DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-9760. 2022. 06. 016

・医学教育・

# 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\*

范新炯 丁 锐△

(安徽医科大学基础医学院;安徽医科大学生命科学学院,合肥 230032)

摘要 新冠疫情暴发以来,分子检测原料酶的市场需求呈现快速攀升趋势。作为医学院校生物技术专业的学生,学习和掌握酶学的知识和技能是时代赋予的基本要求。鉴于本校《酶工程》传统理论和实验教学存在的不足,本课题组开展了包括教学内容、教学形式、生产实践、评价方式等方面的改革,建立了以《酶工程》为主线,整合《基因工程》和《发酵工程》内容的综合实验课程。教学过程中,将学生自主设计实验、线上线下混合式教学、生产实践以及多方位考核等策略贯穿其中。实践结果表明,该课程设计有利于学生构建完整的专业知识体系,增强学生的科研兴趣,提升了学生专业服务社会能力,为日后的科研和就业提供了必要准备,可为相关课程践行实践教学改革提供参考借鉴。

关键词 综合实验课;生物技术;酶工程;生产实践;教学改革

中图分类号:G642.0;Q814 文献标识码:A 文章编号:1000-9760(2022)12-451-06

# Teaching reform of comprehensive experimental course of Enzyme Engineering based on practical ability training

FAN Xinjiong, DING Rui<sup>△</sup>
(School of Basic Medical Science, Anhui Medical University;
School of Life Science, Anhui Medical University, Hefei 230032, China)

Abstract: During the epidemic period, the market demand for molecular detection enzymes has shown a rising trend. Students majoring in biotechnology in medical university have the responsibility of learning and mastering the knowledge and skills of enzymology. In view of the deficiency of the traditional experimental course of Enzyme Engineering, a series of reforms including experiment content, teaching form, production practice, and evaluation method have been conducted in Anhui Medical University. By means of self-designed experiments, On-line and Off-line mixed teaching, diversified evaluation system, and the combination of production practice, the comprehensive experimental course have been created based on Enzyme Engineering and combining Genetic Engineering and Fermentation Engineering. The new teaching reform model is conducive to improving the professionalknowledge structure of students, cultivating students' interest inresearching, enhancing students' ability to serve society, inspiring students to explore and innovate spirit, and laying a solid foundation for future scientific research or students' career development, and therefore to provide reference for relevant curriculum teaching reforms.

Keywords: Comprehensive experimental course; Biotechnology; Enzyme Engineering; Production practice; Teaching reform

<sup>\*[</sup>基金项目]国家自然科学基金面上基金项目(82173725);安徽省教育厅 2020 年高等学校省级质量工程项目(2020xsj xxx122,2020jyxm0883)

<sup>△[</sup>通信作者]丁锐,E-mail:dingrui@ahmu.edu.cn

酶是具有催化活性的蛋白质或核酸,在工业、农业、医药、食品和环保等领域中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。自2020年新冠肺炎暴发以来,我国以及全球分子诊断原料酶市场需求持续攀升,行业呈现快速发展趋势。由于在优质酶品种发现、分子改造、发酵制备等方面酶工程技术方面存在不足,当前国内市场需求依赖进口。虽然已有部分商品酶实现了国产替代,但产品质量较进口有较大差距<sup>[2]</sup>。因此,培养新时代生物技术专业人才,弥补国内酶研发技术短板,是当务之急。

《酶工程》(Enzyme Engineering)是一门理论与实验实践均很强的生物技术专业必修课程,主要由酶学、微生物学与化学工程等相结合而产生,涉及基因工程、发酵工程、蛋白质工程、生物分离工程等,这些学科之间相互依存,相互促进<sup>[3-4]</sup>。因此,掌握酶工程的相关实验技术是当代生物技术领域从业者的基本要求,而酶工程综合实验课程的开设是培养学生相关实验技能的第一步。但本校生物技术本科专业开设时间较短,综合实验的教学和实践均在探索之中。鉴于传统实验课存在的缺乏课程衔接性与创新性以及生产实践环节不足等普遍问题,本课题组以《酶工程》的教学实践为例,探讨综合实验的教学改革,具体将从教学内容、教学形式、见习实践、评价方式等方面展开。

