

生物化学数智化实验教学探索：虚与实操的深度融合

曾垂省, 何晓红, 梁亦龙, 武巍峰, 王 允, 谢永芳*

重庆邮电大学生命健康科学与工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年3月3日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月11日

摘 要

本文针对传统生物化学教学模式中存在的问题, 探讨了“基因工程制备乙肝疫苗虚拟仿真实验”课程的构建与实践。该课程以基因工程制备乙肝疫苗为核心, 将现代生物技术与三维信息技术深度融合, 构建了高度仿真的虚拟实验环境。文章详细阐述了该课程的教学理念、目标、内容、实施方式和考核标准。通过以学生为中心的教学设计, 创新实验方案、教学方法和评价体系, 旨在培养学生分析和解决复杂生物医学工程问题的能力, 同时拓宽学生的思路和视野。

关键词

生物化学, 虚拟仿真, 教学改革

Biochemistry Digital and Intelligent Experimental Teaching Exploration: Deep Integration of Virtual and Real Operations

Chuisheng Zeng, Xiaohong He, Yilong Liang, Weifeng Wu, Yun Wang, Yongfang Xie*

School of Life Health Science and Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing

Received: Mar. 3rd, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 11th, 2025

Abstract

This paper addresses the issues in traditional biochemistry teaching models and explores the

*通讯作者。

文章引用: 曾垂省, 何晓红, 梁亦龙, 武巍峰, 王允, 谢永芳. 生物化学数智化实验教学探索: 虚与实操的深度融合[J]. 教育进展, 2025, 15(4): 385-391. DOI: 10.12677/ae.2025.154561

construction and practice of the “Virtual Simulation Experiment on the Preparation of Hepatitis B Vaccine by Genetic Engineering” course. Centered on the preparation of hepatitis B vaccine through genetic engineering, the course integrates modern biotechnology with three-dimensional information technology to create a highly realistic virtual experimental environment. The paper elaborates on the teaching philosophy, objectives, content, implementation methods, and assessment criteria of the course. By adopting a student-centered teaching design, the course innovates experimental schemes, teaching methods, and evaluation systems, aiming to cultivate students’ abilities to analyze and solve complex biomedical engineering problems while broadening their perspectives.

Keywords

Biochemistry, Virtual Simulation, Teaching Reform

Copyright © 2025 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

生物化学领域发展迅猛,新技术不断涌现。实验教学作为培养学生实践能力和科学思维的关键环节,一直以来都发挥着重要作用。然而,传统的生物化学实验教学面临着诸多挑战[1]。例如,设备数量有限、场地空间不足以及实验耗时过长等问题,导致学生无法在短时间内完成相关实验,实践操作机会不足。此外,许多新技术和新工艺,如致病性病原微生物的检测、规模化疫苗或抗体的制备以及蛋白质的分离纯化技术等,难以在传统教学中开展[2]。这些因素在一定程度上限制了学生对生物化学知识的深入理解和实验技能的有效掌握。随着信息技术的飞速发展,教育领域正经历着前所未有的变革。生物化学虚拟仿真平台的构建为高校教学模式带来了新的契机。虚拟仿真技术通过融合计算机网络、图像处理、模拟仿真和多媒体等多种先进技术,与实验教学深度融合,为学生创造了一个开放、自主的虚拟实验环境。虚拟环境创设的“认知学徒制”情境,使学习者通过试误机制完成知识建构。MIT 实验数据显示,虚拟场景下的概念迁移效率比传统教学提升 42% [3],其理论价值在于重构了“情境-认知-行为”的教育三角关系,实践意义在于突破了物理世界的教学约束,构建起超越时空维度的学习共同体。通过虚实共生的教学设计,使实验操作维度从传统的 3 课时拓展至全周期自主探究,设备利用率提升至 90%以上[3]。虚拟仿真实验展现出三重显著优势:其一,以多模态感知通道强化实验认知,使抽象概念具象化为可操作的经验系统;其二,通过智能反馈机制构建形成性评价闭环,将试错成本转化为实验认知;其三,搭建个性化学习脚手架,使不同层次的学习者都能获得个性化的发展路径。本文将“基因工程制备乙肝疫苗”为例,在计算机技术模拟的人工虚拟环境的基础上加入实验教学情境,分享其在生物化学实验教学中的应用与实践,以期今后虚拟仿真实验教学在相关课程中的发展提供一定的指导和帮助。

