

# 基于群体协同交互式学习模式的“微生物生理学” 虚拟仿真实验教学方法

郭亮<sup>1</sup>, 张成林<sup>2</sup>, 赵英<sup>1</sup>, 范胜强<sup>1</sup>, 林楠<sup>1</sup>, 邢德峰<sup>1</sup>, 刘冰峰<sup>1</sup>, 谢国俊<sup>1</sup>,  
李昂<sup>\*1</sup>

1 哈尔滨工业大学环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150090

2 北京欧倍尔软件技术开发有限公司, 北京 100089

郭亮, 张成林, 赵英, 范胜强, 林楠, 邢德峰, 刘冰峰, 谢国俊, 李昂. 基于群体协同交互式学习模式的“微生物生理学”虚拟仿真实验教学方法[J]. 微生物学通报, 2023, 50(10): 4719-4728.

GUO Liang, ZHANG Chenglin, ZHAO Ying, FAN Shengqiang, LIN Nan, XING Defeng, LIU Bingfeng, XIE Guojun, LI Ang. Virtual simulation experiment teaching method of Microbial Physiology based on collaborative and interactive learning[J]. Microbiology China, 2023, 50(10): 4719-4728.

**摘要:** 随着我国虚拟仿真实验教学工作的开展, 群组式学习模式被越来越多地探讨并应用到实际教学中, 但将此学习模式与虚拟仿真类实验课程相结合进行教学研究的实例相对较少。针对微生物类实验实践教学存在的典型问题, 以哈尔滨工业大学“微生物生理学”研究生精品课程建设研究为例, 提出基于群体协同交互式学习模式的“微生物生理学”虚拟仿真实验教学研究, 以期打造微生物学科一流实验/实践类教学课程。本文阐述了群体协同交互式学习模式的内涵、构成要素及优势, 论述了群体协同交互式学习模式在“微生物生理学”虚拟仿真实验教学中的实现过程, 并总结了该模式的不足与未来发展方向。

**关键词:** 虚拟仿真实验教学; 群体协同交互式学习模式; 微生物生理学; 教学方法

资助项目: 2022 年度教育部产学合作协同育人项目(22107103045826, 22097103304755); 黑龙江省高等教育教学改革项目(SJGY20190202, SJGY20200217); 中国学位与研究生教育学会研究课题(2020MSA207)

This work was supported by the Industry-university Collaborative Education Project of Ministry of Education in 2022 (22107103045826, 22097103304755), the Higher Education Teaching Reform Project of Heilongjiang Province (SJGY20190202, SJGY20200217), and the Research Project of Chinese Society of Academic Degrees Graduate Education (2020MSA207).

\*Corresponding author. E-mail: li.ang@hit.edu.cn

Received: 2023-02-28; Accepted: 2023-03-12; Published online: 2023-04-10

# Virtual simulation experiment teaching method of Microbial Physiology based on collaborative and interactive learning

GUO Liang<sup>1</sup>, ZHANG Chenglin<sup>2</sup>, ZHAO Ying<sup>1</sup>, FAN Shengqiang<sup>1</sup>, LIN Nan<sup>1</sup>, XING Defeng<sup>1</sup>, LIU Bingfeng<sup>1</sup>, XIE Guojun<sup>1</sup>, LI Ang<sup>\*1</sup>

1 School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China

2 Beijing Oubeier Software Technology Development Limited Company, Beijing 100089, China

**Abstract:** With the development of virtual simulation experiment teaching in China, group learning has attracted increasing attention and been applied to practical teaching. However, there are few studies about the teaching practices combining group learning with virtual simulation experiment courses. In view of the typical problems existing in the practical teaching of microbial experiments, we took the Microbial Physiology course for postgraduates at Harbin Institute of Technology as an example to illustrate the virtual simulation experiment teaching based on collaborative and interactive learning, aiming to create a first-class experiment/practice course of microbiology. This paper describes the connotation, elements, and advantages of collaborative and interactive learning, discusses the application of this learning mode in virtual simulation experiment teaching of Microbial Physiology, and summarizes the deficiency and development direction of this teaching method.

