

# 基于“校企合作、虚实结合”的生物医药类 实验教学体系探索

梁旭华\*, 程敏, 李先, 李世玺, 郎伍营

商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

收稿日期: 2026年1月28日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月9日

## 摘要

在生物医药产业快速发展与数智化技术深度融合的背景下, 传统实验教学体系已难以满足高素质应用型人才培养需求。针对生物医药类专业实验教学中存在的教学内容滞后、资源约束、模式封闭等共性问题, 提出“校企合作 + 虚实结合”的实验教学体系构建方案。该体系以区域产业需求为导向, 围绕“一个目标、二元驱动、三层架构、四项机制”的总体框架, 从知识图谱课程重构、校企资源平台共建、开放式教学模式创新、数智化管理评价四个维度开展实践, 并深入探讨体系实施的关键因素、挑战及未来方向, 为生物医药类专业实验教学改革提供可借鉴的路径。

## 关键词

生物医药, 实验教学体系, 校企合作, 虚实结合, 数智化

# Exploration of a Biopharmaceutical Experimental Teaching System Based on “Industry-Academia Collaboration and Virtual-Real Integration”

Xuhua Liang\*, Min Cheng, Xian Li, Shixi Li, Wuying Lang

College of Biology Pharmacy and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: January 28, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 9, 2026

## Abstract

Against the backdrop of the rapid development of the biopharmaceutical industry and its deep

\*通讯作者。

文章引用: 梁旭华, 程敏, 李先, 李世玺, 郎伍营. 基于“校企合作、虚实结合”的生物医药类实验教学体系探索[J]. 教育进展, 2026, 16(3): 546-552. DOI: 10.12677/ae.2026.163516

integration with digital-intelligent technologies, the traditional experimental teaching system struggles to meet the demands of cultivating high-quality applied talents. Addressing common issues in experimental teaching for biopharmaceutical disciplines—such as outdated content, resource constraints, and closed-off pedagogical models—this study proposes an experimental teaching system built on “industry-academia collaboration and virtual-real integration”. Guided by regional industrial needs, the system follows an overall framework of “one objective, dual drivers, three-tier structure, and four mechanisms”. Practical implementations are carried out across four dimensions: reconstruction of courses based on knowledge mapping, co-construction of industry-academia resource platforms, innovation of open teaching models, and digital-intelligent management and evaluation. Key factors for implementation, challenges, and future directions are further explored, providing a referential pathway for the reform of experimental teaching in biopharmaceutical-related disciplines.

## Keywords

Biopharmaceutical, Experimental Teaching System, Industry-Academia Collaboration, Virtual-Real Integration, Digital-Intelligent

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

生物医药产业作为全球战略性新兴产业，正迎来以基因编辑、细胞治疗、人工智能药物研发为核心的技术革命[1]。实验教学作为生物医药类专业人才培养的核心环节，是连接理论知识与产业实践的关键纽带，其教学质量直接决定人才培养质量。然而，当前我国生物医药类专业实验教学仍面临多重困境。一是产业技术迭代速度加快，企业广泛应用的连续流合成、高通量筛选、数字孪生生产等先进技术，在高校实验教学中普及率不足[2]；二是生物医药实验具有高成本、高风险、长周期等特点，高校受限于经费、场地、设备台套数等资源约束，难以开展大规模真实场景实验。三是传统实验教学多以验证性实验为主，学生被动接受知识，自主设计与创新能力培养不足，导致人才培养与产业需求存在明显脱节[3]。

本研究构建的“校企协同、虚实融合”的一体化教学体系框架，以区域产业发展需求为根本导向，通过校企协同机制，将企业的真实技术问题、生产案例、研发项目转化为优质教学资源；通过虚实融合机制，科学设计虚拟仿真与实体实验的教学环节，实现“以虚预实、以实验虚、虚实互补”；通过开放管理机制，赋予学生更大的学习自主权和探索空间；最终通过持续改进的质量保障机制，确保人才培养目标的高效达成。将数智化技术融入实验教学课程重构、资源建设与管理评价环节，拓展了数智化背景下高等教育教学改革的研究范畴，为其他理工科专业实验教学改革提供理论参考。

