



## 基于成果导向教育理念的“发酵工程实验”课程内容设计及实践

于基成 刘秋\* 陈超 闫建芳

大连民族大学生命科学学院 辽宁 大连 116600

**摘要:**“发酵工程实验”是生物工程专业的工程类重要主干课之一,是培养学生工程设计、工程实践和创新思维的重要课程。基于构思—设计—实现—运行(conceive—design—implement—operate, CDIO)理念,“发酵工程实验”通过构建模块化课程内容,以构思、设计、实现、运作的项目导向模块开展课程设计,进行目标导向的教学模式改革。以“发酵工程实验”课程为载体,将工程基础知识、发酵工程系统实践能力、团队合作能力、创新能力培养等融为一体。建立基于成果导向教育(outcome-based education, OBE)理念的学生学习效果评价体系,完成“发酵工程实验”课程教学任务。学生对改革后的“发酵工程实验”课程满意度明显提高,教学效果显著。

**关键词:** 发酵工程实验, 成果导向教育, 课程改革

## Teaching design and practice of Fermentation Engineering Experiment course based on outcome-based education concept

YU Ji-Cheng LIU Qiu\* CHEN Chao YAN Jian-Fang

College of Life Sciences, Dalian Minzu University, Dalian, Liaoning 116600, China

**Abstract:** Fermentation Engineering Experiment is one of the important engineering courses for bioengineering majors. It is also an important course to train students' engineering design, engineering practice and innovative thinking. Based on conceive-design-implement-operate (CDIO) engineering education model, Fermentation Engineering Experiment carries out curriculum design and goal-oriented teaching mode reform by constructing modular curriculum content and project-oriented system of conception, design, realization and operation. The fermentation engineering experiment course as a carrier, it integrates engineering basic knowledge, fermentation engineering system practical ability, team cooperation ability and innovation ability training. The evaluation system of students' learning effect based on outcome-based education (OBE) concept was established, and the teaching task of

**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China (31770006); Fundamental Research Funds for the Central Universities (wd01187); Education and Teaching Reform Project of National Ethnic Affairs Commission of China (19041); Education and Teaching Reform and Research Project of Liaoning Education Department (12026749); Key Project of Educational and Teaching Reform of Dalian Minzu University (ZD201909)

\*Corresponding author: Tel: 86-411-87656215; E-mail: liuqiu@dlnu.edu.cn

Received: 27-08-2019; Accepted: 05-12-2019; Published online: 12-12-2019

基金项目: 国家自然科学基金(31770006); 中央高校自主科研基金(wd01187); 国家民委教育教学改革项目(19041); 辽宁省教育厅教育教学改革与研究项目(12026749); 大连民族大学教育教学改革重点项目(ZD201909)

\*通信作者: Tel: 0411-87656215; E-mail: liuqiu@dlnu.edu.cn

收稿日期: 2019-08-27; 接受日期: 2019-12-05; 网络首发日期: 2019-12-12

Fermentation Engineering Experiment course was finished. The students' satisfactions for the reforming course of Fermentation Engineering Experiment have improved, and the teaching effect is remarkable.

**Keywords:** Fermentation Engineering Experiment, outcome-based education (OBE), Course reform

构思—设计—实现—运行(conceive—design—implement—operate, CDIO)工程教育模式是国际高等工科教育的一种创新模式,其以产品研发到产品运行的生命周期为载体,让学生以主动、实践、课程之间有机联系的方式学习工程的教育模式。基于“项目的教育与学习”手段,实现学生将工程基础知识、个人能力、团队合作能力和工程系统能力的提升与融会贯通。CDIO 通过工程教育过程关注学生工程化学习中的主动性和实践过程的完整性<sup>[1-2]</sup>。目前,基于 CDIO 理念的课程改革研究较多,其核心是以实际项目为载体,引导学生以主动、实践的方式进行学习,将知识、能力、素质的培养紧密结合,使理论、实践、创新融为一体<sup>[3-4]</sup>。通过在“做中学”和“项目驱动”教学方法来实现专业知识、实践技能的掌握。CDIO 教学模式能在实践教学实施过程中培养学生的创新设计能力和实践能力<sup>[5]</sup>。

与传统的高等教育理念相比,基于成果导向的成果导向教育(outcome-based education, OBE)理念则重视学生的学习目标和学习成果<sup>[6]</sup>,这为我国工程实践教学改革提供了更为明确的目标,并在中国工程教育改革中已得到广泛应用<sup>[7-8]</sup>。基于 OBE 理念的工程教育,有利于培养学生具备未来步入社会后所需要的知识、能力和素质,符合复合应用型人才培养的目标需求<sup>[9]</sup>。