**Keywords:** virtual simulation experiment teaching; collaborative and interactive learning; Microbial Physiology; teaching method

在教育数字化战略行动背景下, 虚拟仿真技术与我国高等教育不断融合发展, 在赋能教育数字化变革、促进教育公平、改善教学效果等方面做出了突出贡献。随着我国高校虚拟仿真实验教学工作的开展, 群组式学习模式被越来越多的学者关注, 本文结合“微生物生理学”课程建设的实际情况, 借助虚拟仿真实验项目将学科专业知识体系与信息技术深度融合, 探索该模式在环境专业相关教学的实际应用, 使学习行为与知识点关联, 学习路径与学习需求链接, 为整个教学过程和资源赋能, 对群体协同交互式学习模式实现过程进行分析, 促进构建数字化教学新生态, 探讨该模式的未来发展方向。

## 1 群体协同交互式学习模式理论分析

### 1.1 传统学习模式的弊端

相较于现代信息化教学方式, 在传统的线下个体学习模式下, 学习者受自身价值观、知识基础等限制, 其建构的知识往往不够全面深入。线下群体学习通过合作者间频繁的交互, 可在一定程度上克服个体学习的局限性。传统的线下学习模式还存在消息闭塞、迭代时间长等不足<sup>[1]</sup>。随着网络信息和智能化技术的迅速兴起, 基于大数据和人工智能的线上学习模式应运而生<sup>[2]</sup>。然而目前已开展的线上学习模式多为个体学习, 无法实现群体间的合作学习<sup>[3]</sup>。

国内高校实验教学目前仍大多采用传统实体教学模式<sup>[4]</sup>, 一般存在以下问题: 实验场所受限, 工程背景实验很难利用实际工程项目来开展; 实验受硬件设施限制大, 课堂效率不高; 学习次数有限, 实验室使用率低; 教学内容缺乏灵活性和趣味性, 难以进行多方面的延伸; 操作内容有限, 学生掌握程度受限。因此, 传统模式在一定程度上限制了学生学习的能动性。

现代高等教育教学理念中要求学习形式由过去的“以教师讲授为中心”转换为“以学生学习为中心”, 教师除了呈现课程内容, 更要为学生建立一个合适的学习环境<sup>[5]</sup>。教师与学生之间形成协作关系, 协同完成教学目标并解决教学难题, 契合了中国传统文化“教-学相长”的理念。因此, 基于线上的群体协同交互式学习模式在国内外被越来越多地研究和实际应用。

## 1.2 群体协同交互式学习模式

### 1.2.1 群体协同交互式学习模式内涵及特征

群体协同交互式学习指以群体形式组织起来的学习者, 在共同目标的指引下, 通过组内的沟通协作共同完成知识建构的过程。“群体”是指 2 个或 2 个以上互相影响、互相依赖的人为了完成特定目标而组成的一个整体<sup>[6]</sup>。

群体协同交互式学习强调学生个体间的协作与交互。在完成共同学习目标的过程中, 不同学生个体可能会产生不同的解决思路, 导致学生个体间发生认知冲突。发生冲突情况时, 应在教师引导下, 通过学生间交流辩证和实践检验, 最终生成一个公认为最适当的解决路径, 从而完成群体学习目标。

### 1.2.2 群体协同交互式学习模式优势

教学实践表明, 群体协同交互式学习模式可显著提高学生学习的积极性, 提升学生的自主学习能力, 加强学生的团队合作精神和人际交往能力<sup>[7]</sup>。

如图 1 所示, 基于网络信息和通信技术的群体协同交互式学习模式的优势主要体现在信息化和个体间的交互上, 使得学习过程更加开放灵活和个性化<sup>[8]</sup>。基于群体协同交互式学习模式的虚拟仿真实验教学不仅可以在很大程度上弥补传统实体实验教学的不足, 还可以实现“线上”的群体学习, 在增加个体知识建构深度和广度以及提高群体目标实现的效率和质量上都具有相较于其他学习模式的明显优势, 值得推广并被实际应用到教学活动中<sup>[9]</sup>。

### 1.2.3 群体协同交互式学习模式构成要素及影响因素

群体协同交互式学习(图 1)主要是指“师生互动”及“生生互动”<sup>[10]</sup>。如图 2 所示, 群体协同交互式学习过程包括:(1) 以个体知识建构为主的准备阶段, 即学生个体查阅资料并对课题进行剖析;(2) 以讨论、协商等群体知识建构为主的面对面研训阶段, 此阶段是整个学习模式中较为重要的阶段。在此阶段中群体成员相互了解、建立人际认知网络, 以共同完成一份实验

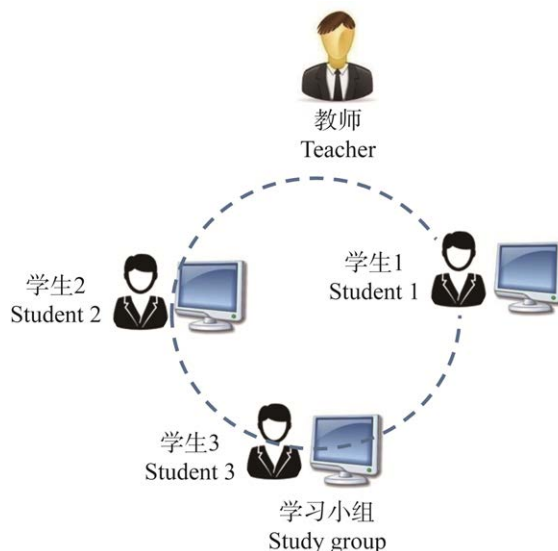


图 1 协同交互式学习示意图

Figure 1 Collaborative and interactive learning structure.

