

· 高校生物学教学 ·

# “双一流”建设背景下“生物工艺学原理”多维化教学实践与思考

周海岩, 胡忠策, 蔡雪, 柳志强, 金利群\*, 郑裕国

浙江工业大学 生物工程学院, 浙江 杭州 310014

周海岩, 胡忠策, 蔡雪, 柳志强, 金利群, 郑裕国. “双一流”建设背景下“生物工艺学原理”多维化教学实践与思考[J]. 生物工程学报, 2024, 40(11): 4288-4300.

ZHOU Haiyan, HU Zhongce, CAI Xue, LIU Zhiqiang, JIN Liqun, ZHENG Yuguo. Practice and thinking of multi-dimensional teaching of “Principle of Biotechnology” under the “Double First-Class” initiative[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2024, 40(11): 4288-4300.

**摘要:** 在“双一流”建设背景下, 为提升课程教学效果和人才培养质量, 浙江工业大学对生物工程领域核心课程“生物工艺学原理”进行了课程改革: 通过构建科学合理的教学结构、完善“教与学”的过程管理、实施多维化教学实践等措施, 促进了专业课程教学质量的提升和培养目标的达成, 对支撑“双一流”学科建设具有重要的意义。

**关键词:** 生物工艺学原理; 课程改革; 人才培养; 双一流

## Practice and thinking of multi-dimensional teaching of “Principle of Biotechnology” under the “Double First-Class” initiative

ZHOU Haiyan, HU Zhongce, CAI Xue, LIU Zhiqiang, JIN Liqun\*, ZHENG Yuguo

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

**Abstract:** The Principle of Biotechnology is a compulsory course for undergraduates majoring in bioengineering at Zhejiang University of Technology. In response to the “Double First-Class” initiative and in order to improve the teaching effect of this course and the quality of talent training, we reformed the teaching of Principle of Biotechnology, the core course in bioengineering. Specifically, we reorganized the teaching contents, improved the process management of teaching and learning, and implemented multi-dimensional teaching practice. These measures improved

资助项目: 浙江省第一批省级课程思政教学研究项目(2021-54); 浙江工业大学2021年度校一流本科课程培育项目(2021-69)  
This work was supported by the First Batch of Provincial-level Ideological and Political Education Research Project (2021-54) and the First-class Undergraduate Curriculum Development Program at Zhejiang University of Technology (2021-69).

\*Corresponding author. E-mail: jllq@zjut.edu.cn

Received: 2024-01-17; Accepted: 2024-06-19

teaching quality and promoted the achievement of training goals, which was of great significance for developing “First-Class” disciplines.

**Keywords:** Principle of Biotechnology; course reform; personnel training; Double First-Class

在“双一流”建设背景下开展高质量的本科生教育,不仅是“双一流”建设的重要表征,同时也对“双一流”建设起着重要的支撑作用,是高校人才培养的重点<sup>[1]</sup>。而“双一流”建设需要更多地结合本校的特色<sup>[2]</sup>。作为本科生培养的重要基础性环节,课程学习直接影响着教育的质量和水平,因此受到各级部门和各培养单位的高度重视。

浙江工业大学生物工程学院自 1981 年开办生物工程本科专业以来,已开设生物工程专业本科生课程“生物工艺学原理”30 余年。该课程是与生物化学、微生物学、基因工程、生物分离工程、化工原理和物理化学等诸多学科有广泛关联的一门理论应用课程。“生物工艺学原理”是本校生物工程专业的专业必修课,是在有关技术基础课和专业基础课如“化工原理”“物理化学”“微生物学”“生物化学”等课程基础上开设的一门专业课;与同时开设的“生物分离工程”“生物工程设备”和“代谢工程”等专业课程有着密切的联系,同时又有明确的分工。本课程主要讲授微生物发酵生产的基本共性原理、典型发酵(包括好氧、厌氧)产品的生产技术和工艺。通过本课程的学习,使学生具有选育新菌种和探求新工艺、新设备及从事微生物产品研发的能力,培养在生物工程领域从事生产管理控制、产品开发、科学研究和工程设计等方面的高级工程技术人才。为此,本课程教学的总目标是使学生掌握核心专业知识,深入理解发酵生产过程中的一些共性原理,使学生能够灵活运用所学理论知识,并提升分析、解决工程实践中复杂关键问题的能力和创新意识。在“双一流”建设背景下,构建科学合理的

教学体系,完善“教与学”的过程管理,实施多维化教学实践,对促进课程教学质量的提升和培养目标的达成具有重要的意义。

## 1 “生物工艺学原理”教学的多维化教学实践

新质生产力是高质量发展的强劲推动力、支撑力。生物制造可从根本上改变传统制造业的生产模式,被列为我国重点发展的新型生产力,目前正逐渐向制药、轻工、食品、环保、化妆品、饲料、能源等领域渗透式发展。随着生物工程领域的蓬勃发展,新的技术和挑战不断涌现<sup>[3]</sup>,因此,要求生物工程专业的学生必须具备扎实的专业理论基础、系统全面的技术知识体系、宽广的专业视野、自主创新的能力,以及勇于挑战科技前沿问题和践行科技强国的素养,才能更好地适应生物制造产业发展对本专业人才的需求<sup>[4]</sup>。为此,本课程组尝试进行多维化教学并取得了良好的效果。

### 1.1 与时俱进,持续改进教学内容和方案

针对“生物工艺学原理”在教材和教学内容存在与其他生物工程系列课程重复的部分及一些知识较陈旧的问题,随着生物技术和相关重大成果的不断涌现,涉及“新技术”“新理论”“最新研究进展”的内容比例需要相应调整和增加。因此,需要以教材为基础,不断更新和拓展教学内容。此外,本课程组利用教学媒体或微信公众号,例如“发酵人社区”“发酵大师网”“见微悟理”“中国生物技术网”“代谢工程与合成生物学”等,促进、激励学生自主学习和探索与“生物工艺学原理”课程相关的信息和技