“发酵工程实验”是大连民族大学生物工程专业一门重要的实践类课程,是完善和巩固“发酵工程”基本理论知识和实践操作技能的直接纽带,也是微生物学、细胞生物学、生物化学、基因工程、工程制图等相关专业知识的综合应用。基于 CDIO-OBE 理念的“发酵工程实验”课程的改革是结合目标微生物菌株发酵实践的项目案例,通过开

展目标菌株发酵项目的设计、论证、实施、结果分析、评价等模块化课程内容设计和实施,并结合设计展示、项目论证和总结答辩、过程评价与讨论等全过程而实现教学目的。CDIO-OBE 工程化教学形式对提高学生理解掌握专业基础知识及其在工程项目中的综合应用、培养学生的职业素养和团队协作精神、适应新时期生物工程领域人才的需要尤为重要<sup>[10-11]</sup>。

## 1 基于 CDIO 理念的“发酵工程实验”课程设计思路

“发酵工程实验”是所有生物工程专业基础课程讲授后的专业课程也是与行业领域紧密联系的实践课程。CDIO 理念是将学习过程融入目标实现的全过程,是典型的“做中学”<sup>[7]</sup>。因此,“发酵工程实验”的设计思路即是以发酵产品获得的工艺设计、设备操作、产品实现、质量评价等全过程作为学习环境,通过课程的构思、设计、实现、运作 4 个环节实现课程目标。

课程构思是基于分析学生对学习的需求设定的学习目标,包括学习能力、个人职业能力、职业道德训练、团队协作以及创新能力培养。课程内容是基于“项目”进行设计。首先学生通过网络平台学习资源进行自主学习及学习效果评估,结合学习效果和教学及评价方法的持续改进,使教学内容的设计不断满足教学目标的需求。课程的实现则是在开放实验室条件下,通过学生“做中学”、翻转课堂,结合全程指导和过程评价以及引入成绩奖励机制等教学模式和评价方法的改进来达成。项目运行则是以“团队”(组)形式开展,学习者和指导者均职责分明,要求指导教师贴近指导和实时答疑,最终实现项目完成,达成课程目标(图 1)。

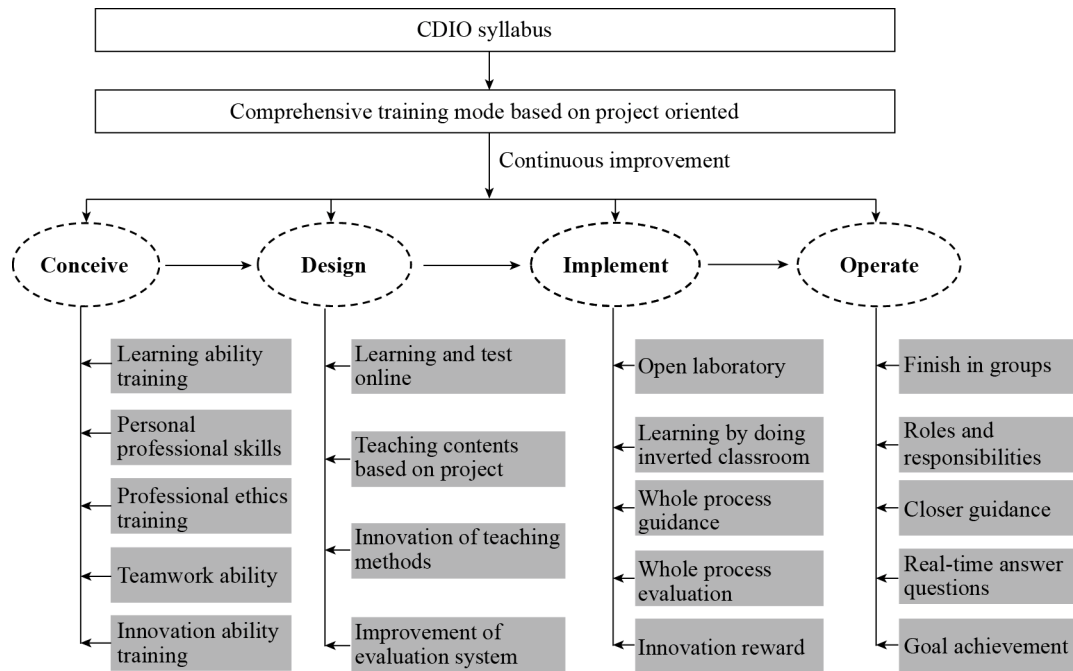


图 1 基于 CDIO 理念的“发酵工程实验”课程设计思路

Figure 1 Design of Fermentation Engineering Experiment course based on CDIO concept

