上课出勤率,组织预习打卡活动,坚持利用每节课的前 10 min 进行随堂小测(选择题、判断题为主),既能起到督促学生学习的作用,同时又对学生的日常学习状态进行考评。

最后,为了最大限度地发挥酶工程的工业应用属性,在平时或期末考核评估环节增设专题案例测试部分。培养学生将课堂上所学案例加以融合创新以此来解决实际生产问题。测试题目均来自目前我国在生物技术产业面临的“卡脖子”问题,通过组建团队让学生进行分工协作,完成文献调研和技术查新,最终形成一个完整的

解决方案并进行汇报总结。通过共同案例讨论和分析激发学生的知识运用能力与创新能力。

这样的学习过程形成性评价,改变了传统考核机制下“一张卷纸定乾坤”的情况,不仅可以减轻学生的应试压力,扭转学生为应付考试而学习的态度,而且可以提高学生的学习兴趣与积极性,更加地合理、公正、全面。

3 结论

“酶工程”作为生物技术与生物工程专业的核心课程,也是一门实践性与应用性极强的学科。近年来生物技术产业发展迅猛,创新型的高素质专业人才的需求量激增。在此背景下,将继续按照一流本科课程的标准,以全面推进素质教育为根本目标,以提高学生专业技术能力和工程能力、培养创新型人才为重点,将课程建设与学校新工科建设、学科建设相结合。围绕学生为中心,总结经验教训,持续推进对课程体系、教学方法和手段的改革,加强精品课程的多媒体化、信息化、规范化建设,为生物技术行业和社会的发展作出贡献。

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.
Notice of the National Development and Reform Commission on the issuance of the “14th Five-Year Plan” for Bioeconomic Development[EB/OL]. [2022-05-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/10/content_5689556.htm (in Chinese).
- [2] 周念波,李轶群,涂绍勇,王海波,梅双喜. 酶工程实验项目化教学改革探索[J]. 广东化工, 2014, 41(2): 147-148.
ZHOU NB, LI YQ, TU SY, WANG HB, MEI SX. Exploration of the project-based teaching reform on enzyme engineering experiment[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(2): 147-148 (in Chinese).

- [3] 吴士筠, 魏艳芬, 乐薇. 生物工程专业酶工程技术实验教学模式改革探索与实践[J]. 科教导刊, 2014(7): 122-123.
WU SJ, WEI YF, LE W. Exploration and practice of the experimental teaching mode reform of enzyme engineering technology for bioengineering speciality[J]. The Guide of Science & Education, 2014(7): 122-123 (in Chinese).
- [4] 崔艳, 樊秀花, 张陈云, 付荣霞, 任小青. 生物工程专业创新创业人才培养探索[J]. 大学教育, 2018, 7(2): 130-132.
CUI Y, FAN XH, ZHANG CY, FU RX, REN XQ. Exploration on cultivation of innovative and entrepreneurial talents in bioengineering specialty[J]. University Education, 2018, 7(2): 130-132 (in Chinese).
- [5] 汪天友. 应用型人才培养与高校教学改革问题探究[J]. 高教学刊, 2017(6): 102-103.
WANG TY. Research on the cultivation of applied talents and teaching reform in colleges and universities[J]. Journal of Higher Education, 2017(6): 102-103 (in Chinese).
- [6] 梁丽琴, 王振锋, 段江燕. “互联网+”背景下“酶工程”多元化教学改革的实践与思考[J]. 微生物学通报, 2018, 45(10): 2285-2292.
LIANG LQ, WANG ZF, DUAN JY. Practice and thinking of diversified teaching reform in Enzyme Engineering under the background of “internet+”[J]. Microbiology China, 2018, 45(10): 2285-2292 (in Chinese).
- [7] 柳洪洁, 宋月鹏, 马兰婷, 张观山, 张智龙, 王征. 国内外虚拟仿真教学的发展现状[J]. 教育教学论坛, 2020(17): 124-126.
LIU HJ, SONG YP, MA LT, ZHANG GS, ZHANG ZL, WANG Z. Development status of virtual simulation experimental teaching approach in domestic and overseas[J]. Education Teaching Forum, 2020(17): 124-126 (in Chinese).
- [8] 徐楠, 郭敏亮. 计算机模拟在酶工程教学中的应用研究[J]. 广东化工, 2020, 47(1): 159-160.
XU N, GUO ML. Study on the teaching of Enzyme Engineering with computer simulation[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(1): 159-160 (in Chinese).
- [9] 常雅宁, 彭钰珂, 魏东芝, 胡晓鸣. 虚拟仿真技术在酶工程实验教学上的应用[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(2): 237-239, 244.
CHANG YN, PENG YK, WEI DZ, HU XM. Application of virtual simulate technology on enzyme engineering experiment teaching[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2019, 38(2): 237-239, 244 (in Chinese).
- [10] 王雅丽, 付友思, 陈俊宏, 黄佳城, 廖浪星, 张永辉, 方柏山. 酶工程: 从人工设计到人工智能[J]. 化工学报, 2021, 72(7): 3590-3600.
WANG YL, FU YS, CHEN JH, HUANG JC, LIAO LX, ZHANG YH, FANG BS. Enzyme engineering: from artificial design to artificial intelligence[J]. CIESC Journal, 2021, 72(7): 3590-3600 (in Chinese).
- [11] 赵佳荟. 国内外翻转课堂研究综述[J]. 语文学刊, 2016(21): 114-116, 129.
ZHAO JH. Review of research on flipped classroom at home and abroad[J]. Journal of Language and Literature Studies, 2016(21): 114-116, 129 (in Chinese).
- [12] 马昭, 赵慧. “翻转课堂”在国内外教学应用中的对比研究[J]. 中国成人教育, 2017(1): 103-105.
MA Z, ZHAO H. A comparative study on the application of “flip classroom” in teaching at home and abroad[J]. China Adult Education, 2017(1): 103-105 (in Chinese).
- [13] 孙飞龙. 翻转课堂教学模式在酶工程教学中的应用探讨[J]. 当代教育实践与教学研究(电子刊), 2017(3): 57-60.
SUN FL. Discussion on the application of flip classroom teaching mode in enzyme engineering teaching[J]. Contemporary Education Research and Teaching Practice, 2017(3): 57-60 (in Chinese).
- [14] 冯光富, 刘刚, 彭佳胜. 基于“互联网+”的“成就驱动式教学法”在“酶工程”教学中的探索[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1302-1311.
FENG GF, LIU G, PENG JS. An exploration of achievement-driven method based on “internet+” in the teaching of Enzyme Engineering[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1302-1311 (in Chinese).
- [15] 杨春瑜, 李次力, 石彦国, 刘宁, 杨春莉. 国内外高等学校食品工程专业教学对比研究[J]. 科教文汇(上旬刊), 2013(24): 63-64.
YANG CY, LI CL, SHI YG, LIU N, YANG CL. A comparative study on food engineering teaching in domestic and foreign universities[J]. The Science Education Article Collects, 2013(24): 63-64 (in Chinese).
- [16] 范新炯, 丁锐. 基于实践能力培养的《酶工程》综合实验课程整合的探讨与实践[J]. 济宁医学院学报, 2022, 45(6): 451-456.
FAN XJ, DING R. Teaching reform of comprehensive experimental course of Enzyme Engineering based on

