

# 工程教育认证下“微生物学实验”课程的研究与思考

张霞<sup>\*</sup>, 陈峰, 曹阳

上海交通大学生命科学技术学院, 上海 200240

张霞, 陈峰, 曹阳. 工程教育认证下“微生物学实验”课程的研究与思考[J]. 微生物学通报, 2023, 50(2): 777-784.

ZHANG Xia, CHEN Feng, CAO Yang. Research and reflection on Microbiology Experiment course under engineering education certification[J]. Microbiology China, 2023, 50(2): 777-784.

**摘要:** 微生物学实验是生物工程专业的必修核心课程, 结合学校“四位一体”育人理念, 在布鲁姆教育目标体系中确立符合实验教学的课程目标, 创新设计了知识、能力和思政三维课程目标。在高等教育的工程专业认证下, 对连续三届“微生物学实验”课进行了持续改进, 分析研究毕业指标达成度, 提出了改进措施, 具有实验教学研究 and 推广的价值。

**关键词:** 微生物学; 实验教学; 三维目标; 工程认证

## Research and reflection on Microbiology Experiment course under engineering education certification

ZHANG Xia<sup>\*</sup>, CHEN Feng, CAO Yang

School of Life Sciences and Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

**Abstract:** Microbiology Experiment is a compulsory core course for bioengineering majors. In combination with the school's "four in one" education concept, the course objectives in line with experimental teaching were established based on Bloom's taxonomy of educational objectives, and the three-dimensional course objectives of knowledge, ability and ideology and politics were innovatively designed. Under the engineering certification of higher education, the Microbiology Experiment course has been continuously improved for three consecutive sessions; the achievement degree of graduation index has been analyzed and studied; the improvement measures have been proposed; which was worthy of experimental teaching research and promotion.

资助项目: “微生物学实验”上海市重点课程建设项目[上海市沪教委高(2020) 58 号]

This work was supported by the “Microbiology Experiment” Shanghai Key Curriculum Construction Project (Shanghai Higher Education Commission (2020) 58).

\*Corresponding author. E-mail: irisette@sjtu.edu.cn

Received: 2022-05-21; Accepted: 2022-07-23; Published online: 2022-09-01

**Keywords:** Microbiology; experimental teaching; three-dimensional objectives; engineering certification

工程教育专业认证是国际通行的教育质量保障制度,强调了“学生中心、结果导向、持续改进”的教育理念,是实现工程教育和工程师资格国际互认的重要基础,也是提升我国高等教育国际化、增强工程教育专业竞争力的重要抓手<sup>[1]</sup>。工程教育专业认证的核心就是要确认工科专业毕业生达到行业认可的质量标准为导向的合格性评价<sup>[2]</sup>。

生物工程主要包括遗传工程、细胞工程、发酵工程、酶工程和生物反应器工程。其中,前两者的作用是将外来基因转入遗传受体中,形成能表达特定性状的新物种,即“工程菌”或“工程细胞株”。后三者的作用是为新物种创造良好的生长与繁殖条件,进行大规模的培养生产,得到特定性状的产物,为人们提供经济效益和社会效益。生物工程专业是理工结合、以工为主的特色工科专业,以实践能力和工程素质为重点,旨在培养具有扎实的现代生命科学理论知识、掌握生物工程技术实验技能并具有工程学基础和思维的应用型人才。微生物学实验是生物工程专业的必修核心实验课程,在专业课程体系中承载基础课程向高级专业课程过渡的重要作用。在前期物理化学、生物化学的基础上,以微生物学操作技术为主线,将微生物学理论原理与工程实践问题相结合,熟练各种生物工程菌株的筛选、观察、优化、发酵、检测等技术,为后期酶工程、发酵工程、遗传工程、细胞工程等高级专业课程学习打好实验基础。

## 1 三维教学目标设计

工程教育认证是一项基于持续改进机制并以目标产出为导向的人才培养改革。具体到“微

生物学实验”课程,教学目标的确立是工程教育认证可以开展的基础,在生物工程专业课程体系中,微生物学实验是承前启后的一门专业基础实验课程。课程内容分为基础技术、培养观察、分离测定、分子遗传、自选探究等模块。教学聚焦在微生物学实验原理解、技术训练、观察分析和探索设计等实验能力的培养上。通过线上线下混合式教学设计,先后引入同伴教学、任务驱动等教学方法激发学生学习探究的主动性,实现知识、能力和思政三维教学目标。

