

# 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

董彬, 吴涛, 姚志刚, 王君, 李建庆, 赵文娟, 刘龙祥, 孙春龙, 宿志伟, 刘滨

滨州学院 生物与环境工程学院, 山东 滨州 256603

董彬, 吴涛, 姚志刚, 王君, 李建庆, 赵文娟, 刘龙祥, 孙春龙, 宿志伟, 刘滨. 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. 生物工程学报, 2022, 38(4): 1671-1684.

DONG B, WU T, YAO ZG, WANG J, LI JQ, ZHAO WJ, LIU LX, SUN CL, SU ZW, LIU B. Teaching reform and practice of bioengineering comprehensive experiment based on virtual simulation technology. Chin J Biotech, 2022, 38(4): 1671-1684.

**摘要:** 生物工程类专业要求学生有较强的抽象问题思考分析能力, 对学生的综合实践能力也有着更高要求, 由于其专业特点, 需要通过开展一系列实验培养解决复杂问题的能力。因此, 开展针对生物工程类专业综合性实验的改革与实践以改善传统综合性实验的教学现状就显得尤为重要, 对于综合性人才的培养具有十分积极的意义。本文阐述了滨州学院“生物工程综合实验”课程组结合地理位置和资源优势, 以培养应用型创新人才为目标, 建设了生物工程综合实验虚拟仿真技术课程, 并以黄河三角洲盐地碱蓬多糖发酵提取与生物活性分析实验为例研究了课程的设计思路、实验过程、教学方法和结果分析等内容, 取得了一定的教学效果, 为同类课程的教学实践改革提供了新的思路和内容借鉴, 具有十分重要的引领意义。

**关键词:** 生物工程; 虚拟仿真; 综合性实验; 教学改革

**Received:** November 12, 2021; **Accepted:** February 7, 2022; **Published online:** February 15, 2022

**Supported by:** First Class Undergraduate Course Construction Project in Shandong Province, China; National Natural Science Foundation of China (47977124); Research Project on Teaching Reform of Vocational Education in Shandong Province, China (2021154)

**Corresponding author:** WU Tao. E-mail: wtsdbz@163.com

**基金项目:** 山东省一流本科课程建设项目; 国家自然科学基金 (47977124); 山东省职业教育教学改革研究项目(2021154)

# Teaching reform and practice of bioengineering comprehensive experiment based on virtual simulation technology

DONG Bin, WU Tao, YAO Zhigang, WANG Jun, LI Jianqing, ZHAO Wenjuan, LIU Longxiang, SUN Chunlong, SU Zhiwei, LIU Bin

College of Biological and Environmental Engineering, Binzhou University, Binzhou 256603, Shandong, China

**Abstract:** Bioengineering majors require students to acquire excellent abilities of thinking and analyzing complex problems and have high requirements for students' comprehensive practical skills. Because of the professional characteristics, it is necessary to develop students' abilities to solve complex problems via the teaching of a series of experiments. Therefore, it is particularly important to reform the traditional experiment teaching for students majoring in bioengineering to improve the teaching quality, which have great significance for the cultivation of comprehensive talents. In this study, with the advantages of geographical location and resources to cultivate application-oriented innovative talents, the course group of Comprehensive Experiment of Bioengineering has designed the course based on virtual simulation technology in Binzhou University. Taking the experiment of extraction and bioactivity analysis of *Suaeda salsa* (growing in the Yellow River Delta) polysaccharide in fermentation as a case, we studied the course design idea, experimental process, teaching method and result analysis, and have improved the teaching performance. This case analysis provides new ideas and content reference for the teaching reform of similar courses.

**Keywords:** bioengineering; virtual simulation; comprehensive experiment; teaching reform

生物工程类专业依托现代生物学的基本原理、方法、技术和手段, 针对农业、制药与食品等领域, 培养能够开展相关的产品工艺设计、生产实践与质量控制等的专门性人才<sup>[1-2]</sup>, 且要求该类人才具有扎实的专业基础, 能够解决复杂工程问题, 并且具有良好的动手实践能力。近年来, 生物工程相关的医药、食品和健康产业发展迅猛, 对人才的需求逐年提升, 特别是对具有扎实功底的应用型综合人才需求更为迫切。然而, 全国高校每年生物工程专业的毕业生数量不少, 但真正具有过硬基础和良好实践能力的优秀毕业生依然十分匮乏, 许多用人单位反映学校培养的学生综合动手能力不够, 与生产实际脱节等问题依然严重。因此, 培养能

