人工智能融入“食品微生物学”教学体系构建与探索

方冠宇[1*]，王 真[2]，刘兴泉[1]

（1. 浙江农林大学 食品与健康学院，浙江 杭州 311300；2. 浙江农林大学 数学与计算机科学学院，浙江 杭州 311300）

摘 要 随着人工智能（Artificial Intelligence，AI）技术的快速发展，食品工业在质控和供应链优化等领域正加速向智能化转型，但传统“食品微生物学”教学仍以理论讲授和微生物培养、计数、革兰染色等基础实验为主，教学内容与行业前沿需求严重脱节，制约了复合型人才的培养。“食品微生物学”以微生物学为基础，融合食品科学、生物信息学、食品化学、发酵工程等多个学科的前沿领域，本文基于其多学科交叉背景，系统探讨 AI 技术赋能本科“食品微生物学”课程教学的改革路径，提出从课程内容重构、教学模式创新、实践能力培养等方面推进改革，通过补充 AI 基础理论与前沿案例，构建线上、线下协同的教学资源库，设计虚实结合实验项目，强化学生利用 AI 工具解决发酵优化、微生物鉴定等实际问题的能力，依托产学研平台，建立创新能力培养机制。以浙江农林大学为例，详细阐述了 AI 融入“食品微生物学”课程的改革方案，展示了 AI 技术在优化食品发酵、代谢预测、食品安全预警等教学内容中的具体应用。AI 与“食品微生物学”教学优化的深度融合可推动教学从“经验驱动”向“数据驱动”转变，为食品工业智能化发展提供可持续发展的人才支撑。

关键词 人工智能（AI）；食品微生物学；教学改革；交叉学科；教学设计；项目式教学

中图分类号 Q939.9；TS201.3 **文献标识码** B **文章编号** 1005－7021（2026）03－0127－10

doi：10.3969/j.issn.1005－7021.2026.03.011

Construction and Exploration of Teaching System by integrating artificial intelligence into "Food Microbiology"

FANG Guan-yu[1*], WANG Zhen[2], LIU Xing-quan[1]

（1. *College of Food & Health, Zhejiang A&F University, Hangzhou* 311300;
2. *College of Mathematics and Computer Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou* 311300）

Abstract With the rapid development of artificial intelligence (AI) technology, the food industry is accelerating its transformation toward intelligence in areas such as quality control and supply chain optimization; however, traditional "Food Microbiology" teaching remains primarily centered on theoretical lectures and basic experiments such as microbial cultivation, counting, and Gram staining. This significant disconnect between teaching content and cutting-edge industry demands constrains the cultivation of interdisciplinary talents. "Food Microbiology" grounded in microbiology, integrates advanced domains from multiple disciplines, including food science, bioinformatics, food chemistry, and fermentation engineering. This article systematically explores reform for AI-empowered undergraduate "Food Microbiology" course instruction. It advocates advancing educational reforms by restructuring course content, innovating teaching models, and enhancing practical training. By incorporating AI foundational theory and frontier case studies, an integrated online-offline teaching resource repository is constructed. Hybrid virtual-physical experimental projects are designed to strengthen students′ ability to utilize AI tools in solving practical problems like fermentation optimization and microbial identification. Industry-academia-research platforms are leveraged to establish an innovation capability cultivation mechanism. Based on a case study at Zhejiang A&F University, this article details the reform plan for

基金项目：国家自然科学基金项目（32401323）；浙江农林大学人才启动项目（2024LFR050）

作者简介：方冠宇 男，副教授，博士，硕士生导师。主要从事食品微生物学教学和科研工作。E-mail：fangguanyu@zafu.edu.cn

* 通讯作者。

收稿日期：2025-10-10

AI integration into the food microbiology curriculum, demonstrating concrete applications of AI technology in enhancing instructional content such as food fermentation, metabolic prediction, and food safety early-warning systems. The integration of AI with "Food Microbiology" education will propel a transition from "experience-driven" to "data-driven" pedagogy, thereby providing sustainable talent support for the intelligent advancement of the food industry.

Keywords artificial intelligence; Food Microbiology; reform in education; interdisciplinary studies; instructional design; project-based teaching

