

病原生物学实验教学改革的人工智能赋能之路

——挑战、机遇与发展策略

芮冰, 丁莹莹, 白洁*

海军军医大学基础医学院病原生物学教研室, 上海

收稿日期: 2026年9月26日; 录用日期: 2026年10月22日; 发布日期: 2026年10月29日

摘要

病原生物学实验教学是衔接理论与临床, 培养学生实践能力与生物安全素养的关键环节, 当前面临安全性与可及性失衡、教学内容模式固化、资源时空约束突出三大困境。人工智能凭借虚拟仿真、知识图谱、计算机视觉等技术, 为实验教学改革提供新路径。本文剖析病原生物学实验教学现存问题, 对比传统教学与人工智能赋能教学的差异, 提出虚实融合实训平台建设、人工智能驱动教学内容重构、泛在学习空间搭建等改革策略; 同时针对技术成本高、教师数字素养不足、数据伦理风险等现实难题, 提出资源共享、分层培训、完善保障机制等对策。人工智能赋能的核心是“增强而非替代”, 旨在构建弹性教学生态, 实现数据驱动的教学优化。未来随着多智能体、医学垂直大模型、混合现实技术发展, 人工智能将推动病原生物学实验教学回归人本化, 培养兼具专业能力与人文素养的医学人才。

关键词

病原生物学, 实验教学, 人工智能, 虚拟仿真, 生物安全, 教学转型

AI-Empowered Reform of Experimental Teaching in Pathogen Biology

—Challenges, Opportunities, and Development Strategies

Bing Rui, Yingying Ding, Jie Bai*

Department of Pathogenic Biology, School of Basic Medicine, Naval Medical University, Shanghai

Received: September 26, 2026; accepted: October 22, 2026; published: October 29, 2026

*通讯作者。

文章引用: 芮冰, 丁莹莹, 白洁. 病原生物学实验教学改革的人工智能赋能之路[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 2158-2164.
DOI: 10.12677/ae.2026.16102332

Abstract

Experimental teaching in Pathogen Biology is a key link between theory and clinical practice and an essential component in cultivating students' practical ability and biosafety literacy. It currently faces three major dilemmas: an imbalance between biosafety and accessibility, rigid teaching content and pedagogical models, and prominent spatiotemporal constraints on resources. With technologies such as virtual simulation, knowledge graphs, and computer vision, artificial intelligence (AI) provides new pathways for experimental teaching reform. This paper analyzes the existing problems in Pathogen Biology experimental teaching, compares traditional teaching with AI-empowered teaching, and proposes reform strategies such as building integrated virtual-real practical training platforms, reconstructing teaching content in an AI-driven manner, and creating ubiquitous learning spaces. In response to practical challenges including high technical costs, insufficient digital literacy among teachers, and data ethics risks, it also proposes countermeasures such as resource sharing, tiered training, and improved safeguard mechanisms. The core of AI empowerment is "enhancement rather than replacement", aiming to build a resilient teaching ecosystem and achieve data-driven teaching optimization. In the future, with the development of multi-agent systems, medical vertical large models, and mixed reality technologies, AI will promote the return of Pathogen Biology experimental teaching to a human-centered orientation and help cultivate medical talents with both professional competence and humanistic qualities.

Keywords

Pathogen Biology, Experimental Teaching, Artificial Intelligence, Virtual Simulation, Biosafety, Teaching Transformation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

病原生物学是研究病原微生物、寄生虫生物学特性、致病机制及防控策略的医学基础学科，实验教学在夯实理论基础、训练操作技能、塑造生物安全意识与临床思维方面发挥不可替代的作用。目前国内多数医学院校仍沿用“教师示教-学生模仿-撰写实验报告”的传统实验教学模式，难以适配“以学生为中心、以能力为导向”的医学教育改革方向[1]。高危病原体实操受生物安全条件限制、验证性实验占比过高、教学与临床技术脱节、实验室资源紧张、学习受时空严格限制等问题，制约人才培养质量提升[2]。