适应社会发展且具备扎实功底的生物工程类专业人才具有十分重要的意义。生物工程类专业由于其专业自身特点, 不仅要求学生有较强的抽象问题思考分析能力, 对学生的综合实践能力要求也提出了更高标准, 需要通过开展一系列的实验进行解决复杂问题能力的培养<sup>[3]</sup>。因此, 开展以综合性实验为主的实践教学过程是学生核心能力培养的必要环节, 能够让每一位学生亲身参与, 对提高学生的整体综合素养发挥着重要的作用, 符合当前国家应用型人才培养的要求<sup>[4]</sup>。目前, 生物工程类专业综合性实验在教学过程中存在着的主要问题是: (1) 理论内容与实践应用存在脱节; (2) 基础性的验证性实验数量过多, 缺乏开放性和探究性实验;

(3) 实验设计的综合性和复杂性程度不够, 缺乏深度; (4) 大型仪器如液相色谱、原子力显微镜等的实践操作较少, 实践程度不够; (5) 评价方式简单、尺度单一、系统性和准确性不足。

活性物质的发酵提取、分离鉴定和活性分析等是生物工程领域科研、生产中的共性关键内容, 开设涵盖相关内容的综合实验课程, 是生物工程类专业应用型人才培养过程的必要环节。但在真实实验教学中, 存在以下 3 个问题: 一是综合实验知识连续性、系统性强, 需要多种仪器设备, 子实验多, 工作量大, 操作复杂并具有一定的危险性; 二是实验设计环节多、周期长, 真实实验不能在短时间内实现; 三是仪器设备、实验场地要求高, 实验成本高, 实体实验难以满足学生实际操作要求。这些问题严重影响了学生实践和创新能力的培养。因此, 开展针对生物工程类专业综合性实验的改革与实践以改善传统综合性实验的教学现状就显得尤为重要, 对于综合性人才的培养具有十分积极的意义。本文通过介绍滨州学院“生物工程综合实验”课程组建设生物工程综合实验虚拟仿真技术课程的设计思路, 希望能对同类课程的教学实践改革提供借鉴, 发挥示范引领作用。

## 1 虚拟仿真技术的应用现状

基于虚拟仿真技术的实验教学, 应用计算机信息技术和手段可以为学生提供一套全新的浸入式学习系统, 通过角色扮演完成学习任务, 有利于学生进行探索性、开放性和具有一定难度的综合性实验, 为实验教学改革增添了活力并注入新动力, 有助于人才培养质量的提升<sup>[5-6]</sup>。此外, 虚拟仿真平台下的实验教学内容可以随时更新, 有利于实验内容接轨最新的前沿实验技术和方法。其次, 虚拟仿真环境下

的实验训练能够不受限于真实环境中实验场地、实验条件和实验时间的要求, 可以反复开展训练直到彻底掌握相关实验技能<sup>[7]</sup>。因此, 能够有效控制教学成本, 并可以预防真实实验中由于实验失误造成的安全事故, 降低相关风险, 推动实验教学的现代化提升。在当下“互联网+”教学改革的背景下, 虚拟仿真实验在微生物学实验<sup>[8]</sup>、发酵工程<sup>[9]</sup>、生物制药工艺学<sup>[10]</sup>和白酒酿造工艺学<sup>[11]</sup>等生物工程类专业基础实验教学应用过程中已取得了显著效果和良好的反响, 但基于虚拟仿真技术的生物工程类综合实验开发目前并不多见, 需要进一步探索和改革。

滨州学院“生物工程综合实验”课程组自 2019 年开始, 利用虚拟仿真技术平台的优势, 进行综合设计实验教学, 用于培养生物工程类专业学生解决复杂问题的创新思维和实践能力, 构建新型实验教学体系。课程组依托滨州学院黄河三角洲野生植物资源开发与利用工程技术研究中心和山东省黄河三角洲生态环境重点实验室等科研教学平台, 以黄河三角洲特色野生植物作为研究对象, 采用最新实验技术手段与方法, 实现应用型创新人才培养的目标。黄河三角洲是“黄河流域生态保护和高质量发展”重大国家战略的重点区, 同时是“山东半岛蓝色经济区”和“黄河三角洲高效生态经济区”国家战略叠加区。区域内盐生植物资源丰富, 具有极高的药用和经济价值, 是实施健康中国战略和发展山东省医养健康产业的重要资源宝库。本文所述综合实验融合了教师的科研成果, 基于生物、制药、食品等专业在物质提取、分离和鉴定等方面的共性需求, 选择具有地域特色的黄河三角洲盐生植物盐地碱蓬作为实验材料, 开发植物多糖的发酵提取与分离鉴定虚拟仿真实验教学项目, 设定了包含微生物