术发展动态。

另外,综合利用多方资源并建立完善的课程组运行制度,对建设“生物工艺学原理”课程是非常有利的。毕业后从事相关领域的科研工作人员有坚实的理论基础和实操经验,可结合工作中遇到的实际问题,对课程教学内容和目标进行分析、梳理,对教学设计出谋划策,并提供有建设性的意见和建议。另一方面,处于生产实践最前沿的企业工作人员,注重从解决实际问题的角度来考虑知识模块的设置,在课堂知识的延伸和拓展过程中具有重要的作用。此外,企业的技术管理人员一般也是某一领域的技术专家,对技术变革的需求有更直接的体会,对未来技术创新和人才需求有更明确的思路,能够清晰地提炼出满足实际需求的技术(知识)模块。

课程组建立了完善的课程评估和持续改进制度,打造开放性的新型教学组织模式。通过邀请相关领域的教学专家对课程建设进行阶段性评估并提出调整意见,将学科领域发展的变化和进展及时反映在课程教学方案的调整中。近年来,强化学生在教育中的主体地位,注重学生体验成为人才培养质量保障系统的一个潜在的组成部分。美国西雅图华盛顿大学研究生教育研究中心主任 Maresi Nerad 教授提出要从学生的视角出发,认真聆听他们的体验与诉求,并将其作为教育质量改进的重要参考依据<sup>[5]</sup>。本课程组除定期召开课程组会议外,还不定期组织线上线下师生交流会,了解学生对教学内容难点和重点的理解和掌握情况,根据学生反馈的意见和建议,进行相应的课题教学侧重点的调整,并进而优化、改善教学模式,深化“新理论”“新技术”,形成良性循环的持续改进模式(图 1)。例如,在讲授发酵过程控制与发酵工艺优化之溶氧控制相关内容时,考虑到  $K_{La}$  (以浓度差为推动力的体积溶氧系数)的

定义和计算方法在同一学期开设的“生物工程设备”教学大纲中已被列为重点内容,为了避免重复,在“生物工艺学原理”这门课上将其作为普通内容进行讲解,并将与溶氧相关的参数测定列为自学内容。但是在线上交流的时候,很多同学反映溶氧相关的内容比较难掌握,虽然在其他课程上也有相关内容的学习,但在概念的理解、实际案例的分析和参数的计算等方面仍然存在困惑。根据学生们的反馈,课程组及时调整了教学的侧重点,把溶氧控制纳入到教学的重点和难点中,为了使学生们深入理解和掌握该知识模块,引入构巢曲霉发酵生产赖氨酸 B 溶氧调控的案例,同学们反映这种调整对他们的学习效果有积极的作用。随着合成生物学和代谢工程的发展,基因工程菌的发酵逐渐由实验室走向工业生产。因此,课程组在教学大纲中增补了这部分内容,同时删除了单细胞蛋白发酵生产等一些陈旧的知识模块。

## 1.2 不断提升师资水平,科研和教学协同推进

任课教师不仅需要了解本科生成长的规律、掌握现代教育手段,更重要的是需要具备对学生认真负责、热爱教育工作的精神。目前课程组教师共有 6 人,形成了一支学历、年龄结构、职称结构和学缘结构均较为合理的教学梯队。课程组的任课教师均拥有博士学位、高级职称和 1 年以上的生物制造行业工程实践经验,其中 5 人具有国际化教育背景,研究领域涵盖发酵工程、酶(蛋白质)工程、合成生物技术等方向,具有较高的专业素养和科创精神。课程组有充足的经费保障每位任课教师的专业化发展,每年参加培训教学会议 4-5 人次,包括教育理论学习、教学观念转变、课堂结构改革、教学技能提升等相关的具有指导性、针对性、实践性的教学活动。

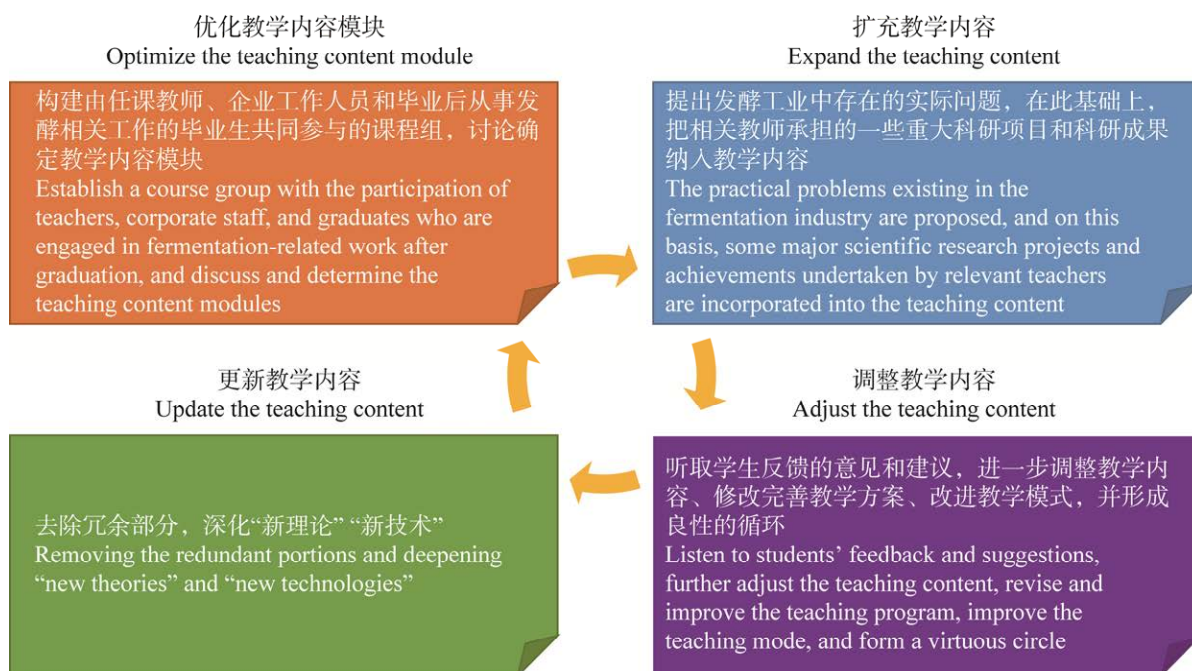


图1 良性循环的持续改进模式

Figure 1 A virtuous cycle of continuous improvement.