结合布鲁姆教育目标三领域分类系统,从与高等教育相契合的角度分析认知领域(cognitive domain)、技能领域(psychomotor domain)和情感领域(affective domain)的层次内涵<sup>[3]</sup>。认知领域的教学目标分为记忆、理解、运用、分析、评价和创造 6 个层次,用于评价学习的深度和效果,多用于理论课程学习目标的评价;技能领域的教学目标对应分为知觉、简单反应、机械动作、复杂反应、适应、创新 6 个层次,多用于体育课程等动作技能性课程学习目标的评价;而情感领域的教学目标可以结合在各类课程中来体现,属于“课程思政”的内容范畴,一般分为 5 个评价层次,即接受、反应、形成价值观、价值观念系统化到价值观念个性化体系。

上海交通大学于 2017 年提出“价值引领、知识探究、能力建设、人格养成”四位一体的育人理念。将“四位一体”与布鲁姆教育三领域目标有机结合,探索设计“微生物学实验”课程的教学目标。首先,分析“四位一体”在教育领域中的定位,把“价值引领”和“人格养成”归于情感领域,即课程思政范畴。“知识探究”归于认

知领域,“能力建设”属于认知领域的高阶阶段,并不适合归于技能领域。但对于实验课程来说,实验技能也可以算是一种动作技能,而且认知领域和动作技能领域的最高层次都是创造,经过拆分融合,把认知领域的最高阶层与动作技能领域指标相结合共同构成“能力建设”维度的课程目标。创新设计构建了符合上海交通大学育人理念和布鲁姆目标体系的实验课程目标三维图(图 1)。

以“价值引领”和“人格养成”为纵坐标  $y$ ,以“知识探究”为横坐标  $x$ ,将最高层次“创新”归于能力建设维度,为纵深  $z$  轴(沿用动作技能领域层次指标),每个维度设计五层次,实验课程的教学目标将呈现在三维图中的某一个点位置。例如,课程目标中情感领域目标达到个性化价值体系,认知领域目标达到评价层次,能力建设目标达到创新等级,则课程目标汇聚的点在如图 1 所示右上角黑点位置。因此,图 1 中最右上角

的 3 个维度最高线相交处则是达到三领域教学目标的最高点,也是所有课程目标所努力提升的方向。

## 2 观测指标点的确立

生物工程专业教育认证设立了多项基本要求,包括工程知识、问题分析、解决方案、研究能力、现代工具使用、可持续性、团队合作、沟通管理、终身学习等方面,每一项对应生物工程专业毕业要求点。每一个毕业要求点又对应多个观测指标点,生物工程专业所有专业课程通过观测点数据累计完成各毕业指标点。

具体到“微生物学实验”课程,设计知识探究目标为:根据微生物的基本特性,在实验中建立无菌概念,熟练无菌操作,学会并熟练各种生物工程菌株的筛选、观察、优化、发酵、检测等生物工程实验技术。能力培养目标为:将微生物学理论原理与生物工程专业实验实践充分结合。在