发酵、提取分离、色谱纯化、结构鉴定等功能因子提取共性实验内容；并针对在高校人才培养过程和企业生产实践中遇到的共性难点，设计了发酵优化、高效液相色谱、核磁共振和原子力显微分析等虚拟仿真实验，有效解决了成本和时间限制等瓶颈问题。通过虚拟仿真平台的交互使用，可以使学生充分了解和体验这类大型仪器的使用过程，开拓学生视野，提高学生的实操水平，培养学生的综合能力，完备实验教学体系中的短板，具有非常高的实用性。本课程的开发通过网络开放、资源共享等不仅解除了时间、空间、实验成本、操作次数的限制，也解除了大型精密仪器设备（如实验中使用的液相色谱、质谱、核磁共振、原子力显微镜等）在本科教学中应用的限制，充分破解现有实验瓶颈问题，保证应用型人才的培养质量。

## 2 综合类实验虚拟仿真系统的改革与实践

### 2.1 实验设计

通过实体实验教学，学生能够直观地对盐地碱蓬进行观察和处理，针对发酵提取用的微生物进行活化操作，观察微生物的生长情况，并熟悉多糖的测定方法，能够留意到在实验过程中影响实验结果的关键操作与环节，所以通过实体实验教学对学生掌握整个综合实验的核心技术路线可以起到重要的促进作用。然而，在实验室空间、实验仪器和授课时间有限的情况下，完全依靠实体实验开展教学，很难实现所有学生独自操作和使用涉及的仪器设备，无法深入掌握多糖提取、纯化、鉴定和功能探索的完整操作流程和实验步骤，无法形成综合性思维，不利于学生综合能力的培养。考虑

到实体演示实验中存在的一些不足，所以引入虚拟仿真实验技术，每位学生可以独立完成：

(1) 盐地碱蓬多糖的发酵提取与测定；(2) 盐地碱蓬多糖的纯化与结构鉴定；(3) 盐地碱蓬多糖的生物活性探索；这样不仅加深理解了实体实验中的操作要点和设计思路，同时能对学生综合能力的培养起到助力作用，系统培训学生在分离、纯化工程方面操作能力和大型仪器的使用；深化学生对多糖提取和功能探索步骤的理解，也能帮助学生更好地掌握活性物质提取的基本理论知识。但是，只依靠虚拟仿真技术进行盐地碱蓬多糖的提取和测定也存在一定不足，例如学生无法直接接触实验原料，细致了解发酵相关的设备和组件以及多糖提取过程中的现象变化等。因此，针对实体实验和虚拟仿真技术各自的存在优势和不足，将实体实验和虚拟仿真相结合进行教学，可以让学生从虚拟仿真和实体实验两个维度对综合性实验进行系统学习，不仅掌握了仪器的实际操作，而且加深了对实验的理解，可以实现兴趣的进一步提升，同时可以激发创新性思维，有助于后期开展创新性实验。

因此，本实验选择黄河三角洲特色盐生植物——盐地碱蓬为素材，利用实体和虚拟仿真技术结合的方式开发综合设计实验（图 1），具体实验流程设计如图 2 所示。

### 2.2 教学目标

#### 2.2.1 深入理解植物功能因子提取理论及其与生物医药和医养健康产业的关系

深入理解国家实施健康中国战略的决策部署精神，增强学生全面建设健康中国的使命担当意识和责任意识，继承屠呦呦等老一辈科学家为医药事业献身的工匠精神，培养学生勇于创新、大胆探索的思维。