## 2. 生物医药类专业实验教学面临的共性问题

### 2.1. 教学内容滞后与产业技术迭代之间的矛盾

生物医药产业技术更新周期不断缩短，据统计，全球生物医药领域新技术从实验室走向产业化的平均时间已缩短至 5~8 年，而高校实验教学内容更新受课程大纲修订周期、教材编写进度、设备更新成本等因素影响，存在明显滞后性。当前，高校生物医药类实验课程仍以验证经典理论为主，实验内容与方法固定，缺乏对产业前沿技术的融入[4]。例如，企业广泛应用的“高通量药物筛选技术”“连续流化学

合成技术”“AI 辅助药物分子设计技术”等，仅在少数高校的研究生实验课程中涉及，本科生难以接触；此外，企业生产中严格遵循的药品生产质量管理规范、药品非临床研究质量管理规范等标准，在高校实验教学中多以理论讲解为主，缺乏场景化实践环节。这种“学用脱节”导致学生毕业后进入企业，需重新接受系统培训才能胜任岗位工作，增加了企业用人成本，也降低了学生就业竞争力。

## 2.2. 教学资源约束与学生实践能力培养之间的冲突

生物医药实验教学对资源的依赖性极强，而高校普遍面临资源约束问题，具体表现为三方面：一是设备台套数不足。生物医药实验设备单价高昂，高校受经费限制，设备台套数有限，学生大部分时间处于“看实验”“记步骤”状态，难以熟练掌握设备操作技能。二是高危高成本实验难以开展。生物医药实验涉及大量易燃易爆有机溶剂、有毒试剂及致病性微生物，实验过程存在火灾、中毒、生物污染等风险。三是场地空间受限。生物医药实验对场地环境要求严格，如无菌操作室、生物安全柜、通风橱等设施需单独规划建设，而高校实验室场地资源有限，难以满足大规模实验教学需求，学生自主设计实验的时间与空间被严重压缩[5]。

## 2.3. 人才培养模式封闭性与社会需求开放性之间的脱节

传统生物医药类实验教学模式具有明显的封闭性，主要体现在以下三方面：一是实验教学内容与产业融合不足。高校实验课程设计多由专业教师主导，教师缺乏产业一线工作经验，对企业岗位需求、技术标准、生产流程了解不深入，导致实验教学内容与产业实际需求脱节。例如，高校“生物制药工艺实验”多以“小试规模”为主，学生仅掌握实验室级别的工艺操作，而企业实际生产采用“中试-放大”规模，涉及工艺优化、质量控制、成本核算等复杂环节，学生毕业后难以快速适应企业生产节奏。二是实验项目的科教融合力度较弱。高校教师的科研项目多聚焦于基础理论研究，难以转化为适合本科生的实验项目；科研资源向实验教学开放不足，学生参与科研实践的机会有限。三是教学评价体系不完善。传统实验教学评价以“实验报告+操作考核”为主，评价指标单一，侧重对学生实验步骤规范性、实验数据准确性的考核，忽视对学生问题解决能力、创新思维、团队协作能力的评价[6]。例如，学生在实验过程中若严格按照教材步骤操作，即使未深入理解实验原理，也能获得较高分；而尝试自主设计实验方案、探索新方法的学生，若因实验失败未获得理想数据，反而分数较低。这种评价体系抑制了学生的创新积极性，不利于高素质应用型人才培养。