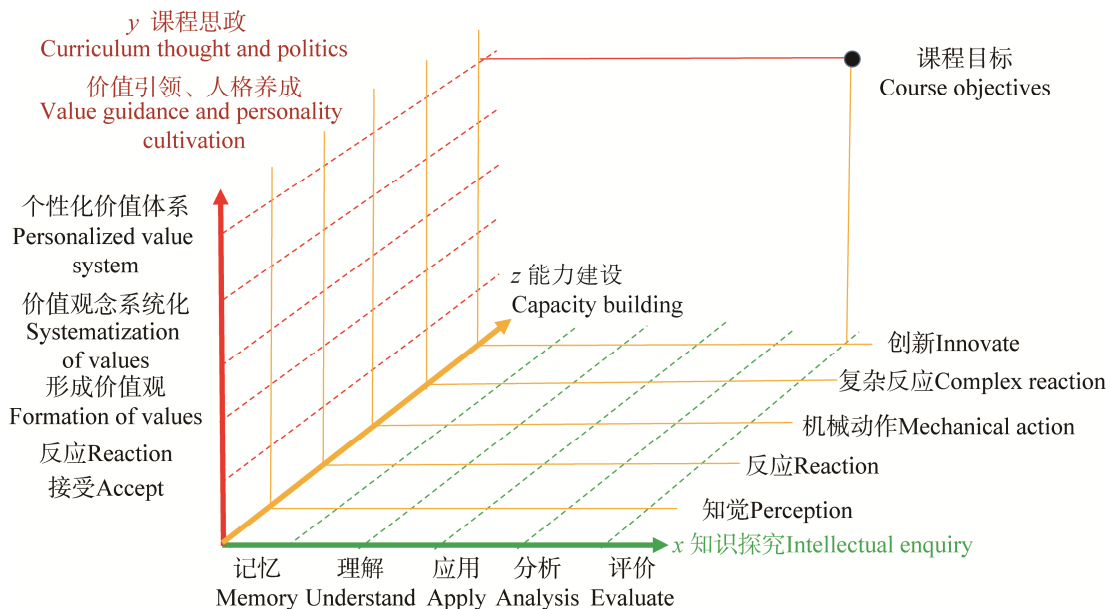


图 1 三维教学目标设计图

Figure 1 Design drawing of three-dimensional teaching objectives.

实验中锻炼学生勤于动手、擅长思考、具有创新意识、能够多角度分析和评价实验结果的能力,以及将微生物学基本理论用于分析生物工程专业复杂工程问题的能力。课程思政目标为:通过设计线上线下混合式教学,激发学生从被动学习转为主动学习,锻炼具有不断获取新知识的能力,培养优良实验作风和学习习惯。通过课前自学自测、课堂实验记录、团队合作、课后竞赛等手段,激发和培养意志坚强、诚实守信、追求真理、精益求精的钻研精神。课程教学3个教学目标分别对应三领域内毕业指标的具体观测点。

知识探究目标侧重考查学生对微生物学实验的基本概念、基本知识点和基本实验技能的掌握和熟练程度,培养学生在微生物学实验中对各知识点的灵活运用能力,以及对实验结果反思分析的能力,考核内容为课堂表现和实验报告2个项目,课堂表现是记录学生课堂发言、讨论、操作、习惯、卫生、团队合作等情况,实验报告是学生在实验后对整个实验的回顾和总结分析能力体现,其最高要求对应图1中 $x$ 轴评价层面目标。

能力培养目标侧重考查学生运用本课程所学的微生物学实验基本知识的综合分析及实际应用能力,旨在反映学生设计实验和解决复杂生物工程问题的能力。考核内容为实验操作考核项目,操作考核是在规定时间内完成若干微生物学实验的设计,并正确、正规、熟练地完成实验操作,最后达到优良的实验效果,是图1中 $z$ 轴能力建设领域创新层次目标。

育人培养目标侧重考查学生具备持续提升自我、不断获取新知识的能力,具有钻研精神,养成终身学习的习惯。该目标的考核项目有课前自测和课堂记录2个指标,课前自测是对课前学生自学状况的检测,由系列选择题组成,在学生课前网站自学视频、课件后,在15 min的时间

内完成,只有一次机会,该自测题目以80分为及格线,对于未及格的学生安排课堂上的一对一提问。即不能顺利达标完成自测题,则需要花更多时间预习以准备回答教师的提问。课堂记录是学生在实验时候的记录情况,培养学生良好的实验记录习惯,也是科研钻研精神和终身学习习惯的一种体现,对应图1中 $y$ 轴个性化价值体系层次目标。

### 3 教学实施与持续改进

对连续三届生物工程班级进行实验教学改革,探索如何高效地促进课程目标达成度。教学对象为2017、2018、2019级本科二年级大学生,每届小班实验教学(<25人)。依托“好大学在线”网站运行为线上线下混合式教学,课前布置网站自学自测任务,课堂教学设计每届有不同改进,课后升华部分由实验结果观察、线上线下讨论、实验报告撰写、自选线上显微摄影或微生物艺术画竞赛、线下兴趣小组探究活动几个部分构成<sup>[4]</sup>。连续3年的教学实践中,每一届都是吸取保留前一次教学实践的优势,修改劣势,去芜存菁,以期最大限度地提高教学质量。