近年来,随着食品加工过程数字化程度的持续增强,人工智能(Artificial Intelligence,AI)技术逐步被引入食品工业的原料剖析、过程把控以及质量评判等环节。部分机器学习(Machine Learning,ML)模型已能够借助传感器数据与机理模型,针对原料成分、质构波动等要素展开实时判定,同时助力解决个性化营养定制等需求[1]。有研究采用灰度箱模型来动态调整3D食品打印过程中的参数,以改善成品的稳定性和可重复性[1-2]。已有研究表明,在食品微生物学领域AI技术被用于图像识别、自动计数、多源数据整合与风险预测等场景,并且在发酵过程监测方面展现出一定潜力[3-6]。例如在发酵工程中,可应用智能模型辅助进行工艺优化、菌种筛选,以及食源性致病菌的快速检出,这些应用给传统微生物分析赋予了新的技术选项[7-8]。深度学习在微生物图像识别领域的应用,显著提高了菌落计数与分类效率[9-10]。在发酵工程领域,借助强化学习算法对工艺参数进行优化,有效降低了试验迭代次数[11-12]。近年来,生成式模型虽已被用于探索益生菌潜在功能,但仍需进一步实验验证[13-15]。这些技术的发展虽仍需调整和完善,但已经给食品微生物研究方法带来了实质性的影响。同时这类技术的推进也对本科教学提出了新的要求。当前“食品微生物学”课程仍以传统实验以及理论讲授为主要方式,教学内容与AI工具的应用有一定的距离,学生在跨学科解决问题能力方面的训练有所欠缺[16-17]。“食品微生物学”是食品科学与工程、生物工程及发酵工程等专业的基础课程,内容涵盖了微生物生理、食品安全、发酵工艺等多个知识模块,其理论与应用关联紧密且学科交叉程度较高,在食品工业朝着智能化、精准化方向发展的形势下[18-20],原本课程的教学模式在一定程度上难以契合企业以及研究机构对创新型人才的需求。已有少数高校的“食品微生物学”课程尝试引入虚拟仿真教学或案例教学,但AI相关内容的系统性融入有限,大多停留在示范性或补充性环节[21]。因此当前课程改革中亟需讨论的问题是怎样把AI基础方法和“食品微生物学”教学内容合理地结合起来,并且构建一个既注重理论又能兼顾技术与实践的教学框架[22-23]。本文基于多学科交叉背景,从课程内容重构、教学模式创新、实践能力培养等方面介绍AI赋能本科食品微生物教学的改革路径。首先,通过补充AI基础模块与前沿案例,构建线上、线下协同的教学资源库;其次,设计融合AI的虚实结合实验项目,提升学生利用智能工具解决发酵调控、微生物鉴定等实际问题的能力;最后,依托产学研合作平台,建立学科竞赛、科研项目与产业需求联动的创新能力培养机制。本文以浙江农林大学“食品微生物学”课程为例,系统阐述AI融入教学的设计方案与成效,以期为新工科背景下食品类课程改革提供参考,助力培养兼具生物科学素养与AI技术应用能力的高水平复合型人才。

1 人工智能赋能“食品微生物学”课程的教学理念

在食品工业智能化转型的背景下,AI与食品微生物学的深度融合正在推动教学体系重构[24]。通过将组学数据分析等生物信息学工具和机器学习建模等AI技术在“食品微生物学”理论教学中进行讲解,并列举实时发酵数据优化工艺案例的教学与实践项目,实现了多学科知识的有机融合,旨在培养学生运用智能技术解决复杂食品微生物问题的综合能力。以生物问题驱动到技术应用拓展为主线,打破教学壁垒,通过“分层递进”的教学模式,以“认知-解析-迁移”三阶路径衔接基础理论与产业实践,依托校企协同开发数据驱动的综合性实验,将发酵优化、菌种筛选实验等转化为

教学实践项目，推动基于“做中学”的创新能力培养。同时，贯穿 AI 伦理教育，培养学生技术向善的责任意识，实现知识传授、能力培养与价值引领的有机统一（图 1）。

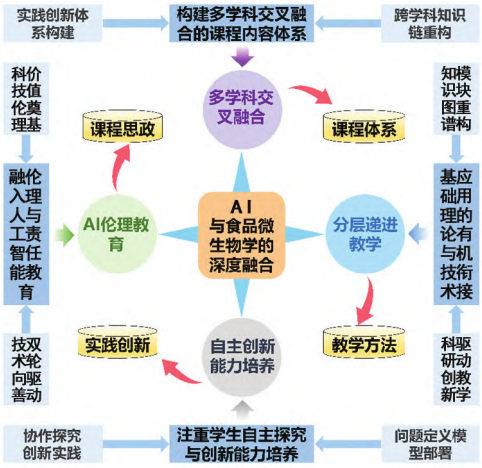


图 1　AI 融入“食品微生物学”课程的教学体系构建

Fig. 1　Construction of teaching system for "Food Microbiology" course empowered by artificial intelligence

1.1　构建多学科交叉融合的课程内容体系

AI 在食品微生物领域的应用涵盖了从菌种选育、发酵过程优化到食品安全防控的全产业链条[1,18,25-27]。食品微生物学与 AI 的深度融合需打破传统学科边界，构建涵盖微生物学、数据科学、工程学及伦理学的跨学科知识框架。课程内容需系统整合 AI 基础理论与微生物学核心问题，形成“生物问题驱动-算法模型解析-技术应用拓展”的逻辑链条[18,28-29]。AI 融入“食品微生物学”教学需要以真实食品产业场景为支撑，通过深化产学研协同，构建产学研联动的实践教学体系。打破传统“食品微生物学”实验教学与实际食品产业联系不紧密等问题，将实际产业中的痛点问题转化为实践教学项目，并通过校企共同开发围绕发酵工艺优化、微生物功能挖掘等方向的课程内容，设计以产业问题驱动的综合性实验。例如，浙江农林大学联合浙江塔牌绍兴酒有限公司等企业，针对不同批次生产的黄酒品质不稳定的问题，共同开发“不同批次黄酒发酵微生物群落结构解析”实验课程模块，由企业对工业化数据进行采集，并提供微生物测序数据。学生基于企业提供的数据，利用随机森林（Random Forest）等算法解析不同批次间微生物群落结构差异及其对黄酒品质的影响，为通过微生物调控改良黄酒品质提供基础，从而实现 AI 技术与产业实际问题的深度绑定。

