

AI赋能细胞生物学案例式教学的设计与实践

马学婧[#] 宋立立[#] 许文雅 吕静 李梦冉 李恬娇 李俊甫 张兆英*

(沧州师范学院生命科学系, 沧州 061001)

摘要 人工智能的发展正在逐渐改变高校专业基础课的教学方式。以细胞生物学为例, 该研究旨在探讨人工智能赋能细胞生物学案例式教学的设计与实施效果。针对细胞生物学抽象难懂的问题, 该研究构建了融合“学生为中心、案例为主线、人工智能为引擎、思政无声融入”四个原则的智慧教学体系。该体系依托雨课堂、学习通等平台, 贯通了课前-课中-课后全过程。课前推送个性化预习资源; 课中利用人工智能解析易混淆概念、具象化抽象知识, 并融合科研案例实施课程思政, 组织成果展示和课程讲解; 课后则以案例和问题驱动复习, 强化知识迁移与实践能力。教学实践结果显示, 该模式显著改善了学生的学习成效, 2023级学生的不及格率较2022级下降25.65%, 中高分段学生比例显著提高, 课程教学满意度达95%以上。结果表明, 人工智能与案例教学的系统融合不仅有效促进了学生对复杂细胞生物学机制的理解, 还拓展了其学术视野, 增强了其科学伦理意识。同时, 研究还探讨了AI工具稳定性对教学的影响以及学生对不同AI工具的易用性评价, 并提出了渐进式融合策略, 为教学实践提供了参考。该研究为数智化背景下生物类专业课程教学改革提供了可复制、可推广的系统路径与实践范式。

关键词 人工智能; 细胞生物学; 案例式教学; 教学实践

Design and Practice of AI-Empowered Case-Based Teaching in Cell Biology

MA Xuejing[#], SONG Lili[#], XU Wenya, LÜ Jing, LI Mengran, LI Tianjiao, LI Junfu, ZHANG Zhaoying*

(Department of Life Sciences, Cangzhou Normal University, Cangzhou 061001, China)

Abstract The development of AI (artificial intelligence) is gradually transforming the teaching methods of fundamental courses in higher education. Taking Cell Biology as an example, this study aims to explore the design and implementation effects of case-based teaching empowered by AI. To address the abstract and complex nature of Cell Biology, a smart teaching system was constructed by integrating four principles: a student-centered approach, a case-driven methodology, an AI-powered engine, and the seamless integration of ideological and political education. This system, supported by platforms like Rain Classroom and Super Star Learning, covers the entire teaching process: pre-class, in-class, and post-class. Before class, personalized preview resources are distributed. During class, AI is used to clarify easily confused concepts, visualize abstract knowledge, incorporate scientific research cases for ideological and political education, and organize student presentations and course explanations.

收稿日期: 2025-08-24 接受日期: 2025-10-16

沧州师范学院校级教研教改项目(批准号: 2024JGB012)、河北省应用技术大学研究会课题(批准号: JY2021201)、河北省高等学校教育教学改革研究项目(批准号: 2022GJJG506)和沧州师范学院科研创新团队项目(批准号: cxtdl2303)资助的课题

*共同第一作者

*通信作者。Tel: 0317-5667926, E-mail: zzy0111@126.com

Received: August 24, 2025 Accepted: October 16, 2025

This work was supported by the Teaching Research and Reform Project of Cangzhou Normal University (Grant No.2024JGB012), the Research Project of Hebei Association of Applied Technology Universities (Grant No.JY2021201), the Higher Education Teaching Reform Research Project of Hebei Province (Grant No.2022GJJG506) and the Project of the Scientific Research Innovation Team of Cangzhou Normal University (Grant No.cxtdl2303)

[#]These authors contributed equally to this work

*Corresponding author. Tel: +86-317-5667926, E-mail: zzy0111@126.com

After class, case studies and problem-driven reviews are conducted to reinforce knowledge transfer and practical skills. The teaching practice results demonstrate that this model significantly improves student learning outcomes. The failure rate for the 2023 cohort decreased by 25.65% compared to the 2022 cohort, with a notable increase in the proportion of students achieving medium to high grades. Course satisfaction exceeded 95%. The results indicate that the systematic integration of AI and case-based teaching not only effectively enhances students' comprehension of complex cell biological mechanisms but also broadens their academic horizons and strengthens their awareness of scientific ethics. Meanwhile, the study also investigated the impact of AI tool stability on teaching and the students' usability evaluation of different AI tools, proposing a gradual integration strategy to inform teaching practices. This research provides a replicable and scalable systematic pathway and practical paradigm for reforming biological professional courses in the era of digital and intelligent transformation.

Keywords artificial intelligence; Cell Biology; case-based teaching; pedagogical practice

细胞生物学课程作为生物科学与生物技术专业的必修基础课程,其内容抽象、机制复杂、前沿发展迅速,而学生学习普遍存在被动接受、难以建立系统知识网络、理论与实践脱节等问题。近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)在教育领域的应用不断深化,尤其在案例式教学(case-based learning, CBL)中展现出显著潜力。研究表明, AI可用于构建动态病例库和临床模拟系统,提升医学教育中学生的自主学习能力与临床思维水平^[1-2];在生物化学与分子生物学教学中, AI通过蛋白质结构预测工具与虚拟仿真平台促进学生对复杂分子机制的理解^[3];此外, AI还能在制药工程^[4]、遥感科学^[5]等学科的教学中,促进案例资源智能生成与个性化学习路径推荐的应用^[6-7]。生成式AI能够支持个性化学习案例生成与实验报告自动批改^[8],但其科学性仍需教师协同审核。在细胞生物学领域,案例式教学已取得一定成效,以内共生学说、溶酶体发现历程为代表的科学家故事,以及扫描电镜应用、植物原生质体融合等科研案例,有助于学生理解复杂知识并培养其科学探索精神^[9-10];阿尔茨海默病等临床案例将抽象理论与医学实践紧密结合^[11-13];人工合成牛胰岛素等案例则有机融入了家国情怀与科学素养教育^[14-17]。同时, AI赋能的细胞生物学教学实践初步展现出技术增效潜力,例如借助虚拟现实技术(virtual reality, VR)实现网格蛋白依赖的胞吞作用的沉浸式教学^[18],采用系统化的教学设计模型支持个性化学习路径设计^[19],利用知识图谱驱动自适应学习^[20]等。然而,目前AI在教学中的应用多局限于工具辅助层面,如内容呈现、自动评测与资源检索等^[4,21],尚未完全实现与案例式教学在设计、实施

与评价上的全面有机整合。在细胞生物学领域,仍缺乏能够融合动态知识图谱^[3-4]、智能病例生成与虚拟仿真^[2-3]以及基于学习者画像的自适应引导^[6]等技术的教学模式。因此,本研究旨在构建AI赋能的细胞生物学案例式教学模式,从教学体系构建与实施路径两方面进行阐述,并通过考试成绩和调查问卷评估其应用效果,为生物学基础课程的教学改革提供可复制、可推广的实践范式,提升学生的知识掌握水平、科学创新能力与综合学科素养。

1 AI赋能的案例式教学体系构建

1.1 实施背景

细胞生物学课程已经过5年的课程建设,理论课为51学时,实验课为30学时,授课对象为大学二年级学生,采用小班教学(约60人/班)。理论课授课教师2人,为教龄3~5年的青年教师,学历层次为博士,课程负责人具有高级职称。课堂讲授式教学时长占比50%以上,课程要求学生要有充足的课外投入时间,完全达到课程要求需平均每次课(2学时)额外投入约2 h。

1.2 设计原则

课程设计遵循四项原则。第一,学生为中心,AI服务于学生的个性化学习需求;第二,案例为主线,将知识点嵌入真实科研案例和诺贝尔奖案例中;第三,AI为引擎,AI深度融入教学全流程,作为驱动教学的引擎;第四,思政无声融入,通过科学家的故事、中国学者的贡献等案例,自然融入课程思政。课程采用的“AI-案例”驱动模式,不仅是在使用AI工具,而且是在重塑教学流程,实现智能化的、动态的教学适配,不但可以基于学生在预习、课堂、复习中

产生的学习行为数据,推荐个性化的案例和习题,实现教学策略的多样性与即时性,而且可使师生与AI进行多轮、开放、启发式的对话,而非仅限于关键词检索或单轮问答,从而激发学生思辨。AI能够深入解析细胞生物学领域的复杂专业问题,并据此生成与课程内容联系紧密的解释、类比及案例等,且开源、免费,通过个人手机端即可快捷安全使用,这是传统VR和知识图谱无法实现的。

1.3 教学体系

AI正在驱动细胞生物学教学体系向智能化、个性化转型,研究构建了一个以数据驱动的“教学评”闭环。该体系以学科知识、学科实践与学科育人三大维度为支柱,将AI深度融入教学全过程。在教学中,AI已从辅助工具转变为教学伙伴,能够提供个性化学习路径、智能生成内容并进行即时反馈。通过AI赋能课前预习、课中互动、课后拓展与课程评价等关键环节,课程实现了知识传递、能力培养和价值塑造的融合。课程构建了融入AI的评价方案,将过程性评价(40%)与终结性评价(60%)相结合。表1展示了AI的具体赋能模式与应用环节,包括雨课堂

AI学伴、DeepSeek等工具如何在习题生成、案例推荐、文献解读、成绩分析等方面提供支撑。这些工具的应用最终提升了教学效率,并培养了学生的科学探究能力与伦理意识。

1.4 评价方法

AI赋能的案例式教学模式的实施对象是2023级生物科学专业学生($n=122$),作为对照的传统教学班级为2022级生物科学专业学生($n=126$)。课程结束后,对2023级采用问卷星进行了AI教学工具的技术稳定性与用户体验的匿名问卷调查,共发放问卷122份,收回98份,有效回收率为80%。两个年级全体学生均进行了闭卷考试和考试成绩统计分析。此外,研究还采用问卷星进行了教学效果的匿名问卷调查,2023级共发放问卷122份,收回91份,有效回收率为75%,2022级共发放问卷126份,收回93份,有效回收率为74%。

研究采用自编的《AI教学工具易用性专项评价量表》,其涵盖雨课堂、学习通、DeepSeek、豆包4种AI工具,每款工具均从“界面易用性”、“学习成本”、“响应速度”、“功能稳定性”和“内容有用性”5