# 1 传统实验教学中存在的问题

# 1.1 课程之间缺乏衔接

《基因工程》《酶工程》和《发酵工程》三门课程是生物技术专业的主干课程,三者相互联系、相互渗透,构成了一个不可分割的整体<sup>[5]</sup>。但在传统实验课程设置中,每门课程的实验内容没有衔接和关联,彼此孤立。学生无意探求一个实验与另一个实验的逻辑联系,以及一个实验结果对其他实验的影响,很难形成完整的知识体系<sup>[6]</sup>。

## 1.2 实验内容缺乏创新性

验证性实验是指为了验证实验结果,以培养实验操作能力为目的的重复性实验<sup>[7]</sup>。本校传统实验教学内容多以验证性实验为主,创新性实验比例很少。实验内容是教师们早已设计好的,甚至几辈人传承下来的,内容陈旧、缺乏新颖性。很多学生表现出缺乏兴趣和积极性,上课玩游戏、看视频、打瞌睡的现象较多,严重影响实验教学的秩序和质

量。

# 1.3 教学模式缺乏新颖性

在传统实验教学过程中,教师是课堂的主体,负责讲解和演示。学生不是学习的主体,不参与实验设计,无须深入地思考,只是被动接收,机械地模仿和验证<sup>[8]</sup>。这种教学模式下,学生不仅不能很好地理解实验目的和原理,甚至无法独立分析实验成败的原因和找出解决问题的方案,不符合培养复合型人才的培养规划的要求。

## 1.4 课程设计脱离实践

生物技术作为应用型较强的专业,学生的实践能力和综合素质直接影响到毕业生今后的发展。综合实验课程设计缺乏实践内容,学生对生物技术下游了解很少,更没有现场了解和参观过生物生产企业的经历,缺乏课堂知识与工业化体系的衔接,以致学生对学习目标不明确,不利于就业。

#### 1.5 成绩评价不全面

传统的成绩评价主要是根据出勤情况、课堂表现和实验报告这几项进行打分,其中实验报告权重最大。这种传统成绩评价方式无法对学生的"实验过程"进行有效评价,导致学生们轻视实验过程而重视实验报告<sup>[9]</sup>。这种评价方式不但不能全面地反映学生的整体表现,而且会挫伤学生们的积极性。为了避免这种现象重演,我们急需建立一个多方位的学生成绩评价体系。

# 2 综合实验教学改革措施

《基因工程》《酶工程》和《发酵工程》三门课程是安徽医科大学生物技术专业的必修课程,是一门课堂理论和实验实践联系非常密切的专业必修课程[10]。考虑到综合实验以相关基础理论知识和基本实验技能为前提,周期较长,实验操作较复杂,过程需要连续性。因此,以大三生物技术学生为对象,以《酶工程》为主线,并结合《基因工程》和《发酵工程》的实验内容,设计综合实验。并对教学内容、生产实践、教学形式、考核方式等进行改革,现将教改经验总结如下。

### 2.1 教学内容的改革

综合实验的目的是在《基因工程》《酶工程》和 《发酵工程》等课程的基础上,使学生更加深入地 掌握相关理论和操作技术,提高其运用所学的知识 解决问题的能力,培养学生自主创新和初步科研的 意识。因此,在实验内容改革中,本课题组以课程 衔接性、内容创新性以及生产实践性为主要原则, 对综合实验的内容进行了多次的调整和选择,形成 了较为稳定的体系。

2.1.1 课程衔接性和内容创新性 本次综合实验 以《酶工程》为主线,以获得大量所需要的酶为目的。内容分为3部分,第一部分涉及怎样获得酶基 因和构建产酶重组菌等上游技术,这属于《基因工程》和《酶工程》内容;第二部分涉及产酶重组菌的培养和发酵,这属于《发酵工程》和《酶工程》内容;