1.2　强化基础理论与技术应用的有机衔接

针对食品类专业学生 AI 基础薄弱的特点，采用“分层递进”教学模式，在低阶目标中，通过选修中国大学 MOOC 平台“Python 数据分析”等课程补充 Python 编程、数据预处理及经典机器学习算法的基础知识；在高阶目标中，设计“问题导向”的实践任务，引导学生将智能图像识别与模式分析等 AI 方法应用于菌种筛选、发酵过程优化等实际场景。在 AI 赋能“食品微生物学”教学体系改革中，强化基础理论与技术应用的有机衔接、构建“认知-解析-迁移”的三阶递进式教学模式。首先通过重构课程知识图谱，将传统微生物学基础理论细分为微生物分类、代谢机制、食品发酵等核心模块，培养用智能工具解决复杂问题的思维模式。同时推行微型科研项目驱动教学实践，以食品微生物检测、发酵过程优化等真实产业需求为导向，设计贯穿课程周期的连续性实践任务，引导学生将基础实验技能与机器学习、图像识别等 AI 工具进行组合创新，在技术融合过程中深化对微生物理论知识的理解。

1.3　注重学生自主探究与创新能力培养

AI 技术的应用需以真实产业场景为支撑，通过深化产学研协同，构建“教学-科研-产业”联动的实践教学体系。从教学层面，需打破传统实验的孤立性，将产业痛点转化为实践项目。通过校企协同开发课程模块，围绕发酵工艺优化、微生物功能挖掘等方向，设计数据驱动的综合性实验。通过翻转课堂、文献研讨等形式，引导学生从食品工业痛点出发，自主设计 AI 解决方案。同时，在课外科研活动中，依托学科竞赛，鼓励跨专业组队完成综合性项目，如与企业进行合作，以实际项目开发智能化的微生物发酵监控系统。通过“做中学”模式，培养学生从问题定义、数据获取到模型部署的全流程创新能力，强化工程实践素养。

1.4　AI 伦理与责任教育

在“食品微生物学”教学融入 AI 技术的过程中，引导学生不仅认识到 AI 的使用边界，还要让

学生意识到其潜在风险。课程可适度融入与科技伦理有关的内容,帮助学生了解数据隐私的重要性,认识算法可能存在的偏差,并理解 AI 技术应用中的不确定性等问题。通过案例分析,引导学生在面对具体问题时做出理性判断,形成并坚守正确的价值观。在“食品微生物学”课程教学中需融入课程思政元素,结合《生物安全法》以及当下有关 AI 的伦理规范,使学生明晰相关技术在食品安全监测、微生物数据处理等领域应用时的合规要求与社会责任,AI 伦理与责任教育在助力学生掌握技术方法同时,也能够让学生了解技术决策背后的伦理问题。通过这些教学形式不但增强了学生的专业技能,也培养了学生的技术创新能力与价值判断能力。

2 AI 融入“食品微生物学”教学课程架构及实施途径

2.1 AI 基础内容补充教学

由于许多具有食品科学背景的学生在 AI 领域的基础较为欠缺,需要在课程中面向“食品微生物学”应用合理补充机器学习、深度学习、生成式模型等 AI 基础内容。考虑到课程的学时限制以及学生间的基础差异,采用选修“线下课堂教学 + 线上第二课堂”相结合的方式进行 AI 的基础教学。线下课堂主要聚焦于理论讲解和案例解析,通过精讲 AI 基本原理、数据预处理、模型评估与可视化等通用内容,为学生打下坚实的理论基础;而线上第二课堂则通过学习平台布置延伸学习任务,包括论文导读与项目式学习,灵活适应学生个体差异,鼓励个性化深度学习。基于食品微生物学领域对 AI 技术的核心需求,可将机器学习、深度学习和生成式模型三大模块进行教学重构。将机器学习模块聚焦于食品微生物检测与分类的常用算法,如随机森林、支持向量机等,并结合典型数据集进行模型构建;深度学习模块则重点引导学生理解卷积神经网络(CNN)等模型在菌种识别、代谢预测中的应用;生成式模型模块以微生物图谱构建和合成菌群模拟为主要场景,提升学生对前沿技术的理解与应用能力。通过各模块配套案例、编程任务与课程项目,形成以问题为导向的模块化学习路径。机器学习模块侧重特征工程与分类算法,着重培养学生处理微生物组学数据的能力。深度学习模块聚焦 CNN 与循环神经网络,支撑显微图像识别和时序数据分析。生成式模型模块则对接蛋白质设计、代谢通路优化等前沿应用场景。由于课程学时要求,需开展课堂精讲原理与线上自主训练的双轨学习路径。

在“食品微生物学”基础理论授课前,需增设“人工智能基本原理与应用”专业选修课。该课程由数学与计算机科学学院教师开展教学,时长 32 课时,重点讲授机器学习核心框架及其在微生物组学中的应用,结合食品发酵微生物群落动态预测、功能代谢通路挖掘等典型场景,解析监督学习与非监督学习的原理,并阐明准确率、F1 值、混淆矩阵、轮廓系数等评价指标的实际意义。在此基础上,系统梳理 K 近邻、决策树、梯度提升树等经典算法,以及长短期记忆网络(LSTM)、变分自编码器、时空图神经网络等在微生物时序数据建模、代谢产物生成预测中的前沿应用。授课中着重对比不同算法对微生物多维数据(如 16S rRNA 序列、宏基因组代谢网络、发酵过程动态参数)的特征解析能力,结合浙江省特色发酵产业——黄酒发酵菌群互作预测等案例,具象化展示 AI 技术从数据到机理的挖掘路径。