人工智能技术不断向教育领域渗透，在情景模拟、即时反馈、个性化学习、大数据分析等方面具备显著优势，为破解病原生物学实验教学痛点提供技术支撑[3]-[5]。近年来，AI在医学实验教学中的应用研究大致沿四条路径展开：一是以虚拟仿真、AR/VR和虚实结合为代表的高危操作、实验技能与生物安全训练[3][6]-[8]；二是以知识图谱和智能资源组织为代表的课程内容重构[9][10]；三是以虚拟患者、AI案例教学和早临床导向为代表的临床思维训练[11][12]；四是以学习分析、智能导师和教师数字素养为代表的教学支持研究[4][5][13]。

然而，已有研究仍存在以下不足：其一，四条路径多呈并行推进态势，虚拟仿真、知识图谱、虚拟患者、学习分析等模块之间尚缺乏与课程目标、生物安全要求和临床能力培养相衔接的整合设计；其二，

知识图谱和智能资源建设虽已起步,但与权威指南、临床病例、学习数据之间尚未形成动态更新与持续回流闭环,过程性数据也未充分用于教学决策和评价;其三,虚实融合的迁移边界、“正常-应急”切换机制以及成本分摊、教师培训、数据伦理等保障措施,虽已有涉及,但多停留在原则性建议或框架层面,与具体教学场景结合不够,缺少可操作的实施路径。针对上述不足,本文尝试从以下方面展开:第一,构建“AI 知识库-虚拟仿真训练-AR 辅助实训-智能评估-数据优化”五层递进体系,阐释其运行机制与教学设计逻辑;第二,设计基于动态知识图谱、AI 合成病例库和泛在学习空间的内容更新与数据回流路径;第三,细化虚实融合训练与“正常-应急”切换思路,并从资源共建共享、教师分层培训和伦理安全保障三方面提出配套对策。本文结合学科教学实际,通过表格对比传统教学与 AI 赋能教学的差异,以期为医学院校病原生物学实验教学改革提供参考。

2. 病原生物学实验教学的现状与突出问题

2.1. 生物安全约束与教学可及性矛盾突出

病原生物学实验涉及细菌、病毒、真菌、寄生虫等多种致病性生物,依据《中华人民共和国生物安全法》¹和《病原微生物实验室生物安全管理条例》²的规定,参照《人间传染的病原微生物目录》³,结核分枝杆菌、布鲁氏菌等二类及以上病原体,必须在 BSL-2 及以上等级实验室开展操作[14]。多数本科教学实验室达不到生物安全硬件标准,为规避风险,只能删减高危病原体实操,依靠图片、视频开展教学,学生缺少真实操作体验,病原鉴定识别等核心技能训练不足[2][15]。

教学实践多采用标准质控菌株开展验证实验,较少使用临床真实标本。学生长期处于“理想化”实验环境,缺少混杂菌群标本处理训练,进入临床实习后,面对真实临床样本时常难以完成病原菌分离鉴别,出现岗位胜任力不足的问题[1][12]。

2.2. 教学内容固化与教学模式僵化

现有实验教学以革兰染色、培养基制备、细菌分离培养等验证性项目为主,占比超过 90%。质谱鉴定、荧光定量 PCR、宏基因组测序等临床已经普及的前沿检测技术,受设备、经费限制很难融入本科实验课堂,造成学生在校学习内容与临床实际需求之间出现“技术断崖”[12]。

教学模式以单向灌输为主,学生机械抄写实验步骤,按照既定流程完成实验,依据标准答案完成报告。未知样本研判、实验异常结果分析、实验污染鉴别等能够锻炼临床思维的探究性内容被弱化,学生缺少开放性问题的训练机会,科学探究思维难以得到有效培养[5]。

2.3. 资源投入不足与时空约束双重困境

病原生物学实验教学建设运行成本高,实体实验室建设、生物安全设备、试剂耗材、菌种保藏均需要持续经费投入。地方及中西部院校经费有限,存在设备老化、器材配比不足等问题,不同院校之间教学资源差距明显,影响人才培养质量均衡发展[1]。

