

基于“实验空间”的发酵工程实验混合式教学设计与实施

章素平¹, 孙诗清¹, 徐微¹, 尤忠毓^{*2}

1 嘉兴南湖学院新材料工程学院, 浙江 嘉兴 314001

2 嘉兴大学生物与化学工程学院, 浙江 嘉兴 314001

章素平, 孙诗清, 徐微, 尤忠毓. 基于“实验空间”的发酵工程实验混合式教学设计与实施[J]. 微生物学通报, 2024, 51(4): 1122-1134.

ZHANG Suping, SUN Shiqing, XU Wei, YOU Zhongyu. Design and implementation of blended teaching for Fermentation Engineering Experiments based on “Experimental Space”[J]. Microbiology China, 2024, 51(4): 1122-1134.

摘 要: 线上线下混合式教学已成为高等学校教学的新形态。“实验空间”平台支持教师开展虚拟仿真项目的共享应用, 是教师开展混合式教学的支撑条件。发酵工程实验是生物工程专业一门综合性和实践性较强的核心课程, 针对发酵工程实验的痛点问题, 我们教学团队引用平台的优质虚拟仿真项目, 结合自行设计的线上学习资源, 为线下实验课创设生产情境; 线下实验课模拟生产实际, 分配“岗位”角色开展实验任务; 课后以实验报告和视频制作为总结, 实现学习闭环。线上线下的有机结合提高了学生学习的主动性和积极性, 提升了学生操作和解决问题的能力, 形成了适合实验教学的混合式教学模式, 为共享虚拟仿真项目的教学应用提供了思路。

关键词: 实验空间; 虚拟仿真实验; 开放共享; 混合式教学; 发酵工程实验

资助项目: 2022 年浙江省课程思政教学研究项目; 2022 年嘉兴南湖学院课程思政教学研究项目; 嘉兴南湖学院教师企业实践工程; 嘉兴南湖学院 2023 年教育教学改革研究项目

This work was supported by the Curriculum Ideological and Political Education Teaching Research Program of Zhejiang Province in 2022, the Curriculum Ideological and Political Education Teaching Research Program of Jiaxing Nanhu University in 2022, the Teacher Enterprise Practice Project of Jiaxing Nanhu University, and the Education and Teaching Reform Research Project of Jiaxing Nanhu University in 2023.

*Corresponding author. E-mail: youzy@zjxu.edu.cn

Received: 2023-07-20; Accepted: 2023-12-15; Published online: 2024-01-22

Design and implementation of blended teaching for Fermentation Engineering Experiments based on “Experimental Space”

ZHANG Suping¹, SUN Shiqing¹, XU Wei¹, YOU Zhongyu^{*2}

¹ School of Advanced Materials Engineering, Jiaxing Nanhu University, Jiaxing 314001, Zhejiang, China

² College of Biological, Chemical Science and Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, Zhejiang, China

Abstract: Online and offline blended teaching has become a new form of teaching in higher education. The “Experimental Space” platform supports shared applications of virtual simulation projects, which is a supporting condition for teachers to carry out blended teaching. Fermentation Engineering Experiments is a comprehensive and practical course in bioengineering. In response to the pain points in the teaching of this course, we combined the high-quality virtual simulation resources shared on the platform with the self-designed online learning resources to create the production scenarios for offline experimental classes. The offline experimental classes simulated production reality and assigned “job” roles to carry out experimental tasks. After class, the task was to create experimental reports and videos to achieve a closed learning loop. The combination of online and offline teaching has improved students’ initiative and enthusiasm in learning, enhanced their operational skills and problem-solving ability, and formed a blended teaching mode suitable for experimental teaching. It provides an example for the teaching application of shared virtual simulation projects.

Keywords: Experimental Space; virtual simulation experiment; sharing; blended teaching; Fermentation Engineering Experiments

实验教学是高等教育人才培养的重要环节。新工科背景下，传统的实验教学模式已难以完全满足新时代行业对人才的需求。随着信息技术与教育教学的深度融合，线上线下混合式教学已成为高等学校教学的新形态^[1]。发酵工程实验是生物工程专业的一门专业必修课，与产业实际紧密关联，是培养学生工程实践能力的重要课程^[2]。基于慕课^[3]或虚拟仿真^[4-6]的发酵工程实验混合式教学可以突破传统教学的局限，提高实验教学效果。慕课、虚拟仿真等信息化资源是信息技术与教育教学深度融合的产物，是实验教学信息化改革的重要内容，但

是信息化资源尤其是虚拟仿真项目的建设投入大、成本高，各高校均自行建设也会造成资源的浪费。在教育数字化背景下，优质信息化资源的开放共享为教师开展混合式教学改革提供了支撑条件^[7]。教师如何利用开放共享的优质资源深化实验教学改革是教师教学改革的重要课题，也是顺应数字化转型赋能高等教育内涵式发展的必然要求。

国家虚拟仿真实验教学课程共享平台(以下简称“实验空间”)是直接服务于高等院校和社会学习者使用的实验教学公共服务平台(<https://www.ilab-x.com/>)，平台包含虚拟仿真实

实验教学一流课程在内的各类虚拟仿真实验教学项目,为实验教学各类型课程建设共享及应用提供支撑服务。疫情期间“停课不停学”和“实验教学课程西部行”活动促进了平台资源的共享应用,但是利用“实验空间”平台共享资源开展教学实践的应用鲜有报道。