依托中国大学 MOOC、学堂在线等平台,融合《深度学习原理与实践》《生物信息学导论》《R 语言与生物数据分析》等课程资源库,围绕微生物组学数据分析全流程,让学生通过自学的方式在线学习 AI 相关课程。详细学习随机梯度下降、反向传播等算法原理,以及逻辑回归、图神经网络等模型的数学表达式,并针对食品微生物数据高维度、小样本、强噪声的特点,解析数据增强、迁移学习、元学习等解决方案的设计思路。在课程教学中,通过对黄酒发酵微生物群落检测及规律预测、酸奶发酵菌群稳定性预测、食源性致病菌快速识别等行业的案例解读,强化 AI 技术在食品微生物检测、调控与工业化应用中的实践能力迁移。

2.2 AI 融入“食品微生物学”课程教学

AI 技术在食品微生物学领域的快速渗透,为课堂教学提供了丰富的跨学科融合场景(图 2)。在“微生物形态与结构”章节中,从微生物学实验课中获取微生物的显微图像并通过引入基于深度

学习的显微图像分析技术，教师通过展示预训练好的 CNN 在细菌显微图像分类中的应用案例，向学生介绍图像的采集、标注、输入模型、模型输出结果等基本流程，以突破传统形态学观察的局限性。在课堂教学中展示 CNN 如何从复杂菌菌落图像中提取形态特征，并自动分类未知微生物。教师可结合可视化工具动态呈现神经网络的特征提取过程，帮助学生理解 AI 如何将形态学数据转化为可量化的分类指标。同时，通过对比传统染色法分类与 AI 分类的准确率差异，引导学生思考技术迭代对基础研究的推动作用。

在“食品微生物学”课程中融入 AI 技术，需针对不同章节的知识体系特点，系统性补充相关基础内容。针对第一章“微生物形态与结构”和第三章“微生物遗传变异与菌种发育”等基础理论章节，线下课堂教学需嵌入机器学习与深度学习的基本原理，在“微生物形态与结构”章节，结合细菌图像识别案例，简要介绍 CNN 在细菌形态分类中的原理框架，如特征提取、图像分层处理等核心概念，配合教学可视化材料帮助理解；在“微生物遗传变异与菌种发育”章节，介绍如何利用聚类算法、主成分分析（PCA）等机器学习方法辅助菌株分型与遗传特征归类，强化数据与表型之间的联系。



图 2　AI 融入微生物教学实施方式

Fig. 2　Implementation method of integrating artificial intelligence into microbiology teaching

对于第二章“微生物营养与代谢”和第四章“微生物生态”等涉及复杂系统的章节，线下课堂需加强生物信息学的教学，解释其应用逻辑。在讲授微生物代谢网络时，结合生物信息学中代谢通路重建的基本概念，介绍如何通过已有数据库查找并分析微生物代谢途径，引导学生理解微生物对营养元素的吸收、转化路径与调控机制；在讨论微生物生态系统动态变化时，引入强化学习的初步思想，通过模拟微生物在不同环境压力下的“学习”与“适应”行为，帮助学生建立微生物生态适应的动态模型思维；教学中将设计简化案例分析或课堂讨论，提供不同生态条件下微生物生长数据，通过课堂作业鼓励学生使用图示法或逻辑推演模拟“最代谢路径”或“资源选择策略”，以此激发学生跨学科思维，提升系统分析能力。

在第五章“食品制造中主要微生物及其应用”和第七章“食品腐败变质及其控制”等应用导向章节，线下实验教学需强化时序数据分析与优化算法的理论基础，通过发酵过程中的温度、pH 值、微生物数量等时序数据，引导学生了解时间序列的基本结构、趋势识别与预测意义，并结合 LSTM，介绍其在多步预测、非线性建模中的优势；设计情境式任务，例如提供某传统发酵食品的历史生产数据，通过课外作业的形式要求学生分析不同条件下的关键影响因素，并模拟如何通过“时间-状态”变化预测产物品质波动；在食品腐败控制教学中，引入强化学习中“状态-动作-奖励”的基本思想，通过简化图示，帮助学生理解如何基于实时监测数据做出最优控制决策；通过教学软件（如 Excel、Python）或教学演示视频进行辅助教学，降低算法复杂度，提

升学生对时序建模与决策机制的感性理解与跨学科应用意识。

总之,AI 与“食品微生物学”教学的融合极大地提升了教学的直观性与前瞻性,塑造了学生跨学科解决复杂问题的能力和创新意识。

2.3 AI 融入“食品微生物学实验”教学

在“食品微生物学实验”教学中融入 AI 技术,需重构传统实验框架,构建虚实结合、数据驱动的实践体系。在“微生物培养及形态观察”等基础实验中,可以引入基于计算机视觉的智能显微分析平台,替代传统课程中学生通过人工观察与手工记录模式。在“啤酒的发酵”实验中,学生可以基于浙江农林大学食品加工中试实验基地实现啤酒工业级发酵,采集发酵过程中的理化参数获得数据集,利用 R 语言等工具通过 lasso 回归等构建动态预测模型,模拟不同温度、pH 条件下的产物积累规律。同时,在浙江农林大学食品加工中试实验基地进行真实发酵实验,布署物联网传感器实时采集多维度数据。在“肉类腐败控制”实验中,利用高光谱成像技术与深度学习模型,让学生了解食品表面微生物污染的智能检测系统。学生通过采集不同腐败阶段的样本图像,训练目标检测算法识别腐败标志物,并结合环境参数构建腐败风险分级模型,从而掌握从数据采集到决策输出的全链条应用技术。