2017级的课堂教学设计中引入同伴教学法<sup>[5]</sup>,具体设计为:全班学生分为4组,每次课堂上,每组的一位学生讲解前一次课布置好的问题,4个问题基本覆盖本次实验的各种重要知识点和技能点。需要学生提前准备好PPT,讲解时间控制在8 min左右,讲解后进行提问讨论,加深理解,最后由教师总结,弥补学生讲课可能遗漏的细节。课堂讲解部分后是团队讨论环节,由既定的组长组织大家进行实验分工讨论,明确实验操作流程,一般10 min左右。最后全体组员一起向教师提出做实验申请,在正确回答教师指定人员的随机问题后,领取实验材料开始实验操作。

2018 级的课堂教学设计在保留了同伴讲课的基础上,又引入了自选实验内容。在同伴讲课中也做了调整,以前的 4 人针对问题型讲课知识点疏漏的几率较大,修改为每次 3 位学生轮流讲解实验原理、实验操作和实验结果 3 个部分,对实验内容进行了全覆盖。自选实验是将实验课程的最后一个内容更换为学生自选项目,根据生物工程专业的学科特色,限定项目聚焦在生物工程发酵类型的实验上,激发学生的实验热情和积极性,又培养和锻炼学生们生物工程专业特色的实验技能。自选实验一经推出,获得了学生们的大幅喜爱和认可。自选实验由学生根据自己的喜好选定一个项目,2-6 人自由组团,每个团队选定一位团长,由团长提前两周写好实验设计,经过教师反复多次修改确认后进入执行阶段。在自选实验项目中,既有团队的总体实验目标,也有每个人独特的实验设计,团队合作从实验准备、操作、结果观察到分析交流有序进行。实验报告撰写则是每个人对比全组的实验情况,具体分析自己的实验设计和对应结果,极大地激发了学生对微生物学实验的兴趣,锻炼了学生对工程实验项目的设计和执行力。

2019 级的课堂教学设计取消了同伴讲课,虽然学生们精心准备了实验原理、操作和结果的讲解,但听课的学生注意力不集中,大家仍然习惯于把重心放在最后教师总结的部分,因而前期同伴讲课的效率不高。取而代之地设计了轮流组长负责制下的任务驱动教学法,具体操作是全班分为 3-4 个大组,每次实验课程轮流一位学生做组长,组长需要提前一周完成实验预习报告提交网站,经过教师反复多次批阅修改,最后过关的预习报告分发给每个组员。课堂中,教师精讲实验原理和注意事项 15 min,随后就是每个小组为单位开“组会”,由组长讲解实验操作和结果,组员对照预习报告学习记录并展开讨论。任务驱动

下的轮流组织责任制使得实验课堂前期的学习环节效率极大提高,听课高效、组会深入,随后的实验进展中速度和准确度也大大提升。2019 级的微生物学实验课程仍然延续了深受大家喜爱的自选实验部分。

## 4 特色案例: 微生物发酵自选实验

微生物学实验的最后一个内容是自选实验,由学生选择自己感兴趣的微生物发酵内容设计探究一个实验项目,作为微生物学实验走向发酵工程的重要训练。学生们自行建组进行设计,由教师指导修改实验设计后,每组按照约定时间分 2-3 次来完成实验、撰写实验报告,并进行结果分析讨论交流汇报。

自选实验设计包括实验准备、样品采集、材料购买、完成实验、结果观察、分析讨论等全过程,模拟一场科研探究过程。学生们根据自己的兴趣选择生活中微生物发酵类实验内容。例如,酵素发酵、葡萄酒发酵、泡菜发酵、啤酒发酵、酸乳发酵等,激发学生对微生物发酵工程的兴趣和认识,让他们在感兴趣的实验探究中提高正确认识问题、分析问题和解决问题的能力,增强学生勇于探索的创新精神。