我们教学团队借助“实验空间”平台,结合线下实验课,构建了发酵工程实验混合式教学模式,实现了优质共享资源的课程教学应用。本文对基于“实验空间”的发酵工程实验混合式教学进行总结与反思,以期对实验课程的混合式教学建设和改革提供参考。

1 发酵工程实验教学中面临的问题

我校生物工程专业每年开设1个班,班级人数36人左右,在大三第一学期设置了发酵工程实验课,课程共32学时。该课程主要围绕生物技术产业化生产的各个环节,包括培养基的制备与灭菌、发酵罐的清洗与检查、种子的活化与培养、发酵过程工艺控制及参数检测等。我们教学团队改革实验内容,实施项目教学法,采取以“酵母发酵培养生产单细胞蛋白”为主线,串联所有学习内容,以培养学生实践技能、解决问题和团队合作的能力。但是在项目化教学实践过程中仍存在以下“痛点”。

1.1 传统的课堂教学不能满足新时代学生学习的需求

发酵工程实验存在相关实验设备昂贵、实验场地有限、课程学时较少等客观困难。传统的课堂教学模式是“教师讲解和示范,学生听和做”,学生模仿性操作完成实验,部分学生因对大型发酵设备的恐惧感而不敢参与操作,畏难情绪严重,对教师的依赖性强。另外,虽然设计了

完整的发酵工艺过程操作,但是在具体实验过程中学生仍无法主动探究和实践。同时,实际发酵过程不易观察、不易重现、工艺控制复杂并具有一定的危险性,实验教学效果很难保证^[5]。

1.2 单一的考核方式无法调动学生学习的积极性和主动性

原有的考核综合学生出勤、实验操作考核和实验报告评定学生成绩,以终结性评价为主,未调动学生学习的积极性和主动性。考核结果显示学生不敢、不会独立操作发酵罐,由于设备台套数有限,部分学生存在“只看不动”的“抱大腿”现象。同时当代大学生容易出现学习倦怠的问题,加上发酵过程抽象,造成学生学习兴趣不足^[8]。

2 基于“实验空间”的混合式教学模式的构建与实施

“实验空间”平台为虚拟仿真实验项目共享应用提供了一整套在线支持服务。教师可以直接引用平台的优质虚拟仿真实验项目,同时可上传自行制作的学习资源,实现以班级为单位的线上线下教学活动,是免费的智慧实验教学平台。“实验空间”作为线上实验教学平台,与线下实验课堂有机结合,是一种适合实验教学的混合式教学模式。

为了解决前文所述发酵工程实验教学面临的问题,从2018年开始,教学团队尝试采用混合式教学模式,并在教学过程中不断优化完善。2021年,随着“实验空间”平台功能的升级,逐渐形成了基于“实验空间”的发酵工程实验混合式教学模式(图1)。课前,学生在“实验空间”平台完成线上实验任务,为线下实验做好铺垫。课中,在教师指导下,学生根据岗位职责分工合作,利用20 L发酵罐完成单细胞蛋白的发酵