## 2 基于 CDIO 理念<sup>[12]</sup>的“发酵工程实验”课程内容设计

以“发酵工程”课程建设为载体和专业人才培养目标为导向, 设置“发酵工程实验”课程内容。以龟裂链霉菌(*Streptomyces rimosus*)产土霉素发酵工艺优化和红发夫酵母菌(*Phaffia rhodozyma*)产虾青素发酵工艺优化 2 个项目为例(表 1)。要求实验设备 5 L 发酵罐不少于 4 套, 课程学时为 48 h。实验要求完成龟裂链霉菌或红发夫酵母菌的发酵条件优化, 获得高产率产品。实验完成方式是以项目为载体, 要求学生完成前期自主学习和相关知识及技能考核、分组选题、文献查阅、方案制定和论证答辩、项目实施和总结答辩等主要环节。改变传统的以实验演示、学生观摩为主的教学方法。采用“做中学”的“翻转课堂”教学模式, 以学生为主, 以教师为辅, 以项目贯穿所有学习内容, 进而培养学生自主学习和实践相结合、分析问题和解决实际问题以及团队合作完成任务的能力。

“发酵工程实验”课程改革后的内容分为 4 个模

块(图 2)。首先学生通过网络平台资源自主学习, 期间结合与指导教师的互动讨论, 学习结束通过考核合格后, 方可进入项目启动阶段学习。项目启动阶段的学习要求学生进行自由分组, 明确组内岗位分工; 同时要求每组设组长(总协调)、主答辩长(PPT 制作及答辩)和评阅长(对其他组进行评价和评分)各一名; 组内成员分工实行轮换制, 使学生在 学习中体验不同角色和职责转化。小组建立后, 首先针对给定的不同选题分别分析, 确定选题。经文献查阅、总结、分析, 最终形成项目实施方案的论证报告, 并要求小组以 PPT 形式对论证报告进行答辩。论证报告包括选题意义、龟裂链霉菌/红发夫酵母菌培养要求、发酵原理、发酵工艺调控及依据、发酵产物检测方法以及团队分工、预期实验结果等。项目论证报告答辩合格后方可进入项目运行模块。项目运行模块是基于任务驱动的模式进行操作训练及目标达成<sup>[13-14]</sup>。该模块内容为实验课的重点内容, 主要由发酵系统结构剖析、发酵操作训练、发酵工艺优化设计、