表1 AI赋能的细胞生物学“教学评”闭环体系

Table 1 AI-empowered “teaching-learning-assessment” cycle in Cell Biology

教学维度	教学环节与核心	AI工具与赋能策略	过程性评价实现与AI作用	终结性评价实现与AI作用
Teaching dimension	任务 Teaching procedures and core task	AI tools and empowerment strategies	Formative assessment and AI's role	Summative assessment and AI's role
学科知识	课前-课中巩固 • 个性化习题生成 • 知识弱点巩固	雨课堂AI学伴/学习通AI助手、DeepSeek • AI生成习题: 自动生成单选、多选、判断、填空等客观题 • 题型转换: 将主观题转化为不同难度的客观题, 用于即时检测 • 链接知识图谱: 习题关联学习通知 识图谱, 根据学习情况推荐学习资源	过程性评价(10%+10%) • 课堂习题(限时): AI生成题目, 系统自动批改, 实现即时反馈 • 课后作业(章节测试): 智能随机组卷, 覆盖核心知识点, 系统评分	终结性评价(60%) • 期末考试: 利用雨课堂“一键出题”功能快速生成试题, 包括名词解释(10%)、单选题(20%)、填空题(10%)、判断题(10%)、简答题(30%)、论述题(20%); 考后在成绩报告基础上使用DeepSeek进行成绩分析
学科实践	课程讲解 • 自主搜集素材 • 进行讲解展示	豆包、DeepSeek、学习通AI助手 • 案例推荐: AI根据讲解主题, 为学生推荐优秀的课程讲解案例、图片、视频等素材, 启发思路 • 内容优化建议: AI可对讲解逻辑结构提供初步建议, 帮助学生形成个人风格	过程性评价(10%) • 课程讲解: 从积极性(10%)、创新性(20%)、认真度(30%)、逻辑性(30%)、表达力(10%) 5个维度评价。AI辅助提供素材和思路, 提升准备效率与内容质量	
学科育人	成果展示 • 研读科学前沿文献 • 理解虚拟仿真实验	DeepSeek、豆包 • 文献解读辅助: 知识图谱链接前沿文献, AI帮助解释复杂的技术原理和领域进展, 提升信息获取效率 • 伦理规范引导: 在利用AI进行信息检索和整理时, 强调并引导学生遵守科学伦理与学术规范	过程性评价(10%) • 成果展示: 从研究现状(30%)、研究目的(10%)、研究意义(20%)、研究方案(30%)、表达水平(10%) 5个维度进行评价。AI作为高效的研究工具, 助力学生深入探索科学前沿, 强化科学精神与社会责任感	

表2 细胞生物学课程教学效果评估量表
Table 2 Cell Biology course teaching effectiveness evaluation scale

编号 Number	维度与题项 Dimension and item	非常不同意 Strongly disagree	不同意 Disagree	一般 Neutral	同意 Agree	非常同意 Strongly agree
A1	A 教学内容与组织-A1 理论实践深度融合	1	2	3	4	5
A2	A 教学内容与组织-A2 案例引导清晰有效	1	2	3	4	5
A3	A 教学内容与组织-A3 线上资源辅助学习	1	2	3	4	5
A4	A 教学内容与组织-A4 多元教学深化理解	1	2	3	4	5
B1	B 教学互动与动机-B1 课堂互动强化参与	1	2	3	4	5
B2	B 教学互动与动机-B2 学习动机有效激发	1	2	3	4	5
C1	C 学习成效与评价-C1 批判思维问题解决	1	2	3	4	5
C2	C 学习成效与评价-C2 自主协作能力提升	1	2	3	4	5
C3	C 学习成效与评价-C3 过程评价反馈成效	1	2	3	4	5
C4	C 学习成效与评价-C4 核心知识巩固提升	1	2	3	4	5

个维度进行评价。量表采用李克特五点计分法(1=非常不同意, 5=非常同意), 得分越高代表学生对该工具的易用性评价越高。量表的信度分析表明, 整体量表的Cronbach's α 系数为0.952, 各工具子维度的 α 系数依次为0.891(雨课堂)、0.901(学习通)、0.894(DeepSeek)、0.912(豆包), 均大于0.8, 表明量表内部一致性优异。对量表进行探索性因子分析, KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)值为0.941, Bartlett球形检验极其显著($\chi^2=2\ 876.224$, $df=190$, $P<0.001$), 提取出的4个公因子累计方差贡献率为79.835%, 各题项在其对应工具维度上的因子载荷均大于0.75, 表明量表结构效度良好。

试卷难度以通过率 P 值衡量。客观题 P 值为正确答题人数比例, 主观题 P 值为平均得分与满分的比值。 P 值越接近1, 题目越容易: $P>0.8$ 表示题目偏易, $P<0.2$ 表示题目偏难, 整卷平均难度以0.4~0.6为宜。区分度以 D 值表示, 为高分组(前27%)与低分组(后27%)通过率之差($D=P_H-P_L$, P_H 是高分组通过率, P_L 是低分组通过率)。 D 值越高, 区分效果越好: $D\geq 0.4$ 表示区分度优良; $D\leq 0.2$ 表示区分度不足; 若 D 为负值, 则题目或答案可能存在错误。2022级与2023级期末试卷题型与题量相同。2022级试卷难度为0.62, 区分度为0.28; 2023级难度为0.69, 区分度为0.27。两项指标均属中等水平, 表明两套试卷质量基本一致。此外, 两个年级学生均通过统一高考本科批次录取, 整体能力层次无显著差异。因此, 在此基础上进行成绩比较具有合理性。

研究采用自编的《细胞生物学课程教学效果评估量表》, 其包含“教学内容与组织”(4个题项)、“教

学互动与动机”(2个题项)和“学习成效与评价”(4个题项)3个维度, 共计10个题项。量表采用李克特五点计分法(1=非常不同意, 5=非常同意), 总分越高代表学生对教学效果的认同度越高(表2)。量表的信度分析表明, 整体量表的Cronbach's α 系数为0.936, 各维度的 α 系数依次是0.890、0.858、0.901, 均大于0.8, 表明各维度的内部一致性良好至优异。对量表进行探索性因子分析, KMO值为0.917, Bartlett球形检验极其显著($\chi^2=1\ 176.519$, $df=45$, $P>0.001$), 提取出的3个公因子累计方差贡献率为77.412%, 各题项在其对应维度上的因子载荷均大于0.7, 表明量表结构效度良好。为控制潜在的社会期望偏差及自我选择偏差, 在问卷的最后设计了一道课程建议题目, 综合定量结果与定性建议, 增强结论的可靠性。

期末考试成绩统计分析采用 χ^2 检验, 问卷调查结果统计分析同时采用 t 检验和 χ^2 检验。统计分析软件为SPSS 16.0, $P<0.05$ 代表对照班和实验班之间具有显著统计学差异。

2 “AI-案例”驱动的教学环节设计与实践

2.1 课前预习

预习课件通过雨课堂平台发布, 旨在引导学生明确学习目标, 并利用案例、动画、视频等资源将抽象知识形象化。学生可通过AI学伴进行全天候、对话式的自由探究, 而教师则能基于平台记录的学习行为数据如视频观看时长、答题正确率等了解学情, 识别共性难点与个体差异, 从而调整教学重点、推荐学习材料, 实现因学定教(表3)。雨课堂数据表明, 该模式

表3 细胞生物学课前预习任务设计与AI赋能策略
Table 3 Pre-class task design and AI-empowered strategies in Cell Biology

章节 Chapter	核心知识点与预习目标 Key points and objectives	赋能资源与案例 Empowering resources and cases	AI赋能策略与互动点 AI-empowered strategies and interactions	评价与AI反馈 Evaluation and AI feedback
第一章 绪论	复习生物大分子; 识记真核细胞概念; 了解诺贝尔奖案例	绿色荧光蛋白、细胞重编程、CRISPR等诺贝尔奖案例	学生就诺贝尔奖案例的背景、意义进行自由提问	雨课堂选择题; AI即时解析
第二章 细胞生物学研究方法	复习显微镜原理; 识记免疫荧光技术; 理解前沿技术应用	超高分辨显微视频; 差速与密度梯度离心动画	AI针对技术原理进行解释	视频学习时长记录; AI辅助技术原理问答
第三章 细胞质膜	复习膜化学组成; 理解流动镶嵌模型与脂筏模型	膜脂结构动画; 流动镶嵌与脂筏模型图示	扮演一个膜蛋白, 描述你在脂筏中的生活体验, 通过情景化对话深化模型理解	模型判断题; AI批改概念辨析题
第四章 物质的跨膜运输	掌握主动运输及受体介导的胞吞机制; 区分离子通道与载体蛋白	钠钾泵工作机制动画; LDL内吞案例	解释Na ⁺ -K ⁺ 泵在一个心动周期中如何工作, 联系生理知识	判断题与分类题; 学生可就错题向AI追问
第五章 细胞质基质与内膜系统	识记分子伴侣; 理解内质网的类型与功能	内质网结构与功能视频; 分子伴侣作用机制动画	梳理分泌蛋白从合成到运输的完整路径, AI生成清晰流程图	结构功能匹配题; AI生成路径排序题
第六章 蛋白质分选与膜泡运输	理解信号假说与共翻译转运; 掌握膜泡运输路径	信号假说动画; 包被膜泡运输视频	绘制并解释蛋白质从合成到分泌的路径图 AI帮助区分COPI、COPII、网格蛋白包被膜泡的功能	路径排序题; AI生成个性化练习题
第七章 线粒体与叶绿体	理解半自主性细胞器; 掌握线粒体结构与氧化磷酸化	线粒体超微结构视频; 内共生学说动画	为内共生学说提供3个最有力的证据	结构功能匹配题; AI初步批改关于内共生学说的简答题
第八章 细胞骨架	识记踏车行为; 理解微丝、微管、中间丝的组装与功能	微丝/微管结构视频; 踏车行为动画	比较三种细胞骨架的成分、特点和功能, 并以表格形式总结	细胞骨架类型判断; AI辅助基于动画的功能讨论
第九章 细胞核与染色质	理解核孔复合体功能; 区分常染色质与异染色质	核被膜与染色质组装视频; 端粒功能案例	AI全天候解答关于核孔运输选择性、端粒与衰老关系等开放性问题	染色质类型判断; AI初步批改基于案例的讨论题
第十章 核糖体	复习核糖体结构; 理解核酶作用与蛋白质合成过程	核糖体合成蛋白质视频; 核酶催化机制动画	简述核糖体A位、P位、E位在翻译过程中的协同作用	翻译过程排序题; AI初步批改核酶功能讨论题
第十一章 细胞信号转导	识记第二信使; 理解GPCR和cAMP信号通路	G蛋白激活动画; 双信使通路视频	以肾上腺素作用为例, 描述cAMP信号通路的完整过程	第二信使选择题; AI批改信号通路反应链排序题
第十二章 细胞周期与细胞分裂	复习有丝分裂各阶段; 理解细胞周期检验点功能	有丝分裂过程视频	将有丝分裂前期、中期、后期、末期的特征以表格形式列出	有丝分裂阶段排序; AI批改检验点功能匹配题
第十三章 细胞增殖调控与癌细胞	复习癌细胞特征; 理解癌基因与肿瘤抑制基因的作用	癌细胞特征视频; 癌基因与抑癌基因案例	解释原癌基因如何被激活	癌细胞特征判断题; AI初步批改癌变机制讨论题
第十四章 细胞分化与干细胞	理解细胞全能性; 识记干细胞的类型与特性	干细胞分化视频	比较全能干细胞、多能干细胞和单能干细胞的差异	全能性判断; AI批改干细胞类型分类题
第十五章 细胞衰老与细胞程序性死亡	区分凋亡与坏死的特征与生化机制	凋亡形态与生化特征视频; 凋亡与坏死对比	从形态和生化水平比较细胞凋亡与坏死的区别, 并绘制表格	特征选择题; 通路排序题, AI提供即时反馈
第十六章 细胞的社会联系	复习细胞连接类型; 理解细胞黏附分子功能	细胞连接类型动画; 细胞外基质作用视频	总结封闭连接、锚定连接、通信连接在结构和功能上的不同	连接类型匹配题; AI初步批改细胞连接功能讨论题

CRISPR: 成簇规律间隔短回文重复序列; LDL: 低密度脂蛋白; COPI: 包被蛋白复合体I; COPII: 包被蛋白复合体II; GPCR: G蛋白偶联受体; cAMP: 环磷酸腺苷。

CRISPR: clustered regularly interspaced short palindromic repeats; LDL: low density lipoprotein; COPI: coat protein complex I; COPII: coat protein complex II; GPCR: G protein-coupled receptor; cAMP: cyclic adenosine monophosphate.