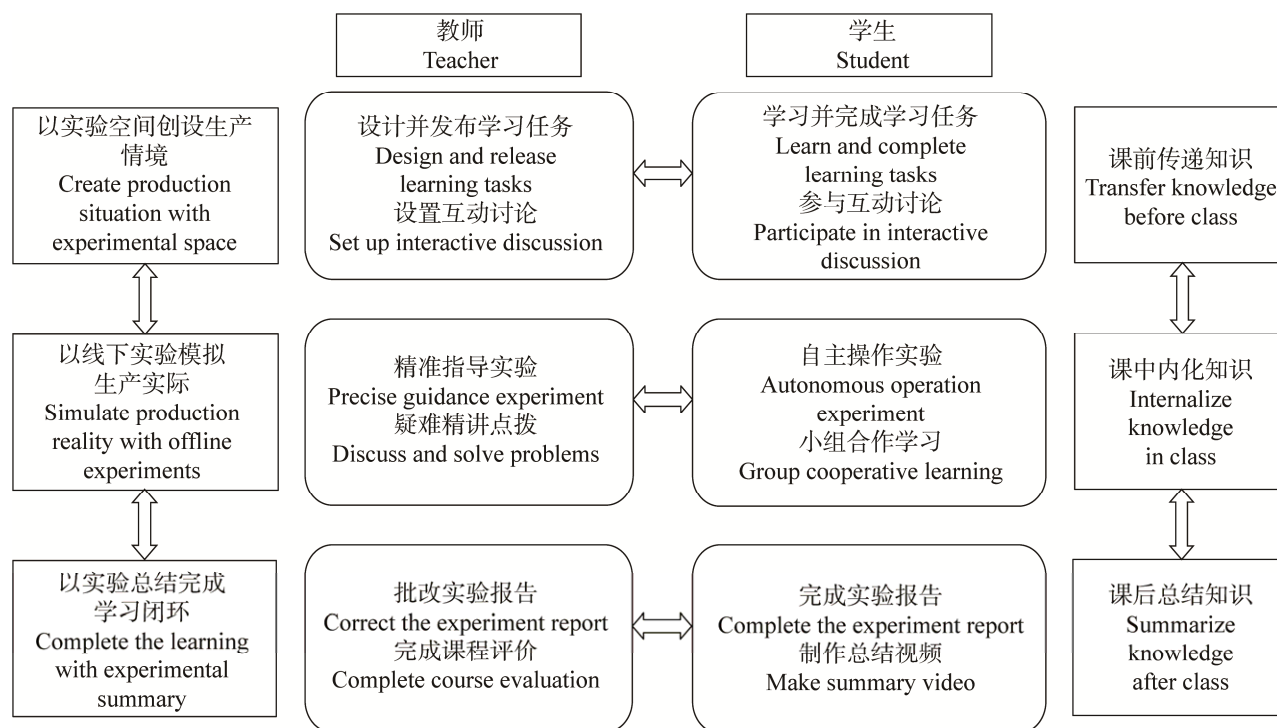


图 1 基于实验空间的混合式教学模式设计

Figure 1 Design of blended teaching mode based on experimental space.

制备任务。课后，学生完成实验报告和实验过程总结视频，实现总结知识。课前自学、课中实践、课后总结三者形成相互关联的有机整体，提高了学生学习的自主性和积极性，提升了实验教学效果。

2.1 以“实验空间”为平台，实现课前传递知识

教师在“实验空间”平台上创设以班级为单位的线上实验课，设置丰富的教学资源，包括虚拟仿真实验、预习 PPT、文献和微课(表 1)，为学生进入线下课堂提供“脚手架”。线上实验课引用了“生物燃料乙醇发酵生产及其关键技术控制虚拟仿真实验”项目。该虚拟仿真项目是国家一流课程，模拟了燃料乙醇的生产实际，具有沉浸感强、灵活性好、互动性高的特点，可以让学生沉浸式“游览”工厂，观察设备内部结构，自主设置实验过程参数等。学生通过扫

码方式进入线上实验课，自主完成线上任务，包括完成虚拟仿真实验，即工厂漫游及生产设备结构学习、发酵生产模拟操作、操作考核；浏览预习 PPT，了解整个课程的安排、学习要求、实验内容和考核标准；阅读文献，适当延伸对行业的认识；观看微课，提前学习线下实验室发酵罐设备结构和管路系统。此外，线上课还设置了预习作业，要求设计线下实验的发酵工艺过程，并提出过程中有可能涉及的问题，同时可在讨论区发布自己不能解决的问题或认为实验需要注意的事项。

学生在“实验空间”完成学习任务，并通过完成预习作业实现知识的学习反馈和输出，为课中知识的内化做好铺垫。课前的预习成绩直接由实验空间平台导出，可以查看学生的登录次数、学习时长等信息，教师可根据平台上学生学习的情况调整课堂教学内容和进度。

表 1 “实验空间”平台设置的线上教学资源

Table 1 Online teaching resources set up on the “Experimental Space” platform

资源名称	内容
Resource name	Content
虚拟仿真实验	生物燃料乙醇发酵生产及其关键技术控制虚拟仿真实验
Virtual simulation experiment	Biofuel ethanol fermentation production and its key technology control virtual simulation experiment
预习 PPT、文献及微课	预习 PPT 包括实验学习目标、实验过程和实验评分标准等；文献介绍了酵母培养的学科前沿进展；微课介绍了线下实验室发酵罐设备和管路系统
Preview PPT, literature and microcourse	Preview PPT includes experimental learning objectives, experimental process and experimental scoring standards; The literature introduced the frontiers of yeast culture; The microcourse introduced the fermentation tank equipment and pipeline system
预习作业	实验任务：现有一台 20 L 机械搅拌式发酵罐，需要利用酵母进行单细胞蛋白的发酵制备
Preview homework	请根据预习资源，参考乙醇发酵生产虚拟仿真实验设计具体的工艺流程，并提出过程中有可能涉及的问题 Experimental tasks: There is a 20 L mechanically stirred fermentation tank, which needs to use yeast for the fermentation and preparation of single cell proteins Please design the technological process according to the preview resources and the virtual simulation experiment of ethanol fermentation production, meanwhile put forward problems that may be involved in the process 在讨论区发布自己不能解决的问题或认为实验需要注意的事项 Publish the problems that can't be solved or the matters that need attention in the experiment in the discussion area

2.2 以实体课堂为核心，完成课中内化知识

在混合式教学模式下，课前实现了知识的传递，课堂就成为了师生互动和生生互动的交流场所，可以实现教与学的能量互动。课堂上，教师设置了以岗位胜任力为导向的工厂生产情境，将课堂的“主动权”交给学生。学生分组合作，每组 10 人左右，负责一个 20 L 发酵罐，每组的目标是模拟工厂实际，构建酵母细胞培养的工艺流程并实现酵母细胞的培养，具体实验进程安排详见图 2。实验操作步骤包括菌种的制备与活化、发酵罐的清洗和检查、发酵培养基的制备和灭菌、接种、发酵过程工艺控制及参数检测、酵母的分离及产品检测等过程，实验周期为 5 d。