表 1 “发酵工程实验”课程学习任务及学时安排

Table 1 Schedule and learning tasks of Fermentation Engineering Experiment

实验项目 Experiment items	学习内容 Learning content	要求 Requirements	学时安排 Schedule	改革前情况 Before reform
实验室和操作安全 知识学习 Safety knowledge learning of laboratory and operation	1. 实验室水电气安全; 2. 发酵罐操作安全(仪器仪表观察使用、消毒、高温操作、阀门操作、压力控制、清洁处理等); 3. 空气压缩机和蒸汽发生器操作安全及注意事项; 4. 高温蒸汽安全及应急处理; 5. 喷溅及负压应急处理 1. Safeties of water, electricity and gas in laboratory; 2. Operation safety of fermentation tank (observation and use of instruments, sterilization, high temperature operation, valve operation, pressure control, cleaning, etc.); 3. Air compressor and steam generator operation safety and precautions; 4. Safety and emergency treatment of high temperature steam; 5. Emergency treatment of splashing and negative pressure	通过网络学习平台 测试 Pass the online test	2	无网络学习平台 测试 No online test
发酵基本 原理 Fermentation principles	1. 液体发酵原理; 2. 酵母菌培养要求; 3. 链霉菌培养要求; 4. 虾青素和土霉素检测方法 1. Principle of submerged fermentation; 2. Yeast culture requirements; 3. Requirements for <i>Streptomyces</i> culture; 4. Determination of astaxanthin and oxytetracycline	项目 PPT 论证答辩 Presentation of project by PPT	2	液体发酵原理 Principle of submerged fermentation
实验室设计 Laboratory design	1. 发酵实验室水电设计; 2. 发酵实验室的空间及功能设计; 3. 设备安装要求及设计 1. Water and electricity systems design of fermentation laboratory; 2. Spatial distribution and function design of fermentation laboratory; 3. Equipment installation requirements and design	提交实验室设计图 Submit laboratory design drawing	4	无要求 No requirement
发酵设备 结构 Fermentation equipment structure	1. 发酵管路系统(水路、电路、气路及汽路); 2. 空气压缩机和蒸汽发生器结构 3. 发酵罐结构; 4. 浓缩罐和板框过滤机结构 1. Fermentation pipeline system (water, circuit, gas and steam); 2. Structures of air compressor and steam generator; 3. Fermentation tank structure; 4. Structures of concentration tank and plate frame filter	提交发酵流程及设备 结构示意图 Submit the schematic diagrams of fermentation process and equipment structure	4	无要求 No requirements
发酵操作 技术 Fermentation operation technology	1. 发酵罐操作; 2. 空气压缩机和蒸汽发生器操作; 3. 发酵罐清洗、灭菌、接种、补料及压力和温度控制等操作; 4. 发酵产物浓缩及分离操作; 5. 发酵产物检测 1. Fermentation tank operation; 2. Operations of air compressor and steam generator; 3. Cleaning, sterilization, inoculation, feeding, pressure and temperature control of fermentation tank; 4. Concentration and separation of fermentation product; 5. Detection of fermentation product	掌握发酵操作技术 Master fermentation operation technology	4	掌握发酵操作 技术 Master fermentation operation technology
发酵流程 Fermentation process	发酵系统安全检查→发酵原料及菌种准备→发酵罐灭菌及接种操作→补料、pH、溶氧、温度等发酵工艺控制→发酵产物检测→发酵液排放→发酵罐清洗→发酵产物浓缩及分离→发酵产物灌装→实验室卫生及安全检查 Safety check of fermentation system→Preparation of fermentation materials and strain→Sterilization of fermentation tank and inoculation operation→Fermentation process control such as feeding, pH, dissolved oxygen and temperature→Detection of fermentation product→Fermentation broth draining→Fermentation tank cleaning→Concentration and separation of fermentation product→Fermentation product filling→Laboratory cleaning and safety check	1. 操作报告; 2. 项目 PPT 总结汇报 及发酵效果分析 1. Operation report; 2. Presentation of result and analysis using PPT	32	操作报告 Operation report