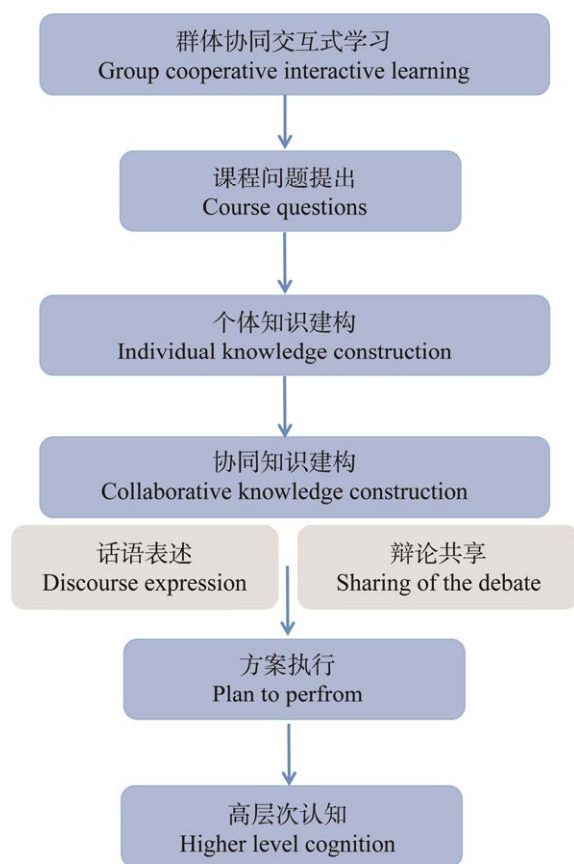


图2 群体协同交互式学习知识建构图

Figure 2 Collaborative and interactive learning knowledge construction.

设计为目标, 群体成员间进行话语表述、观点交流、辩论共享, 以期提出较适合的方案; (3) 以实践创作、应用、反思等双向建构为主的远程研训阶段, 即教师点评、群体成员总结与反思, 以期实现对学习内容更高层次的理解。模式包含了个体知识建构、协同知识建构和基于点评讲解的高层次认知 3 个循环过程<sup>[11]</sup>。

在群体协同交互式学习中认知冲突有助于促进群体成员的知识建构。认知冲突会引起认知心理的不平衡, 进而激发学习者的求知欲, 促进学习者的知识建构<sup>[12]</sup>。研究表明, 群体目标有利于群体成员间的凝聚、团结协作, 进而促进群体知识建构<sup>[13-15]</sup>。

## 2 微生物生理学实验虚拟仿真课程介绍

紧扣“金课”标准开展“微生物生理学”课程虚拟仿真实验教学研究, 是助推信息技术与实验教育教学深度融合的有效方式。微生物生理学虚拟仿真实验旨在创建更有利于培养学生实践能力和创新思维的实验教学场景, 倡导具有探究性和个性化学习结果。通过实践能力的提高, 进一步强化学生对理论知识的理解。

微生物生理学课程为哈尔滨工业大学环境学院微生物学专业研究生的必修课程, 该专业每年招生 10 人左右, 加上其他专业的选修学生, 本课程每年面向 15-20 人进行授课。微生物生理学实验课程内容从“微生物代谢”出发, 基于科研课题“微生物脱氮机理及实际应用”成果转化教学内容, 通过对实际污水不同脱氮工艺的比较, 总结目前脱氮过程的不足之处, 聚焦于脱氮过程中化能自养型、化能异养型微生物脱氮的矛盾问题, 从代谢角度应用基因组学、转录组学等工具分析不同类型微生物脱氮机理, 进而总结影响脱氮工艺的关键点, 提出相应解决方案, 并考察实际应用效能。课程核心内容如图 3 所示。

在当前智慧化教育背景下, 本课程采用“严肃游戏”的思想和形式开展实验教学, 基于游戏仿真创建优质虚拟仿真实验教学场景。严肃游戏以传授知识技巧、提供专业训练和模拟为主要内容, 在游戏化教学活动中, 教师通过虚拟仿真实验教学后台, 还原真实环境污染案例或模拟现实不可及场景, 结合群体协同交互式学习模式, 让学生分组、分角色进行综合一体化联机训练模式演练, 综合运用相关专业制定实验方案, 最终全面提高学生的综合应用能力, 以更好地适应未来的实际工作要求。