有效提升了预习效果,学生预习课件的完成率与得分为92%。此外,通过融入前沿科学案例,还有助于拓展学生的学术视野并培育其科研素养。

2.2 课堂教学

2.2.1 AI辅助的易混淆概念精准解析 细胞生物学课程概念较多且名称相近,学生很容易混淆误用。对于易混淆概念,课上教师可以引导学生应用DeepSeek或雨课堂AI讲伴,进行多轮对话式探究。师生通过“AI对话”“截图问答”等方式,向AI提出诸如“请从多个维度详细比较原生质体和质体的异同”的指令。AI不仅能即时生成对比分析,还能针对后续追问进行解释。该过程体现了师生与AI协同构建知识、实时解决难点的教学互动,效率高于传统翻书查找。例如,在比较原生质体、质体、白色体、细菌中膜体及植物细胞分裂中膜体这一系列概念时, AI能够快速从定义、位置、结构和功能等多个维度进行梳理(表4)。更重要的是, AI能明确这些概念的核心区别与易混淆点,如原生质体的“人工制备”属性与质体的“细胞固有”属性的根本不同。教师则可在此基础上,进一步补充说明白色体与叶绿体的同源关系,或强调细菌中膜体与植物细胞分裂中膜体在功能和进化上的迥异。通过这种方式, AI提供了初步解释,而教师则负责促进知识深化与联系,确保学生对概念的理解准确无误。

2.2.2 依托生活场景的抽象概念具象化 细胞生物学概念因其微观抽象性而难以理解,而青年教师

常因经验不足,难以有效利用生活化类比进行解释。AI可在此过程中提供教学灵感,教师可在课前使用DeepSeek针对预见难点生成案例备用,课中也可根据学生反应实时指令AI讲伴生成新案例,并可查看生成内容的学习反馈。此外,教师还可鼓励学生分享各自使用AI生成的类比,增强课堂互动。如表5所示, AI能运用类比方法阐释复杂的生物学过程,例如,将“微丝踏车行为”类比为跑步机传送带,将“信号假说”中的蛋白质分选过程比拟为物流运输系统,其中“信号肽序列”充当邮政编码,而“共翻译转运”则类似于工厂的流水线装配。这些基于生活实物的类比帮助学生构建对分子机制的感性认知,教师随后再以规范学术语言进行总结,并引导学生阅读教材,从而实现从感性到理性的认知深化。这一过程不仅提升了学生的理解能力,也通过跨情境类比强化了学生对生命过程机制的认识。

2.2.3 融合科研案例的课程思政实施 在细胞生物学教学中,有效融入课程思政面临两大挑战:一是跨领域筛选前沿科研案例耗时费力,二是将思政元素与专业知识自然融合难度高。因此,研究借助AI工具突破以上瓶颈。教师可利用AI如DeepSeek通过联网搜索快速筛选与各章节知识点相匹配的权威科研进展,重点关注华人科学家的突破性贡献,作为思政切入点(表6)。教师还可通过与AI进行多轮递进式对话,共同设计思政教学方案。从提炼科学家精神到设计课堂活动,再到教师总结语示例, AI能有

表4 AI辅助解析的细胞生物学易混淆概念对比

Table 4 Comparison of frequently confused concepts in Cell Biology with AI-assisted analysis

概念 Concept	定义 Definition	位置 Localization	关键结构特征 Key structural features	核心功能 Core function	AI解析要点/易混淆点 Key AI insights/common confusions
原生质体	去除细胞壁的裸露细胞	实验室制备	仅由细胞膜包裹	用于细胞融合、遗传转化	关键在“人工制备”,是实验产物,而非细胞固有结构。易与“原生质层”混淆
质体	植物细胞特有的细胞器	植物和藻类细胞中	双层膜,含自身DNA	物质合成与储存	是植物细胞的“工厂”总称,包括叶绿体、白色体等。易与“原生质体”因名称相近而混淆
白色体	无色的质体	植物非光合组织	无色素,含淀粉粒/脂滴	储存淀粉或油脂	是质体的一种类型,突出“无色”和“储存”功能。应与叶绿体比较学习,理解质体的分化
细菌中膜体	细菌质膜内陷结构	主要见于革兰氏阳性菌	多层囊状或管状膜折叠	能量代谢、DNA复制锚定	是原核细胞的膜结构,功能上可类比线粒体,但进化上与线粒体无关。注意其“革兰氏阳性菌”的分布特征
植物细胞分裂中膜体	细胞板形成时的囊泡聚合体	植物细胞分裂末期	高尔基体来源囊泡临时聚集	构建新细胞壁	是植物细胞分裂的“临时工”,功能明确且短暂。名称含“中膜体”,但与细菌中膜体在结构和进化上完全不同

表5 细胞生物学难理解概念
Table 5 Challenging concepts in Cell Biology

章节 Chapter	概念 Concept	解释 Explanation	生活案例 Real-world analogy	科学案例 Scientific context
第一章 绪论				
1.3 经典细胞学到实验细胞学时期	细胞遗传学	研究基因如何在代际间传递和重组的规律	纯白猫妈妈生出花斑小猫	CRISPR基因编辑改良作物
	细胞生理学	研究细胞的生命活动过程和功能特性	运动后肌肉酸痛	人工叶绿体合成研究
	细胞化学	用化学方法研究细胞组分和反应	醪糟甜米酒变酸	代谢组学分析
2.1.1 细胞的基本共性	相似化学组成	所有细胞都由C、H、O等基本元素构成	不同食材含有相同营养成分	人工合成最小细胞
	脂-蛋白生物膜	磷脂双分子层镶嵌蛋白质的动态结构	肥皂泡	膜蛋白结构解析
	相同遗传装置	所有细胞都用DNA储存遗传信息	不同电脑使用相同二进制代码	合成生物学DNA存储信息代码
	一分为二的分裂方式	细胞通过分裂增殖	酵母菌繁殖	靶向细胞分裂的抗癌药
第二章 细胞生物学研究方法				
1.1.1 普通复式光学显微镜	光学显微镜分辨率	能区分两个点的最小距离(约0.2 μm)	肉眼分辨不了的两个墨点	超高分辨显微技术
1.1.3 荧光显微镜	荧光显微镜原理	用特定光激发荧光物质成像	夜光材料的发光原理	活细胞动态追踪技术
1.1.4 激光扫描共焦显微镜	激光共焦显微镜	激光逐层扫描获得三维图像	CT扫描的断层成像	胚胎发育三维重构
1.1.5 超高分辨率显微术	4Pi显微镜	双物镜提高轴向分辨率的成像系统	双耳定位声源位置	HIV劫持内体分选复合物
	STED显微镜	用抑制光突破衍射极限的超高分辨率显微技术	聚光灯照亮特定区域	核孔分布
2.2 特异蛋白抗原的定位与定性	免疫荧光	用荧光标记抗体定位特定蛋白	新冠抗原检测试纸	肿瘤标志物检测
3.2 细胞工程	单克隆抗体	单一B细胞产生的特异性抗体	早孕检测试纸	PD-1抗体抗癌药物
4.2 酵母双杂交技术	酵母双杂交	利用酵母检测蛋白相互作用	交友软件匹配机制	蛋白质互作网络图谱
4.3 荧光共振能量转移技术	荧光共振能量转移	相邻荧光分子间的能量转移现象	蓝牙设备近距离传输	分子间相互作用研究
第三章 细胞质膜				
1.3 膜蛋白	整合蛋白	贯穿膜层的运输和信号转导蛋白	细胞膜上的“闸门”	新冠病毒受体
2.3 细胞质膜相关的膜骨架	膜骨架	维持细胞形态的膜下蛋白网络	帐篷的支撑骨架	红细胞形态
第四章 跨膜运输				
2.1 P型泵	P型泵	消耗ATP逆浓度转运离子的蛋白	心脏跳动与钠钾泵	质子泵抑制剂药物
3.1 胞吞作用的类型	网格蛋白胞吞	依赖网格蛋白形成囊泡的内吞方式	细胞“吃饭”的过程	靶向药物递送系统
第五章 细胞质基质与内膜系统				
2.1 内质网的结构与功能	内质网应激	错误蛋白积累触发的应急反应	工厂质检不合格品堆积	阿尔茨海默病治疗
第六章 蛋白质分选与膜泡运输				
1.1 信号假说与蛋白质分选信号	信号假说	信号肽指导蛋白运输定位	快递包裹的地址标签	靶向药物设计
1.2 蛋白质分选转运的基本途径与类型	共翻译转运	边合成蛋白边转运的过程	流水线生产直接发货	遗传性转运疾病
2.2 COPII包被膜泡的装配与运输	Sar1	COPII膜泡形成的GTP酶	物流中心调度员	分泌障碍疾病
2.3 COPI包被膜泡的装配与运输	Arf1	调控COPI膜泡形成的GTP酶	退货处理专员	神经退行性疾病