在当前的时代，知识处于实时更新的状态，而传统的课程授课过多地强调单个的、静态的技术，缺乏以项目为载体的动态发展的教学理念，缺少培养学生工程能力和创新能力的有效举措。为了能更好地适应时代的发展，更游刃有余地教育和引导学生，任课教师除了需具备教授专业知识的能力外，还需具备扎实的学术根底、广阔的学术视野，以及不断追逐学术前沿的意识和不断提高专业技能的志向。美国著名教育改革家 Abraham Flexner 认为大学不能简单地迎合时尚，必须满足经济社会发展的长远要求，以自己的实力和声望对科学和重大而紧迫的问题进行研究，对相应的社会政策产生影响<sup>[6]</sup>。本课程组聚焦国家和区域重大发展规划，以国家和地区经济和社会发展的重大需求为导向，鼓励和支持授课教师从事生物工程领域国际和国内的项目合作开发和交叉学科研究，着力提升教师解决重大问题和原始创新的能力，全面提升教师的专业水平，推进科研和

教学的协同创新发展。事实上，本课程组任课教师在从事教学工作的同时从事着多项重大科技项目的研发工作，定期参加相关的学术培训、交流和行业企业实践，时刻关注国内外最新研究动态，不断提升科学研究水平，科研成果丰硕，构成了科研和教学协同发展的教学团队。任课教师可以在课堂上将最新的科技前沿信息或自己的科研成果内化为课堂拓展知识传递给学生，并潜移默化地感染学生形成主动探索科学和技术问题的思维和素养。

### 1.3 改革教学结构和模式，强化教与学的有机互动

大学是进行专业教育和研究以及人才培养的机构<sup>[7]</sup>。课堂学习是学生获取专业知识和先进信息的主要渠道。而传统的课堂授课往往采取“知识的传授”模式，学生在课堂上通常扮演笔记的记录者或知识的被动接收者，课堂参与感不强，自由思考和探索创新的空间有限。因此有必要对本课程进行改革，优化教学结构和

模式，提高学生在课堂学习中的参与度，强化学生的主体地位，使课堂教育更加符合人才成长规律。新时代下，师生关系已逐渐发展成建立在人格平等基础上的平等对话、相互尊重、共同探索、协同进步的“主导与主体”的关系。作为在教学过程中起导向作用的授课教师，不仅承担着课程内容的选择、教学过程的管理、教学模式的设计、学生学习主动性的调动以及学习方法的形成等任务，还需进行全局性、系统性、前瞻性的课程教学顶层设计与教学改革创新。为了促进教与学的有机互动，使教学活动充满活力和创造力，本课程组构建了“以生为本、教学并重”的教学模式，确立了学生在知识学习中的主体地位，充分调动教与学的积极性和主动性，引导学生与授课教师形成双向互动的关系<sup>[8]</sup>，为学生主体作用的发挥创造条件，增强学生的主体能力，形成了“主导-主体”的教学结构(图 2)。

发展新质生产力的核心要素是科技创新。大学是教育新人成长的地方，是个体间富有生命的交往，是学术蓬勃发展的领地<sup>[9]</sup>，而一个不容忽视的问题则是传统课堂学习中学生创新动机不足，一个重要的原因就是课堂教学缺乏创新措施。美国心理学家麦克利兰认为，成就动机越强，在困难或挫折面前越会表现出坚韧性，越是勇于创新<sup>[10]</sup>。激发学生的创新潜能和创新智慧，使学生充分感受到创造性学习的乐趣对于“双一流”创新型人才培养尤为重要<sup>[11]</sup>。激发学生的创新动机，促进一流拔尖人才的培养，在未来很长一段时间内也是高校一流人才培养的重点。浙江工业大学生物工程学院是浙江省第一个、全国较早设立生物工程学科和专业的学院，其生物工程专业列入国家一流专业、国家特色专业和浙江省优势专业，在国内外生物工程学术界和产业界具有较高的知名度和影响力，在资源配置、师资水平、生源质量等方