实体实验室存在明显时空限制,学生仅能在固定课时进入实验室学习,预习、复盘巩固受到制约。实验技能需要反复试错练习,但现有教学安排缺少重做、补做条件,违背技能习得规律。一旦发生突发公共卫生事件造成线下教学中断,实验教学极易陷入停滞;直播示教、普通虚拟实验仅能起到观摩作用,无法有效完成动手能力训练,教学连续性难以保障[6][8](见表 1)。

¹http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202010/t20201017_308282.html

²https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/xzfg/202610/t20261009_1175906.shtml

³<https://www.nhc.gov.cn/qjjys/c100016/202308/57f94fa7e121475ab87ff0ea14a92f6c.shtml>

Table 1. Comparison of core dimensions of pathogenic biology experimental teaching between traditional mode and AI-enabled mode
表 1. 传统模式与 AI 赋能模式下病原生物学实验教学核心维度对比

对比维度	传统病原生物学实验教学	AI 赋能病原生物学实验教学	核心差异分析
高危病原体实训条件	受 BSL-2 条件限制，多为图片视频演示	虚拟仿真实现零风险反复实操	AI 化解生物安全风险与实操需求矛盾
实验内容构成	验证性实验占比 > 90%，前沿技术融入不足	验证 + 探究 + 临床仿真案例，知识图谱动态更新	AI 缩小教学与临床之间的技术鸿沟
训练时空条件	固定场地课时，试错机会极少	虚实融合，云端泛在学习，支持碎片化训练	AI 打破时空壁垒，支持反复试错学习
教学反馈方式	教师人工观察，课后报告反馈，滞后明显	AI 实时识别操作，7 × 24 h 智能助教即时提示	实现过程性、个性化教学反馈
实践案例来源	教材固定案例，样本类型有限	临床脱敏病例 + AI 合成病例，案例持续扩充	丰富临床情境，强化思维训练
教学评价方式	偏重实验报告与最终结果，过程评价薄弱	操作量化评分 + 知识测评 + 临床决策综合评价	由结果评价转向过程 - 结果综合评价
突发事件应对	线下停课课后实验教学基本中断	一键切换全虚拟模式，保障教学延续	提升教学体系抗风险韧性

3. AI 赋能病原生物学实验教学的核心策略

3.1. 智能虚拟仿真：构建零风险实训平台，实现虚实融合训练

AI 驱动的新一代虚拟仿真系统具备高物理真实感、智能实时反馈、自适应难度调整特点，能够模拟接种、划线、染色、虫体识别等完整实验操作流程[1]。系统可以随机生成不明感染患者模拟标本，让学生完整完成病原体鉴定、药敏试验、结果报告全流程训练，解决高危病原体无法实操的难题。

依托 AR 与计算机视觉实现虚实融合教学，学生开展实体实验时，AI 可以识别显微镜镜下图像、分析操作行为，实时纠错打分，相当于配备全天候 AI 助教，缓解教师课堂指导压力[1]。构建“AI 知识库 - 虚拟仿真训练 - AR 辅助实训 - 智能评估 - 数据优化”五层递进教学体系，虚拟仿真承担高风险、高消耗的反复练习，实体实验室保留真实标本操作、无菌肌肉记忆训练等不可替代环节，做到虚实优势互补，实现安全不降级、训练可落地[1] [5] [7]。

3.2. AI 驱动内容重构与模式革新，对接临床前沿

传统教材更新周期长，难以跟上病原生物学领域新发传染病、耐药菌快速变异的发展节奏。AI 动态知识图谱抓取权威指南、期刊、疾控公告，自动关联课程知识点，实现教学内容动态迭代，及时融入耐药基因、新发感染等前沿内容[9] [10]。

依托 AI 搭建脱敏临床病例库，同时生成定制化合成病例，覆盖常见病与少见疑难感染。智能虚拟患者构建完整病理病原模型，学生以检验医师身份自主完成标本送检、检测方案选择、结果解读，系统根据学生决策动态模拟病情转归，开展沉浸式临床思维训练[11]。AI 学习伴侣采用启发式提问开展个性化辅导，不直接给出标准答案，引导学生自主分析实验异常；搭建智能协作学习空间，模拟检验科团队分工协作，推动教学从机械模仿向主动探究转变。