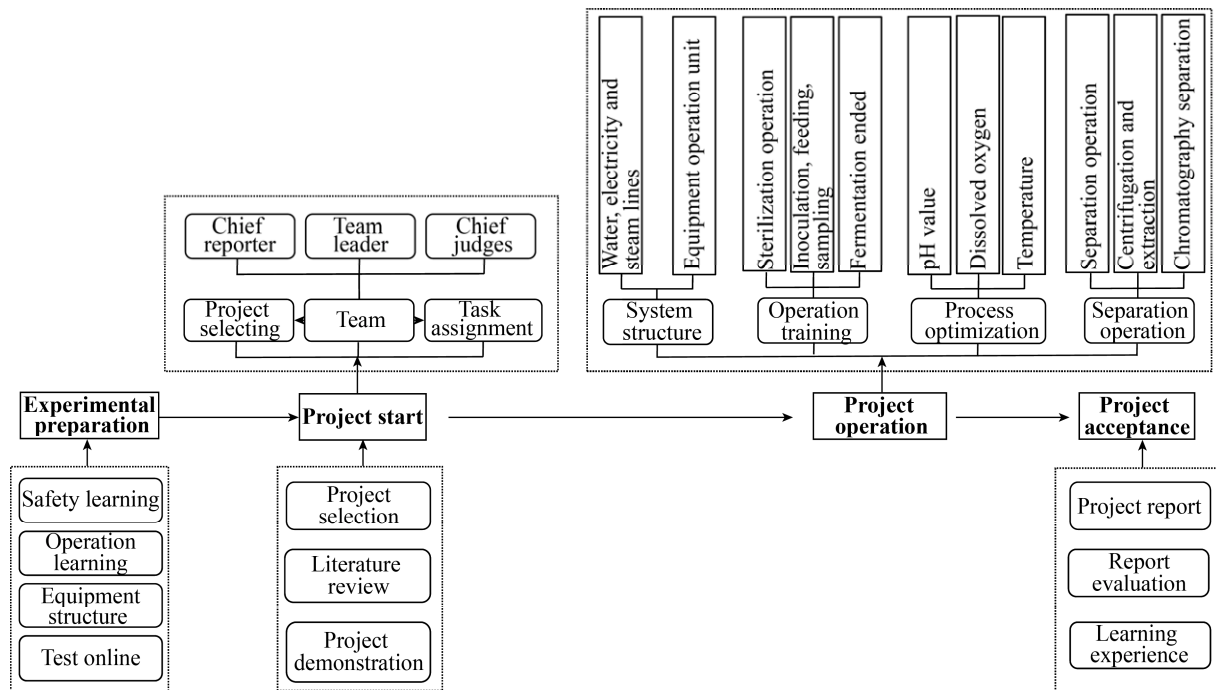


图 2 基于 CDIO 理念的“发酵工程实验”课程内容设置

Figure 2 Content of Fermentation Engineering Experiment course based on CDIO concept

发酵产物分离操作四部分构成。该模块的学习是由教师提出学习目标和要求。例如，要求学生在熟悉发酵系统和发酵设备结构后绘制完成发酵系统和设备结构图。同时，该模块每部分的训练要求教师跟进指导，针对个性问题实现现场实时答疑针对共性问题开展现场讨论，并鼓励学生针对问题提出创新性解决方案。最后为项目验收模块，该部分要求学生提交完整项目报告，并针对项目报告内容进行总结答辩。总结报告内容包括发酵实验结果和分析，与文献资料对比分析，提出改进措施等。同时，总结整个实验过程注意事项、易误操作或失误分析、学习心得，并对整个实验课程内容设置、实验室条件、团队协作、教师指导等提出意见和建议，以利于课程的持续改进和完善。本研究将参与课程改革的 2 个班 59 名学生分为 10 个小组。根据选题情况，将实验课分 3 批进行，每批 3-4 组；每批实验持续 3 周(内容包括前期准备、文献查阅、论证、实施及小组总结分析等)。

### 3 开展“做中学”的“发酵工程实验”课程教学模式改革

教学内容实行模块化，每个模块分别提出不同的学习要求和目标。各模块间是渐进关系，即只有完成上一模块学习方能进入下一个模块学习。每个模块通过确定目标、任务完成时间节点及不定期辅导等环节设计，实现“做中学”教学模式(图 2)，以培养学生主动学习能力。教师作为指导者，在每个模块开始学习之前均要结合模块学习目标和要求进行针对性辅导和答疑，全程做到与学生实时互动和指导，或适时采用提出问题、回答问题、问题总结等方式，使学生始终保持主动学习热情。如在“项目启动”的选题论证阶段，指导教师要介绍文献查阅方式、阅读技巧、如何围绕选题进行文献总结分析等。再如“项目运行”工艺优化阶段，提出“溶氧量下降对菌株生长会有何影响、如何提高溶氧量”等问题，让学生先寻找答案，再进行总结讲解。既可以使学生理

论知识和实践结合,又可培养学生分析问题和解决问题的能力。对于学习者,则采用不同角色互换,如组长、答辩人、操作者等,使学生体验不同角色的职责和要求,学习工作中如何换位思考,体验团队合作的重要性,培养学生的团队精神。

#### 4 建立基于 OBE 的学生学习效果评价体系

OBE 是基于成果导向的学生教育效果评价模式。建立了基于 OBE 的学生学习效果评价体系,该体系是贯穿于整个课程教学过程,由课程组教师和学生共同参与的学习效果评价方式<sup>[15]</sup>。评价体系包括线上学习平台系统的自动评价、组内和组间互评、自我评价、教师评价及项目报告质量等(图 3)。线上学习平台自动评价,包括发酵操作视频学习、实验安全知识学习等网上学习完成情况以及学习平台学习测试成绩。小组评价包括项目论证报告、实操评价、答辩 PPT 制作质量、答

辩、目标实现程度等。实操评价包括实操训练参与程度、操作规范性、操作失误率、团队合作程度等。另外,评价体系创新引入奖励成绩,即项目完成过程中,如果学生针对项目提出具有一定改进、实际可操作性、利于产品产率提高的建议则可获得附加奖励成绩。综上所述,我们通过过程环节的评价构建了基于 OBE 理念的形成性学习考核及评价体系。

#### 5 “发酵工程实验”课程改革效果评价

##### 5.1 课程教学目标达成分析的内容设置

基于实验课程评价方式,教师在每学期还要针对每名学生的学习成绩进行“发酵工程实验”课程教学目标达成度分析。达成度是根据课程的 5 个教学目标即学习能力、个人职业能力、职业道德训练、团队协作、创新能力培养进行综合分析。根据每名学生的各分项考核的评分情况评价本课程最终的学习效果达成度。