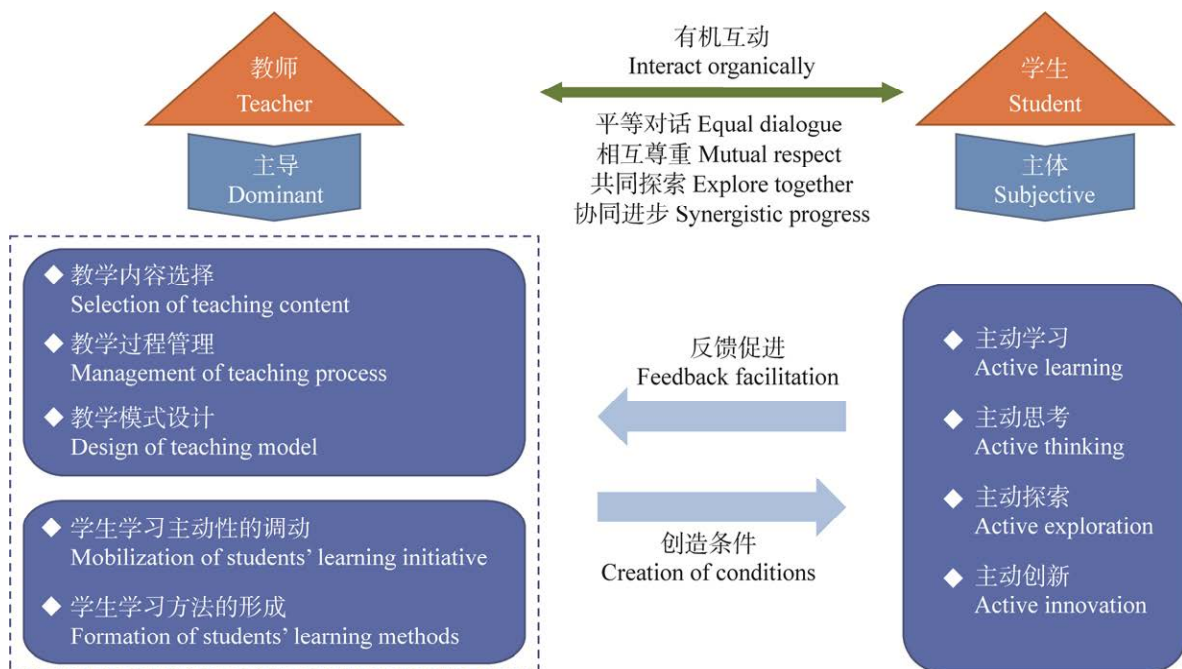


图 2 在“主导-主体”的教学结构中师生的作用

Figure 2 The role of teachers and students in the “dominant-subjective” teaching structure.



面具有较大的优势,有条件为学生创设有利于学习的支持性环境,使他们成为潜在的一流创新型人才。曾任密歇根大学校长的 James Duderstadt 提出,在知识时代,高等教育的根本性转变在于从简单地吸收知识转向培养学生质疑知识、创造知识的能力<sup>[12]</sup>。培育创新型人才也是创新型国家建设的重要举措<sup>[13]</sup>。为了适应国家对一流拔尖人才培养的需求,本课程组以社会可持续发展为宗旨,面向国家和区域发展规划,将提高人才培养质量、科技创新水平和服务社会能力等目标融入课程改革的导向中,把促进人才成长作为出发点,优化课程结构和授课模式,尊重学生的个性以及挑战权威的权利,鼓励学生勇于探索、激情求解,加强学生理性质疑、合理反思的思维能力训练,以提高学生的创新意识和创新能力;在课程教学的过程中,将多种教学方式(案例式教学、问题式教学和项目式教学等)融入课程教学中,由浅入深、由点到面、由简单到复杂,潜移默化地

培养和提高学生的创新思维能力,切实将改革的重点引导到对学生的高质量、内涵式培养上来,促进一流创新型人才的培养。

#### 1.4 加强“教与学”的过程管理,提升教学效果

为提升教师授课能力,在学校学院制定的学评教、督导听课和“优课优酬”等制度的基础上,本课程组借助工程教育认证的机会,进一步完善了课程信息化平台和师生评价体系,通过整合线上线下优势资源,在信息化平台“学习通”APP 上建立了突出生物工程专业工科特色的教学体系,建设了课程学习效果测试题库,实现课程组内资源师生共享,根据知识或技术模块引入案例或项目式教学(表 1)。建立师生课程微信群,让“教与学”的过程充满互动,全面释放师生的创造力和活力。实施由学生主动参与课堂内容和秩序的教学策略和方法,开展生物工艺学教学授课。针对“生物工艺学原理”课程教学的目标,目前本课程采取的教学方法主

表 1 “生物工艺学原理”课程引入的部分项目案例

Table 1 Part of the project cases in the Principle of Biotechnology

编号 Number	项目案例 Project cases	相关的知识或技术模块 Relevant knowledge or technology modules
1	β-丙氨酸基因工程菌的构建和发酵工艺优化 Construction of genetically engineered strain for β-alanine biosynthesis and optimization of fermentation process	高密度发酵技术 High-density fermentation technology
2	S-腺苷蛋氨酸的菌种选育和发酵调控 Strain breeding and fermentation regulation of S-adenosylmethionine	酵母菌的好氧发酵原理 Principle of aerobic fermentation of yeast
3	无质粒工程菌株发酵 D-泛解酸的工艺优化 Process optimization for enhanced D-pantoic acid biosynthesis by plasmid-free engineered strain	分批补料发酵方式 Fed-batch fermentation mode
4	氨基酸营养缺陷型工程菌发酵生产 L-甲硫氨酸 Fermentative production of L-methionine by amino acid auxotrophic engineered strain	培养基的优化、营养成分流加 Optimization of culture media and feeding of nutrients
5	丝状真菌构巢曲霉的选育和发酵生产棘白菌素 B Breeding of the filamentous fungus <i>Aspergillus nidulans</i> and fermentative production of echinocandin B	溶氧的控制 Control of dissolved oxygen
6	谷氨酸棒状杆菌工程菌发酵生产 L-高丝氨酸 Fermentative production of L-homoserine by engineered <i>Corynebacterium glutamate</i>	发酵动力学 Fermentation kinetics

要有：理论教学与专题报告相结合、教师讲授与学生分组讨论相结合、课内授课与课外科技项目相结合。

例如，在专题报告的教学实施中，选取课程组教师研究比较成熟的科研项目“ $\beta$ -丙氨酸基因工程菌的构建和发酵工艺优化”作为教学资源。通过专题的报告，使学生系统掌握课上所学各个模块的知识，并对各个工艺的关键技术和科学问题进行分解和剖析，启发学生自行设计实验方案进一步改善工艺流程，培养学生创新素质和能力，基本思路如图3所示。涉及的生物工艺学知识链条如下：代谢途径的设计→关键途径/酶的筛选→基因表达的调整或酶的突变→摇瓶发酵合成 $\beta$ -丙氨酸→发酵培养基和培养条件优化→发酵罐的分批补料发酵工艺优