围绕这一实验任务，首先教师根据“实验空间”上预习的情况以提问的方式帮助学生再次“复盘”实验内容，解答预习过程中学生提出的问题，讲解实验过程中关键步骤及需要注意的

问题。接着，学生根据课前预习内容，对照实验设备进行小组讨论，理清发酵罐及其管路系统，理解发酵罐灭菌操作步骤。小组在课前个人预习作业的基础上讨论形成本组的具体实验方案包括接种量的设置、培养基配制体积、发酵罐取样检测时间的安排等。在此过程中，教师负责指导小组讨论并进行答疑解惑。教师在确保每组学生实验方案完善后，即可开始实验。通过课前微课的学习，释放了更多的课堂讲解时间，教师可以将更多的时间放在发酵罐灭菌操作等核心操作步骤，帮助学生规范实验操作方法、完善实验方案和指导数据分析。同时学生更愿意主动操作，操作的正确率更高。

基于授课教师的发酵企业工作经验，教学团队在课堂教学中创设企业生产工艺与管理的情境，通过管理生产工艺流程并解决遇到的问题，以提高学生解决复杂工程问题的能力。课程模拟工厂实际设置发酵工段长、菌种技术员、

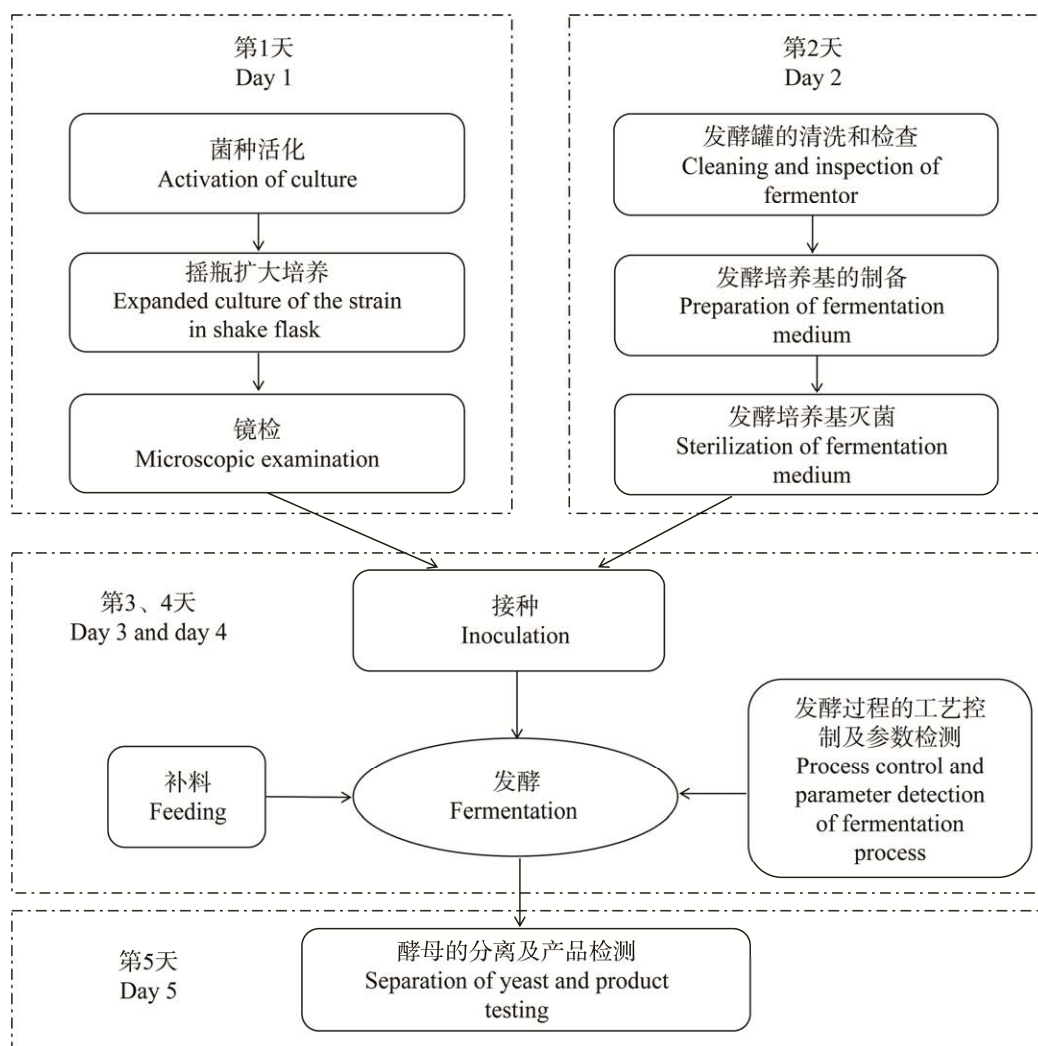


图2 发酵工程实验工艺过程及安排

Figure 2 Process and arrangement of Fermentation Engineering Experiment.