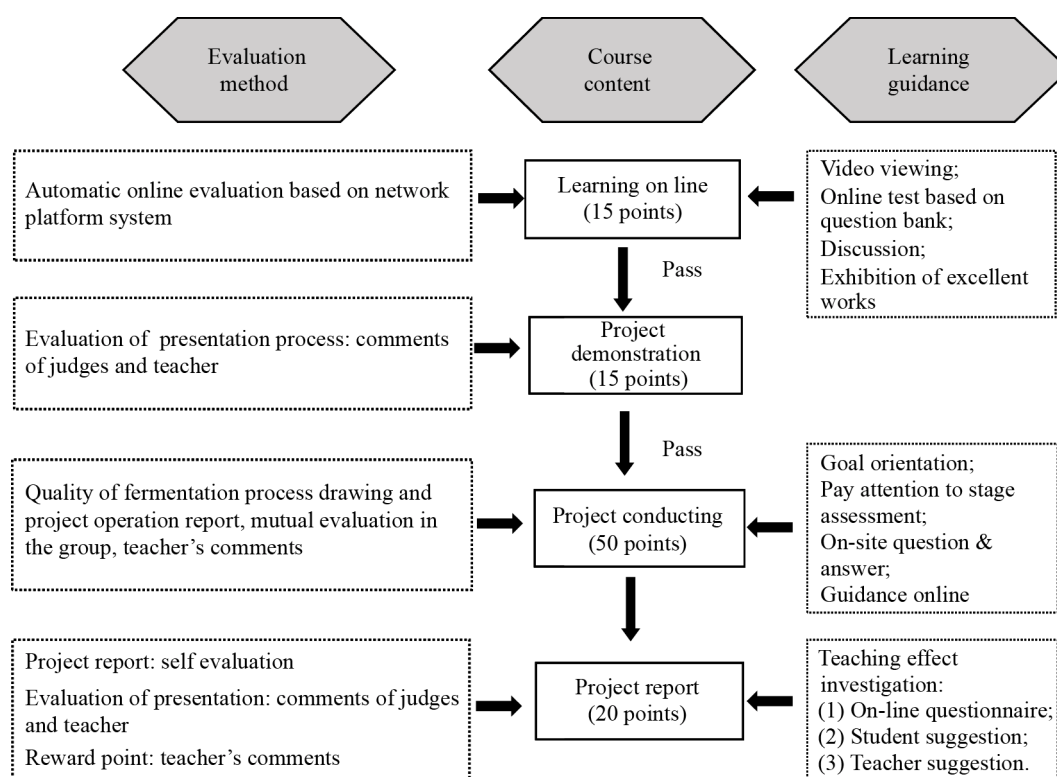


图 3 基于 CDIO-OBE 理念的“发酵工程实验”课程评价方式

Figure 3 Evaluation model of Fermentation Engineering Experiment course based on CDIO-OBE concept



(1) 学习能力：通过文献查阅和总结、发酵系统和发酵各单元设备结构图绘制质量和规范性、操作规范性、PPT 质量以及网络平台自动评价等环节，评价学生自主学习能力。

(2) 个人职业能力：项目实施过程中是否能够灵活运用发酵工程课程的基本理论和实践相结合，针对实际问题分析与解决能力、应急故障处理能力等，评价学生的职业能力。

(3) 职业道德：贯穿项目完成的全过程。例如整个项目完成过程参与度、实验环境卫生保持度、分工任务完成度、实验安全性认识程度、与组内成员工作协作性、组间评价的客观性和合理性等。

(4) 团队协作：综合考核小组项目完成全过程。包括项目完成质量、发酵过程的配合程度、项目论证和总结 PPT 制作质量、答辩质量等。

(5) 创新能力：根据项目实施方案制定、发酵工艺优化改进及创新性建议等方面来评价学生的创新能力。

## 5.2 课程改革后的调查问卷分析

课程结束后，对课程改革效果进行了问卷调查。调查问题共计 8 项，设 a、b 两个选项。问卷调查对象是参加课程改革试点的 2 个班共计 59 名学生。共发放问卷 59 份，回收问卷 59 份。由表 2 调查结果可知，无论对课程内容设置的满意度、对课程的感兴趣程度、课程考核方式，还是对是否愿意进行团队合作、是否希望课程改革以及工程训练的必要性等方面，学生的满意度在 69.5%–100%。其中，希望进行课程内容改革和认可网络自主学习、小组讨论及“做中学”学习方式的满意度分别为 96.6% 和 100%。除“愿意与老师进行交流学习”占 69.5%，其余各调查项的满意度均大于 80.0%。调查结果表明，绝大多数学生对“发酵工程实验”实施课程内容和教学方式的改革是持积极和认可态度的。认为新的课程内容和教学方法及方式优于传统的教学模式。这是由于传统实验课的授课方式只是将发酵课程内容分解为若干个操作单元学习，且多以教师演示