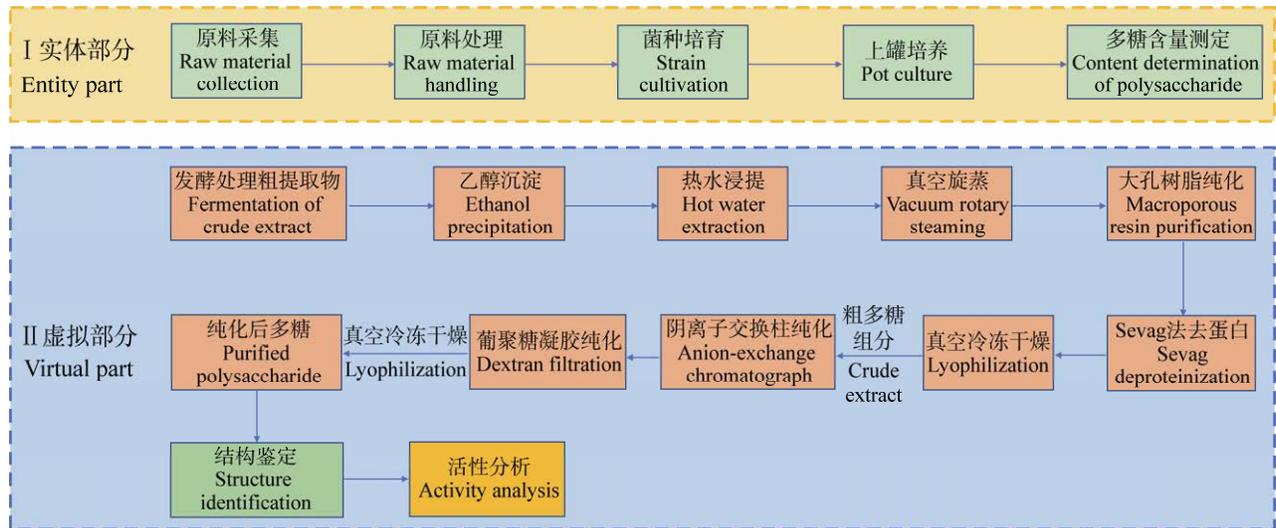


图 1 实验框架设计

Figure 1 Experimental framework design.

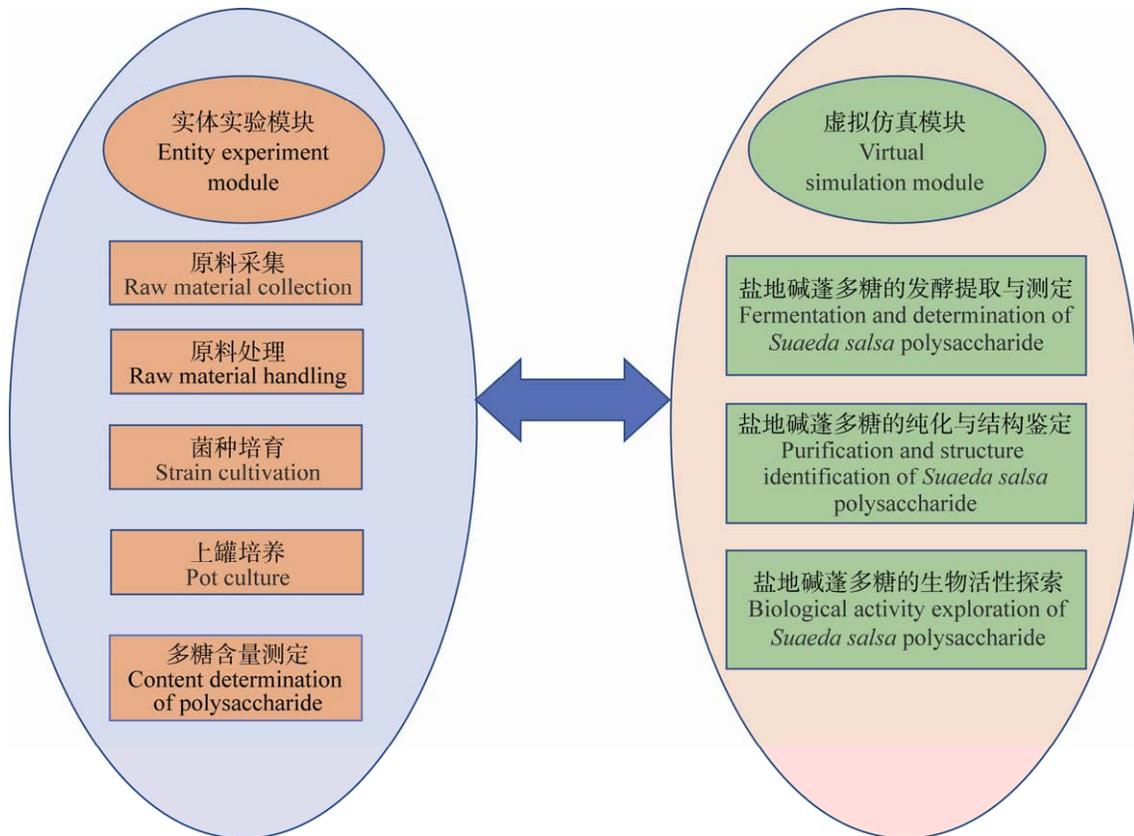


图 2 实验流程设计

Figure 2 Experimental process design.