发酵技术员、分析检测员、设备技术员和产品检测员 6 个岗位, 每个岗位都有相应的工作职责(表 2)。小组分工合作, 每组设立发酵工段长即组长 1 名, 是实验项目正常运行的总负责人, 其他岗位 2 人左右, 对相应的岗位负主要责任。岗位主要责任人以视频的方式记录操作步骤及关键注意事项, 最后所有视频集成酵母培养过程的总视频。视频拍摄记录质量的好坏计入课程总成绩。发酵正常运行后, 常规工作是发酵过程控制及管理, 主要涉及发酵技术员和分

析检测员两个岗位。因此, 这两个岗位开展“轮岗制”, 即组内的每一位学生都要在相应的时间负责做好发酵过程工艺控制和参数检测的工作, 并对该时间段的发酵罐正常运行负责以及做好交接班工作。为进一步提高小组之间的合作质量, 我们教学团队参照企业生产的过程记录表, 结合发酵工程实验项目特点, 设计了符合课程特点的一系列过程记录表, 包括发酵工程实验交接班记录表、20 L 发酵罐配料表、发酵罐清场记录表、发酵过程参数记录表。记录

表 2 线下实验课堂中模拟工厂设置的岗位表

Table 2 Position table of simulated factory setting in offline experiment class

岗位名称	岗位职责
Position name	Post responsibilities
发酵工段长	做好小组分工和相应岗位及任务的分配, 对整个实验项目负全部责任
Fermentation section chief	Do a good job in the division of labor and the allocation of corresponding posts and tasks, and take full responsibility for the entire experimental project
菌种技术员	菌种活化及扩培, 确保种子无污染; 发酵罐接种
Strain technician	Activate and expand the culture of bacteria to ensure that the seeds are free of pollution; inoculation in fermentation tank
发酵技术员	发酵过程工艺控制包括温度、pH、残糖量及无杂菌污染控制等
Fermentation technician	The process control of fermentation process includes temperature, pH, residual sugar content and the control of contamination free of miscellaneous bacteria
分析检测员	发酵过程的采样及参数检测分析
Analysis inspector	Sampling and parameter detection analysis of fermentation process
设备技术员	发酵罐清洗、安全检查及灭菌, 整个发酵过程中保证设备运行正常
Equipment technician	Fermentation tank cleaning, safety inspection and sterilization, and ensure the normal operation of the equipment during the whole fermentation process
产品检测员	酵母的分离纯化、产品检测
Product inspector	Isolation and purification of yeast, product testing

表的记录质量由企业导师评分, 并纳入课程总成绩。发酵结束后, 学生进行发酵罐的清洗和产品的分离检测工作, 同时教师会对学生进行实验操作技能考核。

课前实验空间的学习释放出课堂活动的时间, 为课中教学设计提供了条件^[9]。模拟工厂实际的线下实验课, 设置相应的岗位和岗位职责, 学生不仅要用视频形式还原实验操作过程, 还要小组合作“履行”岗位职责以确保完成实验任务。基于“生产”线正常运行的师生互动和生生互动, 提高了学生学习的主动性和积极性, 培养了学生的团队合作精神, 提高了学生的岗位责任感。

2.3 以实验报告和视频制作为任务, 达成课后总结知识

课后总结知识能够帮助学生及时发现并有效解决学习过程中隐藏或遗留的问题, 可对学习过程和结果进行监控、调节并完善, 是学习过程不可缺少的环节^[10]。课后, 学生总结学习

内容, 具体形式是以视频记录实验关键操作步骤, 以实验报告总结实验内容, 做好数据处理及分析。通过实验报告和视频检验学生对发酵工程实验的掌握情况。

首先, 学生根据课堂上拍摄的素材剪辑制作视频, 教师会根据学生提交的视频资料进行审核, 并将审核结果反馈给学生, 学生按照要求修改后提交最终版本。视频的制作是学生完成学习金字塔理论中“教授他人”的过程, 学生成为信息加工的主体、知识意义的主动建构者。其次, 学生根据实验过程, 以实验报告的方式总结实验内容、处理数据、分析实验结果和现象等。学生在实验报告中结合虚拟仿真的学习, 分析种子液是否染菌, 并讨论染菌的可能原因及预防措施; 绘制发酵过程曲线, 涉及生物量、pH、残糖等参数, 并结合实验过程中补料的情况分析各参数的变化; 撰写产品质量报告书, 分析产品质量与发酵操作过程的关系等。实验报告的撰写使学生反思整个实验过程, 可以进

一步提高归纳总结的能力。

2.4 以课程质量为重心, 设置全程考核评价

基于学生能力培养的考核方式改革有助于提高课程教学效果^[11]。因此, 教学团队构建了全过程考核评价方法(表 3)。课前成绩是根据学生学习情况从实验空间平台导出的线上成绩, 占总成绩的 30%, 考核的对象是学生个体。课中成绩由小组合作表现、过程记录表、操作考核评价组成, 占总成绩的 40%。小组合作表现和操作考核评价都是面向个体, 过程记录表考核的是小组的成绩。课中评价设置了相应的评价量表, 小组合作表现由组内成员互评, 过程记录表由企业导师评分, 操作考核由教师评分。课后成绩由视频和实验报告成绩共同组成, 占总成绩的 30%。视频成绩根据清晰度、真实反映实验过程的情况、是否有解说和字幕等标准, 由教师和学生共同评分, 属于小组成绩。实验报告由教师批改, 并将最终批改结果反馈给学生, 以帮助学生完成学习的“闭环”。教学团队

通过构建全程性考核评价, 设置小组和个体考核内容, 教师、学生、企业导师参与考评的多元化考核方式, 调动学生参与实验的主动性和积极性, 实现对学生全方位的综合评价。