在“食源性致病微生物”实验模块中,需要强化 AI 技术的伦理约束与工程化落地能力。学生基于 NCBI(National Center for Biotechnology Information)数据库公开的致病菌基因组,利用机器学习构建耐药基因传播图谱,分析耐药性在食品链中的潜在扩散路径,并设计干预策略。实验报告需包含技术方案可行性、伦理风险评估,推动学生从单一技术应用向系统性工程思维转变。

2.4 项目式学习与创新能力培养

针对“食品微生物学”本科教学的创新人才培养,在实验课中进行项目式学习模式的构建需突破传统实验课程的碎片化训练框架,通过设计具有真实性与复杂性的工程问题,促进学生完成从生物机制解析、算法模型构建到工程验证的全流程创新实践(图 3)。在项目式学习中,以“黄酒发酵工艺优化”为任务,学生基于提供的发酵时序数据(如糖、乙醇和有机酸含量变化),分析核心微生物的代谢行为,构建温度-产物关系的基础模型,尝试运用 Excel 或 Python 进行简单预测。随后设计验证性小实验,测试模型有效性。通过文献调研、数据建模与实验验证的协同训练,培养学生的数据思维与工程创新能力,由于教学内容贴合本科生认知水平,因此具有较强的实施可行性。这种教学模式通过知识输入到问题解决的线性教育路径,使学生在应对食品工业真实挑战的过程中,自然融合微生物学理论、AI 技术与工程思维,形成面向未来产业变革的核心竞争力。项目设计的真实性锚点是激发创新潜能的关键。传统教学项目多局限于教材预设的理想化场景,而 AI 赋能的食品微生物项目需深度对接行业痛点,将食品腐败预警滞后、益生菌菌株选育周期长、发酵工艺调控粗放等现实问题转化为教学载体。学生通过文献调研等方式找到行业痛点,围绕行业痛点设计可操作的任务(如优化发酵参数等);提供简化真实数据供学生分析;结合小规模验证实验进行结果测试。围绕“食源性致病菌流行调查”主题,要求学生了解微生物快速检测技术、计算机视觉算法与物联网硬件,以及具有自主学习能力的食品安全预警系统。针对“食品发酵现存问题解决”需求,引导学生构建微生物群落动态模型,通过 AI 辅助优化发酵条件并在浙江农林大学食品加工中试车间进行啤酒发酵试验,及时发现发酵过程中出现的问题并提出解决方案。在实验环节,学生通过传感器采集温度、pH 值、溶氧等关键参数,判定发酵过程的运行状况。当发酵异常时,学生根据数据分析可能出现异常的原因,对工艺参数进行优化,并通过重复实验验证优化效果。该课程设计让学生能够很好地理解从数据获取到调控优化的工程思路,有效提升学生综合分析能力以及实际问题解决能力。此类更高要求的学习项目是基于真实生产数据设计的,要求学生不仅需要运用已有知识,还需要学习微生物学过程控制与数据分析等内容,在解决具体问题的过程中逐步形成更具结构性的知识框架,通过直面真实食品工程问题,增进学生的工程意识和创新能力,为食品工业智能化转型情境下的人才需求提供支撑。

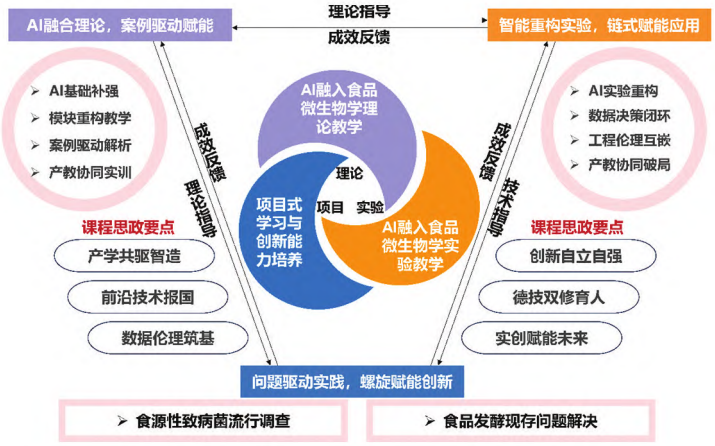


图 3　AI 融入“食品微生物学”教学内容

Fig. 3　Integration of artificial intelligence into "Food Microbiology" teaching content