例如,在甜酒酿发酵实验探究中,小组成员选择了多种材质的米作为酒酿原料,进行了前期的文献查阅,设计了各种平行对比实验,但在实验进行的过程中遇到不能成功发酵、污染霉菌变质、器材灭菌变形、铝箔破漏等层层困难。再经过不断分析总结、重新设计方案、改造实验流程,最终成功做出了香甜可口的甜酒酿。在分析讨论中,学生认真分析各种失败原因,例如:(1)在拿到灭菌后扭曲变形的塑料锅盖后,再一次加深了印象,即塑料制品不耐高温,应该选择玻璃或者铝箔材质的锅盖。(2)关于覆盖酒酿的铝箔

穿孔问题,查阅资料发现铝箔对于酸碱和强电解质敏感,而发酵过程中不仅产生乙醇,也会产生有机酸等,使得乙醇纯度不高,加之生物的电解质,都可能造成铝箔穿孔,此时换成塑料保鲜膜应当是可以避免的。(3) 直接看酒酿上的发霉状况,注意到黑毛很多,估计其中黑曲霉是优势的菌种,而且其他小碗中的长毛也是黑色的菌丝生长。酒曲根霉在开始时是优势菌种,其率先进行发酵,并在代谢中积累了水和酒精等产物,创造了湿润环境,此时空气中的酵母菌和其他霉菌也开始生长并产生竞争。(4) 因为霉菌适宜性更强大,其能够在温暖湿润的环境大量生长,让酵母菌难以竞争。经过一系列的分析后,学生总结了甜酒酿制作过程中每一个环节可能的疏漏,在全过程中探索了酒酿发酵过程之“趣”,锻炼了学生查阅文献、深入探究、发现问题和解决问题的能力。

在随后进行的实验展示与讨论课环节中,每

个小组安排 1-2 名组员进行展示讲解,与其他小组进行交流讨论,各小组之间分享探究实验心得,在教师的引导下层层深入,共同探讨解决微生物学发酵的生物工程复杂问题。同时,实验讨论课视频可以作为下一届学生探究的参考资料。自选实验的训练为学生后期的发酵工程、单元操作和企业实习等课程均奠定了良好的实验技术基础。

## 5 课程目标达成度分析

经过 3 年的教学改革探索和实践,对三届生物工程专业学生进行课程目标达成度的分析。三维课程目标在目标达成中所占比例为:知识探究占比 50%,能力建设目标占比 30%,价值人格目标占比 20%,按照这个比例,拆分和整理每位学生分数,可以计算出整体课程目标达成度。以此方式计算连续三届生物工程专业学生的课程目标达成度,数据见图 2。