续表5

章节 Chapter	概念 Concept	解释 Explanation	生活案例 Real-world analogy	科学案例 Scientific context
2.5 转运膜泡与靶膜的锚定和融合	Rab	指导膜泡靶向运输的分子	GPS导航系统	囊泡运输异常疾病
第七章 线粒体和叶绿体				
1.1 线粒体的基本形态及动态特征	FZO/MFN Dynamin	介导线粒体融合的膜蛋白 切断线粒体的“分子剪刀”	细胞器“结婚证” 分割橡皮泥的工具	心肌细胞修复 抗癌新靶点
1.2 线粒体的超微结构	ATP合酶	利用质子流合成ATP的分子马达	风力发电机组	新型抗生素开发
第八章 细胞骨架				
1.1 微丝的组成及其组装	微丝踏车行为	肌动蛋白动态组装解聚的平衡	跑步机传送带运动	细胞迁移
1.4 肌细胞的收缩运动	肌肉收缩模型	肌球蛋白沿细肌丝滑动	拔河比赛的拉绳	肌营养不良治疗
2.2 微管的组装与解聚	微管踏车行为	微管一端延长一端缩短	可伸缩天线调节	抗癌药物紫杉醇
第九章 细胞核与染色质				
1.2 核孔复合体	核孔复合体	调控核质交换的分子通道	海关安检通道	HIV感染机制
2.3 核小体	核小体	DNA缠绕组蛋白形成的结构单元	珍珠项链结构	表观遗传调控
2.4 染色质组装	多级螺旋模型 放射环模型	染色质多次螺旋压缩 染色质形成环状结构域	毛线球 毛巾被	染色质相分离 三维基因组学
3 染色质的复制与表达	染色质修复 组蛋白乙酰化修饰 X染色体失活 位置花斑效应 细胞ID	DNA损伤修复机制 组蛋白修饰松解染色质, 促进转录 雌性细胞中一条X染色体转录沉默 基因表达受其在染色体位置影响 细胞核内染色质的动态三维分布模式	皮肤晒后修复 调光开关 三色猫毛色 学区房价格差异 北京不同时段人流热力图	PARP抑制剂治疗乳腺癌 HDAC抑制剂抗癌 X染色体再激活 CRISPR基因编辑 癌症早筛
4.2 染色体的功能元件	端粒	染色体末端的保护性结构	鞋带末端的塑料头	抗衰老
5.1 核仁的结构	核仁	核糖体RNA合成的工厂	细胞核内的“车间”	癌症诊断标志物
第十章 核糖体				
1.3 核糖体蛋白质与RNA的功能	蛋白质合成	核糖体读取mRNA合成蛋白质	3D打印制造产品	新型抗生素研发
3.1 核糖体的本质是核酶	核酶	具有催化功能的RNA分子	自带剪刀的裁缝	RNA干扰技术
第十一章 细胞信号转导				
1.2 细胞的信号分子与受体	离子通道偶联受体 G蛋白偶联受体 酶联受体 第二信使分子开关	配体结合直接开放离子通道 七次跨膜的信号转导受体 受体自身具有酶活性, 可磷酸化下游蛋白 细胞内信号分子放大膜受体信号 GTP/GDP结合或磷酸化/去磷酸化或Ca ²⁺ 结合与解离调控蛋白活性状态	门铃自动开门 手机信号接收器 自动裁纸机 扩音器 电灯开关	GABA受体靶向药物 新型镇痛药开发 EGFR靶向药 PDE4抑制剂 RAS突变持续激活导致癌症
2.1 G蛋白偶联受体的结构与作用机制	G蛋白	GTP结合蛋白, 传导受体信号至效应酶	快递员	G蛋白偶联受体偏向性配体药物开发
3.1 酶联受体及其介导的细胞信号转导通路	受体酪氨酸激酶	通过磷酸化传递生长信号	无线信号中继站	靶向抗癌药物
4.2 蛋白激酶的网络整合信息	蛋白激酶	催化蛋白磷酸化, 调控细胞信号通路	开关控制	CDK4/6抑制剂治疗乳腺癌
第十二章 细胞周期与细胞分裂				
1.2 细胞周期中各不同时相及其主要事件	细胞周期	细胞生长分裂的循环过程	工厂生产周期	抗癌药物靶点
1.3 细胞周期同步化	DNA合成阻断	同步细胞于G ₁ /S期的实验方法	交通信号灯控制	化疗方案优化

续表5

章节 Chapter	概念 Concept	解释 Explanation	生活案例 Real-world analogy	科学案例 Scientific context
第十三章 细胞增殖调控与癌细胞				
1.1 MPF的发现及其作用	MPF	调控M期进入的蛋白激酶复合物	汽车点火系统	细胞周期调控
2.2 癌基因与抑癌基因	癌基因 抑癌基因	促进细胞异常增殖的突变基因 抑制肿瘤发生的保护基因	卡住的油门踏板 刹车系统失灵	靶向抗癌药物 基因治疗研究
第十四章 细胞分化与干细胞				
2.2 胚胎干细胞	胚胎干细胞	具有全能分化潜能的早期细胞	万能原材料	器官再生
2.3 成体干细胞	成体干细胞	组织特异性修复细胞	专业维修工	损伤修复治疗
2.4 细胞命运重编程与诱导性多潜能干细胞	iPSC	重编程获得的多能干细胞	手机恢复出厂设置	个性化医疗
第十五章 细胞衰老与细胞程序性死亡				
1.1 细胞衰老的概念	细胞衰老	分裂能力逐渐丧失的状态	机器老化报废	抗衰老
2.2 细胞凋亡的过程及分子机制	细胞凋亡	程序性细胞死亡过程	树叶自然凋落	抗癌新策略
第十六章 细胞的社会联系				
2 细胞黏着及其分子基础	细胞黏着	细胞间特异性连接的分子基础	积木拼接	抗转移药物
3 细胞外基质	细胞外基质	细胞分泌的支持性网络结构	建筑钢筋混凝土	组织工程材料

DNA: 脱氧核糖核酸; CT: 计算机断层扫描; HIV: 人类免疫缺陷病毒; STED: 受激发射损耗显微术; PD-1: 程序性死亡受体1; ATP: 腺嘌呤核苷三磷酸; Sar1: 分泌相关Ras相关蛋白1; GTP: 鸟嘌呤核苷三磷酸; Arf1: ADP核糖基化因子1; Rab: Ras相关蛋白; FZO: 线粒体融合蛋白; MFN: 线粒体融合蛋白; PARP: 聚ADP核糖聚合酶; HDAC: 组蛋白去乙酰化酶; GABA: γ -氨基丁酸; EGFR: 表皮生长因子受体; PDE4: 磷酸二酯酶4; RAS: RAS癌基因; CDK: 细胞周期蛋白依赖性激酶; MPF: 细胞有丝分裂促进因子; iPSCs: 诱导多能干细胞。

DNA: deoxyribonucleic acid; CT: computed tomography; HIV: human immunodeficiency virus; STED: stimulated emission depletion microscopy; PD-1: programmed cell death protein 1; ATP: adenosine triphosphate; Sar1: secretion-associated and ras-related protein 1; GTP: guanosine triphosphate; Arf1: ADP-ribosylation factor 1; Rab: ras-related proteins in brain; FZO: fuzzy onions; MFN: mitofusin; PARP: poly ADP-ribose polymerase; HDAC: histone deacetylase; GABA: gamma-aminobutyric acid; EGFR: epidermal growth factor receptor; PDE4: phosphodiesterase 4; RAS: rat sarcoma virus; CDK: cyclin-dependent kinase; MPF: M-phase promoting factor; iPSCs: induced pluripotent stem cells.

效辅助非思政专业教师完成从案例到育人的教学设计,确保思政教育兼具学术性与感染力。

2.2.4 AI赋能的成果展示与课程讲解 为保障教学效果,课程设置了覆盖全员的课程讲解(每人5~10 min)与小组成果展示(每组10~15 min)。为兼顾课堂教学深度与效率,第八章、第九章、第十一章的展示安排在课内进行,且在该章内容授课结束后,其余章节则通过录制视频在雨课堂分享(表7)。教师依托学习通知识图谱关联基础知识和前沿成果,引导学生使用AI工具如学习通AI助手、DeepSeek等快速整理资料,并借助Kimi生成逻辑清晰的PPT初稿与讲解稿。学生通过与AI多轮对话优化内容,教师则侧重引导其进行批判性思考与个性化重塑,避免单纯依赖AI。

2.3 课后复习

为进一步改善教学效果,研究构建了案例与问

题双驱动的课后复习体系。学生可通过雨课堂AI学伴随时标记疑难、获得即时解答;教师则能依据AI汇总的学情数据,识别共性知识薄弱点,进而设计针对性练习与讲解。该复习体系贯通分子机制与病理应用,旨在促进学生的知识迁移,培养其科学思维(表8)。雨课堂数据(完成率93%,得分率87%)表明该模式有效提升了复习参与度与效果。

2.4 伦理审查与数据保护

所有教学实践活动均遵循学校相关的教育教学伦理规范。在研究开始前,已向学生明确告知研究目的、数据收集范围(学习行为数据及匿名问卷反馈),并获得了学生的口头知情同意。所有收集的数据,包括雨课堂、学习通平台记录的学习行为数据以及问卷调查结果,在进行分析前均进行了严格的匿名化处理。研究中使用DeepSeek等AI工具时,严格遵守其用户协议,仅输入脱敏后的教学材料或

表6 细胞生物学课程思政案例
Table 6 Curriculum ideological education cases in Cell Biology

章节 Chapter	教学内容 Teaching content	思政案例 Ideological education case	预期成效 Expected outcome
第一章 绪论	细胞生物学发展	华人科学家研发超高分辨率荧光显微镜	增强科技自信与爱国情怀
第二章第一节	显微技术	中国团队开发新型超分辨率显微技术	激发科研使命感
第二章第四节	生物大分子标记	点亮细胞的荧光蛋白技术奠基者	培养科学探索精神
第三章	生物膜结构	中国生物膜领域开拓性研究	弘扬学术报国传统
第四章第一节	膜蛋白转运	归国学者解析关键膜蛋白结构的贡献	树立科教兴国信念
第四章第三节	胆固醇代谢	解密脂代谢疾病机制的中国科学家	领悟专注研究价值
第五章	蛋白质合成	人工合成牛胰岛素的里程碑事件	传承艰苦奋斗精神
第六章第一节	叶绿体蛋白分选	相分离驱动细胞器分选的新机制	强化学科交叉意识
第六章第二节	膜泡运输	内质网动态运输机制的揭示者	培养科研协作理念
第七章	线粒体功能	棕色脂肪产热机制的重要发现	深化生命敬畏感
第八章第一节	微丝调控	细胞器生成中的微丝网络调控研究	培育严谨治学态度
第八章第二节	微管结构	微管纳米级成像突破	增强科技自豪感
第八章第三节	中间丝组装	蛋白质相变调控细胞骨架的发现	激发原始创新热情
第九章第二节	染色质高级结构	30纳米染色质螺线管模型的建立	坚定科技自立决心
第九章第四节	染色体工程	人造单染色体酵母的创造者	树立敢为人先信念
第九章第五节	核仁功能	核内“暗物质”非编码RNA的探索	培养前沿追踪意识
第十章	核糖体多样性	生殖细胞特殊核糖体的发现	提升科研求真品格
第十一章第一节	细胞信号传导	植物钙信号通路研究的先驱	锻造攻坚克难意志
第十一章第三节	癌症靶向治疗	国产抗癌新药研发企业的初心践行	强化科技惠民担当
第十一章第四节	激酶网络调控	胰腺癌治疗新靶点	倡导国际合作视野
第十二章	细胞周期调控	细胞分裂关键因子转化研究的领跑者	培育成果转化思维
第十三章	癌症免疫疗法	免疫检查点疗法的奠基性贡献	厚植造福人类情怀
第十四章	干细胞技术	“将论文写在祖国大地”的干细胞学者	筑牢科技报国志向
第十五章	细胞死亡机制	线粒体凋亡通路的主要发现者	培育敏锐科学直觉