2.5　教学质量反馈与优化

在微生物应用相关的教学模块中，引入企业发酵生产过程中产生的实时监控数据，展开案例教学。浙江农林大学通过与黄酒企业合作，获取发酵过程中的温度、pH、糖度及微生物群落的动态变化等关键运行参数，学生在课外作业中运用这些真实数据展开可视化分析及发酵动力学建模等活动，让学生理解黄酒发酵的关键控制环节。为使学生充分认识模型预测中的不确定性，在教学过程中对企业提供的偏差实例予以介绍，让学生从数据质量模型架构以及特征选取等方面探讨误差的来源，并且尝试提出切实可行的改进办法。学生在处理真实数据问题的同时，能够逐步构建面向工程实践的数据思维以及模型理解能力。针对食源性致病微生物检测中理论与实践衔接不足的教学难点，在教学中把最新发表的食品腐败微生物群落相关研究归入课堂内容，在课后作业里规定学生运用 AI 工具，针对群落组成及代谢网络予以分析，使学生了解学科前沿动态，这种把产业数据转变成教学资源的机制，能够使课程内容持续更新，增强了学生的实践参与感以及学习的针对性。

教师能力发展体系需与专业教学内容重构深度融合，协同推进。在“食品微生物学”教学融入 AI，教师需剖析学生在利用 AI 开展微生物相关分析时所呈现的共性错漏，进而优化教师的教学方案，使学生和教师的双向能力均得到提升，让教师不仅仅是知识传授者还应该是 AI 增强型学习的设计师。通过 AI 技术在微生物微观表征和食品工程的宏观需求之间构建数据桥梁，不但能够达成对传统教学评价维度的数字化重构，而且，能够洞察学生应对生物复杂性问题的动态思维过程，让隐性的创新能力发展进程变得更为明晰，这种深度融入专业知识的智能教学体系，为“食品微生物学”教育的数字化转型提供了可复制模式，也为新工科背景下生物技术人才的精准培养开辟了新路径。

3　AI 助力“食品微生物学”课程的成效

针对 AI 赋能“食品微生物学”的教学效果，对食品科学与工程专业 6 个班级参课学生进行问卷调查，发放问卷 130 份，收回 97 份。问卷调查结果显示（图 4），学生对课程难度的认知呈梯度分布：15 人（15.5%）认为“非常难”，24 人（24.7%）认为“难”，50 人（51.5%）认为一般，仅 8 人（8.2%）认为简单。这种认知分化反映了引入 AI 技术带来的挑战，同时也说明了课程内容进阶设计的必要性。约 40% 的学生感受到显著认知负荷，提示需加强 AI 技术原理的适应性转化。而近 60% 的学生适应良好，表明分层教学策略的有效性。值得关注的是，课程改革后出勤率为（96.47 ± 2.36）%，改革前为（94.27 ± 2.94）%，提升 2.20%。课程满意度调查显示，改革后学生对课程的满意度为（95.71 ± 3.94）%，改革前为

(90.19 ±4.05)%,呈现显著提升($P<0.05$),说明AI赋能教学模式有效激发了学生的学习内驱动力。但是AI融入“食品微生物学”教学的实施方式会显著影响学生的接受度与评价。AI融入食品微生物教学中采取的是教师演示和引导学生参与的形式,大多数学生只通过可视化界面观看AI应用演示(如菌落图像识别、发酵数据趋势分析),只有少数学生在教师指导下尝试进行基础数据处理与工具操作。因此,问卷结果中“学生普遍认为内容具有新颖性和适度挑战性”反映启发式参与程度下学生对教学成效的反馈。如果未来加大对AI工具实操的引导力度,可能会提升学生感知能力,这一问题将在后续教学优化中持续关注。

课程改革成效在实践环节得到进一步验证,啤酒发酵技能考核(学生啤酒制作能力、发酵过程中问题解决能力等)数据显示,课程改革后学生在发酵过程参数优化、异常发酵问题诊断等核心能力指标(啤酒的感官得分)得分(感官品评得分越好得分越高)为(88.65 ±5.65)分,显著优于改革前的(79.73 ±5.89)分,($P<0.05$)。这些成绩的取得得益于AI技术构建的“数据-模型-决策”闭环训练体系。通过AI赋能的发酵动力学数据训练,使学生建立了微生物生长与代谢参数间的量化认知;让学生借助机器学习算法对历史发酵失败案例的特征进行提取,强化学生的问题溯因能力;通过生成式模型提供的多场景解决方案推演,培养学生系统性工程思维。教学评价数据证实,AI技术不仅未削弱传统实验技能培养,反而通过数字化孪生、智能决策支持等手段实现了学生实践能力的进阶提升。