2. 虚拟仿真实验的设计与建设

生物化学实验涉及基础生物、生物工程相关的医药、食品和健康相关产业的发展,是生物医药人才必备技能,其中基因工程技术、蛋白质提取与分离技术对培养生物医药新工科人才的实践能力至关重要[4]。然而此类实验属于大型综合训练,生产周期长、工程菌或细胞和血清等材料成本极高,生产环境洁净度要求高,场地容纳人数受限,且传统实践教学平台缺失,只能教师讲授和工厂参观进行,学生认知

仅停留在对知识的理解和设备外观及工艺步骤的感性认知,工艺参数的实操控制能力训练不足[5],不能满足新时代创新驱动产业转型和技术升级对工程人才的迫切需求。为了解决不具备真实实验条件或实际运行困难问题,我们对生物化学的上游蛋白质表达和下游分离纯化技术的开展了虚拟仿真实验一流本科课程建设,以适应新时代高等教育新工科人才的工程技术创新创业能力培养。本虚拟实验以生物医药人才培养需求为导向,通过整合基因工程、发酵工艺与信息化技术,将GMP标准下的乙肝疫苗生产全流程转化为沉浸式学习场域,有效破解了传统实践教学中的“高危场景难实施、生产周期难同步、工艺细节难观测”三大瓶颈问题[6]。这一实验将生物技术生产疫苗的流程、设备、环境和操作全方位整合,通过交互式操作,让学生仿佛置身真实场景,模拟科研技术人员从疫苗制备到提出的全过程,同时展示车间生产一线的实际应用,实现体验式学习与生产实训的深度融合,极大拓展实验教学的广度与深度,突破时空限制,为新工科背景下学生掌握乙肝病毒疫苗研发、人体免疫机制及病毒检测方式提供创新平台,激发学习兴趣,联系社会热点,为学生未来应对复杂疾病传播储备知识与技术,为培养研究型生物医药人才筑牢根基。优质实验教学资源也已向兄弟院校和社会学习者开放共享,推动教育资源的整合与利用。

2.1. 虚拟仿真实验课程建设教学理念

2.1.1. 高维感知与数字孪生驱动的实训教学

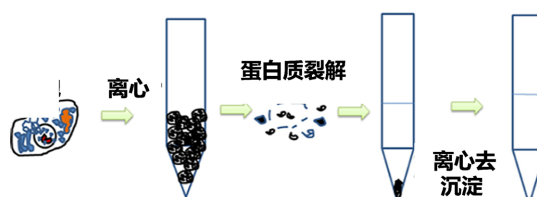
本虚拟仿真实验课程坚守“以学生为中心”的教育理念[5],对传统教学法进行革新,采用线上线下混合式教学模式。在课程内容上,追求高阶性、创新性与挑战度,打造原创且独具特色的实验内容;在课程形式上,实现新技术与教育教学的深度融合,遵循“能实不虚、虚实结合”的原则,解决实际教学中的难题,依循由浅入深的次序开展实验教学,将理论学习与实训有机结合。

学生首先需掌握外源蛋白质表达的基本流程和机制,理解蛋白质提取与分离的原理,进而开展实践操作。传统实训模式下,“学”与“练”分离,分属不同课程。而虚拟仿真实验通过一个大型实训实验,将上游技术至下游生化分离技术有机整合,搭建起“学”“练”一体化的平台。学生可在可视化教学环境中,同步学习生物化学理论并借助虚拟仿真技术进行实践操作,从而有效提升实践操作能力。具体而言:

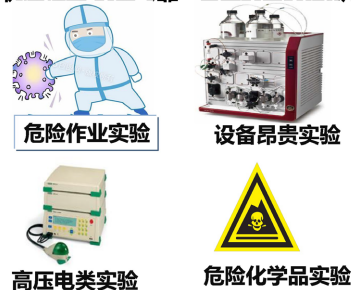
优越性一: 经济省钱—降低实验实践教学成本



优越性二: 生动直观—打造多样化的教学环境



优越性三: 安全可靠—营造安全实验教学氛围



优越性四: 客观真实—解决职场展示问题

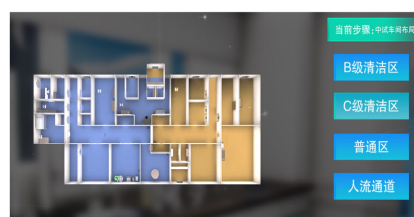


Figure 1. Characteristics of the virtual simulation experiment for preparing hepatitis B vaccine through genetic engineering
图 1. 基因工程制备乙肝疫苗虚拟仿真实验特色

在内容维度,构建涵盖“乙肝病毒学基础、分子设计、车间工艺、质控标准”的四位一体实验操作体系,依据《中国药典》2020 版乙肝疫苗生产规范,设计 10 个模块化实训单元;

在空间维度,运用 Unity3D 引擎开发高保真虚拟车间,实现包括 50L 发酵罐参数调节、层析柱动态吸附在内的 23 项核心操作的数字化映射;

在认知维度,规划“认知学徒(基础操作)→工艺优化(参数分析)→异常处置(问题解决)→创新设计(方案重构)”的四层次渐进式学习路径。部分内容见图 1。

2.1.2. 建立生产实训体系,培育生物医药创新思维

疫苗研发生产作为融合基因工程、发酵工程、蛋白质工程及基础医学的复合型学科,传统实训模式存在跨学科整合不足的痛点。本研究基于虚拟仿真技术构建了“工艺流程-质量控制-临床应用”三维立体的药品生产实训平台。该体系采用模块化架构设计,涵盖病毒载体构建(基因工程模块)、细胞培养优化(发酵工程模块)、蛋白纯化工艺(分离技术模块)等核心单元。通过沉浸式虚拟仿真,学生可完整参与从病毒毒株筛选、抗原蛋白表达、层析纯化到疫苗制剂制备的全流程实践。系统特别设计病毒入侵动态模型、免疫应答可视化界面及抗体效价仿真评估系统,使学员既能掌握 GMP 生产规范,又能理解疫苗在人体内的作用机理。这种“逆向工程”教学设计将产品开发思维贯穿实训全程,构建起以终为始的知识整合框架[7]。从而增强学生对生物制造工艺的感性认知,理解工程技术规范,培养学生的工程实践能力。经实践验证,该体系可使学生的工艺理解效率提升 40%,跨学科问题解决能力提高 35%,为生物医药人才培养提供创新范式。

2.2. 优化重构实验教学内容

教学内容是影响教学质量的关键环节[8],是实现教学目标实质载体,由于高考的改革,本科生的学习层次差异较大,相关学科内容缺乏连贯性和统一性,且所学内容的深度亦不同。要搭建生物化学实验教学的知识框架体系,需要循序渐进,从“奠定基础”到“联系应用”,最后进行“开拓视野”的教学模块。对相应的教学内容必须精细挑选。