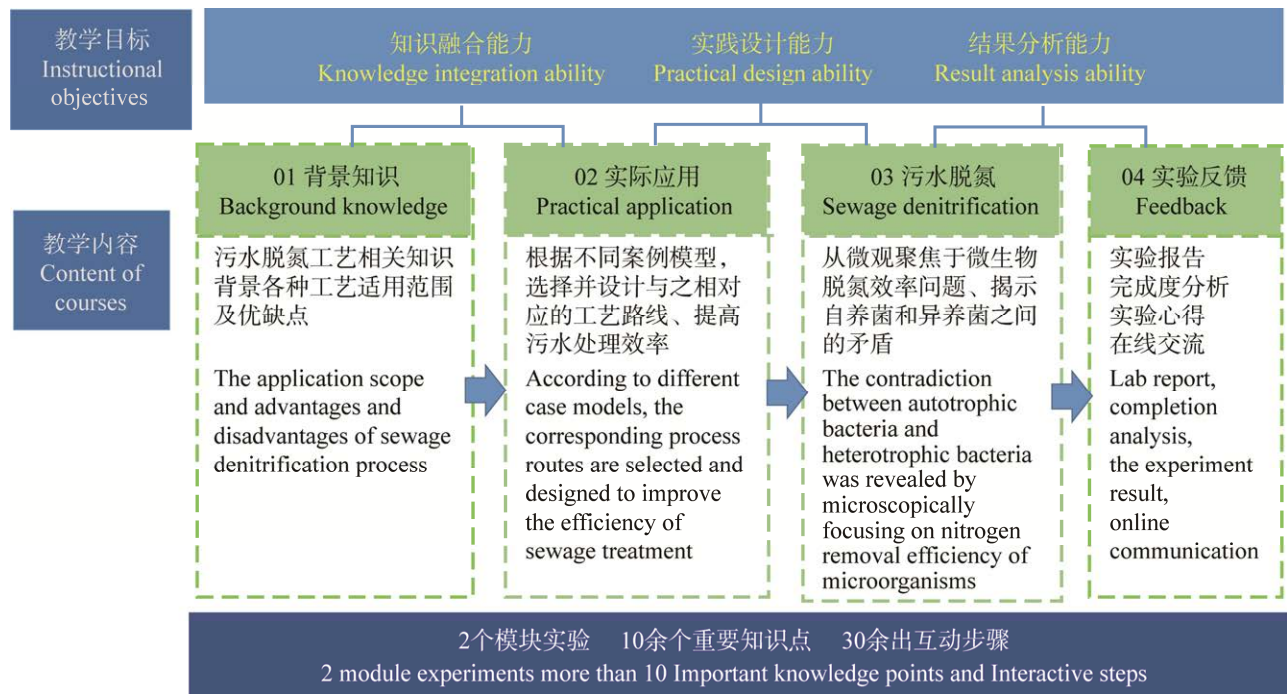


图3 微生物生理学实验课核心内容

Figure 3 Core content of microbiology physiology experiment course.

### 3 教学方法的实现

#### 3.1 学习模式应用研究

##### 3.1.1 群组组建

群组组建是在正式开展实验教学之前, 上课学生按照一定规则进行分组并完成组内任务分配。其流程为个性化测试、个体分类、随机分组、课前任务下达和组内分工<sup>[14]</sup>。根据微生物生理学实验课程要求, 利用虚拟仿真实验平台对班级学生进行个性化测试, 按照个人思维对机理问题 and 应用问题倾向的不同, 将学生分为偏机理型、偏应用型和复合型三类。进而将学生随机分组, 本实验中每组 3 人且至少包含两种类型的学生, 组内不设组长<sup>[15]</sup>。课前, 教师在教学平台下达任务, 即“微生物脱氮机理及实际应用”, 给出情境导入及必要知识点, 学生接收任务并进行组内分工, 即对任务进行剖析、分解、分工。

##### 3.1.2 个体知识建构

如图 4 所示, 根据“微生物脱氮机理及实际应用”实验(<http://www.bjoberj.com/html/cp/huhenxu/2021/1220/405.html>)要求, 在课前准备环节, 小组成员可根据实验模块和组内分工, 在规定时间内进行相应理论知识、方法技术的查找及学习, 对不同实验方法进行总结归纳, 以期得到较适合的实验方案。小组成员可以彼此共享信息, 对除分工以外部分涉及的理论知识、方法技术进行学习, 以便之后协同知识建构的开展。不同个体知识建构内容和结构因个人差异而不同, 小组成员个人知识建构的水平会影响后续协同知识建构的效果。