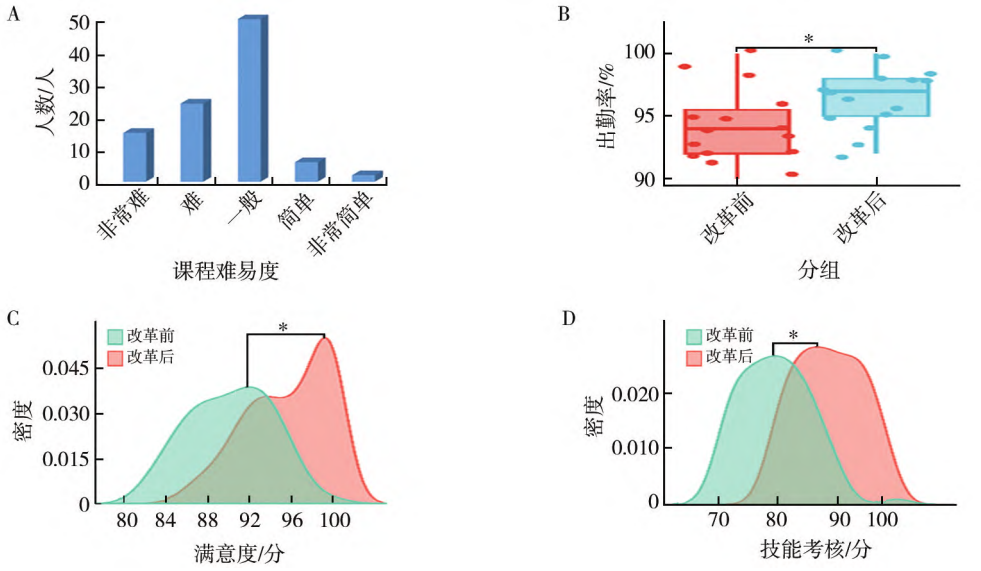


图4 AI融入食品微生物教学课程评价

Fig. 4 Evaluation of the integration of artificial intelligence into food microbiology teaching courses

A:学生对课程难易程度问卷调查;B:学生全课程的累计出勤率;C:学生对课程的满意度;D:技能考核成绩;* $P<0.05$

A: Student survey on the difficulty level of courses; B: Student attendance rate; C: Student satisfaction with the course; D: Skill assessment results; * $P<0.05$

4 展 望

鉴于食品工业数智化转型对人才培养提出的紧迫需求,本文设计了针对传统食品微生物学教学中存在的教学内容与前沿技术脱节、学生跨学科解决复杂工程问题能力不足的核心痛点的AI融入教学方法。尽管AI技术在微生物研究中展现出巨大潜力并取得显著进展,但是AI系统性融入本科教学仍处于初步探索阶段,还缺乏深度融合课程体系、匹配专业特色以有效衔接产业需求的成熟范式。因此通过构建AI赋能食品微生物学教学体系,创新生物问题驱动到算法模型解析再到技术应用拓展的逻辑链条,将AI从孤立工具升级为解析微生物复杂生命活动的核心方法,推动教学范式从经验驱动向数据驱动的根本性转变;设计“虚实结合、数据闭环”的创新实验体系,通

过对接啤酒、黄酒发酵技术改进等应用场景，可以将企业难题转化为教学项目，显著提高了学生利用 AI 工具解决发酵调控、微生物鉴定、安全防控等实际工程问题的能力；通过建立“产学研赛”联动的创新能力培养模式，依托浙江农林大学食品与健康学院中试实验基地等平台，以项目式学习驱动学生完成从问题定义、数据建模到工程验证的全链条实践，同时对学生进行贯穿始终的 AI 伦理教育，培养学生技术向善的责任意识。

展望未来，AI 融入“食品微生物学”教学面临关键挑战与发展机遇。AI 伦理教育需要更深层次地融入教学实践，并构建食品生物安全领域伦理框架，使学生在面对技术伦理冲突时具备分析与应对能力；构建“食品微生物学”知识体系为基础的专业大模型，更准确地解析复杂的生物过程并辅助生成实验方案或分析代码，从而可以根据学生的学习水平提供差异化支持，为教学实施提供可操作性的技术支撑。“食品微生物学”教学需要与产业进行更紧密的联系，不仅可以将企业数据作为教学案例，更需要将学生的优化方案向企业回馈，形成教学反哺产业、产业驱动教学的模式。最后，建立食品专家与 AI 专家的联合教学模式，共同进行教学方案设计，共同参与融入 AI 的“食品微生物学”教学，利用 AI 辅助教学分析工具实现精准教学干预。

本研究所构建的 AI 融入“食品微生物学”教学体系为“食品微生物学”课程的数字化转型提供了可操作的范式，其核心理念以复杂生物问题为锚点，以数据为纽带，以智能算法为引擎，以伦理责任为基石，对新工科背景下“食品微生物学”教学改革具有一定意义。随着生物计算化时代的加速到来，培养学生将微生物的生命活动抽象为可计算模型，并运用 AI 进行理性设计与调控的能力，已成为赋能食品工业智能化升级和保障食品安全的关键。本文论证了 AI 赋能“食品微生物学”教学改革的必要性与可行性，为新工科背景下食品类课程的数字化转型提供参考。

参考文献：

[1] Zhang L, Boom RM, Ma Y. Machine learning in automated food processing: A mini review[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2025, 16: 25-37.

[2] Qiao J, Zhang M, Wang D, et al. AI-based R&D for frozen and thawed meat: Research progress and future prospects[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2024, 23(5): e70016.

[3] 吴静珠，李林，吴宗柠，等. 基于知识图谱的食品领域数智化研究进展[J]. 食品科学技术学报，2024，42(5)：24-32.

[4] 郭志明，张鹏敏，李兆丰，等. 食品智能仓储、包装技术与高端装备研究进展[J]. 中国食品学报，2025，25(1)：12-25.

[5] 左敏，王菲，宋绍义，等. “智慧 + 食品监管”：发展历程、应用现状与未来方向[J]. 食品科学技术学报，2024，42(3)：1-10.

[6] 王蓓，王颖，王亚东，等. 数据挖掘与建模技术在食品嗅觉和味觉感知与情绪认知中的应用[J]. 中国食品学报，2024，24(7)：1-13.