### 2.2.2 全面掌握盐地碱蓬多糖提取的技术方法与工艺路线

掌握微生物培养、发酵与应用的技术原理,理解并运用化学萃取、色谱纯化、核磁共振与原子力显微分析等技术以及提取工艺流程,掌握多糖提取的工艺设计方法和步骤、结构鉴定等功能因子提取共性实验内容。

### 2.2.3 系统培养面对复杂问题的综合分析 with 统筹解决能力

培养学生独立思考、分析科学问题的意识,引导学生综合运用不同学科理论知识、实验技术和手段解决实际问题的交互能力,进一步加强学生创新思维、实践能力和团队协作能力的培养。

## 2.3 教学过程

### 2.3.1 创设问题情境,启发探索和思考

教师提前 1-2 周发布课程任务,要求每组学生在规定时间内通过查阅文献资料,初步确定盐地碱蓬多糖发酵提取实验方案。教师对学生提交方案的科学性、合理性、可行性与学生进行探讨、论证。教师在通过学生的方案后,要求学生提出所需要的仪器、试剂,引导学生对方案中的细节进行深度思考,分析可能出现的问题,提出解决办法。此过程充分发挥学生的想象力,培养学生对实际情况的策划能力和实际问题的预处理能力。

### 2.3.2 发布实验教学计划,运用仿真软件开展学习

学生确定实验方案后,先开展实体实验,主要内容有原料采集与前处理、发酵菌种培育、上罐培养、多糖含量测定等,获得多糖粗提物。再进行仿真实验,学生独立进行多糖提取与分离的方法考察。软件中通过数据库文件构建了“发酵模拟+模糊控制运算”模型,输入不同的发酵参数,会得到科学合理的图谱和发酵数据,实现对学生设定的发酵条件进行合理的

验证。再将获得的粗提物通过大孔树脂纯化柱与葡聚糖凝胶纯化柱,进行色谱分析实验,并要求学生对图谱和色谱数据结果进行合理的分析,并通过仿真系统进行结果反馈与验证。再对多糖纯度与结构进行分析鉴定,软件中构建了高度逼真的 3D 实验场景,包含高效液相色谱、核磁共振与原子力显微镜等大型仪器的使用操作界面和使用流程演示,可以进行放大、缩小、旋转、移动等多种操作,了解实验流程,能够分析液相色谱峰图、核磁波谱与原子力显微成像结果图。最后,通过 MTT 实验与抗氧化活性分析实验,设定不同操作流程与界面,对提取多糖的生物活性进行拓展。

### 2.3.3 师生互动与生生互动

教师通过虚拟仿真软件平台及时了解学生预习、学习情况以及完成度,同时教师可进行在线辅导,并汇总学生在预习和实习过程中对问题的回答情况,掌握学生真实学习水平。教师根据知识点进行讲解,指导学生操作软件,回答学生提出的问题,总结并讲解共性问题,同时引入团队交互实时聊天界面,加强师生互动与生生互动,促进团队合作与沟通共同解决问题。

### 2.3.4 考核

教师根据学生自主学习情况 (10%)、对相关知识点的掌握及在规定的时间内完成仿真实验情况 (40%)、参与互动情况 (20%) 与实验报告 (30%) 对课程成绩予以综合评定。教师还需要对教学过程进行总结、整理教学档案材料并归档。