最后一部分包括酶蛋白的分离纯化、酶学性质表征以及酶的应用等,属于《酶工程》内容。整体实验框架和实验内容见流程图 1。根据实验条件和课程规划,开设了"基因组的提取、酯酶基因的克隆、酯酶重组工程菌的构建、重组工程菌的筛选和鉴定、重组工程菌的发酵及条件优化、重组酶的分离纯化、重组酶的酶学性质表征、酯酶对拟除虫菊酯类农药的降解应用"等实验内容。其中的具体操作方案,由学生分组自主讨论和教师协助分析,完全尊重学生的参与性和自主性,完成创新性实验。



图 1 综合实验流程图

整个实验从基因克隆开始到酶的应用结束,使学生对生物技术的上、中、下游技术形成整体认识,体现了生物技术的应用性,为学生就业和日后的科研深造打下良好的基础。从以上内容来看,生物技术综合实验不仅包括《酶工程》,还包含了《基因工程》和《发酵工程》的内容,三门课程之间相互关联、相互渗透、相互促进。以酶的生产和应用为主线,完全不同于传统实验内容,并不断渗透其他关联知识,注重《酶工程》与其他两门专业课程之间的衔接,使学生在实验过程中对内容和目的保持清晰的认识,从而更好地形成生物技术专业课程的整体框架,构建完整的知识体系。

2.1.2 生产实践性 除了实验室的教学以外,综合实验还应涉及学生的生产实践。生产实践是生物技术专业学习的重要环节,只有经历生产实践,才

能熟悉工厂生产的实际过程,毕业后才能做到从实际出发制定科学的工作计划,更好地适应社会的需求[11]。本课题组利用前期与企业建立的合作平台,将学生的实践部分安排到企业中开展。实践项目是"硫酸胍基丁胺的酶法生产",主要包括工程菌的高密度发酵、菌体的分离、生物转化、产品分离与纯化等过程,流程见图 2。具体内容与综合实验相契合,全面了解《酶工程》课程和实践的整体过程。我们首先邀请企业高级工程师开展实践教学,讲解生产的过程、技术内容和注意事项,然后带领同学们亲身体验生产实践。学生深入车间详细地了解整个生成工艺流程,并在技术人员的指导下进行操作。在实践过程中,工程师和带教老师协助学生分析遇到的问题,并对学生的生产实习报告进行指导。通过生产实践的学习,一方面使学生真正了

解了生产过程,把课堂所学知识与完整的工业化体系结合在一起,另一方面为后续的专业实习、毕业

论文做好准备。



图 2 生产实践项目流程图

#### 2.2 教学模式的改革

传统的教学模式多为"填鸭式"教学,教师是课堂的主体,学生作为听众,是知识的被动接受者。这种教学模式致使学生们缺失学习的积极性和主动性。因此,本次教改通过教师引导,力求充分挖掘学生的学习潜能,由被动学习转变为主动探究型学习,真正实现"老师要我做什么"到"我要做什么"的新转型。

本次综合实验的设计包括酶基因的获得、重组 工程菌的构建和培养、发酵条件优化、酶的分离和 纯化以及后续的酶学性质表征和应用等连续性的 工作,新颖目具有挑战性。本课题组把教学过程分 为5个环节进行,线上线下混合式教学[12],实验与 实践相结合,具体过程如图 3 所示。第一个环节, 事先把相关的知识点、操作技能、实验安全等微视 频,通过雨课堂推送的方式,让学生们完成自主学 习,并进行自测。"雨课堂"为所有教学过程提供 的客观、真实的数据化分析,便于教师对学生的学 习进行全面考查。老师可以在后台查看学生的学 习和知识掌握情况。第二个环节,组织 PBL(Problem Based Learning)教学。学生划分为若干个项目 小组,以问题为导向,通过小组讨论解决问题[13]。 按照综合实验的目的和要求,查阅文献资料,并通 过共同研究和讨论,增加教学的互动性[14]。教师 协助分析方法的合理性和可操作性,最终每组撰写 出综合性的实验方案和实验内容。PBL 教学模式 最大限度地调动了学生的学习主动性和参与性,使 其形成团结协作和独立思考的习惯,有效地锻炼和 提高了学生的综合职业能力。第三个环节,在实验 操作过程,学生尽可能地自主安排试验时间和实验 环节,并分析和解决出现的问题;教师以引导为主, 切忌"指手画脚"。第四个环节,在实践过程中,学 生亲身实践为主,以工程师教学为辅,并提交生产 实践报告。最后,每组学生讨论实验和实践体会, 并总结汇报。在整个综合实验和实践过程中,学生