学术问题,未泄露学生的个人信息。

2.5 工具稳定性与体验评价

为提高AI赋能教学模式的可推广性,研究对教学实践中的课后虚拟仿真实验与课堂即时AI工具进行了评估,前者侧重系统稳定性,后者侧重使用体验。国家虚拟仿真实验教学课程共享平台的课程资源稳定性良好,页面加载缓冲时间也在可接受范围内。引自其他高校自建平台的虚拟仿真实验则会出现多次卡顿或直接加载失败,可能是由于校外访问或服务器负载限制。在课堂教学中,雨课堂的互动功能如习题发布、标注“不懂”、弹幕、投稿、AI讲伴、AI学伴每次课均会出现约1~2次卡顿,需要关闭重启,耽误约3~4 min时间,多数学生会在系统恢复后再次尝试提交任务。雨课堂故障一般与计算机系统的软件兼容性或硬件性能相关。学习通的网页端平台可以实现本地PPT投屏,并开启包括AI助手在内的各种互动功能,但其功能完全依赖于校园网络

的稳定性。DeepSeek在经过多轮对话后会提示“网络故障”并要求真人验证,打断师生与之的递进式对话。

为评估学生体验,课程结束后增加了AI教学工具易用性调查。结果显示,学生对4种AI教学工具的易用性整体评价良好,各维度得分均显著高于理论中值($P<0.001$)。豆包在界面易用性与学习成本方面表现最优,满意度均超过82%;DeepSeek在内容有用性上认可度最高。然而,功能稳定性是AI工具的普遍薄弱项,雨课堂、学习通与DeepSeek在该维度的满意度为58.17%~63.27%,且 χ^2 检验说明学生评价分布存在显著差异($P<0.05$),反映出技术稳定性问题在AI教学工具的实际应用中较为突出(表9)。

针对教学实践中的上述技术问题,课程团队总结了一系列应对策略。在教学资源方面,国家虚拟仿真实验教学课程共享平台的资源稳定性最好,可

表7 细胞生物学成果展示与课程讲解案例
Table 7 Research outcome and teaching cases in Cell Biology

类别 Category	内容 Content	课题 Topic	讲解/展示亮点 Presentation highlights
课程 讲解	第二章 细胞生物学研 究方法(M)	1. 光学/电子显微技术 2. 超离心分离技术	分辨率决定显微镜区分微小结构细节的能力 冷冻蚀刻技术类比切开冻西瓜观察细节 超薄切片包埋类比将豆子放模具便于切割 速度沉降分离大小不同的相近密度组分, 等密度沉降分离不同密度组分
	第四章 物质的跨膜运 输(M)	3. 膜转运蛋白分类 4. 小分子及离子跨膜运输类 型 5. P型泵工作机制	用“门”类比通道蛋白开关特性, 电压门控如感应门, 配体门控需信号分子开启 以葡萄糖转运蛋白为例展示葡萄糖跨膜运输过程 钠钾泵维持膜内高钾低钠分布
		6. 胞吞作用类型 7. 信号假说与分选机制	发动蛋白通过GTP水解促使膜变形收缩, 形成包被小泡 以分泌蛋白为例, SRP识别信号肽暂停翻译, 与受体结合后恢复共翻译转运
	第六章 蛋白质分选与 膜泡运输(M)	8. 微丝组装动力学 9. 肌球蛋白运动机制 10. 中间丝分类	用踏车行为示意图展示微丝正极聚合、负极解聚的动态平衡 骨骼肌收缩舒张依赖微丝与肌球蛋白相互作用 肿瘤细胞保留源组织中间丝特性, 可作为来源标识
	第八章 细胞骨架(H)	11. 核孔复合体运输机制	核孔复合体如机场安检, 胞质环/核质环=出入口, 辐=通道, 中央栓=安检员
	第九章 细胞核与染色 质(H)	12. 染色体功能元件 13. GPCR信号通路	将着丝粒比喻为染色体的“把手”, 纺锤体微管与之结合将染色体移至细胞两极 胞外信号结合→受体变构→激活G蛋白→亚基解离调控下游→启动信号转导
	第十一章 细胞信号转 导(H)	14. 酶联受体信号通路 15. 细胞周期中各不同时相及 其主要事件	配体→RTK→Ras→MAPKKK→MAPKK→MAPK→入核磷酸化靶 蛋白→调控基因表达 G ₁ 期(DNA合成准备, 合成RNA/蛋白质)→S期(DNA复制)→G ₂ 期(分 裂准备)→M期(核分裂+胞质分裂)
	第十二章 细胞周期与 细胞分裂(M)	16. MPF调控细胞周期	通过细胞融合实验直观展示MPF诱导染色体凝缩的作用
	第十三章 细胞增殖调 控与癌细胞(M)	17. 癌细胞特征 18. 细胞分化的基本概念	用“工厂生产失控”类比癌细胞增殖 用克隆蟾蜍、羊、猴展示体细胞核全能性
	第十四章 细胞分化与 干细胞(M)	19. 复制衰老机制 20. 凋亡分子通路	端粒如细胞“寿命倒计时器”, 复制一次缩短一点, 归零则细胞“退休” 细胞如复印机, 每次复制DNA丢失“墨粉”(端粒), 待其耗尽则停止工作
成果 展示	第十五章 细胞衰老与 细胞程序性死亡(M)	1. CAF-1介导核小体装配的结 构机制 2. X染色体在神经发育中的功 能	CAF-1通过KER结构域识别H3-H4二聚体, 调控组蛋白时序性沉积 ^[22] X染色体在大脑影像特征中的失活规律和性别差异 ^[23]
	第九章 细胞核与染色 质(M)	3. 非整倍体致流产的遗传机 制 4. 费城染色体与格列卫靶向 治疗 5. DDX18通过核仁相分离调 控干细胞多能性	染色体非整倍体是反复流产的首要遗传病因 ^[24] 从费城染色体发现到格列卫研发展现癌症治疗革命 DDX18通过核仁相分离调控干细胞多能性机制 ^[25]
	第十一章 细胞信号转 导(M)	6. 核仁pH梯度形成的相分离 机制 7. pH敏感GPCR的激活机制	核仁由动态子相组成, 其相分离建立核仁-核质pH梯度 ^[26] pH敏感GPCR的全激活结构揭示质子通过细胞外腔组氨酸网络触发 跨膜区变构并激活受体的动态机制 ^[27]
	第十三章 细胞增殖调 控与癌细胞(M)	8. PLA2G10介导的T细胞排斥	T细胞排斥剂PLA2G10为冷肿瘤研究开辟新方向 ^[28]

续表7

类别 Category	内容 Content	课题 Topic	讲解/展示亮点 Presentation highlights
成果 展示	第十四章 细胞分化与干细胞(M)	9. 骨髓微环境调控干细胞与免疫耐受 10. <i>Chromosphaera perkinsii</i> 自主发育与细胞分化起源	骨髓造血干细胞存在高免疫豁免与低免疫豁免的空间层级分化 ^[29] 一种单细胞生物独特的发育过程可能具有类似于动物胚胎多细胞分化的特征 ^[30]
	第十五章 细胞衰老与细胞程序性死亡(M)	11. 模拟卡路里限制的抗衰老机制 12. “Senoreverse”策略逆转衰老	石胆酸靶向TULP3蛋白, 激活“Sirtuin-v-ATPase-AMPK”信号轴延缓衰老 ^[31-32] 衰老核心机制是多种压力诱导的增殖阻滞, 解除阻滞使衰老细胞重启增殖并逼近自然极限, 实现组织功能恢复与衰老进程逆转 ^[33]

SRP: 信号识别颗粒; RTK: 受体酪氨酸激酶; Ras: Ras蛋白; MAPKKK: 丝裂原活化蛋白激酶激酶; MAPKK: 丝裂原活化蛋白激酶; MAP: 丝裂原活化蛋白激酶; CAF-1: 染色质组装因子-1; DDX18: DEAD盒解旋酶18; PLA2G10: 磷脂酶A2第X组; TULP3: TUB样蛋白3; Sirtuin: 沉默信息调节蛋白; v-ATPase: 液泡ATP酶; AMPK: AMP活化蛋白激酶; M: 对课程目标的中等支撑; H: 对课程目标的强支撑。
SRP: signal recognition particle; RTK: receptor tyrosine kinase; Ras: rat sarcoma virus protein; MAPKKK: mitogen-activated protein kinase kinase kinase; MAPKK: mitogen-activated protein kinase kinase; MAPK: mitogen-activated protein kinase; CAF-1: chromatin assembly factor-1; DDX18: DEAD-box helicase 18; PLA2G10: phospholipase A2 group X; TULP3: TUB like protein 3; Sirtuin: silent information regulator 2 protein; v-ATPase: vacuolar ATPase; AMPK: AMP-activated protein kinase; M: moderate support for the course objective; H: strong support for the course objective.

表8 AI赋能的课后复习策略与实施

Table 8 AI-empowered strategies and implementation for post-class review

复习模块 Review module	核心知识点/案例 Key topic/case	AI交互与赋能策略 AI interaction and empowerment strategy	复习目标与AI价值 Review objective and AI's value
信号转导与疾病机制	G蛋白偶联受体信号通路(霍乱毒素案例)	<ul style="list-style-type: none"> 即时答疑: 学生点击“不懂”按钮, AI即时解析难点 学情分析: AI统计高频提问点, 教师设计针对性练习 	目标: 理解信号通路异常与疾病关联 价值: 提供个性化支持, 实现精准教学
细胞周期与调控	细胞周期检验点(癌症案例)	<ul style="list-style-type: none"> 概念辨析: 学生通过与AI问答区分不同检验点功能 练习生成: 教师指令AI生成关键概念判断题 	目标: 掌握细胞周期调控与癌症发生的关系 价值: 深化概念理解, 辅助高效备课
干细胞与细胞重编程	诱导多能干细胞(iPSC研究案例)	<ul style="list-style-type: none"> 拓展探究: AI回应学生关于iPSC技术临床挑战的提问 伦理引导: AI引导讨论iPSC技术背后的伦理规范 	目标: 理解细胞命运调控及科研创新 价值: 拓展学术视野, 培育科学伦理
实验技术与方法	CRISPR-Cas9基因编辑	<ul style="list-style-type: none"> 原理解释: AI解答技术细节 应用分析: AI评估技术优势与风险 	目标: 掌握基因编辑原理与应用 价值: 加深技术理解, 增强批判思维
细胞器结构与功能	线粒体半自主性(内共生学说)	<ul style="list-style-type: none"> 图片解释: AI解释结构图, 建立结构功能联系 逻辑梳理: AI帮助梳理内共生学说的关键证据 	目标: 理解细胞器的进化与功能 价值: 提供可视化与逻辑支持

以作为主要链接资源。在课堂教学工具的使用中, 将视频资源直接嵌入PPT, 并设计传统板书; 每学期初联系多媒体中心对授课计算机进行系统维护, 定期清理和重装软件; 当某个AI工具出现故障时, 及时切换到备用工具, 如文心一言、腾讯元宝、讯飞星火、通义千问等。通过与学生的课后交谈了解到, 尽管AI工具提供了便利, 但他们更喜欢与教师、同学之间的真实互动, 并且课上频繁且精准的考核性AI互动反而会带来紧张和不安。这说明技术只是教学的辅助手段, 真正能够激发学生学习内驱力的, 仍然是富有感染力的教学互动与和谐友爱的课堂氛围。