表 2 “发酵工程实验”课程改革的问卷调查结果

Table 2 Questionnaire survey on reform of Fermentation Engineering Experiment

选项 Item	a (%)	b (%)
你对“发酵工程实验”课程内容设置是否满意? Are you satisfied with the contents of Fermentation Engineering Experiment course?	83.1	20.3
你对“发酵工程实验”课程是否感兴趣 Are you interested in the course of Fermentation Engineering Experiment?	89.8	10.2
你是否愿意与老师进行交流学习? Are you willing to communicate with your teacher?	69.5	30.5
你是否愿意进行团队合作? Are you willing to operate with your team?	86.4	13.6
你是否满意“发酵工程实验”课程的考核方式? Are you satisfied with the evaluation method of the course of Fermentation Engineering Experiment?	89.8	10.2
你是否希望进行“发酵工程实验”课程改革? Do you hope to reform the experimental course of Fermentation Engineering Experiment?	96.6	3.4
哪种教学形式对你学习最有帮助? Which teaching form is most helpful to your study?	100.0	0.0
你觉得工程训练是否有必要? Do you think engineering training is necessary?	81.4	18.6

注：a：满意/有兴趣/愿意/希望/网络平台自主学习、小组讨论与“做中学”/有必要；b：不满意/不感兴趣/不愿意/不希望/传统讲授式教学/没必要。

Note: a: Satisfied/interesting/reform/self-learning online, team discussion and learning by doing/necessary; b: Dissatisfied/uninterested/unwilling/no reform/traditional teaching/unnecessary.

操作为主, 没有设定学习任务和目标, 使学生对发酵工程的认知仍停留于感性认识, 缺乏系统性、连续性、实践性和应用性。另外, 调查结果也说明, 在我们的课程改革实践中还存在着需要持续改进的问题, 如在师生交流学习环节调查满意度不高。究其原因: (1) 无论教师还是学生对借助学习平台进行交流的方式还有一个适应过程; (2) 学习平台可能没有师生所熟悉的微信或QQ方便交流; (3) 在课程项目选题方面仍需结合学科研究方向和教师的科研成果进行多样化设置, 以科研促进教学, 实现科研成果在教学过程的转化。

### 5.3 课程改革的后续效果

“发酵工程实验”课程实施改革后取得了良好的教学效果, 得到学生的普遍认可, 提高了学生学习专业的兴趣和主动性。在“发酵工程实验”课程结束后, 通过调查参加课改试点的生物工程专业2个班共计59名学生, 在选修工程类课程、主持/参与大学生创新创业项目、参加并获得各类竞赛人数等方面均较以往有所提高。例如获得2019年大学生创新训练项目资助6项, 主持/参与人数29人次; 在第四届全国大学生生命科学创新创业大赛中, 试点班学生共有6个参赛队30人次参加, 分获创业类一等奖1项、二等奖3项、三等奖1项和创新类二等奖1项。同时, 在各类竞赛中, 也进一步推动了学院的食物科学与工程、食品质量与安全、化学工程与工艺、生物制药等专业融合, 形成跨专业组队参赛。

虽然实践类课程改革无论从课程内容设置还是教学方法和方式上仍需继续探索和持续改进, 但通过基于 CDIO-OBE 理念的“发酵工程实验”课程改革实践发现, 新的教学内容和教学模式实践能促进学生对工程项目的认识, 培养学生自主学习能力以及分析问题和解决问题的能力, 从而达成培养复合应用型人才的目标。

## REFERENCES

- [1] Crawley EF, Malmqvist J, Östlund S, et al. Rethinking Engineering Education: the CDIO Approach[M]. Cham: Springer, 2007: 175-177