# 3. “校企合作+虚实结合”实验教学体系的构建理念

## 3.1. 以产业需求为导向的应用型人才培养目标

以培养具备扎实理论功底、娴熟实践技能、突出创新能力且契合产业发展需求的高素质应用型生物医药人才为核心导向，构建“知识-能力-素养”三位一体的培养框架。在知识层面，要求学生系统掌握生物化学、微生物学等理论基础，并熟悉基因工程、生物制药工艺等前沿技术与 GMP、GLP 等行业规范。在能力层面强调实验操作、工程问题解决与创新能力的综合训练，使学生能够胜任工艺优化、质量控制及新产品研发等实际任务。在素养层面则注重培育严谨求实的科学态度、团队协作精神与职业伦理，强化药品质量与生物安全意识，从而全面提升学生的产业适应性与发展潜力。

## 3.2. 校企协同与虚实融合的双轮驱动机制

构建“校企合作-虚实结合”双轮驱动机制，实现产业需求牵引与技术赋能支撑的深度协同。通过“校企合作”实现产业需求与人才培养的精准对接。学校与企业共同开发实验课程，引入真实生产案例

与技术难题，推动课程内容与产业需求同步；共建共享实验资源，企业提供车间、设备与师资，学校则提供技术与培训支持，形成资源互补；实施“订单式”培养，使学生学习内容与岗位能力要求紧密衔接，提升就业质量。同时，依托“虚实结合”实现教学方式的技术赋能，利用虚拟仿真、VR/AR等技术构建虚实融合的实验环境。通过“以虚预实、以实拓虚、虚实互补”的模式，既保障高危、高成本实验的教学实施，也强化学生对实验原理与操作技能的系统掌握，有效拓展实验教学的深度与广度。

### 3.3. “资源 - 课程 - 实施” 三层架构支撑的实验教学体系

构建“资源 - 课程 - 实施”三层联动架构，为实验教学体系高效运转提供坚实支撑。资源层整合校企双方生产案例、研发项目、行业标准、师资设备与虚拟仿真平台、实体实验室、教学数据库等核心资源，形成涵盖真实案例、虚拟平台、实验设备与数字资源的共享资源池，为教学提供坚实基础。课程层设计“基础 - 综合 - 设计 - 创新”四阶段进阶式实验模块，逐步提升学生的实践与创新能力。实施层推行“以案导学、虚实互补、开放自主”的教学模式，并建立涵盖过程监控、多元评价与持续改进的“三位一体”质量保障机制，确保实验教学的系统性、开放性与实效性。

### 3.4. 四项运行机制保障体系持续优化

建立校企协同、虚实融合、开放管理、质量保障四项运行机制，为实验教学体系持续稳定运转提供制度支撑。校企协同机制通过联合管理委员会统筹协调、师资互聘、资源共享与利益分配机制激发合作活力；虚实融合机制聚焦实验内容优化、技术平台维护与数据互通，实现虚拟与实体实验有机衔接；开放管理机制以学生为中心，实现资源开放、教学自主与评价多元的协同推进；质量保障机制构建“师资 - 资源 - 监控 - 改进”全流程闭环，通过师资双向培训、资源专项保障、过程动态监控与持续优化调整，确保教学质量稳步提升。

## 4. 数智化背景下“校企合作 + 虚实结合”实验教学体系实践的举措

### 4.1. 基于知识图谱的课程体系重构与个性化学习路径设计

知识图谱作为数智化技术的核心载体，可实现实验知识的结构化组织与多维度关联<sup>[7]</sup>，为生物医药类实验课程体系的科学重构提供底层支撑。其实施路径主要包括三个核心环节：

首先，构建生物医药实验知识图谱。组建由高校教师、企业工程师及行业专家构成的团队，系统梳理生物医药实验领域的核心知识节点，涵盖“实验原理”“操作步骤”“设备使用”“行业标准”及“产业应用”等维度。以“高效液相色谱法检测药物含量”实验为例，知识节点包括“色谱原理”“色谱仪结构”“操作步骤(样品制备、仪器校准、进样分析)”“GMP对检测的要求”以及“企业实际检测案例”等。借助知识图谱工具，将各节点进行关联，构建可视化的知识网络。