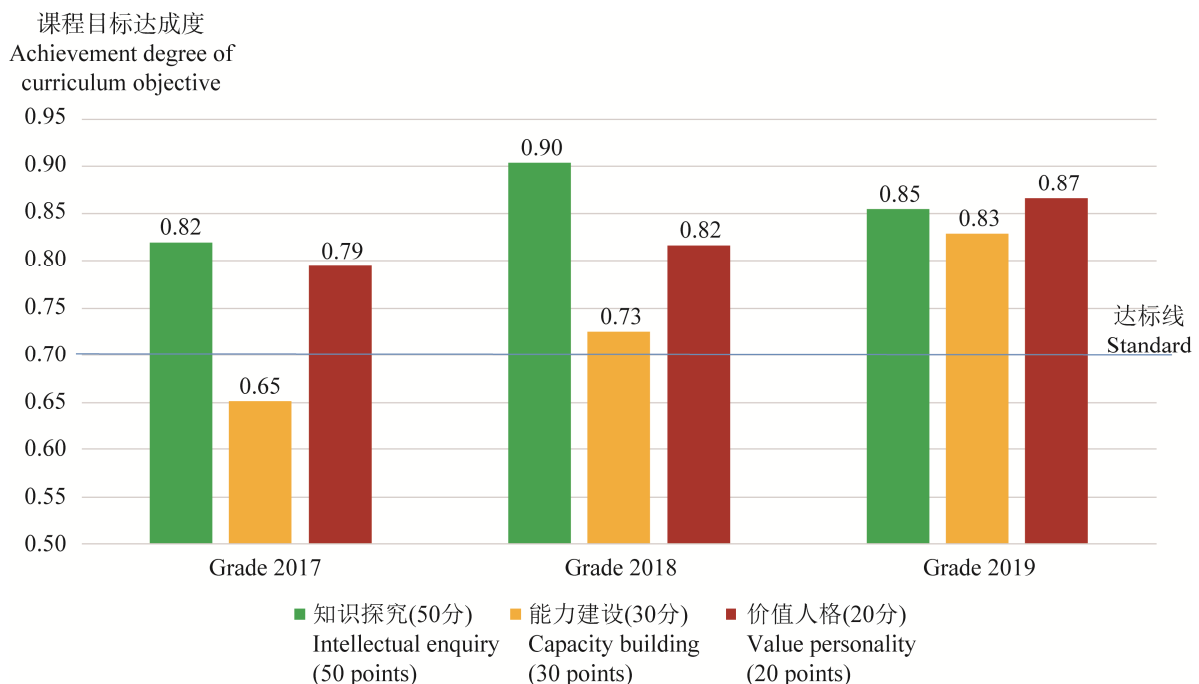


图 2 三年微生物学实验课程目标达成度比较

Figure 2 Comparison of goal achievement of Microbiology Experiment course in three years.

由图 2 可知,2017 级学生的“微生物学实验”的课程目标达成度最差,按照 0.7 作为达成度的标准,其能力建设目标只有 0.65,并未达成,3 个目标达成度平均为 0.76,课程总体算是勉强达标。2018 级学生课程目标达成度明显提升,每个目标项目都过了 0.7 达标线,平均为 0.83。2019 级学生采用的课程目标达成度平均为 0.84,3 个目标达成度相对平均。

纵向比较知识探究目标达成度,以 2018 级学生完成最好,达到了 0.9。该指标点是传统教学方式中成绩组成的主体,也是学生花费时间和精力最多的部分,每一届学生获得成绩最高的项目,3 年平均 0.86。该数值由实验课堂表现和实验报告构成,实验课堂表现考查学生课堂的独立实验能力,对应毕业要求指标点中将生物学基本理论用于分析生物工程专业复杂工程问题能力的基本素养体现。实验报告的撰写能力反映学生在实验原理理解、结果观察、总结分析和反思方面的学习情况,是生物工程专业培养计划中重要的部分。

能力建设目标是 3 个目标中达成度最低的,平均 0.74,其中以 2019 级学生达成度 0.83 最高。该指标点是实验操作的考核,反映学生对微生物

学实验技术的应用和创新能力,培养学生具有创新设计实验和解决复杂生物工程问题的能力。连续三届学生的该指标点数值逐年显著提升,说明教学改革措施逐步提升了学生们能力的训练,在此方面获得了越来越好的达成度。

最后,课程思政目标的 3 年平均值为 0.83,是 3 个目标中比较稳定的指标。由实验课前自学自测和课堂记录本 2 个部分组成,自测是课前自学的效果体现,检验了学生主动完成实验原理知识、实验操作流程自学的情况,是自我管理和不断获取新知识的体现,培养学生养成终身学习的习惯。课堂表现中实验记录的情况反映从事科研工作的基本素质,对应毕业要求指标点中具备持续提升自我和适应发展的能力。连续 3 年数据平稳缓慢提升,说明课程对学生们主动自学、终身学习习惯的培养和引导在比较稳定的增值中。

对三届学生课程目标达成度各分项进行方差分析的数值见表 1。经过显著性检测分析,3 个分项的学生成绩数值及总体目标达成度均表现显著差异,其中知识探究和总体课程目标达成度表现强显著性差异,说明逐年针对性的教学改进措施对教学目标达成度都产生了显著影响。

表 1 微生物学实验课程目标达成度显著性方差分析

Table 1 Analysis of significant variance of goal achievement degree of Microbiology Experiment course

年级/均值方差	知识探究	能力建设	课程思政	课程目标达成
Grade/Mean variance	Intellectual enquiry	Capacity building	Value personality	Achievement of course objectives
2017 级	40.92±2.11	19.54±8.69	15.89±2.17	76.35±9.40
Grade 2017				
2018 级	45.21±1.55	21.76±5.74	16.33±1.80	83.30±7.58
Grade 2018				
2019 级	42.71±2.93	24.87±3.53	17.32±0.98	84.90±5.36
Grade 2019				
显著性分析	0.000**	0.021*	0.019*	0.001**
Significance analysis				

显著性结果以\*表示, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ ; 表中数据前三列为平均值±标准差

Significant results are indicated by \*, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ ; the data in the first three lists are mean±standard deviation.