## 2.4 教学方法

本实验涵盖实体实验和虚拟仿真实验两大模块。实体实验包含原料的采集与前处理、菌种培育、上罐培养、多糖含量测定等内容,侧重于训练学生的基础实验技能。虚拟仿真实验

涵盖了 4 个环节, 构建了全过程、多场景、浸入式的创新实验教学方法。4 个环节包括实验问题导入环节、实验理论学习环节、实验方案设计环节和实验实施环节。首先, 教师在系统中完成实验相关问题的设定, 学生先进行实验的综合设计, 从实验材料的选择、实验方法的确定、实验条件的摸索到技术路线的设定, 实体实验完成后, 利用虚拟仿真软件进行自主学习, 从实验背景、实验原理、实验目的、实验意义、实验方法到实验结果等内容的掌握, 实验设计环环相扣, 层层递进, 可以帮助学生充分掌握综合实验的思路设计、方法选择和实验要点。学生从认知到体验, 从基础知识的沉浸式学习到实验原理不断理解, 在每一个环节中, 引导学生进行自主学习和操作, 根据学生学习和操作情况由系统自动进行评分生成实验报告, 进行考核评价。最后, 教师根据总体的学习情况完成评价报告, 对课程不断进行完善和改进。通过 4 个环节多类场景多维互动的学习,

充分考核学生理论学习、原理掌握、实验设计、仪器操作, 全面培养学生自主学习能力、夯实工科基础和创新研究思维。

## 2.5 实验结果与结论

### 2.5.1 盐地碱蓬多糖的发酵提取与测定

采用植物乳杆菌作为发酵菌种, 发酵产生的各类活性酶系可以充分分解盐地碱蓬表皮组织, 使多糖成分溶出。发酵过程中, 发酵菌种的接种量、发酵料液比例、发酵温度、发酵时间和发酵体系的 pH 值都会对发酵结果产生一定影响<sup>[12]</sup>。因此, 首先需要进行每项指标的单因素实验, 确定单项指标的最佳发酵条件; 其次, 通过正交实验, 综合确定发酵的最优参数, 作为正式实验使用 (图 3)。在这一部分实验中, 通过检测发酵后总糖和还原糖含量的变化来确定最优发酵参数, 以测得多糖含量最多的发酵条件作为最终优化后参数。如发酵后, 多糖含量较低, 说明发酵条件不适宜, 发酵提取不成功。



图 3 发酵条件优化与验证

Figure 3 Optimization and verification of fermentation conditions.

### 2.5.2 盐地碱蓬多糖的分离与纯化

由于第一步发酵获得的碱蓬多糖粗提物中还含有大量的杂质,主要以色素、蛋白质、醇溶性物质等为主,将粗提多糖进行如下纯化实验(图4):(1)首先在95%乙醇中浸泡后,醇溶性杂质可以溶解在乙醇中,多糖不溶于乙醇等有机试剂,在这一步加入乙醇后,出现沉淀,说明含有多糖,离心后收集沉淀;(2)将沉淀溶解在少量去离子水中,加入Sevage试剂,充分混匀后可以看到溶液出现分层,变性后的蛋白质即介于提取液与Sevage试剂交界处,收集分层后的多糖提取液即为去掉蛋白后的组分,若未出现分层,说明样品中可能蛋白较少或不含蛋白或实验操作有误导导致分离不充分;(3)再将上一步获得的多糖提取物利用AB-8型大孔树脂填料进行纯化,对色素进一步去除,纯化后可以看到树脂填料出现变色,同时洗脱液中组分澄清透明,说明色素去除成功,若纯化后洗脱液中组分依然含有红色色素,说明处理未成功,需要重新过柱<sup>[13]</sup>; (4)将上一步获得的多糖提取物进行进一步的分离,采用DEAE阴

离子交换柱,其可吸附离子型物质,如蛋白质、酸性多糖等,而作为大多数的中性多糖则可顺利流出,通过收集洗脱组分并对其多糖含量进行检测绘制洗脱曲线,确定出峰时间,收集峰值最高组分用于下一步实验;(5)最后通过葡聚糖凝胶纯化,各个多糖组分由于分子量不相同,在凝胶柱上受到的阻滞作用不同,而在层析柱中以不同的速度移动。最后仍然通过收集洗脱组分并对其多糖含量进行检测绘制洗脱曲线,可以看到有独立的峰图出现,收集峰值最高组分(图5)。若未出现独立峰图,说明未纯化出多糖组分或含量太低,需要加大样品含量。

### 2.5.3 盐地碱蓬多糖的结构鉴定

结构鉴定部分的结果以3D模拟演示为主,通过对纯化后多糖依次进行高效凝胶渗透色谱分析、气质联用分析、核磁共振分析以及原子力显微分析,学生可以看到实验操作流程,出现相应的图谱(图6),系统会伴随有讲解和问答交互,帮助学生使用大型仪器的实际操作,并对之进行初步分析。



图4 盐地碱蓬多糖的分离与纯化

Figure 4 Isolation and purification of *Suaeda salsa* polysaccharide.