3 教学效果

3.1 学生学习的主动性和积极性明显提高

引用共享虚拟仿真资源并建立线上实验课是本次混合式教学开展的基础。传统课前预习的方式, 学生照抄实验指导书严重, 教师未提前了解学生的预习情况。改革后, 通过学生课前线上预习、自主思考设计实验方案, 教师提前通过平台掌握学生预习情况, 提高了预习效率。课堂上通过学生课堂提问次数、回答问题情况考查学生课堂学习的主动性和积极性。相较于传统教学, 学生会基于课前的学习主动思考提问, 提问的次数明显增加, 问题质量更高。例如“在线蒸汽灭菌后发酵液的体积会变化吗?” “如何控制灭菌前后发酵培养基各组分浓

表 3 课程考核评价体系

Table 3 Course evaluation system

教学环节	考核对象	评价指标	评价主体	权重
Teaching steps	Assessment object	Evaluating index	Valuator	Weight (%)
课前 Before class	个体 Individuality	预习 PPT、文献及微课	系统自动评分	30
		虚拟仿真资源操作考核	系统自动评分	
		预习作业	教师	
		Preview homework	Teacher	
课中 During class	个体 Individuality	小组合作	学生	40
		Group collaboration	Student	
		实验操作考核	教师	
		Experimental operation assessment	Teacher	
课后 After class	小组 Group	过程记录表	企业导师	30
	小组 Group	Process record form	Corporate mentor	
	小组 Group	视频	教师和学生	
	个体 Individuality	实验报告	教师	
	Individuality	Experimental report	Teacher	

度不变”等。这些问题是基于课前学习和主动思考后的提问。课堂上教师对重难点知识进行总结和提问,可以发现学生回答问题的积极性更高,答案质量更优。例如,课前的虚拟仿真过程设置了实体实验操作难以设置的场景如染菌的判断等环节,课中学生主动结合课前虚拟仿真操作回答实体实验过程中可能出现的问题,同时操作过程中小组合作,避免实验的失败,“一人操作,小组观看”现象不再出现。课前的学习使得学生对发酵罐等设备不再有“陌生感”,线下课学生主动参与率从改革前的30%提高到了90%。“实验空间”线上课的预习明确了学生进入线下实验室的任务,学生带着问题进入课堂,学生学习的主动性和积极性明显提高。

3.2 学生操作能力和解决问题能力明显提升

改革后的线下课模拟生产实际,分配相应的岗位完成实验任务。虽然由于实验课本身的特点,每位学生仍然不能参与全过程的实验操作,但是课前虚拟仿真中工业大规模生产的虚拟操作,提高了学生对分配岗位职责的认识,补充和拓展了工业生产知识。课堂上拍摄素材片段时,学生会积极讨论,规范操作,提高学生的参与率。虽然只要求岗位主要负责人拍摄,但是实际课程中,全体小组成员都会参与讨论,包括操作的规范性、拍摄的角度是否合适等。在课后的视频剪辑过程中,学生会利用画中画、局部放大等特效,清晰、立体地呈现实验操作的关键环节(图3)。视频的制作任务让线下实验课呈现轻松快乐的氛围,提高了小组合作的积极性,让更多的人参与到实验操作过程中。在发酵运行过程中,改革前教师会根据参数变化提醒学生要进行补糖操作,改革后小组能够主动发现发酵过程中各参数的关系。例如参数检测时,有小组发现酵母生物量的变化与残糖量之间的关系,主动提出补糖操作。

混合式教学模式下,学生操作各管道阀门的正确率提高,各小组能够独立开展发酵罐灭菌、接种、采样和数据分析等一系列发酵工艺的控制与管理。学生制作的视频能够正确总结实验操作过程,企业导师对发酵过程记录表的记录质量给予高度评价。实验操作考核显示85%的学生能够独立操作发酵罐,学生课中实验操作考核平均分提升22.4%。因此,基于“实验空间”的发酵工程实验混合式教学,提升了学生的操作能力和解决问题的能力,提高了实验教学效果。

3.3 满意度调查和分析

匿名调查问卷结果显示学生对本次教学改革的满意率达到88.4%。进一步深入了解学生对教学各环节的满意度,86.1%学生认为课前实验空间的学习对他们有帮助,表示课前学习明确了实验任务,“看到”了设备,了解了实验过程,提高了进入线下实验课的信心。实验空间设置的各种学习资源对他们学习的帮助见表4。其中虚拟仿真资源对学习帮助相对较低。开展对学生访谈调查,部分学生表示虚拟仿真操作是有帮助,但是需花时间解决浏览器不匹配等才能进行虚拟仿真操作,因此认为不值得。表4还表明课堂小组合作学习、填写发酵过程记录表、课后小组视频的拍摄对学生的学习都有较大的帮助。学生认为课堂中模拟岗位的小组合作学习让他们明确了岗位职责,有利于小组讨论合作。发酵过程记录表的填写满意度相对较低,学生表示发酵过程记录表与自行安排的实验记录本部分内容有重复,可以对过程记录表进行适当修改。

3.4 实践过程中的教学相长

发酵工程实验教学改革提高了学生工程实践能力,有利于学生进行后续课程(如生产实习等)的学习。学生参与学科竞赛的人数不断攀升。团队教师指导授课班级学生申请获得“国家



图 3 学生制作的视频截图 A：发酵培养基灭菌操作. B：火焰接种操作

Figure 3 Screenshot of video produced by students. A: Sterilization operation for fermentation medium. B: Flame inoculation operation.