##### 3.1.3 协同知识建构

借助线上教学系统的同步通信模块和共享环境, 小组成员可进行视频和语音通话、传输文件、共享屏幕和白板, 从而实现异地同步实验学习(图 5)。这可以保证小组成员之间沟通途径

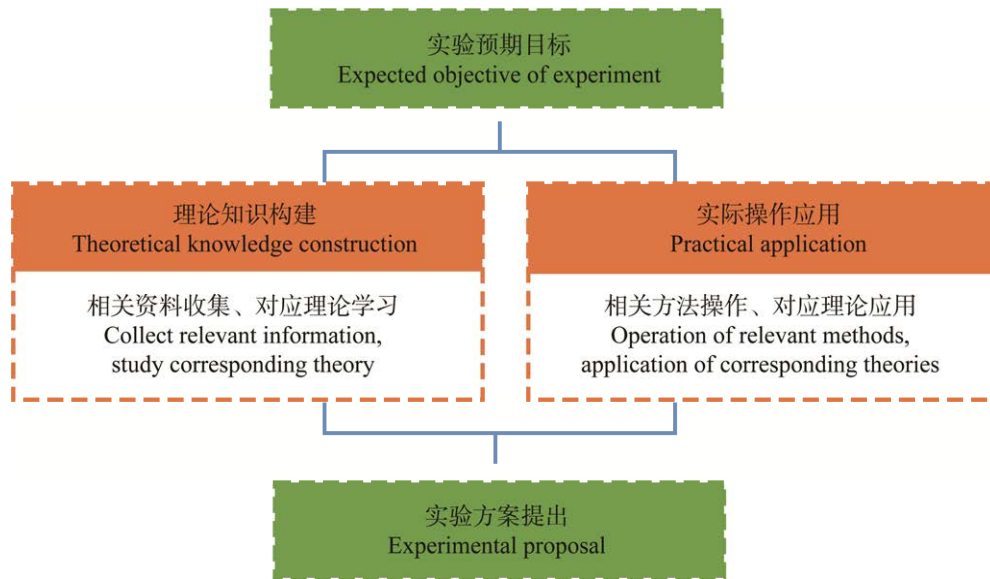


图 4 个体知识建构过程示意图

Figure 4 Schematic diagram of individual knowledge construction process.

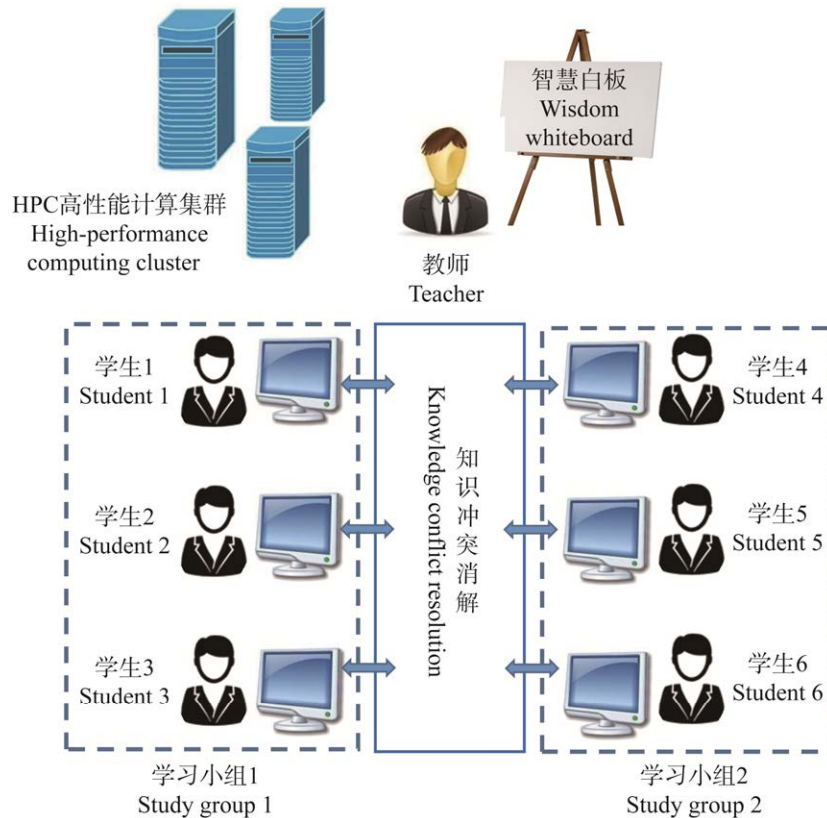


图 5 协同决策体系结构

Figure 5 Collaborative decision architecture.