图5 盐地碱蓬多糖的纯化鉴定

Figure 5 Purification and identification of *Suaeda salsa* polysaccharide.

图6 盐地碱蓬多糖的结构鉴定

Figure 6 Structural identification of *Suaeda salsa* polysaccharide.

### 2.5.4 盐地碱蓬多糖的生物活性探索

模拟多糖对肿瘤细胞毒性的 MTT 实验和自由基 DPPH 清除实验<sup>[13-14]</sup>, 确定其抗肿瘤活性和抗氧化活性。MTT 实验的结果以肿瘤细胞增殖率随着多糖浓度升高变化而体现, 以柱形图的形式展现, 可以看到随着多糖浓度升

高, 肿瘤细胞增殖率降低, 说明盐地碱蓬多糖有一定的抗肿瘤活性 (图 7)。抗氧化活性以 DPPH 清除效果来确定, 以折线图的形式展现, 可以看到随着多糖浓度升高, 抗氧化活性逐渐增强, 说明盐地碱蓬多糖有一定的抗氧化活性 (图 8)。

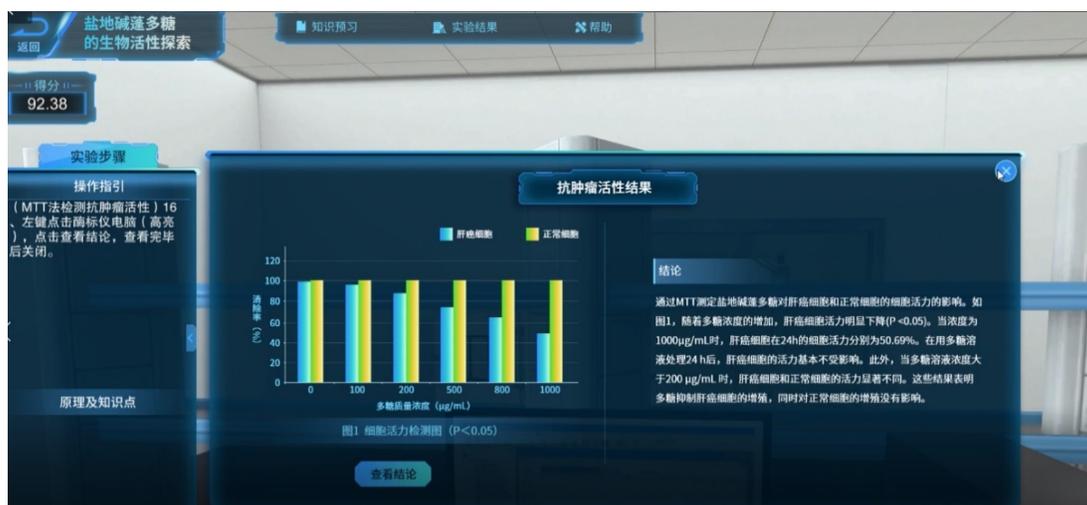


图7 盐地碱蓬多糖的抗肿瘤活性

Figure 7 Antitumor activity of *Suaeda salsa* polysaccharide.