们参与度较高,获得了较高的专业认同感和自我成就感。

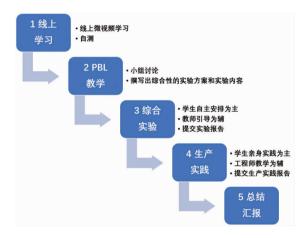


图 3 教学过程流程图

# 2.3 课程进度安排

综合实验的安排既要保证到本实验的连贯性 又要避免与其他课程安排的冲突,所以课程进度是 本实验课的重中之重。依据本校生物技术培养方 案,设置匹配的课时量。本课题组选取周末两天进 行,维持4周。通过充分的讨论将实验过程落实到 具体细节,合理统筹安排,做到时间的最大化利用。 同时充分调动学生的积极性,鼓励其自主完成,做 好充分实验准备。具体课程进度如下表1所示。

阶段 内宏 学时 时间 课余时间 线上学习 线上微视频学习和自测 课前 PBL 课堂 小组讨论和总结 6 第一周 综合实验 基因组的提取和基因克隆 6 12 重组工程菌的构建 重组工程菌的筛选和鉴定 12 第二周 重组工程菌的发酵及条件优化 12 重组酶的分离纯化 第三周 6 重组酶的酶学性质表征 6 重细酶的应用 6 实验汇报 6 生产实践 从高密度发酵到产品分离与纯化 24 第四周 生产实践报告 根据生产安排

表1 课程进度安排

# 2.4 考核方式的改革

考核是教学过程中的重要环节<sup>[9]</sup>。传统的考核模式缺少相对的细化和量化考核体系,对该课程的考核主要借助实验报告和出勤,其中实验报告的权重最大。这种考核方式对学生的评价是不全面的,不利于学生综合素质的培养。针对此种情况,我们需要建立多方位实验课程考核体系,力求公平公正合理客观的体现学生综合实践能力。

本次教改考核体系共分为 4 个阶段,如图 4 所示,各部分的考核权重及标准预先公布。实验前准备阶段,主要借助"雨课堂"的移动便捷性和智能性,以视频学习完成度、自测成绩、PBL 课堂参与

度、实验方案撰写情况进行评分;实验过程占 40% 比重,主要考查学生参与度、操作规范性、实验结果 等内容;实验总结主要包括实验报告规范性、数据 真实性、结果讨论和分析以及总结汇报;生产实践 环节主要由实践参与度、操作规范性、实践报告规 范性以及总结汇报构成。整个考核体系涵盖了 "课前""课中"和"课后"等各个环节,有利于教师 实时掌握学生的学习情况,有效制定教学方案,同 时测评结果综合体现学生的学习态度、知识掌握程 度、科学报告撰写能力、科研思维以及操作技能水 平等多方面素质与能力,真正实现教学相长。