化→发酵参数调控→发酵动力学模拟→发酵菌株的进一步优化等全套的技术研发内容。

适当的学习负荷、合理的自主学习途径和过程评价方式对提升教学效果具有重要的作用，因此，在强化教与学有机互动的同时，应加强学习过程管理，提高过程考核比例。本课程组设计和优化了符合学习规律、突出学习成效的模块化和系统性的学习资料库以及多元化过程测评模式。例如，课前在“学习通”平台上发布课程PPT和拓展资料，以方便学生课前预习和课后复习；课后有针对性地布置作业，以测试学生学习效果并巩固课上所学知识。目前，该课程设置48学时3学分，进行小班化教学(学生规模在20-40人左右)，有条件进行学生自主学习的训练。在每一个知识或技术模块授课完

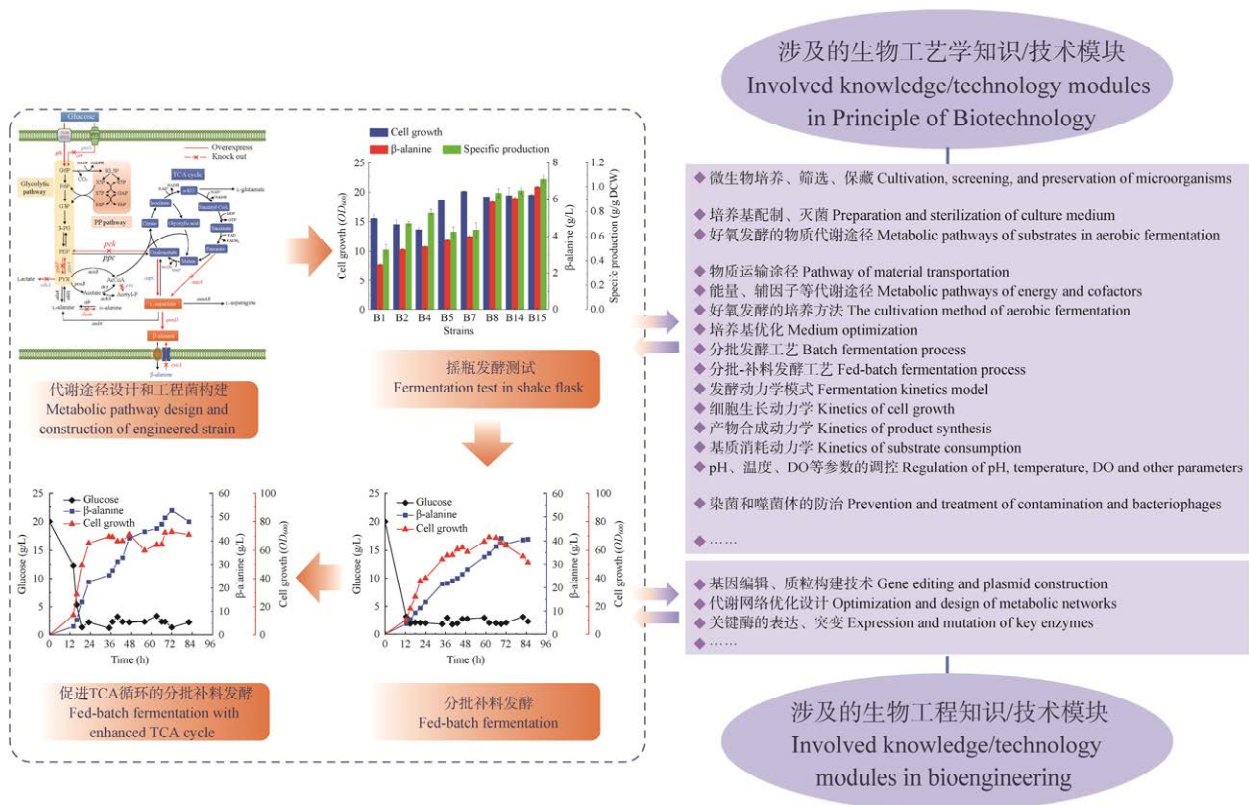


图3 课题设计基本思路<sup>[14]</sup>

Figure 3 The basic idea of the project design<sup>[14]</sup>.

成后,授课教师发布一个主题任务,由3-5位同学根据自己的基础、兴趣和追求组成小队,分工合作进行相关文献检索和PPT交流汇报,突破传统的综述汇报模式,鼓励学生提出自己的想法和建议,加强每一位同学自主学习和创新的训练,结合师生评价、生生评价和自我评价等方式(图4),进一步完善该主题任务,提升学习效果。支持对个人成就和行业发展具有较高追求的学生参与到教师的科研项目中,在项目制学习小组中进行历练,深化理论知识的同时增强工程实践能力。

### 1.5 注重课程人文素质教育,推进协同育人

为培养学生的创新精神和健康人格等,本课程组首先引导教师潜心教学和研究,发挥教师的示范和教育作用;同时强化对学生的人文素质教育,在教学目标的设计上,根据课程特点,系统设计课程的三维目标,包括知识目标、能力目标和情感目标,其中情感目标,即价值观目标,强调对真善美的价值追求以及人与

自然和谐发展的理念;在课程知识范围内挖掘人文元素、梳理建成了案例库(表2);加强课程文化建设,将人文教育融入教学内容中,实现人文素养教育与专业课程的深度融合。

在发酵过程和工艺控制的授课内容中,引入了本课程组所在团队的科研成果“冬虫夏草中国被毛孢深层发酵技术工业化应用”(案例5)和“阿卡波糖生产关键技术及产业化”(案例6)这2个案例,以达成人文素养教育目标。通过引入我国药用真菌的生产案例,强化学生对液体深层发酵方式的认知,并通过对传统采集、人工栽培和现代发酵技术的工艺进行对比,讲授液体深层发酵的优势以及发酵过程和工艺控制等知识点。通过介绍该实例,突出我国传统中药材药效显著、资源丰富、生产技术先进等优势,培养学生的科创精神和环保意识。近年来,很多领域在基础工艺和核心技术环节对高素质工程化产业化人才的需求日渐迫切。因此,为了培养勇于承担历史重任的应用型人才,在工科学生的人才培养过程中需要协同提升人文