- [2] Zhang Y, Song Y, Yue YL, et al. Exploration in experimental teaching based on the CDIO model[J]. Laboratory Science, 2014, 17(6): 56-58,62 (in Chinese)  
张颖, 宋岩, 岳艳丽, 等. 基于 CDIO 模式的实验教学探究[J]. 实验室科学, 2014, 17(6): 56-58,62
- [3] Hu XZ, Ding FJ. Engineering system, engineering education, and reform of CDIO curriculum[J]. Modern Education Science: Higher Education Research, 2015(2): 77-83 (in Chinese)  
胡兴志, 丁飞己. 工程系统、工程教育与 CDIO 课程改革[J]. 现代教育科学-高教研究, 2015(2): 77-83
- [4] Cai WX, Yang B. Research and practice of on-line and off-line interactive teaching model based on CDIO under the “Internet+” condition[J]. Journal of Shijiazhuang University, 2019, 21(3): 152-156 (in Chinese)  
蔡文霞, 杨蓓. 基于 CDIO 的线上线下交互式教学模式改革研究与实践-在“互联网+”背景下[J]. 石家庄学院学报, 2019, 21(3): 152-156
- [5] Wang J, Zhang S, Wang X, et al. Application of CDIO mode in college innovation and entrepreneurship education: taking Guangdong Peizheng college as an example[J]. Journal of Chengdu normal University, 2019, 35(3): 37-41 (in Chinese)  
王健, 张士, 王晓, 等. CDIO 模式在高校创新创业教育中的应用初探——以广东培正学院为例[J]. 成都师范学院学报, 2019, 35(3): 37-41
- [6] Spady WG. Outcome-based education: critical issues and answers[J]. Arlington: American Association of School Administrators, 1994: 12-14
- [7] Chen WF, Yue XY. Exploration on teaching reform of food microbiology course based on -OBE-concept[J]. Education Teaching Forum, 2019(36): 116-117 (in Chinese)  
陈威风, 岳晓禹. 基于 OBE 理念的食品微生物学课程教学改革探索[J]. 教育教学论坛, 2019(36): 116-117
- [8] Zhou CY, Liu Y, Zhang HT, et al. The research of ladder practical teaching on outcomes-based education[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2016, 35(11): 206-208,220 (in Chinese)  
周春月, 刘颖, 张洪婷, 等. 基于产出导向 OBE 的阶梯式实践教学研究[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(11): 206-208,220
- [9] Cai CA. Study on the training mode of application-oriented talent for “learning by doing” based on CDIO[J]. Laboratory Science, 2016, 19(5): 224-226 (in Chinese)  
蔡长安. 基于 CDIO“做中学”应用型人才培养模式研究[J]. 实验室科学, 2016, 19(5): 224-226
- [10] Huang Y, Deng DM, Liao CY, et al. Teaching reform and practice of cultivating backup outstanding engineers in fermentation engineering[J]. Microbiology China, 2019, 46(5):



1220-1225 (in Chinese)

黄瑶, 邓冬梅, 廖春燕, 等. 培养发酵工程卓越工程师后备人才的教学改革与实践[J]. 微生物学通报, 2019, 46(5): 1220-1225

- [11] Ji Z, Ma G, Wang RY, et al. Practice at researching experiment of Environmental Engineering Microbiology based on project-based learning[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 697-701 (in Chinese)

吉铮, 马阁, 王瑞媛, 等. 基于项目制学习的“环境工程微生物学”研究型实验探索[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 697-701

- [12] Kang QL. The CDIO standards as a method of program evaluation[J]. Journal of Zhengzhou Normal Education, 2018, 7(4): 63-68 (in Chinese)

康全礼. 作为专业评估方法的 CDIO 标准[J]. 郑州师范教育, 2018, 7(4): 63-68

- [13] Li H, Ding HX, Xiong J. Application of task driven method in the course design of building structure[J]. Education and

Vocation, 2015(2): 149-151 (in Chinese)

李红, 丁红霞, 熊静. 任务驱动法在建筑结构课程设计中的应用[J]. 教育与职业, 2015(2): 149-151

- [14] Yin JX, Shen GJ. Exploration and practice of teaching pattern of autonomous and cooperative learning in a team based on task driven in Microbiology teaching[J]. Microbiology China, 2016, 43(2): 410-416 (in Chinese)

尹军霞, 沈国娟. 由任务驱动的团队自主合作学习教学模式在微生物学课程中的探索和实践[J]. 微生物学通报, 2016, 43(2): 410-416

- [15] Mei YJ, Huang L, Hu C, et al. The teaching reform and practice of Environmental Engineering Microbiology under the Outcome-based education concept[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 609-615 (in Chinese)

梅运军, 黄岚, 胡纯, 等. 成果导向教育理念(OBE)下的环境工程微生物学课程教学改革与实践[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 609-615