的畅通,有助于小组高效地做出群体决策,也可以有效避免组员间的重复操作和决策冲突。该环节通过群体成员间的话语表述、观点交流、辩论共享等方式解决个体知识建构过程中遇到的难点,对每个个体提出的实验方案进行总结、归纳、改进,提出一套较适合的方案<sup>[16]</sup>。

操作过程中,小组成员间通过频繁的交流、讨论迅速明确阶段目标,不断改进实验方案或技术路线。系统在某些问题节点处预设了多个分支,如在对脱氮基因进行定位时实验方法有质粒消除、基因组文库构建、全基因组测序,因此,小组在解决某个问题时的不同选择可能会产生不同的运行结果,不同小组产生的总体解决路径可能存在差异,从而产生多种路径下的不同处理结果。同时,教师可在后台实时观察每个小组的交流状况和操作情况,必要时通过实时通讯对各个小组进行适当引导。

根据学生分类结果,将班级学生划分为多个学习小组,按照组别分别划分为:1号 Agent group, 2号 Agent group等,各 Agent group 又根据任务分解和组内分工的不同,分解为多个 Agent,各 Agent 即各学生个体的职能各不相同、分工协作,完成虚拟场景中的实验任务。其中最关键的环节是解决 Agent 之间的通信、协作与冲突消解问题。在基于 Multi-Agent 的协同知识建构体系结构中,教师起到了冲突消解和方向引导的作用。

### 3.1.4 基于点评的高层次认知环节

实验操作结束后,群组成员获得一定实验结果并撰写实验报告。在实验教学过程中,虚拟仿真平台会对群组成员间的交互学习过程和实验操作过程进行实时、详细记录,并根据群组成员的参与情况、操作情况进行打分。最终的成绩判定基于实验报告、实验操作情况以及群体交互过程中成员的表现情况。

实验报告提交后,教学平台将自动生成一份点评报告,即系统对群体成员实验方案选择、操作的日志评价,学生根据此份报告自行总结实验过程中的不足,并对自己在群体交互式学习中的表现情况进行反思。教师根据教学平台反馈的学生的主动探究、团队协作、问题思考、实验操作等过程的表现情况,进而对学生进行点评,强调优点、指出不足并给出改进建议。在最后教师给出“微生物脱氮机理及实际应用”这一实验的较合适方案,对实验方法的选择、实验方案的确定进行讲解,指出各小组实验方案中的不足并解释原因,以供学生思考和总结,引导学生将知识与实际应用、学科交叉等进行关联。

## 3.2 效果与反思

群体协同交互式学习模式在微生物生理学虚拟仿真实验教学中的效果,根据教学结果、学生反馈情况以及往年实验教学开展情况,可以发现群体协同交互式学习在一定程度上深化了学生对知识的理解,提高了学习成效,使理论知识与实践过程更加统一。实验不再是一味地模仿、跟随,而是学生根据自己的选择,更系统、整体地学习了实验操作。群体协同交互式学习强调群体间的交流、沟通,锻炼了学生的表达能力、团队协作等工程实践能力。

以 2022 年群体协同交互式学习模式下学生反馈评价情况为例,该学期共 11 名学生选修“微生物生理学”课程,实验部分融入日常教学内容中。根据每 3 人一组的分组原则,将学生平均分为 4 组进行虚拟仿真实验操作。由最终学生反馈情况可知:所有学生都认为虚拟仿真实验系统对实体实验起到了相辅相成的教学效果,其中有 6 名学生(占比 54.55%)认为群体协同交互式学习模式对本学科教学有着必不可少的作用;有 9 名学生(占比 81.82%)认为与传统

模式相比, 虚拟仿真实验能够有效整合知识框架、缩短实验时间, 在群体协同交互下更为充分地掌握实验原理; 有 9 名学生(占比 81.82%)认为在此种教学模式下其思维能力、沟通交流能力、实践能力有了较大的提升, 掌握了整个实验的核心内容, 具有较高的教学满意度; 有 2 名学生(占比 18.18%)认为大致掌握了实验的核心内容, 认为虚拟教学平台存在改进的空间, 其教学满意度是“较为满意”。