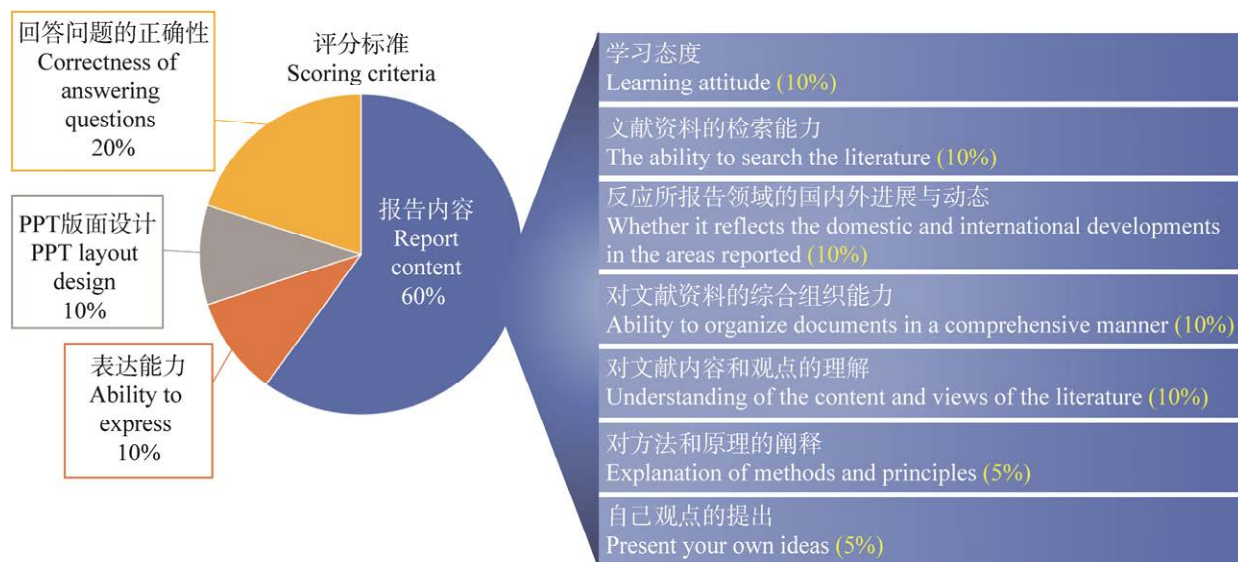


图4 主题汇报评分标准

Figure 4 Scoring criteria for subject presentations.



表2 “生物工艺学原理”课程的部分人文素养教育案例

Table 2 Part of the humanistic literacy cases in the Principle of Biotechnology

编号 Number	人文案例 Humanistic literacy education cases	对应的课程内容 Corresponding course content
1	井冈霉素的发现和颠覆性工业生物技术革新: 激情求解和民族自信 The discovery of Jingtangmycin and disruptive industrial biotechnology innovation: passion for solving and national confidence	绪论(工业生物技术发展、生物技术产业、生物工程专业学生的使命) Introduction (industrial biotechnology development, biotechnology industry, and the mission of students majoring in bioengineering)
2	菌种保藏: 知识产权保护、生物安全意识、遵纪守法 Seed preservation: protection of intellectual property, biosafety awareness, and observation of law and disciplines	工业发酵种子扩大培养技术(菌种保藏、种子质量) Seed propagation technology for industrial fermentation (strain preservation, seed quality)
3	可再生资源再利用: 节约意识和环保意识 Reuse of renewable resources: awareness of conservation and environmental protection	发酵培养基的制备及灭菌技术(培养基成分及来源) Fermentation medium preparation and sterilization technology (medium composition and source)
4	发酵法产甘油: 社会主义核心价值观 Glycerol production by fermentation: the core value of socialism	发酵培养基的制备及灭菌技术(培养基制备技术) Fermentation medium preparation and sterilization technology (medium preparation technology)
5	冬虫夏草中国被毛孢深层发酵技术工业化应用: 科创精神、环保意识 Industrial application of deep fermentation technology of <i>Hirsutella sinensis</i> from <i>Cordyceps sinensis</i> : scientific innovation spirit and environmental protection awareness	发酵过程和工艺控制(温度对发酵的影响及其控制) Fermentation process and process control (influence of temperature on fermentation and its control)
6	阿卡波糖生产关键技术及产业化: 科创精神 The key technology and industrialization of acarbose production: the spirit of scientific innovation	发酵过程和工艺控制(温度对发酵的影响及其控制、pH对发酵的影响及其控制、泡沫的控制、发酵终点与异常发酵、发酵过程染菌及其防治) Fermentation process and process control (influence of temperature on fermentation and its control, influence of pH on fermentation and its control, foam control, fermentation end point and abnormal fermentation, contamination of fermentation process and its prevention)
7	普洱茶生物制造技术: 严谨、求真、创新、敬业的工匠精神 The bio-manufacturing technology of Pu'er tea: the craftsman spirit: rigorous, truth-seeking, innovative, and dedicated	发酵分类及动力学(发酵分类、发酵动力学) Fermentation classification and kinetics (fermentation classification, fermentation kinetics)
8	啤酒发酵中麦糟的再利用: 环保意识, 责任担当 Reuse of lees in beer fermentation: environmental protection awareness and responsibility	典型发酵产物合成机理(厌氧发酵) The synthesis mechanism of typical fermentation product (anaerobic fermentation)
9	生物科技推动人类发展: 自信、求实、创新精神 Biotechnology prompts human development: the spirit of confidence, realism, and innovation	典型发酵产物合成机理(好氧发酵) The synthesis mechanism of typical fermentation product (aerobic fermentation)