3.3. 泛在学习空间：打破时空约束，保障教学连续性

搭建云端虚拟实验室、数字菌种虫种库、虚拟玻片库，学生利用手机、平板即可随时开展菌落形态识

别、虚拟实验训练，利用碎片化时间反复巩固知识点，弥补课堂学时不足的短板。远程实验系统支持学生远程操控实体实验设备，获取真实实验结果，为特殊情况无法到校的学生提供保底学习路径[1] [7] [12]。

正常教学阶段实行虚实融合模式，课前虚拟仿真预习，课中实体动手实操，课后 AI 复盘总结；遇到突发公共卫生事件，一键切换至全虚拟教学模式。学生全部学习操作数据云端留存，线下教学恢复后教师可直接调取薄弱点数据，精准开展针对性教学，实现教学无缝衔接，提升整体教学韧性(见表 2)。

Table 2. Implementation framework of AI-enabled pathogenic biology experimental teaching
表 2. AI 赋能病原生物学实验教学实施框架

优化维度	预期目标	依托资源/模式	核心举措
智能虚拟仿真平台建设	化解生物安全风险，落地高危病原体实训	AI 虚拟仿真、AR 计算机视觉、五层递进教学体系	开发高危病原体虚拟实训模块；AR 辅助实体实验；构建五层教学闭环
教学内容与模式重构	内容动态更新，实现探究式深度学习	动态知识图谱、AI 虚拟患者、AI 学习伴侣	知识图谱动态更新资源；搭建 AI 合成病例库；开展虚拟患者情境训练；启发式 AI 辅导
泛在学习空间构建	破除时空限制，提升危机应对能力	云端虚拟实验室、数字菌种玻片库、远程实验系统	云端部署仿真资源；建设数字标本库；支持远程实体实验；正常 - 应急模式一键切换
成本资源破解	降低院校建设门槛，避免重复开发	国家级资源共享平台、云端轻终端架构	制定统一技术标准；共建开源资源库；校企校际联合开发分摊成本
教师能力提升	助力教师转型为学习设计师	分层分级培训、AI 教学助教、教学共同体	三级阶梯培训；配备技术助教；组建教学共同体；树立 AI 增强而非替代理念

3.4. 五层递进体系：贯通虚实数据闭环，实现精准教学优化

该体系由“AI 知识库 - 虚拟仿真训练 - AR 辅助实训 - 智能评估 - 数据优化”五层构成，以能力目标为起点，以数据为纽带形成递进闭环。知识库提供动态图谱、数字标本与病例资源；虚拟仿真承担高危、可重复的预训练；AR 辅助实训实现虚实迁移；智能评估开展操作、知识与决策的多模态评价；数据优化层将数据回流至知识库、任务推荐和教师端，形成“采集 - 分析 - 反馈 - 干预 - 再采集”闭环[1] [5] [7]。学生从课前预习到完成实验报告全过程中的 AI 模块介入、数据采集、反馈生成及教学设计逻辑详见表 3。

Table 3. Whole-process AI intervention, data flow and feedback generation for students
表 3. 学生全流程 AI 介入、数据流转与反馈生成