2.2.1. 掌握相关原理,夯实基础理论

以项目的流程为线程顺序,选取生物化学相关的基础知识和应用作为教学的核心内容,让学生能连点成线,比如生物化学常用技术(生物大分子的提取与鉴定、PCR 技术、印迹技术与分子杂交、基因工程、微生物扩大培养、蛋白质表达和检测、蛋白质的分离纯化等相关技术作为教学核心内容,以达到奠定基础理论知识和培养科研素养的基本目标。学生可以自行设计实验路线,拆分模块后灵活选择,对模块逐个突破,反复不断练习,巩固基础知识。培养学生系统性思维和运用理论知识分析解决问题的能力。项目的多个步骤中可以有平行的多种实验设计方案以达到实验目的,如乙肝病毒的检测,既可以通过蛋白质的抗原抗体结合的 Elisa 方法进行检测,也可以通过 DNA 的 PCR 方法进行检测,学生可以依托虚拟仿真实验项目选择不同方法进行尝试,充分体验殊途同归的拓展实验思路。弥补了课堂的局限性,拓展实验教学的深度与广度,真正达到了以虚补实、以虚促实的建设作用[8],提升了实验教学效果和教学效率,促进了学生综合实践能力的培养。

2.2.2. 实训指导科研,联系实际应用

生物化学技术是开展生命医学研究的核心,进行相关科研训练的基础,实训与实际研究的密切联系,方可达到学以致用[9]。此模块采用结合网络虚拟仿真实验和实体实验的方式,通过强化理论知识的理解和应用。学生以小组为单位,提交利用生物化学的常用技术,开展专业文献资料的研读,发现问题,并进行分析,提出解决的方案,老师汇总学生的科研课题构思与设计;进行相关的研究方向指导;此为理

论的实验设计。在实际的实验操作中，通过具体进行湿实验过程，掌握、内化并应用生物化学的基本知识，实现知行合一。经过夯实基础和实际应用后，逐步建立学生以生物化学的视角和科研思维来进行思考、分析学术课题的素养，培养学生以对生物大分子的结构与功能的特性进行研究的脉络，力争实现学生能够独立完成可行性课题方案的设计。

2.2.3. 跟踪学科前沿，拓展创新研究

生物化学学科是生物医学最为活跃的学科之一，相关热点研究，新的技术方法的出现，要求学生不断跟进生物医学的最新资讯，了解理论的最新进展，在虚拟实验平台上提供动态更新，推送最新热点观点，督促小组同学，开展自主学习，并互相进行分享学习，达到与时俱进，通过这样的高要求，即能保证知识的及时转化和内化，又能适应新形势下人才培养的需要，提升学生的科研思维和创新意识。

2.3. 创新多元化实验考核方式

教学考核是对学生学习成果的检验，也是反馈教学质量的重要手段，能够有效促进教学反思和提高人才培养质量。为适应建设“健康中国”的目标需求，培养的高素质医工融合学生，提升学生科研意识的积极性、能动性和创新性的养成做出了更高要求。通过多维度综合评价，结合实验操作、实验报告、课堂表现、小组讨论等多方面，全面评估学生的实验能力和综合素质。具体见表 1。

Table 1. Diversified experimental assessment methods for students
表 1. 学生的多元化实验考核方式

考核方式	形式描述	优点	考核内容
项目式考核 (20%)	学生以小组为单位，自主选择实验主题，设计实验方案，完成一个完整的实验项目，从设计、实施到结果分析。	培养团队合作能力、项目管理能力和解决实际问题的能力。激发创新思维和自主学习能力。	实验设计的创新性、可行性、实验操作的规范性、数据分析的准确性和报告的完整性。
虚拟仿真实验 考核(20%)	利用虚拟仿真平台进行实验操作和考核。	解决实验资源不足的问题，提高实验的安全性和可重复性。	虚拟实验操作的准确性、数据分析能力和实验报告的撰写。
实验日志和反思报告(20%)	学生记录每次实验的过程、结果和反思，形成实验日志和反思报告。	培养反思能力和持续改进的意识。	实验记录的完整性、反思的深度和改进的建议。
实验成果展示 (10%)	学生通过 PPT、展板、视频等形式展示实验成果。	提高表达能力和展示能力。	展示内容的科学性、表达的清晰度和观众的反馈。
实验操作考试 (20%)	在规定时间内，学生独立完成指定的实验操作。	直接评估实验操作技能。	实验操作的规范性、结果的准确性和操作的熟练度。
创新竞赛(10%)	学生参加竞赛评选。	激发创新思维和设计能力。	实验设计的创新性、可行性和科学性。实验结果的分析和报告的撰写。