素养和科技创新能力,通过案例6的引入,讲述阿卡波糖发酵生产现状,强化学生对开发阿卡波糖发酵生产重要性的认知,并介绍“阿卡波糖原料发酵生产和工业化”的艰难历程,讲授发酵生产调控方式等知识点。通过设立科学家典范,鼓励学生将个人发展方向与生物制造业的科技进步紧密联系起来,激发学生不畏艰难、勇攀科技高峰的勇气,提升学生发展壮大生物制造业的志气。

## 2 建设成效

课程组围绕培养工程科技创新人才、服务国家重大战略需求和经济社会高质量发展的育人使命,进行不断探索和实践,取得了良好的成效。教学改革主要在生物工程专业2019级(80人)和2020级(70人)本科生中实施。根据对课程教学目标达成情况的分析,150位同学的整体目标平均达成率超过95.00%(表3),表明学生能较好地掌握“生物工艺学原理”相关的理论知识和技能,在专业学习和素养培养方面也取得了良好的成效。

近年来,学生广泛参与课外科研活动和科技竞赛,实践创新能力得到提升。学生团队连续3年获“互联网+”大学生创新创业大赛金奖,累计3次荣获全国“挑战杯”中国大学生创业计划竞赛金奖。本专业学生继续深造率达到55%左右,毕业生综合素养和工程创新能力得到用人单位的肯定,能较快成长为企业技术或管理的核心成员。

本课程入选2021年度浙江省首批课程思政示范课程、浙江工业大学2021年度高校一流本科课程培育项目。浙江工业大学生物工程学科入选“十四五”省优势特色学科。课程组教师积极承担和参与国家一流专业等各级教学建设和改革项目,参与完成学科专业著作《浙江

省生物制造产业发展报告》<sup>[15]</sup>,为生物制造领域相关企事业单位的研发工作以及科技、经济和产业部门科学决策提供参考。2023年课程组1名教师入选浙江省高层次人才特殊计划。

本课程组的课程改革成效受到专家和同学们的好评。部分改革措施推广到2022级和2023级生物与医药专业学位硕士研究生(共200多人)。教育成果“报国铸魂,服务强基,团队固本——高层次生物工程创新人才培养的探索与实践”获得2022年浙江省研究生教育学会教育成果一等奖。“科创精神在特色真菌中药生物制造发展中的指导和实践”入选2023年浙江省优秀研究生教学案例。同时,拍摄的微视频等教学资源正积极推进上线发布,为实现优质资源的共享作出贡献。

## 3 总结与思考

如何使学生掌握核心专业知识,深入理解发酵产品生产过程中的一些共性原理和技术,以及培养学生灵活运用所学理论知识分析、解决复杂工程问题的能力和创新意识是“生物工艺学原理”课程的首要任务。在此基础上,培养学生具有宽广的专业视野、自主创新的能力,以及勇于挑战科技前沿问题和践行科技强国的素养,是本课程的总目标。在双一流建设的背景下,笔者对“生物工艺学原理”课程教学的改革进行了初步探索,通过对传统教学的改进,强调教学内容和模式的更新、师资队伍的提升、学生学习主动性和创新意识的提高,真正将改革重点放在对学生的高质量、内涵式培养上来,提升教学质量和效果,促进一流创新型人才的培养。

本课程自教学改革以来,虽取得了一定成效,但仍存在诸多需要改善之处。为了更好地适应“双一流”对未来人才培养的需求,今后需在以下几个方面继续加强。

表3 “生物工艺学原理”课程教学目标考评方式及达成情况

Table 3 The evaluation methods and achievements of the Principle of Biotechnology teaching objectives

考核目标 Assessment objectives	考评方式/比例(%) Assessment method and proportion (%)					2019 级达 成率(%) The achievement rate of the grade 2019 (%)	2020 级达 成率(%) The achievement rate of the grade 2020 (%)	
	平时作业 Homework	期中考试 The mid-term test	课堂表现 Performance in class	期末考试 Final examination	文献调研 和专题汇报 Literature research and thematic presentations and project training	科技竞赛 和项目训练 Science and technology competition and project training		
1. 扎实的专业理论基础 Solid professional theoretical foundation	10.00	20.00	10.00	40.00	10.00	10.00	97.50	97.14
2. 系统全面的技术知识体系 Systematic and comprehensive system of technical knowledge	10.00	20.00	10.00	20.00	20.00	20.00	95.00	97.14
3. 宽广的专业视野 Broad professional vision	10.00	0.00	10.00	0.00	50.00	30.00	96.25	94.29
4. 自主创新的能力 The ability to innovate independently	10.00	20.00	0.00	20.00	0.00	50.00	96.25	95.71
5. 勇于挑战科技前沿问题的 素养 Literacy in challenging cutting-edge issues in science and technology	0.00	0.00	10.00	0.00	40.00	50.00	93.75	92.86
6. 践行科技强国的素养 Literacy in practicing the thought of "building China's strength in science and technology" 平均达成率(%) Average achievement rate (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	60.00	91.25	94.29
达成率=目标达成的人数/总人数×100% Achievement rate=The number of students who achieved the goal/Total number of students×100%.							95.00	95.24

(1) 加强教师因材施教的能力,提升学生的专业兴趣和学习积极性。在目前的高校招生政策下,一部分生物工程专业的同学缺乏化学和生物基础知识,导致其在学习本课程时有畏难情绪,因此需要任课教师定制帮扶方案,深化专业课程和思想教育的协同配合,从问题入手、鼓励学生积极寻求解决方案,激发其上进心与求知欲,切实有效地提升学生主动学习及解决问题的能力。