3 AI赋能的案例式教学效果

3.1 学业成绩提升

2023级($n=122$)的期末考试成绩比2022级($n=126$)有较大提高, 且更符合正态分布(图1)。 χ^2 检验结果显示, 2023级与2022级的成绩分布存在极其显著的差异 [$\chi^2(5)=60.93, P<0.001$] (表10)。2023级80分以上学生比例从3.97%提升至17.21%, 增加13.24%; 不及格率从42.86%降至17.21%, 降低25.65%。成绩分布的变化表明, AI的应用有效改善了教学效果, 中等成绩段(70~79分)学生比例从19.84%增至31.97%, 显示出AI辅助教学对大多数学

表9 AI教学工具易用性评价结果
Table 9 Results of the AI tools usability evaluation

工具名称 Tool name	评价维度 Evaluation dimension	题项 Item	平均分±标 准差 $\bar{x} \pm s$	满意度/% Satisfaction rate /%	单样本t检验(vs 3) One-sample t-test (vs 3)	χ^2 检验P值 χ^2 test P- value
雨课堂	界面易用性	我认为其界面设计清晰, 易于找到所需功能	3.90±0.89	77.55%	$t=11.01, P>0.001$	0.271
	学习成本	我能快速学会如何使用它进行预习、答题或提问	3.88±0.87	73.47%	$t=10.62, P>0.001$	0.226
	响应速度	其响应速度很快, 操作流畅无卡顿	3.74±0.98	66.33%	$t=7.89, P>0.001$	0.396
	功能稳定性	其功能稳定, 很少出现闪退、卡死或链接失败等问题	3.65±1.01	61.23%	$t=6.83, P>0.001$	0.023*
	内容有用性	它生成的答案或解析内容准确、有帮助	3.77±0.95	64.29%	$t=8.45, P>0.001$	0.725
学习通	界面易用性	我认为其界面设计清晰, 易于找到所需功能	3.89±0.91	75.51%	$t=10.23, P>0.001$	0.107
	学习成本	我能快速学会如何使用它进行资源检索与智能问答	3.78±0.93	66.33%	$t=8.76, P>0.001$	0.298
	响应速度	其响应速度很快, 操作流畅无卡顿	3.73±0.96	63.27%	$t=7.98, P>0.001$	0.610
	功能稳定性	其功能稳定, 很少出现服务异常或加载失败	3.64±1.00	58.17%	$t=6.72, P>0.001$	0.023*
	内容有用性	它推荐的学习资源或生成的答案准确、有帮助	3.84±0.88	70.41%	$t=9.98, P>0.001$	0.626
DeepSeek	界面易用性	我认为其界面设计简洁, 易于使用	3.99±0.85	79.59%	$t=12.34, P>0.001$	0.259
	学习成本	我能快速学会如何向它提出有效专业的专业问题	3.96±0.82	73.47%	$t=12.34, P>0.001$	0.107
	响应速度	其响应速度很快, 回答生成迅速	3.81±0.99	66.33%	$t=8.56, P>0.001$	0.396
	功能稳定性	其服务稳定, 很少出现中断或需要反复验证	3.72±0.95	63.27%	$t=7.98, P>0.001$	0.023*
	内容有用性	它在解析复杂概念、生成案例方面非常强大和有用	4.08±0.76	83.67%	$t=14.89, P>0.001$	0.001**
豆包	界面易用性	我认为其界面设计友好, 易于使用	4.13±0.73	85.71%	$t=16.34, P>0.001$	0.001**
	学习成本	我能快速学会如何使用它来辅助学习	4.10±0.75	82.65%	$t=15.67, P>0.001$	0.001**
	响应速度	其响应速度很快, 对话流畅	4.01±0.82	80.61%	$t=13.45, P>0.001$	0.001**
	功能稳定性	其功能稳定, 能维持长时间的有效对话	3.99±0.79	77.55%	$t=13.45, P>0.001$	0.001**
	内容有用性	它在提供生活化类比、启发思路方面很有帮助	4.08±0.76	81.63%	$t=15.12, P>0.001$	0.001**

满意度=[(选择“同意”与“非常同意”的人数之和/总人数)]×100%。t检验为单样本t检验, 检验均值是否显著高于理论中值3分。 χ^2 检验为拟合优度检验, 检验各选项分布是否均匀。 $*P<0.05$, $**P<0.01$, 表示统计具有显著性。

Satisfaction rate=[(number of respondents who chose “Agree”+number of respondents who chose “Strongly Agree”)/total number of respondents]×100%. The t-test was a one-sample t-test, used to determine if the mean score was significantly higher than the theoretical median of 3. The χ^2 test was a goodness-of-fit test, used to examine if the responses were uniformly distributed across the options. $*P<0.05$, $**P<0.01$ indicate statistical significance.

生具有积极影响, 虽然对优秀比例影响较小, 但可以使更多学生达到合格和良好。

3.2 教学满意度较高

2022级(图2)和2023级(图3)学生对课程教学效果的评价普遍较好。t检验和 χ^2 检验结果显示, 在共计10个题项中, 两个年级在9个题项上均未呈现出显

著性差异($P>0.05$)(表11), 且认可度(“非常同意”与“同意”之和)普遍较高, 均超过85%(图2和图3)。这表明, AI案例式教学模式在保持传统案例教学优势的基础上, 在激发学习动机、促进知识理解、强化课堂互动、优化过程评价等核心教学环节均达到了同等优良的效果。其中, 实验班在“理论实践深度融

合”、“案例引导清晰有效”、“核心知识巩固提升”等关键维度上保持了与对照班相当的高认可度，分别为94.5%、97.8%、97.8%，这证明AI的引入并未影响核心教学目标的实现，体现了技术与教学的平稳融合。

3.3 环节优化改进

针对“自主协作能力提升”这一维度， χ^2 检验结果显示，2023级与2022级学生的反馈分布存在显著差异($\chi^2(3)=9.49, P<0.05$ ，合并“不同意”和“非常不同意”类别)(表11)。2023级学生中选择“一般”的比例为12.09%，高于2022级学生的对应比例(5.38%)；同时，2023级中未出现任何“不同意”或“非常不同意”的负面评价，而2022级中存在3.23%的负面反馈。这一分布变化说明尽管整体满意度未发生显著变化，但2023级的评价模式出现了明显转变。负面评价的消失说明AI融入可能有效消除了部分学生的极端不满；然而，中立评价比例的增加也提示，这些学生尚

未完全转化为积极支持者，其反馈仍趋于保守。该结果表明，AI在消除负面体验方面具有成效，但在进一步提升学生参与感和认同度方面仍存在优化空间。课程后续将采用渐进式AI融合教学策略，分三阶段推进：初期(第1~4周)，AI使用强度较低，重点为基础概念解析与工具入门，辅以教师示范；中期(第5~10周)：逐步增加AI案例生成与个性化任务，启动“AI助学伙伴”制度，由技术熟练学生协助同伴；后期(第11周以后)：AI全面融入教学全流程，学生自主完成AI辅助的探究项目(表12)。该设计旨在帮助学生克服技术适应困难，提高其在AI辅助下的自主学习和小组协作能力。

对两届学生的课程建议分析表明，问题可能源于AI辅助评价模式的技术门槛。部分2023级学生反馈的“虚拟实验平台卡顿”、“雨课堂使用频率过高”等问题，揭示了教学工具在稳定性与体验上的不足，这既干扰了学习流程，也影响了学生对协作与反思环节

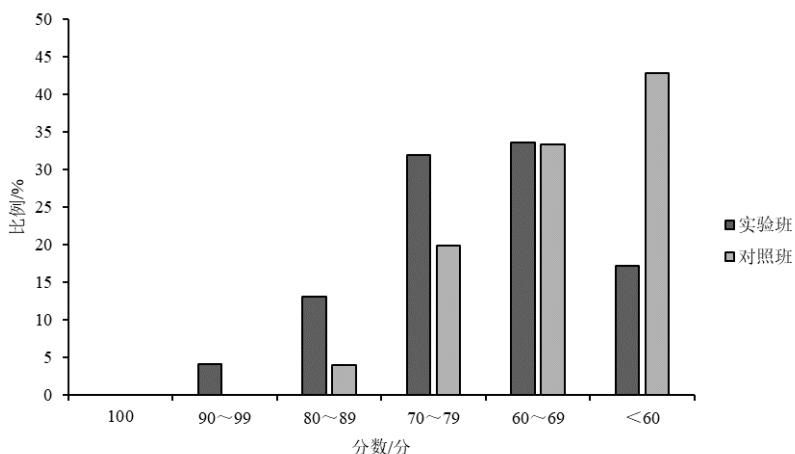


图1 细胞生物学期末考试成绩比较
Fig.1 Comparison of final exam scores in Cell Biology

表10 期末考试成绩 χ^2 检验结果
Table 10 Results of the χ^2 test for final exam scores

分数段	对照班人数	实验班人数	χ^2 贡献度
Score band	Number of students in control group	Number of students in experimental group	χ^2 contribution
100	0	0	-
90~99	0	5	2.54
80~89	5	16	3.01
70~79	25	39	3.82
60~69	42	41	0.01
<60	54	21	6.67

“-”表示观测频数为0，未参与 χ^2 值计算。

“-” indicates an observed frequency of zero, which is excluded from the χ^2 calculation.