大学生创新创业训练计划项目”1项、获得“全国大学生生命科学竞赛”省赛三等奖2项、获得第九届浙江省国际“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖1项。团队教师将本次课程教学改革成果作为部分内容参赛，获浙江省第三届高校教师教学创新大赛二等奖1项。课程主讲教师连续两年教学工作业绩考核为A。将本次教学

改革模式推广至专业其他课程，建立了生物工程综合性虚拟仿真资源库，团队教师以“校企协同育人理念下生物工程综合性虚拟仿真实验教学的资源库建设与应用研究”为题申请获得校教育教学改革研究项目1项。发酵工程实验教学改革有效助力专业建设，生物工程专业获批校级一流本科专业建设点。

表 4 基于实验空间的混合式教学各环节设计作用调查结果

Table 4 Investigation results of the design of hybrid teaching based on experimental space

问卷题目 Questionnaire title	很有帮助 Very helpful (%)	有帮助 Helpful (%)	一般 Commonly (%)	有一点帮助 A little help (%)	没有帮助 No help (%)
实验空间平台上教师设置的内容对你学习有帮助吗? Is the content set by the teacher on the experimental space platform helpful for your study?	41.9	44.2	9.3	4.6	0.0
实验空间平台上微课对你学习有帮助吗? Is microcourse on the experimental space platform helpful for your study?	34.8	48.9	11.7	2.3	2.3
实验空间平台上 PPT、文献对你学习有帮助吗? Is PPT and literature on the experimental space platform helpful for your study?	32.6	53.4	7.0	4.7	2.3
实验空间平台上引用的虚拟仿真资源对你学习有帮助吗? Is the virtual simulation resources cited on the experimental space platform helpful for your study?	27.9	46.5	14.0	9.3	2.3
实验空间平台上预习作业对你学习有帮助吗? Is the preview work on the experimental space platform helpful for your study?	46.5	32.6	20.9	0.0	0.0
课堂上小组合作的学习方式对你有帮助吗? Is it helpful for you to study in groups in class?	48.9	30.2	18.6	2.3	0.0
课堂上填写发酵过程记录表对你学习有帮助吗? Is it helpful for you to fill in the fermentation process record form in class?	37.2	27.9	20.9	7.0	7.0
小组视频的拍摄对你学习总结有帮助吗? Is video shooting helpful for your study?	37.2	37.2	20.9	4.7	0.0

4 教学反思

4.1 持续改进共享资源的课程化应用

“实验空间”拥有覆盖全部学科专业的虚拟项目资源,是优质的线上教学平台。教学团队以模拟生产实际为主线,通过引用“实验空间”平台虚拟仿真资源并制作相关的实验教学资源,改革线下实验课,提高线上线下的融合度。改革后的基于“实验空间”混合式教学模式一定程度上提高了实验教学效果。本次教学改革进行了两轮,样本量小,仍有诸多不足之处,需加强改进:(1)进一步丰富线上教学资源,增加学科前沿的知识,以满足优秀学生的学习需求;(2)寻找与线下实验教学内容相配套的虚拟仿

真资源,对虚拟仿真资源学习使用的网络要求进行明确,尤其是指明适配的浏览器,减少学生花在解决电脑问题的时间;(3)本次教学改革中学生课前线上预习替代了传统预习,学生需投入比以往稍多的时间,但是由于课前充分的预习工作,学生课堂操作出错率更低,动手和互动讨论的时间更长。课堂中的视频拍摄穿插在发酵罐正常运行之后,将课堂中原来等待的空闲时间利用起来,提高了课堂时间利用率。但是后续教师要加强与学生沟通,明确各项任务,适时调整各环节比重,减轻学生学习负担的同时进一步提高实验教学效果。

4.2 丰富的共享实验资源“等待”课程化应用

“实验空间”可以让每一位教师利用虚拟仿

真技术助推课程建设,拓展实验教学内容,提高实验教学的深度和广度。调查表明,91%的学生认为其他专业实验课程上也需要引用虚拟仿真实验资源开展实验教学。但是目前基于虚拟仿真的教学改革大多都是阐述本校自行开发的虚拟仿真项目建设与应用^[4,12]。基于实验空间的混合式实验教学模式是每一位教师“触手可及”的实验教学改革措施。在教育数字化背景下,除了实验空间外,还有江苏省高等学校虚拟仿真实验教学共享平台、高等院校或科研院所开发的实验资源平台、企业开发的线上实验平台可为教育教学改革提供丰富的信息化资源。共享的实验资源有利于缓解高校实验资源不足,有助于提高实验资源的利用率,有益于提升实验教学信息化水平,实验资源的共享是国家教育数字化改革和发展的未来趋势^[13-14]。

5 结语

发酵工程实验是一门与产业实际密切关联的实验课程,是进一步提高学生岗位胜任力的重要环节。我们教学团队开展了基于“实验空间”的混合式实验教学改革,取得了一定的教学效果,为共享虚拟仿真资源的利用提供了思路。课程教学改革仍需不断改进和优化,以支撑行业所需工程应用型人才的培养。