在我校持续改进的 3 年微生物学实验教学中,每一届的教学设计都保留上一年的有效措施,去芜存菁,再加入新的设计举措。线上线下混合式教学是 3 年课程教学的基本运行方案,得益于课程具有独立制作的全套 MOOC 资源,可以充分利用网络平台,及时有效地了解学生的学习情况,通过收集学生的在线学习数据,及时解决学生课程学习中遇到的问题。同时,借助平台的数据统计功能,通过平时作业的分析,及时了解学生学习中的薄弱点,在教学中及时加以回应。独立观察每一届的数据,可知第二年的改进获得的总体课程目标达成度提升最高,分析改进措施,自选实验的设计对生物工程专业学生各种能力的综合培养具有重要的作用。自选实验打破了常规既定的分组,从个人兴趣为出发点,志趣相投的小伙伴组建新的团队,从查阅资料、准备实验开始,到完成项目、汇报分享,全程锻炼了学生运用微生物学实验基本知识的综合分析及实际应用能力,提升学生设计实验和解决复杂生物工程问题的能力。

## 6 结语

生物工程是生物化学、微生物学、遗传学、细胞生物学、化学和能源学等各学科的结合,应用范围十分广泛,包括医药、食品、农林、化工、冶金、环保等方面,未来必将会为世界资源、环境和人类健康等问题的解决提供美好的前景。工程认证的特点是以产出为导向,重在培养毕业生工程能力和素养,而“微生物学实验”课程正是生物工程专业核心的技术基础课程,对毕业生工程能力的培养具有重要作用。本文引入布鲁姆教学

框架,结合学校育人理念,设计知识、能力、思政三维课程目标,理清教学思路,研究持续改进,逐步提升了微生物学实验课程的目标达成度,具有实验教学研究和推广的价值。

## REFERENCES

- [1] 郭哲,王玉佳,王孙禹. 聚焦专业认证改革 提升工程人才培养质量:“评估认证与中国高等工程教育质量保障座谈会”综述[J]. 高等工程教育研究, 2021(6): 196-198.  
GUO Z, WANG YJ, WANG SY. Focus on professional certification reform to improve the quality of engineering talents training—summary of “symposium on evaluation certification and quality assurance of higher engineering education in China”[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2021(6): 196-198 (in Chinese).
- [2] 中国工程院教育委员会. 《中国工程教育发展报告 2016》[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018: 5-8.  
Education Committee of Chinese Academy of Engineering. Annual Report on Development of China Engineering Education 2016[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018: 5-8 (in Chinese).
- [3] 李楠, 李正良. 新时代课程建设与教师教学评价研究[J]. 中国大学教学, 2019(10): 91-96.  
LI N, LI ZL. Research on curriculum construction and teachers' teaching evaluation in new era[J]. China University Teaching, 2019(10): 91-96 (in Chinese).
- [4] 张霞, 曹阳, 陈峰, 张萍, 秦敏君. “同伴教学法”在“微生物学实验”混合式教学中的应用[J]. 微生物学通报, 2020, 47(5): 1621-1625.  
ZHANG X, CAO Y, CHEN F, ZHANG P, QIN MJ. Application of peer-instruction in blended teaching of Microbiology Experiments[J]. Microbiology China, 2020, 47(5): 1621-1625 (in Chinese).
- [5] 张霞, 张雁, 陈峰, 夏娟. “微生物学实验”混合式教学实践与评价[J]. 微生物学通报, 2020, 47(5): 1615-1620.  
ZHANG X, ZHANG Y, CHEN F, XIA J. Practice and evaluation of blended teaching in Microbiology Experiments[J]. Microbiology China, 2020, 47(5): 1615-1620 (in Chinese).