其次，基于知识图谱优化课程模块体系。依据知识图谱中知识节点的关联强度与难易梯度，调整“基础 - 综合 - 设计 - 创新”四层次课程模块的内容架构与实施序列。例如，“色谱仪操作”知识节点与“药物质量控制、天然产物分离纯化”等节点具有强关联性，可将其纳入基础层课程模块，为后续综合层的“药物质量检测综合实验”奠定技能基础；“AI辅助药物分子设计”知识节点兼具高难度与产业前沿性，可纳入创新层课程模块，直接对接生物医药企业的研发需求。

最后，实现个性化实验课程精准推荐。将知识图谱与学生学习数据进行深度融合，通过大数据分析模型为学生推送适配性实验课程。例如，针对“药物研发”方向兴趣浓厚且实验能力突出的学生，推荐创新层的“基于AI的药物分子虚拟筛选实验”；针对“生物制药生产”方向的学生，推荐综合层的“生物制药工艺优化虚拟仿真实验”，真正实现“因材施教”的个性化培养目标。

## 4.2. 校企协同构建虚实融合教学资源平台

为实现虚拟资源与实体资源的高效整合、协同利用，校企联合打造专业化“生物医药虚实融合教学资源平台”，构建多维度功能体系。在虚拟实验模块，聚焦生物医药核心领域开发虚拟实验项目，涵盖基因工程药物研发、生物制药生产过程虚拟仿真、微生物发酵过程数字孪生等，依托 VR/AR 技术打造沉浸式教学场景，学生可通过 VR 设备直观体验药物生产车间环境，借助 AR 技术观察细胞内部结构与反应机制，在“微生物发酵过程虚拟实验”中，可自主调整发酵温度、pH 值、溶氧量等参数，实时观测微生物生长曲线与产物浓度变化，模拟不同工艺条件对实验效果的影响。实体实验管理模块则实现实验室与设备的全流程数字化管理，支持学生在线预约实验时间与设备，实验室管理员依据预约数据统筹调度；通过在实验设备上安装传感器，实时采集运行状态数据并上传平台，为设备维护提供数据支撑，同时接入实体实验设备数据接口，将色谱仪检测结果、PCR 扩增曲线等实验数据实时同步，便于学生后续分析与教师精准评价。企业资源模块为校企协同提供直接纽带，企业可上传真实生产案例、技术标准、研发项目等资源，学生可在线查阅资源、申请参与课题，与企业导师开展线上沟通，企业导师通过平台实现实验指导、报告查阅等协同教学行为。学习社区模块则搭建多元化互动桥梁，支持学生间分享实验经验、探讨方案、解答疑问，教师与企业导师可在线答疑、发布学习资料、组织线上研讨，营造开放协同的学习氛围。

## 4.3. 以学生为中心的开放式实验教学模式创新

秉持“以学生为中心”的教育理念，构建开放式实验教学模式，激发学生的自主学习能力与创新思维。

推行项目式与案例式融合教学。以企业真实研发项目与产业案例为载体，开展“PBL + CBL”融合教学实践。例如，以“新型抗病毒药物筛选项目”为教学载体，教师首先向学生介绍项目背景与企业需求；随后将学生划分为 5~6 人的协作小组，围绕项目开展递进式实验：通过虚拟平台完成化合物虚拟筛选，在实体实验室开展活性验证实验，结合实验结果优化筛选策略，最终形成项目研究报告并向企业导师进行汇报。通过这种教学模式，学生不仅掌握了实验操作技能，还提升了团队协作能力、问题解决能力与沟通表达能力。

实行实验室全天候开放与自主实验设计。建立实验室全天候开放机制，学生可通过“虚实融合教学资源平台”预约实验场地与仪器设备，开展自主设计性实验。例如，学生对“天然产物抗氧化活性研究”感兴趣，可自主查阅学术文献、设计实验方案，在开放实验室开展实体实验，并通过虚拟平台模拟不同工艺条件下的实验结果，进行多维度数据分析，最终形成创新实验研究报告。教师为学生提供一对一指导，帮助解决实验过程中遇到的问题，鼓励学生开展创新性研究。