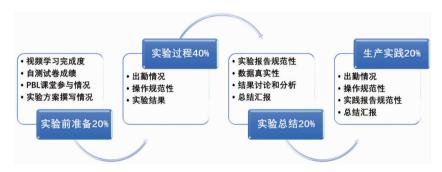


图 4 多方位考核体系构成及分值分布

#### 3 综合实验教学改革效果与反思

本课题组以 2016 级(30 人)、2017 级(27 人)和 2018 级(26 人)生物专业作为实验班级进行综合实验教学改革。在兴趣度、课程重要性、考核模式满意度、对综合能力培养的作用、课程满意度、对就业或科研的作用以及推荐给下一届的力度等方面,三届学生对综合实验的评价均高于对传统专业课实验的评分,这说明综合实验教改效果显著。

本课题组注重课程延续性。实验平台以及教师实验室向有兴趣、有更高需求的学生开放,学生深入接触科研,在后续的创新创业课题申请、专业考研率以及毕业实习开展等方面,都有显著效果。例如,2016级学生参与的国家级和省级创新创业项目有4项,其中有2项与本课程相关;2017级学生参与的国家级和省级创新创业项目有6项,其中有2项与本课程相关;2018级学生参与的创新创业项目有10项,其中有4项与本课程相关。研究生录取情况方面,这3年的考研率分别为31.9%、35.0%和38.5%,录取专业与本课程相关的学生总数为27位。在课程结束后,先后有21名学生到公

司开展暑期实习或毕业实习,直接参与企业的生产中,这极大提升了学生专业服务社会的能力,为校内培养与就业无缝衔接奠定基础。

本专业综合实验改革在取得一定成效的同时,仍存在若干问题需要进一步改善。例如,在带教过程中,随着招生人数的逐年增加,教师和学生一对一指导交流的时间逐渐减少。后续会加强教学师资队伍的建设,配备更多有经验的老师;也会在实验结束后,加强与学生的交流;实验课之外通过互联网和学生加强交流,保证一对一指导的时间。另外,越来越多的相关专业学生想加入到综合实验中,但由于实验平台资源和场地有限,不能接纳更多的学生。后续将及时更新补充仪器设备,加强仪器设备和试剂的购置,提升平台服务能力,试点将该专业课程拓展成全校范围的通识类课程,惠及更多有兴趣的学生。

#### 4 总结

本次教学改革以学生为主体,以提高专业素养和综合能力为目标,采取学生自主设计实验、线上线下混合教学、多方位考核以及生产实践等方式,

建立了以《酶工程》为主线、结合《基因工程》和《发酵工程》内容的综合实验体系,教学效果显著。综合实验教学改革是一项长期的系统工程,虽然几年来的教学改革实践已取得较好的成效,但生物技术的发展和应用十分迅猛。因此,在未来的教学实践中,仍需不断努力探索,及时更新内容,同时提高自身专业水平和思想修养,构建更合理的综合教学体系和教学模式。

利益冲突:所有作者均申明不存在利益冲突。

# 参考文献:

- [1] 王艳宝. 酶工程在医药中的应用[J]. 天津化工. 2021,35(6):10-12. DOI:10. 3969/j. issn. 1008-1267. 2021.06.004.
- [2] 赵琳,宋瑞瑞,吴希,等. 工业酶制剂的发展与应用研究[J]. 应用化工. 2021,50(5):1403-1413. DOI:10. 16581/j. cnki. issn1671-3206. 2021. 05. 034.
- [3] 魏东芝. 酶工程[M]. 北京:高等教育出版社,2020:2-10
- [4] 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. DOI:10.13344/j. microbiol. china. 210759.
- [5] 方泽民,刘娟娟,房伟,等.基因工程课程的多元化教学设计及应用[J].生物学杂志,2019,36(5):118-120.DOI:10.3969/j.issn.2095-1736.2019.05.118.
- [6] 曾驰."基因工程实验"教学改革实践与体会[J].课程教学. 2020,2(4):128-129. DOI:10. 16400/j. cnki. kjdkz. 2020. 01. 059.
- [7] 郎亚军, 聂春雨, 张奕婷, 等.《微生物工程实验》课程 教学改革与实践研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42