阶段	学生活动	AI 模块介入	数据采集	反馈生成	教学设计逻辑
课前预习	学习知识图谱、数字标本、安全规范，完成前测	AI 知识库、AI 学伴、前测系统	浏览路径、前测成绩、提问记录	预习画像、任务难度推荐	激活先备知识，诊断学习起点
虚拟仿真训练	完成病原鉴定、药敏试验、结果报告	虚拟仿真、虚拟患者、AI 助教	操作路径、错误类型、决策记录	秒级纠错、阶段评分	情境学习、刻意练习 (明确目标 - 专注重复 - 即时反馈 - 修正提升)
AR 辅助实体实训	真实标本接种、染色、镜检、无菌操作	AR、计算机视觉、智能纠错	镜检图像、手势、操作评分	实时纠错、量化打分	虚实迁移、认知学徒制
智能评估	提交报告、异常分析、临床决策	智能评估、学习分析	多模态评分、知识测评、决策路径	能力雷达图、薄弱点图谱	过程 - 结果评价、掌握学习
课后复盘与报告	补做、重练、修改报告	AI 学伴、云端复盘	复盘记录、补做数据、报告修改轨迹	个性化资源推荐、学习路径调整	反思性学习、精准补短
数据优化	接受新一轮任务；教师调整教学	数据优化引擎、教师仪表盘	能力画像、资源使用数据	知识库更新、难度调整、教学干预	数据驱动决策、持续改进

以“不明原因发热患者标本病原学鉴定”为例，课前预习阶段，AI 知识库与 AI 学伴推送知识图谱、数字标本和安全规范，前测系统采集预习数据并生成预习画像；虚拟仿真阶段，虚拟患者与 AI 助教支持学生完成病原鉴定、药敏试验和结果报告，记录操作路径、错误类型与决策依据，提供秒级反馈；AR 辅助实训阶段，计算机视觉识别镜检图像、手势与无菌操作，实时纠错打分，推动虚实迁移；智能评估阶段，学习分析模块综合操作、知识、决策和报告，生成能力雷达图与薄弱点图谱；课后复盘与报告阶段，AI 学伴推送个性化补做与反思任务；数据优化阶段，能力画像和资源使用数据回流至知识库，支持教师精准干预与任务难度调整。

上述流程形成“预习画像→操作数据→评估结果→复盘记录→优化建议→知识库更新”的数据流，并生成即时反馈、任务级反馈、课程级反馈和教学级反馈。其设计遵循 OBE 反向设计、认知负荷、刻意练习、认知学徒制和掌握学习逻辑：虚拟仿真通过明确目标、即时反馈和反复修正实现刻意练习，AR 实训通过示范、指导、脚手架与逐步退隐实现认知学徒制，智能评估支撑掌握学习，数据优化实现持续改进。核心是 AI 增强而非替代，实现安全不降级、训练可落地、评价可追溯。

4. AI 赋能面临的现实挑战与应对措施

4.1. 主要挑战

一是技术与成本门槛较高。AI 仿真平台硬件采购、软件开发、后期维护均需要大量经费，地方院校很难独立承担。各厂商平台标准不统一，资源无法互通，造成大量重复建设。二是教师数字素养有待提升。部分教师对 VR、大模型等新技术较为陌生，缺少 AI 教学设计、学习数据分析相关培训，难以完成从知识讲授者向学习设计师的角色转变，部分教师还存在 AI 替代教师的思想顾虑。三是数据与伦理风险[13]。平台存储学生学习数据、脱敏临床病例，存在信息泄露隐患；通用大模型存在知识幻觉，专业场景下可能输出错误结论，干扰教学。

4.2. 应对措施

第一，建设国家级教学资源共享平台。主管部门统一技术规范，建设病原生物学 AI 教学资源库，专家审核后的仿真模块、数字标本、病例资源全国共享。推广云端架构，降低院校硬件投入，推动校企合作、校际联盟联合开发，分摊建设维护成本。

第二，构建分层递进教师培训体系。设置入门、进阶、高阶三级培训，采用工作坊实战演练替代单纯讲座。为课程配备教育技术助教，处理设备调试、数据统计等事务；组建跨校教学共同体，开展教学研讨交流。将 AI 教学改革纳入教学评价激励，同时明确 AI 是增强工具而非替代者，消解教师心理顾虑。

第三，完善安全保障机制。建立数据安全管理制度，规范学生与病例数据存储使用流程；落实 AI 教学内容专家审核制度，对模型输出的知识点、病例进行校验，规避模型幻觉带来的教学偏差，保障教学质量。