深化校企联合实践实习。与生物医药企业共建“实践教学基地”，组织学生开展为期 1~2 个月的企业实习。在企业导师与高校教师的共同指导下，学生参与企业真实生产过程或研发项目，包括协助开展药物质量检测、参与发酵工艺优化实验、整理研发数据等。实习结束后，学生需提交实习报告与实验成果，由校企双方导师共同进行考核评价，评价结果纳入学生实验课程总成绩。通过企业实习，学生深入了解生物医药产业发展现状，提升了实践操作能力与职业素养。

## 4.4. 数智化赋能实验教学管理与评价体系构建

依托大数据、物联网及 AI 等数智技术，构建精准高效的实验教学管理体系与科学全面的教学评价体系。在数智化教学管理方面，通过虚实融合教学资源平台实现实验预约与调度的智能化，系统根据实验室容量、设备数量及学生需求自动生成调度方案，有效规避资源冲突；建立设备智能化管理机制，通过

传感器实时采集设备温度、压力、使用次数等运行数据，上传至管理平台实现动态监控，设备异常时自动报警并提醒维护，同时依据使用频率与损耗情况制定检修更新计划；强化实验室安全数字化管控，安装摄像头、烟雾报警器、气体检测传感器等设备，实时监控安全状况，出现火灾、有毒气体泄漏等隐患时自动触发警报并推送预警信息，同时通过视频记录与 AI 识别技术捕捉学生违规操作并及时提醒，全面提升实验安全性。在数智化教学评价方面，构建“多元化、过程化、数智化”的评价体系，设计知识掌握、操作技能、创新能力、团队协作、职业素养五大维度评价指标，每个维度细化具体评价要点，确保评价全面性；借助数智技术实现评价数据的自动采集与分析，通过设备传感器采集操作时间、失误次数等实操数据，通过虚拟平台记录实验步骤正确性、数据准确性等虚拟实验表现，通过 AI 识别技术分析操作规范性，系统依据预设权重自动计算过程性评价分数，降低人工评价主观性；建立个性化反馈机制，评价系统根据学生数据生成专属评价报告，明确优势与不足，并推荐针对性学习资源，助力学生调整学习计划，为教师开展个性化指导提供依据，实现“以评促学”的教学闭环。

## 5. 讨论与反思

### 5.1. 校企协同与虚实融合的现实困境及破解路径

当前生物医药类实验教学在推进“校企合作、虚实结合”模式中，面临三重核心困境：一是校企合作的深度不足，部分企业因技术保密顾虑、成本增加等因素，仅停留在设备捐赠、案例提供等浅层合作，未实质参与课程设计、教学评价等核心环节；二是虚拟实验资源的开发与维护面临高成本、快迭代压力，单一高校难以持续投入大量资金构建并更新覆盖全流程的虚拟仿真平台；三是数智化技术的教学应用存在门槛，部分教师对大数据、VR/AR 等技术的操作能力不足，制约了虚实结合教学的落地效果。

针对上述挑战，需构建系统性破解路径：以信任为基础深化校企协同，通过定期对接机制、签署保密协议消除企业顾虑，针对不同规模企业设计“订单式培养”“协同研发”等差异化合作模式，并依托政府政策平台争取专项扶持资金与资源；采用“校企共建 + 校际共享”模式降低虚拟资源成本，联合企业共同开发可服务于人才培养与员工培训的虚拟实验项目，同时联合区域高校搭建资源共享平台，分摊开发与维护成本；通过分层培训与制度激励提升教师数智化能力，开展虚拟平台操作、AI 教学工具应用等专项培训，组建技术支持团队提供实时指导，并设立教改项目奖励机制，推动教师在实践中提升技术应用水平。