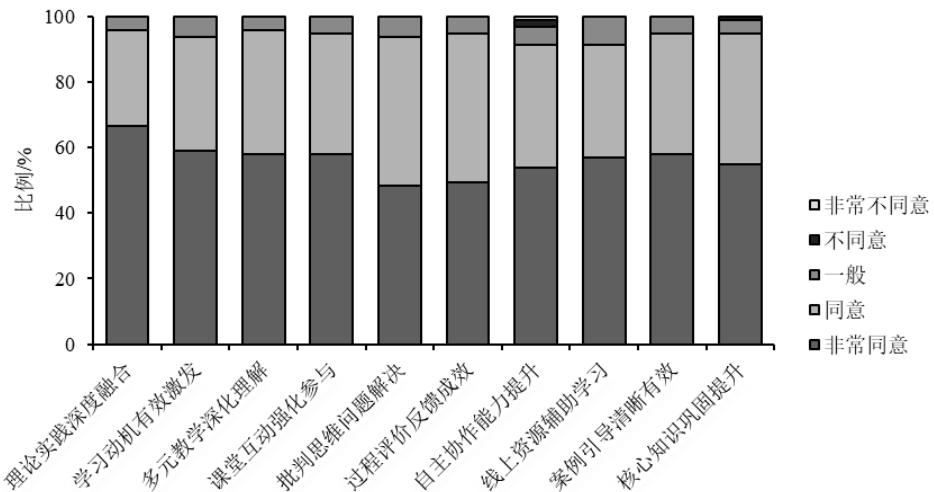


图2 2022级对细胞生物学课程教学效果的评价

Fig.2 Evaluation of teaching effectiveness in Cell Biology by the class of 2022

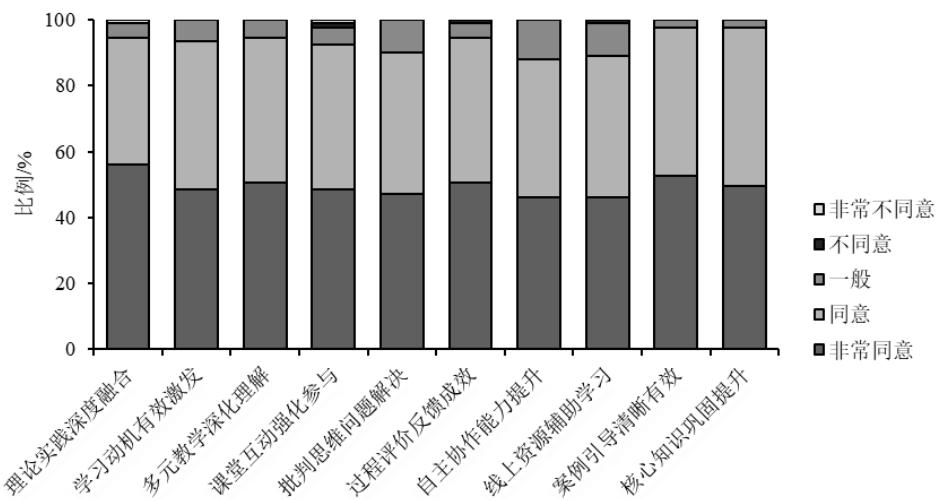


图3 2023级对细胞生物学课程教学效果的评价

Fig.3 Evaluation of teaching effectiveness in Cell Biology by the class of 2023

表11 细胞生物学课程教学效果评价比较

Table 11 Comparative analysis of teaching effectiveness in Cell Biology

编号 Number	维度 Dimension	题项 Item	对照班 Control group	实验班 Experimental group	t检验P值 t-test P-value	χ^2 检验P值 χ^2 test P-value	备注 Remarks
A1	教学内容与组织	理论实践深度融合	4.62±0.57	4.48±0.69	0.140	0.271	无显著差异
A2		案例引导清晰有效	4.53±0.60	4.51±0.55	0.810	0.226	无显著差异
A3		线上资源辅助学习	4.48±0.65	4.34±0.70	0.160	0.396	无显著差异
A4		多元教学深化理解	4.54±0.58	4.45±0.60	0.300	0.725	无显著差异
B1	教学互动与动机	课堂互动强化参与	4.53±0.60	4.37±0.74	0.110	0.107	无显著差异
B2		学习动机有效激发	4.53±0.62	4.42±0.62	0.230	0.298	无显著差异
C1	学习成效与评价	批判思维问题解决	4.42±0.61	4.37±0.66	0.590	0.610	无显著差异
C2		自主协作能力提升	4.41±0.78	4.34±0.69	0.520	0.023*	分布存在显著差异
C3		过程评价反馈成效	4.44±0.60	4.44±0.64	1.000	0.626	无显著差异
C4		核心知识巩固提升	4.48±0.64	4.47±0.54	0.910	0.259	无显著差异

* χ^2 检验 $P < 0.05$, 表明两个年级在该题项上的回答分布存在统计学上的显著差异。

* χ^2 test yielded a $P < 0.05$, indicating a statistically significant difference in the distribution of responses to this item between the two grades.

表12 演进式AI融合教学策略的实施方法

Table 12 Implementation framework of the gradual AI integration teaching strategy

阶段 Phase	周期 Period	AI使用强度 AI usage intensity	目标 Objective	教师角色 Teacher's role	学生任务与AI应用举例 Student tasks and AI application examples
(引导适应期)	第1~4周	低强度 (20%~30%)	1. 减轻畏难心理	示范者 引导者	• 任务: 使用雨课堂AI学伴完成课前概念预习
			2. 掌握基础操作		• AI应用: 向AI提问“什么是原生质体?”并阅读理解其生成的简明解释
			3. 建立使用规范		
(深化应用期)	第5~10周	中强度 (40%~60%)	1. 培养高效提问技巧	指导者 协作者	• 任务: 比较G蛋白偶联受体与受体酪氨酸激酶的细胞信号转导通路
			2. 利用AI解析复杂案例		• AI应用: 使用DeepSeek, “请从各个维度以表格形式比较G蛋白偶联受体与受体酪氨酸激酶”
			3. 初步开展人机协作		
(自主探究期)	第11~16周	高强度 (70%~80%)	1. 整合AI于全学习流程	顾问 评估者	• 任务: 完成一个“AI辅助的细胞生物学研究方案设计”小组项目
			2. 开展AI辅助的开放性探究		• AI应用: 使用DeepSeek/豆包进行文献综述、提出科学假设、设计实验路线, 并利用AI审阅、优化方案草稿
			3. 强化学术伦理意识		

的评价。此外, 教学环节设计存在优化空间。2022级学生的建议多集中于“增加图片/视频”、“设计更多交互”, 而2023级学生的建议则更具深度, 如“增加小组辩论与角色扮演活动”、“提供更多动画视频资源辅助理解抽象细胞机制”。这反映出实验班学生已不满足于基础的互动形式, 对高阶、深度的协作模式产生了更高期待, 技术平台和活动设计仍需改进。后续可在课程初期安排2~3次工作坊, 每周一次, 培训内容包括AI工具简介与伦理规范教育、雨课堂AI学伴/学习通AI助手基础操作、DeepSeek/豆包提问技巧、AI辅助研究现状总结与研究方案设计, 通过实战演练帮助学生降低技术使用焦虑, 提升人机协作效率。在课外, 设计需小组协作完成的探究任务, 将“AI+细胞生物学”科研项目分解为本科生可参与的小课题, 最终整合成一份研究报告, 促进学生间的高效协作与知识整合。

4 讨论与总结

本研究以“学生为中心、案例为主线、AI为引擎、思政无声融入”为基本原则, 构建了贯穿课前、课中、课后全过程的AI赋能的细胞生物学案例教学模式。学习数据分析帮助教师识别学生的知识薄弱点, 实现个性化资源推送, 从而提升了教学的针对性。AI融入教学流程, 推动课堂从知识传授向思维训练转型, 有效培养学生的批判性思维与科学探究能力。同时, 借助AI的文献挖掘与内容生成功能, 教师能够将科学前沿案例转化为思政教育资源, 使价值引导如“盐溶于水”般融入专业教学。此外, 本研

究还构建了AI贯穿的“教学-学习-评价”流程, 不仅提升了各环节效率, 还通过数据反馈推动了教学优化, 达成了良性迭代。

近年来, 国内外教育研究者已在生物学教学中尝试引入VR、知识图谱、数字人等技术。多数研究聚焦于技术的单点应用, 如利用VR实现细胞结构的沉浸式观察^[18], 或借助知识图谱展示知识关联^[20], 这些工具虽然提升了教学直观性与趣味性, 但是其本质仍是静态的资源库或展示工具, 未能深度参与教学流程的重构。相比之下, 本研究深化了AI与教学的融合, 具体体现在以下几个方面。第一, 深度交互而非浅层检索, 依托DeepSeek等AI工具, 课程实现了师生与AI的多轮、开放、启发式对话, AI成为协作构建知识网络的思维伙伴。第二, 全流程赋能而非环节辅助, 将AI嵌入从课前预习到课后评价的所有环节, 使其成为驱动教学运行的智能中枢。第三, 动态生成而非静态调用, 根据实时学情动态生成个性化的案例、类比与习题, 而非仅调用建好的资源库。

实践数据表明, 该模式显著提升了学业成绩, 2023级学生不及格率大幅降低, 中高分段人数明显增加, 证明AI辅助的个性化学习路径与资源推送对学生突破知识难点、深化概念理解是很有帮助的。学生对“案例引导清晰有效”“核心知识巩固提升”等方面评价很高, 说明以科学前沿案例为载体的教学设计, 激发了学生的学习兴趣, 促进了抽象知识的具体化与迁移应用^[34]。AI驱动教师从知识传授者转变为学习引导者与课程设计者, 而学生则成为AI辅助

下的自主探究者。这种以“学生为中心、案例为主线、AI为支撑”的教学模式,可以实现知识、能力与素养的协同发展^[35]。本研究实现了思政教育与专业知识的深度融合,通过细胞生物学发展史、华人科学家贡献、前沿科学突破等案例,将科学精神、家国情怀、学术伦理等思政元素自然融入专业知识讲解中。AI在资料检索、案例筛选和科学家故事整合中发挥了辅助作用,帮助教师高效检索契合度高、权威性强的思政素材,使价值引领润物无声,实现了知识传授与立德树人的融合^[36-37]。

然而,调查结果也反映出本模式在实践中面临的两方面问题。第一,工具稳定性不足, AI工具偶发的卡顿与服务中断,影响了学习过程的流畅性;第二,学生适应性差异,部分学生对高度自主的AI辅助学习模式适应困难。据此,本研究提出了渐进式AI融合教学策略,在课程初期通过AI工具工作坊对学生进行AI工具使用培训,帮助学生克服技术入门障碍;中期引入“AI助学伙伴”与个性化案例任务,逐步培养人机协作能力;后期则推动AI全面融入探究性项目,鼓励学生开展自主课题研究^[38-39]。这一设计旨在阶梯式提升学生的技术接受度、自主学习能力和小组协作能力。AI与教学的融合并非工具的简单应用,而是教学法、师生角色与课堂生态的系统性重构。在持续优化AI工具的同时,个性、简洁、有温度的教学流程设计,也是实现AI赋能教学从有效走向高效的关键所在。

本模式具备良好的推广可行性,主要体现在三方面:一是技术门槛低,依托开源AI工具与常见教学平台^[40];二是适应性强,可灵活契合多样化的培养目标^[41];三是成本效益高,主要依赖常规教学设备,但需配套教师AI培训、校本案例库建设^[42],并保留50%以上传统互动以维系课堂情感温度。结果表明, AI与教育实践的深度融合不仅提高了教与学的效率,也重塑了师生角色与教学生态,为生物学专业课程的教学创新提供了系统而可行的解决方案。

参考文献(References)