3. 实验教学特色

生物化学实验技能对实验原理比较复杂，实验步骤繁琐，在有限的时间内不能细致讲解，如何突出重点，将知识点之间的联系进行梳理，在规定时间内高质量完成教学任务，是非常重要的。如蛋白质/酶的分离纯化与性质分析涉及分光光度计、电泳技术、光谱学等许多知识点，是“生物化学实验”的重点内容。先进行思维导图，知识点搭建理论框架，再通过节点逐级展开，帮助学生蛋白质的分离纯化的原理和方法步骤获得全面的认知，掌握提纯步骤，粗提、层析和精制的原理和要点；蛋白质分离制备

过程中凝胶电泳的原理和方法,通过制作合成实验视频,利用二维码制作平台生成视频二维码,在微信小程序中进行学习,实现生化技术的操作原理和方法的展示,视觉化的仪器使用过程和实验操作步骤,使学生在动手实验前对实验全过程达到初步认识,提高了实验效率,方便学生个性化学习和教师指导。

虚拟仿真实验能够为实体实验提供有效补充,可克服空间和时间障碍、缩短实验时间、学生能够多次高效学习的优点,弥补教学难以开展具有示范意义的生产工艺部分,比如生产疫苗过程,这个生物技术制药的主要技术流程,整个生产在不同洁净等级无菌生产环境下进行,洁净等级要求极高、生产过程管理严格、实验材料成本高及周期长,学生不能进行实操学习,结合基础医学实验、生物化学实验这2门精品课程,根据企业生产工艺,建立虚拟仿真实验课程,将课堂教学、实体实验教学、工厂生产实训一体化集成,使不同层次、不同类型的学生都能在本课程中找到适合自己的教学内容,满足更大范围、不同层次学生学习的需求,调动学生学习的自主性和创造性,起到虚实结合,培养学生创新能力。在蛋白质分离纯化(疫苗的制备)过程中,让学生了解实际工厂中的无菌房间的布局、生产环境特点和工艺放大流程,模拟工程技术人员在车间的操作,通过体验式学习,学习发酵罐的使用,动物细胞连续培养、分离纯化、蛋白质含量检测的理论知识及基础操作和相关设备结构及原理。与线下实验操作课程结合,取长补短,提升虚拟仿真实验的学习效果和线下课程的教学效果。见图2。

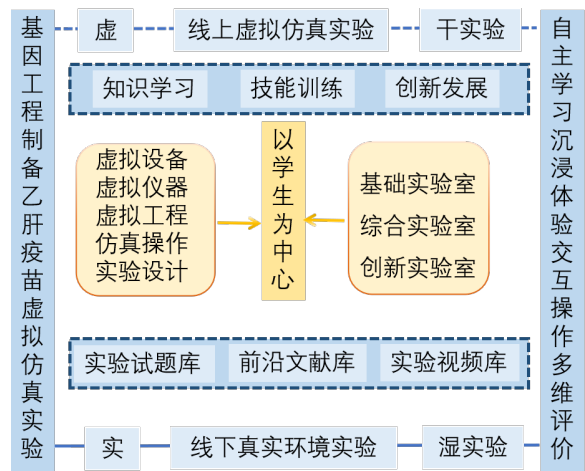


Figure 2. Characteristics of the biochemistry experiment combining virtual and real elements
图2. 虚实结合的生物化学实验特色