2020 年共 13 名学生选修此门课程, 由最终的教学反馈可知学生教学满意度为“非常满意”的仅为 60.00%, 经询问得知, 在传统教学模式下, 仪器材料、实验空间受限导致只有少数学生能进行实验操作, 学生对整个实验的设计及操作存在一定程度的不理解, 导致学生教学满意度下降。同 2020 年实验教学开展情况相比, 2022 年群体协同交互式学习模式下学生的教学满意度提高, 认为虚拟仿真实验课程与理论课程有紧密的联系, 能够有助于理解污水处理与微生物脱氮机制相结合, 实践能力、沟通能力也均得到提高。表 1 为学生教学满意度比较。

表 1 学生教学满意度比较

Table 1 Comparison of students' teaching satisfaction

年度	学生人数	非常满意	较为满意	一般满意
Year	The amount of students	Very satisfied	Relatively satisfied	Generally satisfied
2022	11 (有效评教 11 Valid number 11)	9 (86.67%)	2 (13.33%)	0
2021	15 (有效评教 15 Valid number 15)	13 (86.67%)	2 (13.33%)	0
2020	13 (有效评教 10 Valid number 10)	6 (60.00%)	3 (30.00%)	1 (10.00%)

表 2 学生课程最终成绩比较

Table 2 Comparison of students' final scores

年度	学生人数	成绩区间	成绩区间	成绩区间
Year	The amount of students	Scores range (90–95)	Scores range (85–90)	Scores range (<85)
2022	11	4 (36.66%)	4 (36.67%)	3 (27.27%)
2021	15	4 (26.66%)	10 (66.67%)	1 (6.67%)
2020	13	3 (23.08%)	5 (38.46%)	5 (38.46%)

由表 2 学生最终成绩比较可知, 此教学模式下学生最终成绩分布集中于 85–95 区间(占比 72.72%), 同近 2 年传统教学模式相比, 学生总成绩得到显著提高, 说明群体协同交互式学习模式能够有效辅助教学, 加深学生对课堂内容的理解和掌握, 提高教学质量, 真正做到了学以致用, 实验过程全员参与, 实验操作全员熟悉。

由于是初次尝试将此种学习模式结合到虚拟仿真的实验教学中, 尚存在一些不足之处。例如, 实时通讯的稳定性和流畅性还需进一步提高; 部分学生群组的协作效率不够高效, 这可能与学生个体的性格及交流方式有关, 在未来应对群组的组建过程进行把关; 在小组协作中尚存在个别学生参与度低或一直处于被动状态。因此, 未来在教学过程中还应该进一步去完善虚拟仿真教学实验的教学方式。

## 4 结语与展望

本文归纳了群体协同交互式学习模式的优势、特征、构成要素, 论述了此种学习模式在“微生物生理学”虚拟仿真实验教学中的应用方法,



并对此学习模式的应用效果进行了总结反思。在“新工科”背景下, 群体协同交互式学习成为一种绩效较高的学习模式, 通过群体协同交互式学习模式可以提高学生的学习兴趣, 建立“以学生为中心”的自适应成长体系, 创建有利于培养学生实践能力和创新思维的实验教学体系。未来此模式的应用将会更加普遍, 除微生物相关领域, 其他领域如医学教育、数学教学等可在此模式的基础上进行更深入的虚拟仿真程序开发, 以满足高质量教学的需求。对系统进行优化、扩充教学内容、学科的交叉应用将会是此模式的发展方向。