5. 结论与展望

病原生物学实验教学正处在教学范式转型的关键阶段，AI 技术为破解生物安全困境、教学内容滞后、资源时空受限等难题提供可行方案。AI 赋能本质是人机协同、数据驱动的教学优化，不是简单技术叠加，更不是用虚拟实验完全替代实体操作。AI 承接标准化、重复性训练任务，把教师解放出来，更多聚焦学生临床思维、职业素养等高阶能力培养，同时缩小院校之间资源差距，提升教学应对突发公共卫生事件的韧性。

未来 AI 将向着多智能体协同、病原生物学教育垂直大模型、混合现实触觉仿真方向发展，不断缩小

虚拟训练与真实实验的技能迁移鸿沟,并逐步延伸形成覆盖在校教学与毕业后继续教育的终身学习生态。

技术迭代背景下,记忆性知识、标准化操作训练可以交由 AI 辅助完成,病原生物学实验教学应当回归人本化的教育本质,重点培养学生临床决策能力、系统思维、共情能力与职业伦理。依靠人机协同的育人模式,培养技术精湛、兼具人文素养的医学人才,为我国感染性疾病防控和公共卫生事业提供人才支撑。

基金项目

海军军医大学教学成果立项培育项目:《逻辑贯通,决策融通:军医大学公共事业管理专业病原生物学课程改革与实践》;海军军医大学教学研究与改革项目:《决策能力导向的公共卫生事业管理专业病原生物学课程改革研究》(JYG2025B05)。

参考文献

- [1] 马董道,王钰涵,赵辉,等.“四化一体,虚实结合”病原生物学实验教学体系的构建与实践[J].河南医学高等专科学校学报,2026,38(3):339-341.
- [2] 陈茜文,张梦,潘晋,等.高校病原生物学教学实验室生物安全管理工作探讨[J].医学教育管理,2023,9(S1):173-176.
- [3] 黄轩,杨志英,资源,等.AI赋能的虚拟仿真实验在病原生物学实践教学中的探索[J].湘南学院学报(医学版),2025,27(4):68-70.
- [4] 刘萍,张婕,谢玲林.AI赋能高职病原生物学与免疫学课程教学改革[J].科教导刊,2025(34):37-40.
- [5] 彭丽娟,杨健,朱晓燕,等.人工智能时代“病原生物学”课程教学改革策略[J].教育教学论坛,2025(35):73-76.
- [6] 崔沐,李贞,杨旭园,等.依托现代教学技术通过病原生物学实验提高学生生物安全意识创新研究[J].中国病原生物学杂志,2025,20(6):809-812+817.
- [7] 汪一诺,刘伯玉,王明丽,等.新医科背景下AI化创作病原生物学系列视频探索[J].医学教育研究与实践,2023,31(6):691-695.
- [8] 余泰,李玲,曹洪欣.突发公共卫生事件背景下医学实验教学模式探索[J].海军医学杂志,2023,44(9):921-924.
- [9] 闫景瑞,邓为民,张士杰,等.基础医学教育阶段核心课程知识图谱的构建与应用[J].中华医学教育杂志,2024,44(3):176-179.
- [10] 于骊,邓为民,张士杰,等.知识图谱赋能基础医学教育的实践[J].中华医学教育杂志,2024,44(7):513-516.
- [11] 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,2025,63(15):72-75.
- [12] 章先,林旭璦,李立伟,等.以早临床为导向的病原生物学实验教学体系的改革与实践[J].基础医学教育,2024,26(10):860-865.
- [13] 高静,张改改.教育数字化转型背景下医学院校教师数字素养提升策略研究[J].科教导刊,2025(8):131-133.
- [14] 国家卫生健康委关于印发人间传染的病原微生物目录的通知[EB/OL].2023-08-18.
<https://www.nhc.gov.cn/qijys/c100016/202308/57f94fa7e121475ab87ff0ea14a92f6c.shtml>,2026-10-26.
- [15] 章先,王继璇,于晓虹,等.依托病原生物学实验培养医学生生物安全意识路径探析[J].基础医学教育,2023,25(3):213-218.