- (6): 1893-1894. DOI: 10. 13989/j. cnki. 0517-6611. 2014 06 008.
- [8] 张侠,尹海波,刘晓玲,等.生物工程专业基因工程综合实验教学改革[J].化工设计通讯,2021,47(12):139-140,152.
- [9] 杜先华,何国林,詹雅娟,等. 基于雨课堂的形成性评价在药理学课程中的应用[J]. 高教学刊,2021,7 (36):97-100. DOI:10. 19980/j. CN23-1593/G4. 2021. 36. 024.
- [10] 陈桂玲,张晓,张立涛,等.以"酶工程"课程为例探索高校人本位教学实践[J]. 微生物学通报,2022,49 (4):1491-1502. DOI:10. 13344/j. microbiol. china. 210528.
- [11] 陈兆贵,丁运华,毛霉甜,等. 地方院校生物技术专业协同育人路径选择与实践[J]. 教育现代化,2019,6 (98):156-157. DOI: 10. 16541/j. cnki. 2095-8420. 2019.98.060.
- [12] 王倩,郑征,李玲. 新冠疫情期间混合式教学模式在《组织与胚胎学》教学中的应用[J]. 济宁医学院学报,2022,45(1):73-76. DOI:10. 3969/j. issn. 1000-9760. 2022.01.016.
- [13] 苏应娟, 王艇. 基于 PBL 和翻转课堂相结合的"生物化学技术原理"课程的教学改革与实践[J]. 高校生物学教学研究(电子版), 2020, 10(1): 29-33. DOI 10.3868/j. issn 2095-1574. 2020. 01.006.
- [14] 武菲,高岩,亚白柳,等. 新冠肺炎疫情下加强生理学线上教学课程思政建设的探索与实践[J]. 济宁医学院学报,2021,44(5):373-377. DOI:10. 3969/j. issn. 1000-9760. 2021. 05. 016.

(收稿日期 2022-06-09) (本文编辑:石俊强)

# (上接第 450 页)

- [12] 刘薇薇,宋婕,王晓晴,等. 中医外治法治疗小儿功能性消化不良研究进展[J]. 国医论坛,2021,36(3):74-76.
- [13] 肖慧,李静,肖和印. 小儿推拿配合穴位贴敷治疗牌失健运型小儿厌食症的疗效观察[J]. 中国社区医师,2021,37(8):110-111. DOI:10. 3969/j. issn. 1007-614x. 2021. 08. 053.
- [14] 王克天,肖靖. 小儿推拿法联合自拟消积散穴位贴敷治疗小儿厌食的临床效果观察[J]. 中国妇幼保健,2017,32(24):6201-6203. DOI:10.7620/zgfybj. j. issn. 1001-4411. 2017. 24. 49.
- [15] 覃基烜,胡晓兴,余杨,等. 芳香运脾方结合小儿推拿 疗法治疗小儿厌食症脾胃气虚证的临床研究[J]. 徐 州医科大学学报,2021,41(1):67-70. DOI:10. 3969/

- j. issn. 2096-3882. 2021. 01. 014.
- [16] 吴学喜. 基于健脾益气思想运用小儿推拿联合中药治疗脾失健运型小儿厌食的随机多中心临床分析[J]. 内蒙古中医药,2021,40(7):86-87
- [17] 林芳. 中医推拿结合中药调护治疗小儿厌食的疗效观察[J]. 医学食疗与健康,2020,18(18):39-41.
- [18] 刘丽平,王晓燕,王恩杰,等. 小儿推拿联合耳穴贴压 治疗小儿厌食症临床研究[J]. 新中医,2022,54(6): 185-188. DOI:10. 13457/j. cnki. jncm. 2022. 06. 045.
- [19] 李辉珍,曾美月. 推拿捏脊联合西药治疗小儿厌食症与脾胃气虚证的疗效[J]. 华夏医学,2020,33(4):85-89. DOI: 10. 19296/j. cnki. 1008-2409. 2020-04-022.

(收稿日期 2022-02-11) (本文编辑:石俊强)