致谢

感谢实验空间运营负责人王妍老师和实验空间首席编辑王立丰老师对线上实验课建设中的帮助与指导。

REFERENCES

- [1] 韩筠. 在线课程推动高等教育教学创新[J]. 教育研究, 2020, 41(8): 22-26.
HAN J. Online courses promote teaching innovation in higher education[J]. Educational Research, 2020, 41(8): 22-26 (in Chinese).
- [2] 于基成, 刘秋, 陈超, 闫建芳. 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[J]. 微生物学通报, 2020, 47(4): 1234-1242.
YU JC, LIU Q, CHEN C, YAN JF. Teaching design and practice of Fermentation Engineering Experiment course based on outcome-based education concept[J]. Microbiology China, 2020, 47(4): 1234-1242 (in Chinese).
- [3] 夏险, 赵琪, 苏平, 涂俊铭. 慕课背景下“微生物工程”实验课开放式教学模式探索[J]. 微生物学通报, 2021, 48(3): 994-1000.
XIA X, ZHAO Q, SU P, TU JM. Exploration of the open teaching mode of Microbiological Engineering experiment course under the background of MOOC[J]. Microbiology China, 2021, 48(3): 994-1000 (in Chinese).
- [4] 倪芳, 刘洋, 熊强, 朱本伟, 江凌, MALKMES M. “互联网+”发酵工程实操与虚拟仿真中试实验室平台的建设与探索[J]. 微生物学通报, 2020, 47(11): 3725-3732.
NI F, LIU Y, XIONG Q, ZHU BW, JIANG L, MALKMES M. Exploration and construction of Internet Plus fermentation engineering practice and virtual simulation pilot laboratory platform[J]. Microbiology China, 2020, 47(11): 3725-3732 (in Chinese).
- [5] 鲁明波, 刘亚丰, 杨英, 吴元喜, 余龙江. 虚实结合的发酵工程实验教学模式探索与实践[J]. 高校生物学教学研究(电子版), 2019, 9(6): 41-45.
LU MB, LIU YF, YANG Y, WU YX, YU LJ. Exploration and practice of experimental teaching mode combining virtual simulation and real experiments for fermentation engineering[J]. Biology Teaching in University (Electronic Edition), 2019, 9(6): 41-45 (in Chinese).
- [6] CAÑO de LAS HERAS S, KENSINGTON-MILLER B, YOUNG B, GONZALEZ V, KRÜHNE U, MANSOURI SS, BAROUTIAN S. Benefits and challenges of a virtual laboratory in chemical and biochemical engineering: students' experiences in fermentation[J]. Journal of Chemical Education, 2021, 98(3): 866-875.
- [7] 吴岩. 深入实施教育数字化战略行动 以教育数字化支撑引领中国教育现代化[J]. 中国高等教育, 2023(2): 5-10.
WU Y. Deeply implement the strategic action of educational digitalization and lead China's educational modernization with the support of educational

- digitalization[J]. China Higher Education, 2023(2): 5-10 (in Chinese).
- [8] 潘涛, 王美妮, 李美舒, 宋秋华, 董伟. 发酵工程实验教学中大学生的学习倦怠问题与对策[J]. 科技资讯, 2022, 20(4): 165-168.
- PAN T, WANG MN, LI MS, SONG QH, DONG W. Problems and countermeasures of college students' learning burnout in fermentation engineering experiment teaching[J]. Science & Technology Information, 2022, 20(4): 165-168 (in Chinese).
- [9] 张金磊. “翻转课堂”教学模式的关键因素探析[J]. 中国远程教育, 2013(10): 59-64.
- ZHANG JL. On the key factors of “flip classroom” teaching mode[J]. Distance Education in China, 2013(10): 59-64 (in Chinese).
- [10] 姚巧红, 修誉晏, 李玉斌, 陈小格. 整合网络学习空间和学习支架的翻转课堂研究: 面向深度学习的设计与实践[J]. 中国远程教育, 2018(11): 25-33.
- YAO QH, XIU YY, LI YB, CHEN XG. Flipped classroom supported by online learning space and scaffolding theory: deep learning design and practice[J]. Chinese Journal of Distance Education, 2018(11): 25-33 (in Chinese).
- [11] 赵长江, 张海燕, 杨辉. 生物化学课程“四化”形成性考核体系的构建与实践[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2022, 38(12): 1736-1742.
- ZHAO CJ, ZHANG HY, YANG H. Construction and practice of the formative “four architecture” assessment system in a biochemistry course[J]. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2022, 38(12): 1736-1742 (in Chinese).
- [12] 顾黎, 周明华. 国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台对现代远程教育实验教学的启示[J]. 成人教育, 2022, 42(5): 47-52.
- GU L, ZHOU MH. Enlightenment of national virtual simulation experiment teaching project sharing service platform to the experimental teaching in modern distance education[J]. Adult Education, 2022, 42(5): 47-52 (in Chinese).
- [13] 李燕, 周峡, 贾彩虹. 地方高校实验资源共享模式及资源库建设研究[J]. 中国管理信息化, 2022, 25(17): 228-231.
- LI Y, ZHOU X, JIA CH. Research on the sharing mode of experimental resources and the construction of resource pool in local universities[J]. China Management Informationization, 2022, 25(17): 228-231 (in Chinese).
- [14] 张红涛, 陈露露, 谭联, 李正交. 虚拟仿真类实验教学资源省际高校共建共享的研究[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(5): 26-28.
- ZHANG HT, CHEN LL, TAN L, LI ZJ. Research on co-construction and sharing of virtual simulation experimental teaching resources among provincial colleges and universities[J]. Experimental Technology and Management, 2021, 38(5): 26-28 (in Chinese).