4. 生物化学实验的应用与效果

为了深入了解生物化学智能教学的实验课程的教学效果,我们以问卷的形式对学生进行了问卷调查,设计了包含课程目标、实验内容、教学方法、软件使用满意度、能力培养和建议等方面的问题,得到了学生们的高度认可,显示出了较好的教学效果,有效解决了时间、成本和单位空间受限等问题,通过实验的学习,掌握蛋白质的分离纯化及鉴定、酶活性测定、核酸提取等基本的生物化学实验技能,对生化技术的常用分离技术如离心、层析、电泳等有了更清楚地认识,学会了利用基因工程技术,将目标基因导入微生物或细胞中,通过生物化学实验优化发酵条件和纯化工艺,生产出高纯度、高活性的药物。对生物制品的生产车间整体构成与重点设备有较深入的了解,并掌握产品的全流程制造工艺,学生学会了如何设计实验方案、分析实验结果、解决实验中出现的问題,提升了逻辑思维能力、分析问题和解决问题的能力,促进了生物化学技术的创新和突破。

5. 结论

信息技术的飞速发展推动了教育智能化转型,极大地推动了教学模式、教学方法、评价体系、学习模式等诸多变革。我院生物化学实验小组以此为契机,积极构建了生物化学虚拟仿真实验平台,探讨了如何将虚拟仿真实验、教学课件、实验动画、思维导图等融入“生物化学实验”教学,提升学生兴趣,满足不同个体学习的需要,提高教学效果。实验课程构建了基因工程制备乙肝疫苗的实验教学内容体系,解决了生物医学、制药工程、生物医学工程等专业学生对基因工程、发酵工程、蛋白质分离纯化的了解,通过直观的仿真环境和仿真操作过程,从基础操作到工艺拓展设计,真正做到“学中做、做中学”的实践教学模式,培养分析问题、解决复杂生物医药工程实际问题的能力,促进复合型生物技术人才的培养,具有一定的推广和应用价值。

基金项目

重庆市重点教改项目:高校数字化转型背景下教师教学方法的创新与实践(项目编号:cqgj23019B);重庆市教改项目:“前引后驱、外联内聚、全线贯通”的实践育人体系研究与实践(CQGJ21B034),数字赋能视域下基础医学课程育人体系的范式研究(243129);重庆邮电大学教改项目:“虚实一体化的实验室安全及应急处理实训虚拟仿真实验开发与建设”(XJG19222);基于物联网技术条件下本科教学危险化学品过程管理研究(XWTJG2201);新兴技术范式下的教师教学方法创新与实践(XWTJG2301);生物医学基础课程思政教育的建设与实践研究(XJG19204)。

参考文献

- [1] 陈辉,李孟,孙彦君,等.数字化转型背景下虚拟仿真技术应用于天然药物化学实验课程的探索[J].中国教育技术装备,2024(17):36-38.
- [2] 张亚琴,张颖,张伟,等.虚拟仿真在生物化学实验教学中的应用与探讨[J].基础医学教育,2024,26(1):70-75.
- [3] Bransford J, B.A. and Cocking, R. (2000) How People Learn: Brain, Mind, Experience and School. National Academy Press, 65.
- [4] 梁亦龙,谢永芳,何晓红,等.新工科背景下生物医学实验平台的建设[J].实验室科学,2022,25(1):131-133.
- [5] 徐一梦,周璇,蒋玲玲.基于科教融合理念下的虚拟仿真对有机化学实验教学的改革与探索[J].广东化工,2024,51(7):190-193.
- [6] 周振雄,麻丹丹,辛平,等.工程教育视角下地方高校人才实践能力自我成长培养模式创新[J].实验技术与管理,2021,38(2):11-15.
- [7] 熊宏齐.虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新[J].实验技术与管理,2020,37(5):1-4,16.
- [8] 申奥.虚拟仿真技术在生物化学实验教学中应用的研究进展[J].智能城市,2024,10(6):51-53.
- [9] 蔚晓晖.利用虚拟仿真平台构建医学生物化学线上实验课堂[J].创新创业理论研究与实践,2024,7(1):168-171.