### 5.2. 未来教学改革的发展方向与建议

#### 5.2.1. 数智化技术驱动的实验教学深度融合

未来实验教学需以数智化技术为核心，推动教学模式的颠覆性变革。AI 技术将实现实验教学的个性化与精准化，通过分析学生学习行为数据与产业岗位需求，自动生成适配不同能力层次的实验方案，并在实验过程中实时提供操作纠错、难点解析等智能指导；构建沉浸式实验场景，学生可通过虚拟化身进入“生物医药虚拟实验室”，与跨地域的师生、企业工程师开展协同实验，突破物理空间限制。

#### 5.2.2. 跨学科与国际化视野下的实验教学拓展

生物医药产业的交叉融合特性，要求实验教学打破学科壁垒，加强与计算机、材料科学、化学等学科的深度合作，开发“AI 辅助药物分子设计”“生物医用材料性能评价”等跨学科实验项目，培养学生的交叉学科思维与技术整合能力。同时，需推进实验教学的国际化进程，引进国外高校的先进实验资源与教学模式，开展“国际虚拟联合实验”“跨国药企研发实践”等项目，通过参与国际学术交流、联合科研等活动，提升学生的全球视野与跨文化交流能力。

### 5.2.3. 长效化保障机制的构建与完善

为确保“校企合作、虚实结合”实验教学体系的可持续运行，需从政策、经费、制度三个层面构建长效保障机制。政策层面，推动教育主管部门出台生物医药类实验教学改革专项指导意见，将校企协同、虚实融合教学纳入高校教学评估核心指标；经费层面，建立“政府专项 + 校企共建 + 社会捐赠”的多元化投入机制，设立实验教学改革专项基金，支持虚拟资源开发、教师培训等核心环节；制度层面，完善校企合作管理、实验资源共享、教师考核激励等配套制度，明确各方权利义务，保障教学体系的稳定运行。

### 基金项目

陕西省研究生教育综合改革研究与实践项目：生物与医药专业学位研究生“三阶递进 - 双元协同”实践能力培养体系的探索与构建，项目编号：YJSZG2025178；陕西省教师教育改革与教师发展研究项目：数智融合视域下高校教师工程实践能力进阶路径研究，项目编号：SJS2025YB043；陕西省“十四五”教育科学规划课题：智能化技术驱动的制药工程专业实践教学改革研究，项目编号：SGH25Y3099；商洛学院教育教学改革研究项目：基于“校企合作 + 虚实结合”实验教学体系研究，项目编号：24jyjx145；商洛学院教学团队：生物医药类专业工程实践教学团队，项目编号：24jxtdx03；商洛学院课程思政示范项目：融合·赋能：秦岭生物医药智慧教育课程思政教学研究中心，项目编号：25JXYJ02。

### 参考文献

- [1] 楼玉兰, 张琳, 梁宗锁. 服务区域生物医药产业发展的生物类专业人才培养模式探索[J]. 药学教育, 2025, 41(1): 21-24.
- [2] 徐元红, 金燕仙, 陈婷婷, 等. 现代产业学院“五共”应用型人才培养模式研究——以台州湾生物医药产业学院为例[J]. 化工高等教育, 2025, 42(3): 7-11+124.
- [3] 史大华, 马卫兴, 董自波, 等. 生物医药产业学院人才培养模式的几点思考——以江苏海洋大学生物医药产业学院为例[J]. 甘肃教育研究, 2024(8): 26-29.
- [4] 董彬, 吴涛, 姚志刚, 等. 基于虚拟仿真技术的生物工程类综合实验教学改革与实践[J]. 生物工程学报, 2022, 38(4): 1671-1684.
- [5] 巩泽华. 基于实验素养提升的药学实验教学与实验室管理[J]. 化工管理, 2022(11): 35-38.
- [6] 李梅, 谭贵良, 李琳, 等. 地方性应用型本科院校生物健康实验教学示范中心建设与实践[J]. 高教学刊, 2021, 7(32): 105-108.
- [7] 乔永刚, 宋芸, 申少斐, 等. 药用植物栽培学课程知识图谱构建与应用[J]. 高教学刊, 2026, 12(2): 100-103.