[7] 王宁晓璇，李欣，黄玉立，等. 机器学习在传统发酵食品微生物结构及品质控制中的应用研究进展[J]. 食品工业科技，2024，45(13)：360-367.

[8] 周洁红，魏珂，金宇，等. 基于机器学习的食品安全风险预测与监管政策启示：以生鲜水产品为例[J]. 农业经济问题，2024(5)：4-19.

[9] Gerber GK. AI in microbiome research: Where have we been, where are we going? [J]. Cell Host & Microbe, 2024, 32(8): 1230-1234.

[10] Huang Y, Sheth RU, Zhao S, et al. High-throughput microbial culturomics using automation and machine learning[J]. Nature Biotechnology, 2023, 41(10): 1424-1433.

[11] Liao L, Xie M, Zheng X, et al. Molecular insights fast-tracked: AI in biosynthetic pathway research [J]. Natural Product Reports, 2025, 42, 911-936.

[12] Yang S, Bai M, Liu W, et al. Predicting *Lactobacillus delbrueckii* subsp. bulgaricus-*Streptococcus thermophilus* interactions based on a highly accurate semi-supervised learning method[J]. Science China Life Sciences, 2025, 68(2): 558-574.

[13] Han X, Liu Q, Li Y, et al. Synergizing artificial intelligence and probiotics: A comprehensive review of emerging applications in health promotion and industrial innovation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 159: 104938.

[14] Zhang C, Feng Y, Zhu Y, et al. NAC4ED: A high-throughput computational platform for the rational design of enzyme activity and substrate selectivity[J]. mLife, 2024, 3(4): 505-514.

[15] García Martín H, Mazurenko S, Zhao H. Special issue on artificial intelligence for synthetic biology[J]. ACS Synthetic Biology, 2024, 13(2): 408-410.

[16] 冯金晓，李明珠，高珊，等. 基于 SPOC 的食品微生物学数字化课程资源开发及应用[J]. 现代食品，2024，30(11)：115-117.

[17] 冉军舰，刘冰，赵宁宁，等. 基于 MOOC 的“现代食品微生物学”课程建设与评价[J]. 商丘师范学院学报，2024，40(6)：88-91.

[18] Rashvand M, Ren Y, Sun DW, et al. Artificial intelligence for

prediction of shelf-life of various food products: Recent advances and ongoing challenges[J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 159: 104989.

[19] Lee IH, Ma L. Integrating machine learning, optical sensors, and robotics for advanced food quality assessment and food processing [J]. Food Innovation and Advances, 2025, 4(1): 65-72.

[20] Thapa A, Nishad S, Biswas D, et al. A comprehensive review on artificial intelligence assisted technologies in food industry [J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103231.

[21] 裴亚欣, 刘新育, 王明道, 等. 人工智能技术在微生物学教学中的应用及其挑战[J]. 华东科技, 2024(6): 48-50.

[22] Wang J, Yang K, Zhu C. Application of virtual simulation experiments in teaching chemical engineering practical courses [J]. OALib, 2022,9: 1-6.

[23] 师闻. 教育部等九部门部署加快推进教育数字化将人工智能技术融入教育教学全要素全过程[J]. 河南教育(教师教育), 2025(5): 1-5.

[24] 胡健健, 马晓花. 人工智能技术在食品微生物学教学中的应用及其挑战[J]. 中外食品工业, 2025(7): 88-90.

[25] 吴晓蒙, 李想, 刘楠, 等. 智慧餐饮4.0:融合人工智能的未来餐饮发展新方向[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(1): 10-19.

[26] 丁浩晗, 谢祯奇, 沈嵩, 等. 基于人工智能的集成食品检测技术应用与展望[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 13-23,32.

[27] Yu W, Ouyang Z, Zhang Y, er al. Research progress on the artificial intelligence applications in food safety and quality management[J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 156: 104855.

[28] Amore A, Philip S. Artificial intelligence in food biotechnology: Trends and perspectives[J]. Frontiers in Industrial Microbiology, 2023, 156: 1-6.

[29] 周霖, 王澜, 王主, 等. “线上+线下+虚拟仿真”教学模式在食品微生物检验实验教学中的应用探索[J]. 卫生职业教育, 2022, 40(21): 95-98.

[30] Jiang S, Mo F, Li W, et al. Deep learning-driven optimization of antihypertensive properties from whey protein hydrolysates: A multienzyme approach[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2025, 73(2): 1373-1388.

[31] Wang B, Lin P, Zhong Y, et al. Explainable deep learning and virtual evolution identifies antimicrobial peptides with activity against multidrug-resistant human pathogens[J]. Nature Microbiology, 2025, 10(2): 332-347.

[32] Santos-Júnior CD, Torres MDT, Duan Y, et al. Discovery of antimicrobial peptides in the global microbiome with machine learning[J]. Cell, 2024, 187(14): 3761-3778. e16.

[33] Wang J, Feng J, Kang Y, et al. Discovery of antimicrobial peptides with notable antibacterial potency by an LLM-based foundation model[J]. Science Advances, 2025, 11(10): eads8932.

[34] Randall JR, Vieira LC, Wilke CO, et al. Deep mutational scanning and machine learning for the analysis of antimicrobial-peptide features driving membrane selectivity[J]. Nature Biomedical Engineering, 2024, 8(7): 842-853.