(2) 进一步优化考核方式,尤其是课后思考题的形式和内容。除了涵盖基本知识点以外,思想题还需加强对学生综合分析、设计、解决问题以及创新能力的考核,适当增加这部分的考核比重,提升学生在产品生产方案制定、生产工艺设计与改造等方面的能力。

(3) 进一步加强“产-教-学”的融合,强化工业价值和学术价值的导向作用,增加学生直接了解行业的渠道和实践机会。任课教师和工业界保持良好的合作与互动,根据时代发展的趋势,动态制定具有产业价值和学术价值的教学模块,邀请相关行业教师参与课堂教学,让学生更直接地了解行业发展的需求。

(4) 加大对学生主动学习、主动创新的支持和反馈力度。提供更多的途径鼓励学生了解国际先进技术和科技前沿,拓宽国际视野,激发学生立足国家重大需求,不断创新的内驱力。

## REFERENCES

- [1] 王锋,王运来,刘志江.“双一流”内涵建设的最大困境及突围探究[J].江苏高教,2020(1):24-30.  
WANG F, WANG YL, LIU ZJ. The biggest dilemma of “Double First-Class” connotation construction and its breakthrough[J]. Jiangsu Higher Education, 2020(1): 24-30 (in Chinese).
- [2] 马陆亭.新时期“双一流”建设的推进战略[J].中国高教研究,2019(12):15-20,28.  
MA LT. The promotion strategy of construction of “Double First-Class” initiative in the new era[J]. China Higher Education Research, 2019(12): 15-20, 28 (in Chinese).
- [3] 韩祺,姜江,汪琪琦,龚巧琳,李金山,张瀚予.我国工业生物技术和产业的现状、差距与任务[J].生物工程学报,2022,38(1):4035-4042.  
HAN Q, JIANG J, WANG QQ, GONG QL, LI JS, ZHANG HY. The current situation and developmental trends of industrial biotechnology and biomanufacturing in China[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2022, 38(11): 4035-4042 (in Chinese).
- [4] 蔡文涛,雷骏雨,董衍明,梁继超,赵晶,李路军,陈勇.“一流本科教育”背景下生物制药混合式教学模式的改革探索[J].生物工程学报,2023,39(12):5014-5023.  
CAI WT, LEI JY, DONG YM, LIANG JC, ZHAO J, LI LJ, CHEN Y. Reform and exploration of biopharmaceutics blended teaching in the context of “First-Class Undergraduate Education” [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2023, 39(12): 5014-5023 (in Chinese).
- [5] 付鸿飞,李明磊.“双一流”建设背景下研究生教育发展新趋势:首届研究生教育学国际会议综述[J].学位与研究生教育,2018(1):73-77.  
FU HF, LI ML. The new trend of postgraduate education development under the background of “Double First-Class” construction: a summary of the first international conference on postgraduate education[J]. Academic Degrees & Graduate Education, 2018(1): 73-77 (in Chinese).
- [6] 赵凤利,柏华.弗莱克斯纳现代大学理念的特征[J].科学大众(科学教育),2011(2):141.  
ZHAO FL, BAI H. Characteristics of Flexner’s modern university idea[J]. Popular Science, 2011(2): 141 (in Chinese).
- [7] WILLIAMS WH. Education for freedom[J]. The Australian Quarterly, 1941(13): 46-56.
- [8] 田社平,王立科,邱意弘.“双一流”建设高校大学生批判性思维能力评价的实证研究[J].上海教育评估研究,2020,9(1):54-59.  
TIAN SP, WANG LK, QIU YH. An empirical study on assessment of critical thinking ability of



- undergraduates of a “Double First Class” construction university[J]. *Shanghai Journal of Educational Evaluation*, 2020, 9(1): 54-59 (in Chinese).
- [9] 卡尔·雅斯贝尔斯. 什么是教育[M]. 邹进, 译. 北京: 新知三联书店, 1991: 150.
- KARL J. What is Education?[M]. Translated by ZOU J. Beijing: SDX Joint Publishing Company, 1991: 150.
- [10] 高静, 吉宏武, 刘书成. “互联网+”视域下研究生创新能力培养的几点思考[J]. *广东化工*, 2017, 44(22): 170-171.
- GAO J, JI HW, LIU SC. Training for the innovation ability of postgraduate in an environment of “internet plus”[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2017, 44(22): 170-171 (in Chinese).
- [11] 吴云勇. “双一流”大学创新型人才培养: 理论内核、特质要义与建构方略[J]. *内蒙古社会科学*, 2020, 41(1): 194-200.
- WU YY. Cultivation of innovative talents in Double First-Class universities: theoretical core, essence of characteristics and construction strategy[J]. *Inner Mongolia Social Sciences*, 2020, 41(1): 194-200 (in Chinese).
- [12] 吕林海. “拔尖计划”本科生的深度学习及其影响机制研究: 基于全国 12 所“拔尖计划”高校的问卷调查[J]. *中国高教研究*, 2020(3): 30-38.
- LÜ LH. Research on the deep learning of “top talents plan” undergraduates and its influential mechanism: based on the survey of 12 “top talents plan” universities in China[J]. *China Higher Education Research*, 2020(3): 30-38 (in Chinese).
- [13] 马莉, 沈思怡, 饶玉春. 新时代背景下创新型专业人才培养模式的探索及实践[J]. *生物工程学报*, 2024, 40(1): 292-303.
- MA L, SHEN SY, RAO YC. Exploring the innovative talents training mode in new era[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2024, 40(1): 292-303 (in Chinese).
- [14] ZHOU HY, TANG YQ, PENG JB, WANG SH, LIU ZQ, ZHENG YG. Re-designing *Escherichia coli* for high-yield production of  $\beta$ -alanine by metabolic engineering[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2022, 189: 108714.
- [15] 郑裕国, 金利群. 浙江省生物制造产业发展报告[M]. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- ZHENG YG, JIN LQ. Development Report of Bio-manufacturing Industry in Zhejiang Province[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2022 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)