## REFERENCES

- [1] 刘健文. 混合式教学模式相对于传统教学模式的优势分析[J]. 科教导刊(下旬刊), 2020(13): 119-120.  
LIU JW. Analysis of the advantages of hybrid teaching mode over traditional teaching mode[J]. The Guide of Science & Education, 2020(13): 119-120 (in Chinese).
- [2] 李昂, 郭亮, 邢德峰, 刘冰峰, 谢国俊, 赵英, 林楠, 马放. 新工科背景下“微生物生理学”虚拟仿真实验教学模式探索: 以“微生物絮凝剂合成机制及应用”为例[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1312-1319.  
LI A, GUO L, XING DF, LIU BF, XIE GJ, ZHAO Y, LIN N, MA F. Exploration of virtual simulation experiment teaching mode of Microbial Physiology under new engineering background: taking the mechanism research and application of microbial flocculant synthesis as an example[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1312-1319 (in Chinese).
- [3] 王舒婷, 许昌林. “微课”教学模式与传统教学模式的对比分析[J]. 教育现代化, 2019, 6(1): 139-141.  
WANG ST, XU CL. Comparative analysis between the “microlectures” teaching mode and the traditional teaching mode[J]. Education Modernization, 2019, 6(1): 139-141 (in Chinese).
- [4] FRANK F, THOMAS T. Umgedrehter unterricht-flipped classroom als methode im physikunterricht flipped classroom as teaching method in physics school education[J]. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: German Journal of Science Education, 2019, 25(1): 77-95 (in German). <https://link.springer.com/article/10.1007/s40573-019-00093-8>.
- [5] 李昂, 崔崇威, 马放, 杨基先. 学科交叉背景下的微生物生理学课程体系改革与建设[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 581-588.  
LI A, CUI CW, MA F, YANG JX. Reformation and construction of course system of Microbial Physiology in the interdisciplinary context[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 581-588 (in Chinese).
- [6] 郭嘉仪. 团队协作探究式实验教学机制研究[J]. 科技资讯, 2016, 14(18): 103-104.  
GUO JY. Research on experimental teaching mechanism of team cooperation and inquiry[J]. Science & Technology Information, 2016, 14(18): 103-104 (in Chinese).
- [7] 庄慧娟, 柳婵娟. 基于解释的协作知识建构过程模型[J]. 现代教育技术, 2008, 18(9): 19-22, 31.  
ZHUANG HJ, LIU CJ. Collaborative knowledge-building process model based on explanation[J]. Modern Educational Technology, 2008, 18(9): 19-22, 31 (in Chinese).
- [8] 李文娟, 朱弘扬. 线上课程群体学习动力机制及优化策略研究[J]. 教育导刊, 2020(5): 63-67.  
LI WX, ZHU HY. Research on motivation mechanism and improvement of group learning online[J]. Journal of Educational Development, 2020(5): 63-67 (in Chinese).
- [9] 阚玉香. 小组合作学习在思政课教学中的应用[J]. 现代商贸工业, 2021, 42(14): 125-126.  
KAN YX. Application of group cooperative learning in ideological and political teaching[J]. Modern Business Trade Industry, 2021, 42(14): 125-126 (in Chinese).
- [10] 杨芳, 张欢瑞, 张文霞. 基于MOOC与雨课堂的混合式教学初探: 以“生活英语听说”MOOC与雨课堂的教学实践为例[J]. 现代教育技术, 2017, 27(5): 33-39.  
YANG F, ZHANG HR, ZHANG WX. A study on the blended learning based on MOOC and rain classroom: taking the teaching practice of “conversational English skills” MOOC and rain classroom as an example[J]. Modern Educational Technology, 2017, 27(5): 33-39 (in Chinese).
- [11] 李海峰, 王炜. 面向问题解决的在线协作知识建构[J]. 电化教育研究, 2018, 39(1): 36-41, 67.  
LI HF, WANG W. Problem-solving oriented online collaborative knowledge building[J]. e-Education research, 2018, 39(1): 36-41, 67 (in Chinese).
- [12] 马宁, 吴焕庆, 崔京菁. 以协同知识建构为核心的教师混合式研训模型研究[J]. 教师教育研究, 2017, 29(3): 31-38.  
MA N, WU HQ, CUI JJ. A blended teacher research

- and training model based on collaborative knowledge building[J]. *Teacher Education Research*, 2017, 29(3): 31-38 (in Chinese).
- [13] 马宁, 李亚蒙, 何俊杰. 群体知识建构视角下教师混合式研训的组内交互及知识建构层次分析[J]. *现代教育技术*, 2019, 29(4): 47-53.  
MA N, LI YM, HE JJ. The analysis of group interaction and knowledge construction levels of mixed research and training for teachers under the perspective of group knowledge construction[J]. *Modern Educational Technology*, 2019, 29(4): 47-53 (in Chinese).
- [14] 钟志贤. 知识建构、学习共同体与互动概念的理解[J]. *电化教育研究*, 2005, 26(11): 20-24, 29.  
ZHONG ZX. Knowledge construction, learning community and understanding of interactive concepts[J]. *E-education Research*, 2005, 26(11): 20-24, 29 (in Chinese).
- [15] 高红萍, 王素华, 阴海静, 白钢, 王丽. 开放式实验教学方式与传统实验教学模式教学效果调查分析[J]. *包头医学院学报*, 2017, 33(4): 126-128.  
GAO HP, WANG SH, YIN HJ, BAI G, WANG L. Analysis about the teaching effect of open experimental teaching methods and traditional experimental teaching mode[J]. *Journal of Baotou Medical College*, 2017, 33(4): 126-128 (in Chinese).
- [16] 毛献峰. 基于知识学习理论的科研团队内部学习行为影响因素研究[J]. *校园心理*, 2021, 19(5): 415-418.  
MAO XF. Research on the influencing factors of the internal learning behavior of the research team based on knowledge learning theory[J]. *Journal of Campus Life & Mental Health*, 2021, 19(5): 415-418 (in Chinese).