- practical ability training[J]. Journal of Jining Medical University, 2022, 45(6): 451-456 (in Chinese).
- [17] 史美兰. 体会哈佛案例教学[J]. 国家行政学院学报, 2005(2): 84-86.
SHI ML. Case study in Harvard university[J]. Journal of China National School of Administration, 2005(2): 84-86 (in Chinese).
- [18] 袁子民, 程岚, 吕佳, 赵琳, 刘玉强, 李学涛. 案例教学法在中药药剂学理论教学中的应用[J]. 卫生职业教育, 2010, 28(2): 45-46.
YUAN ZM, CHENG L, LV J, ZHAO L, LIU YQ, LI XT. Application of case teaching method in TCM pharmacy theory teaching[J]. Health Vocational Education, 2010, 28(2): 45-46 (in Chinese).
- [19] 胡彦武, 王红梅. 案例教学法在高校药理学教学中的运用[J]. 通化师范学院学报, 2009, 30(10): 90-91.
HU YW, WANG HM. Application of case teaching method in pharmacology teaching in colleges and universities[J]. Journal of Tonghua Normal University, 2009, 30(10): 90-91 (in Chinese).
- [20] 张佩, 卢颖, 吴学敏. 案例教学法在医学微生物学教学中的运用[J]. 辽宁医学院学报(社会科学版), 2010, 8(1): 22-23.
ZHANG P, LU Y, WU XM. Case method in medical microbiology course[J]. Journal of Liaoning Medical University (Social Science Edition), 2010, 8(1): 22-23 (in Chinese).
- [21] 吴娟. 浅谈案例教学法在遗传学教学中的应用[J]. 生物学杂志, 2010, 27(3): 109-110.
WU J. Application of case methods in teaching genetics[J]. Journal of Biology, 2010, 27(3): 109-110 (in Chinese).
- [22] 刘春兰, 卢洪生, 李恒, 杨丽敏. 《药学综合》课案例教学初探[J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版), 2008(1): 76.
LIU CL, LU HS, LI H, YANG LM. A preliminary study on case teaching of pharmaceutical synthesis course[J]. Journal of Mudanjiang Teachers' College (Natural Sciences Edition), 2008(1): 76 (in Chinese).
- [23] 魏胜华, 汤斌, 陶玉贵, 孟娜. 案例教学法在《酶工程》教学中的应用[J]. 生物学杂志, 2011, 28(5): 103-104, 110.
WEI SH, TANG B, TAO YG, MENG N. Application of case-teaching in the course of Enzyme Engineering[J]. Journal of Biology, 2011, 28(5): 103-104, 110 (in Chinese).
- [24] 吴国强, 洪艳平, 牛丽亚, 王纯荣. LBL和TBL双轨教学模式在《酶工程原理》教学中的应用[J]. 教育现代化, 2018, 5(9): 63-65.
WU GQ, HONG YP, NIU LY, WANG CR. Application of LBL and TBL dual-track teaching mode in the teaching of Enzyme Engineering Principles[J]. Course Education Research, 2018, 5(9): 63-65 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)