- [1] 杨静,张争光,张贺,等. AI辅助的PBL结合渐进性案例教学在泌尿外科护理实习中的应用[J]. 临床护理杂志(YANG J, ZHANG Z G, ZHANG H, et al. Application of AI-assisted PBL combined with progressive case-based teaching in urological surgery nursing practice [J]. Journal of Clinical Nurs-
- [2] 孙瑜,孙越晨,陈叶龙. AI案例教学法在医学检验专业实习中的应用[J]. 中国现代医生(SUN Y, SUN Y C, CHEN Y L. Application of AI case-based teaching method in the internship of medical laboratory science specialty [J]. China Modern Doctor), 2025, 63(15): 72-5.
- [3] 胡莹璐,林依臣,郭俊明,等. 人工智能赋能生物化学与分子生物学案例教学的探索与实践[J]. 生物化学与生物物理进展(HU Y L, LIN Y C, GUO J M, et al. Exploration and practice of artificial intelligence-empowered case-based teaching in Biochemistry and Molecular Biology [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics), 2025, 52(8): 2173-84.
- [4] 郭燕燕,方方,彭成军,等. 基于AI产业化案例的制药工程自动控制课程教学改革探索[J]. 郑州师范教育(GUO Y Y, FANG F, PENG C J, et al. Exploration of teaching reform in the automatic control course for pharmaceutical engineering based on AI industrialization cases [J]. Journal of Zhengzhou Normal Education), 2025, 14(4): 53-8.
- [5] 贺智.“云+AI+5G”时代遥感实验案例式教学探索[J]. 科技与创新(HE Z. Exploration of case-based teaching for remote sensing experiments in the era of “Cloud+AI+5G” [J]. Science and Technology and Innovation), 2022, 18: 113-6.
- [6] 龚晓红. 基于人工智能的个性化学习模型建构与教学案例研究[J]. 信息与电脑(GONG X H. Research on the construction of an AI-based personalized learning model and teaching case studies [J]. Information and Computer), 2025, 37(17): 169-72.
- [7] 谢佳辰,张世铃. AI赋能+OBE在“数据库原理与应用”教学中的探索与实践[J]. 科技风(XIE J C, ZHANG S L. Exploration and practice of AI-empowered and OBE-based teaching in the “Database Principles and Applications” course [J]. Science and Technology Wind), 2025, 19: 125-8.
- [8] 李枭,刘丹青,何金科. 生成式AI工具在医学细胞生物学课程教学中的应用潜力与挑战研究[J]. 信息与电脑(LI X, LIU D Q, HE J K. Research on application potential and challenges of generative AI tools in medical cell biology teaching [J]. Information and Computer), 2025, 37(1): 23-5.
- [9] 尹红菊,刘文献,未丽,等. 草业科学专业细胞生物学教学模式探索——以兰州大学草业科学专业为例[J]. 草业科学(YIN H J, LIU W X, WEI L, et al. Teaching mode exploration of cell biology for grass science majors: a case study of Lanzhou university [J]. Pratacultural Science), 2024, 41(1): 232-40.
- [10] 王秀玲. 农林类院校《细胞生物学》教学中植物类案例的应用[J]. 中国细胞生物学学报(WANG X L. Application of plant cases in cell biology teaching at agricultural and forestry universities [J]. Chinese Journal of Cell Biology), 2019, 41(2): 265-7.
- [11] 聂晨霞,苗知春,宋少娟,等. 案例教学在医学细胞生物学课程教学中的设计与运用[J]. 高校医学教学研究(电子版)(NIE C X, MIAO Z C, SONG S J, et al. Design and application of case-based teaching in medical cell biology [J]. Medical Education Research and Practice, Electronic Edition), 2016, 6(3): 6-9.
- [12] 孙媛,程晓馨,郑旭,等. 高等医学院校细胞生物学多元化教学模式的构建[J]. 卫生职业教育(SUN Y, CHENG X X, ZHENG X, et al. Construction of diversified teaching model

- for cell biology in medical colleges [J]. *Health Vocational Education*, 2019, 37(18): 3-4.
- [13] 李想, 关锋. 以临床实践为导向的医学细胞生物学教学实践与思考[J]. 生物学杂志(LI X, GUAN F. Clinical practice-oriented teaching in medical cell biology: practice and reflection [J]. *Journal of Biology*), 2016, 33(6): 113-5,129.
- [14] 乔萍. 课程思政融入细胞生物学教学的探讨与实践[J]. 现代职业教育(QIAO P. Exploration and practice of integrating ideological education into Cell Biology teaching [J]. *Modern Vocational Education*), 2021, 40: 52-3.
- [15] 李佳, 唐红, 张琳, 等. 以诺贝尔奖为案例的细胞生物学课程思政教学探索[J]. 中国细胞生物学学报(LI J, TANG H, ZHANG L, et al. Ideological education in cell biology using Nobel Prize cases [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*), 2023, 45(7): 1075-81.
- [16] 厉成敏, 肖龙云. 基于诺贝尔奖案例的细胞生物学课程思政探索与实践[J]. 黑龙江动物繁殖(LI C M, XIAO L Y. Ideological education in cell biology based on Nobel Prize cases [J]. *Heilongjiang Journal of Animal Reproduction*), 2022, 30(4): 61-4.
- [17] 张霞.“细胞生物学”课程思政教学改革的初步探索[J]. 教育教学论坛(ZHANG X. Preliminary exploration of ideological education reform in Cell Biology [J]. *Education Teaching Forum*), 2021, 46: 81-4.
- [18] 李灿, 黄海涛, 丁楚阳, 等. 通过虚拟仿真技术实现网格蛋白依赖的胞吞作用的沉浸式教学[J]. 高校生物学教学研究(电子版)(LI C, HUANG H T, DING C Y, et al. Immersive teaching of clathrin-dependent endocytosis via virtual simulation [J]. *Biology Teaching in Universities, Electronic Edition*), 2024, 14(5): 60-6.
- [19] 赵伟民, 梁健, 史国民, 等. 混合式教学模式下课程思政深化发展的探索实践——以“细胞生物学”课程为例[J]. 中国细胞生物学学报(ZHAO W M, LIANG J, SHI G M, et al. Exploration of ideological education development in blended teaching: a case study of Cell Biology [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*), 2025, 47(5): 1117-24.
- [20] 李小翠, 胡启平. 细胞生物学知识图谱的建设与实践[J]. 基础医学教育(LI X C, HU Q P. Construction and practice of cell biology knowledge graph [J]. *Basic Medical Education*), 2025, 27(5): 399-403.
- [21] 任相君. 基于AI的“案例教学法”在烹饪营养与卫生教学中的应用[J]. 中国多媒体与网络教学学报(中旬刊)(REN X J. Application of AI-based “case-based teaching method” in culinary nutrition and hygiene teaching [J]. *China Multimedia and Network Teaching Journal, Mid-Monthly*), 2025, 3: 74-8.
- [22] LIU C P, YU Z Y, XIONG J, et al. Structural insights into histone binding and nucleosome assembly by chromatin assembly factor-1 [J]. *Science*, 2023, 381(6660): eadd8673.
- [23] JIANG Z, SULLIVAN P F, LI T, et al. The X chromosome's influences on the human brain [J]. *Sci Adv*, 2025, 11(4): eadq5360.
- [24] ZHU S, XIE P, YANG Y, et al. Maternal ELL3 loss-of-function leads to oocyte aneuploidy and early miscarriage [J]. *Nat Struct Mol Biol*, 2025, 32(2): 381-92.
- [25] SHI X, LI Y, ZHOU H, et al. DDX18 coordinates nucleolus phase separation and nuclear organization to control the pluripotency of human embryonic stem cells [J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 10803.
- [26] KING R M, RUFF M K, LIN Z A, et al. Macromolecular condensation organizes nucleolar sub-phases to set up a pH gradient [J]. *Cell*, 2024, 187(8): 1889-906.
- [27] HOWARD K M, HOPPE N, HUANG P X, et al. Molecular basis of proton sensing by G protein-coupled receptors [J]. *Cell*, 2024, 188(3): 671-87.
- [28] ZHANG T, YU W, CHENG X, et al. Up-regulated PLA2G10 in cancer impairs T cell infiltration to dampen immunity [J]. *Sci Immunol*, 2024, 9(94): eadh2334.
- [29] FURUHASHI K, KAKIUCHI M, UEDA R, et al. Bone marrow niches orchestrate stem-cell hierarchy and immune tolerance [J]. *Nature*, 2025, 638(8049): 206-15.
- [30] OLIVETTA M, BHICKTA C, CHIARUTTINI N, et al. A multicellular developmental program in a close animal relative [J]. *Nature*, 2024, 635(8038): 382-9.
- [31] QU Q, CHEN Y, WANG Y, et al. Lithocholic acid phenocopies anti-ageing effects of calorie restriction [J]. *Nature*, 2024, 643(8070): 192-200.
- [32] QU Q, CHEN Y, WANG Y, et al. Lithocholic acid binds TULP3 to activate sirtuins and AMPK to slow down ageing [J]. *Nature*, 2025, 643(8070): 201-9.
- [33] BI Y, QIAO X, CAI Z, et al. Exosomal miR-302b rejuvenates aging mice by reversing the proliferative arrest of senescent cells [J]. *Cell Metab*, 2025, 37(2): 527-41.
- [34] 舒畅, 叶能辉, 张宇杰, 等. 基于模块化构建与地图式导航的细胞生物学蛋白质分选教学设计[J]. 中国细胞生物学学报(SHU C, YE N H, ZHANG Y J, et al. Modular design and map-based navigation teaching for protein sorting in Cell Biology [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*), 2023, 45(9): 1362-9.
- [35] 李秀兰, 姜曰水. 基于“两性一度”的细胞生物学SPOC课程建设与实践[J]. 中国细胞生物学学报(LI X L, JIANG Y S. SPOC course construction of cell biology based on “Two Properties and One Degree” [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*), 2024, 46(8): 1521-9.
- [36] 武丽敏, 于彦春, 陈飞, 等. 基于课程思政的融合教学模式探索——以细胞生物学课程为例[J]. 高教学刊(WU L M, YU Y C, CHEN F, et al. Exploration of integrated teaching model with ideological education: case study of Cell Biology [J]. *Journal of Higher Education*), 2024, 10(S2): 57-60.
- [37] 刘洋, 金玉姬, 孙奇, 等. 家族性高胆固醇血症教学案例设计与实践[J]. 基础医学教育(LIU Y, JIN Y J, SUN Q, et al. Design and practice of familial hypercholesterolemia teaching case [J]. *Basic Medical Education*), 2024, 26(10): 833-6.
- [38] 王子铭, 陈勇.“融合模式, 明暗交替”——细胞生物学课程混合式教学的设计与实践[J]. 中国细胞生物学学报(WANG Z M, CHEN Y. “Integrated model with dual-line design”: blended teaching practice in Cell Biology [J]. *Chinese Journal of Cell Biology*), 2025, 47(4): 880-92.
- [39] 赵倩茹. 以创新型人才培养为目标的细胞生物学教学设计[J]. 工业微生物(ZHAO Q R. Teaching design of cell biology for innovative talent cultivation [J]. *Industrial Microbiology*), 2024, 54(4): 176-8.
- [40] 刘明慧, 江凌. 新工科背景下细胞生物学专业课程融合食品科学与工程学科交叉实践的教学改革研究[J]. 食品与发酵工业(LIU M H, JIANG L. Teaching reform of cell biology

- integrated with food science under emerging engineering education [J]. Food and Fermentation Industries), 2025, 51(15): 409-16.
- [41] 张仁宇, 刘泽昆, 边惠洁. 科研导向型教学模式在医学细胞生物学实验课程中的应用[J]. 中国细胞生物学学报(ZHANG R Y, LIU Z K, BIAN H J. Application of research-oriented teaching model in Medical Cell Biology experiments [J]. Chinese Journal of Cell Biology), 2025, 47(5): 1110-6.
- [42] 崔婷婷, 张伟伟, 陈洪艳. “课程思政”多途径融入细胞生物学教学的探索和实践[J]. 当代畜牧(CUI T T, ZHANG W W, CHEN H Y. Exploration of multi-path ideological education integration in cell biology teaching [J]. Contemporary Animal Husbandry), 2024, 7: 57-61.