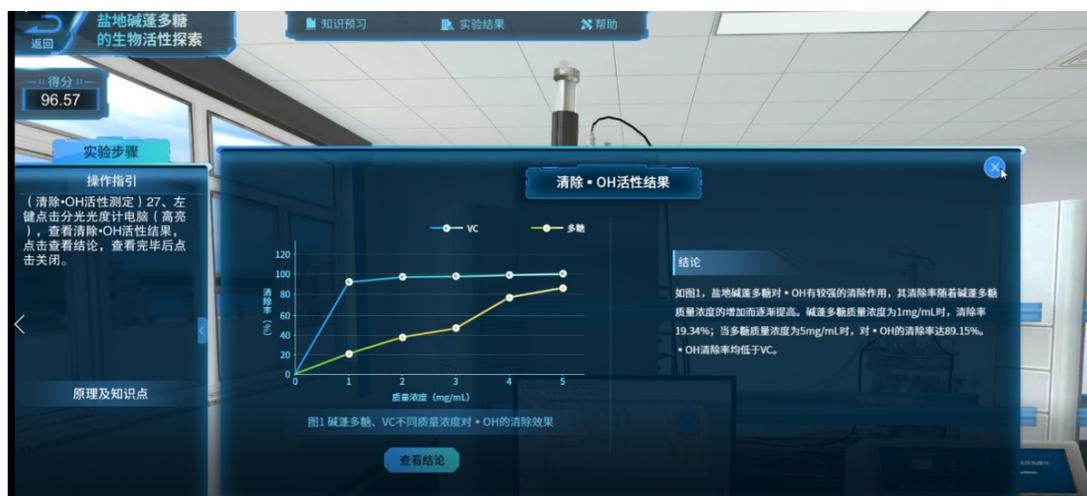


图8 盐地碱蓬多糖的抗氧化活性

Figure 8 Antioxidant activity of *Suaeda salsa* polysaccharide.

### 3 课程教学特色

#### 3.1 实验设计特色

以项目研究、工艺研究和产品开发等内容设计了具有地域特色的综合设计型实验项目。以黄河三角洲盐生植物——盐地碱蓬为素材，采用实体和虚拟实验相结合的方式，培养学生科学的研究思维与思考方法。设定微生物发酵、

提取分离、色谱纯化、结构鉴定等功能因子提取共性内容，使学生具备生物医药产业人才的基本能力和素养，不仅为我国医养健康产业人才培养提供支撑，还可提供黄河三角洲科普教育场所，助推黄河三角洲高质量发展。

#### 3.2 教学方法特色

采用线上、线下混合教学模式，基于项目工艺和方法探索等内容，让学生在实验过程中

主动探索问题、寻求答案,形成对知识的自主构建。学生沉浸在虚拟环境中进行实验,增强了趣味性,加深了对多糖发酵提取纯化的理解和认识,强化了实践操作和创新能力,从而推动黄河三角洲植物资源宝库的利用和医养健康产业的壮大,增强学生全面建设健康中国的使命担当意识和责任意识。

### 3.3 评价体系特色

基于学业评价促发展的理念,注重过程性评价,充分发挥评价的激励功能,达到学习效果螺旋式上升,分别从理论知识、方案设计、操作技能、实验报告等方面评测。其中,虚拟仿真评分系统根据方案设计、操作规程、步骤和过程进行评价,系统可记录学生整个实验项目的学习情况,通过反馈机制,不断提高学生应用和创新能力。

### 3.4 对传统教学的延伸与拓展

基于对传统验证性实验教学的延伸,本实验融合微生物培养、发酵工程、生物分离技术、色谱技术等多学科知识,将分散、独立的知识点综合起来,培养学生解决复杂问题的能力。本实验的开展将理论教学和实验教学的内容进行了延伸,并通过虚实结合,形成线上、线下互动的教学模式,有力提升了学生的综合设计能力和应用实践能力。

## 4 教学效果与学生反馈

黄河三角洲盐地碱蓬多糖发酵提取与生物活性分析实验于2019年7月5日在本校上线测试,提供教学服务,已服务过包括生物技术、生物制药等专业的本校学生678人、外校163人,于2018年8月28日面向社会开放,累计已服务过的社会学习者448人。软件总体运行平稳,考核检测精准客观,本课程目前已

入选山东省一流本科课程虚拟仿真实验类。系统服务期间,由11名提供在线教学服务的团队成员、2名提供在线技术支持的技术人员以及教学团队保证工作日期间提供24 h/d的在线服务,通过QQ群、微信群和系统即时交流界面开展实时沟通。通过从系统后台可以实时调阅学生学习软件的登录情况、在线时长和任务完成进度以及积分情况。学生使用完后我们对虚拟仿真实验系统的满意度进行了调查,结果显示:92%使用者表示满意,8%的使用者表示基本满意(图9)。学生对课程中各项教学质量指标的评价也显示出较好的教学效果(表1)。基于虚拟仿真系统的生物工程综合实验有效解决了成本和时间限制等瓶颈问题。通过虚拟仿真平台的交互使用,可以使学生充分了解和体验这类大型仪器的使用过程,开拓学生视野,提高学生的实操水平,培养学生的综合能力,完备了实验教学体系中的短板,具有非常高的实用性。在教学过程中,学生能够与教师和同学实时沟通,加强团队沟通与合作能力的培养,有助于学生综合能力的提高。

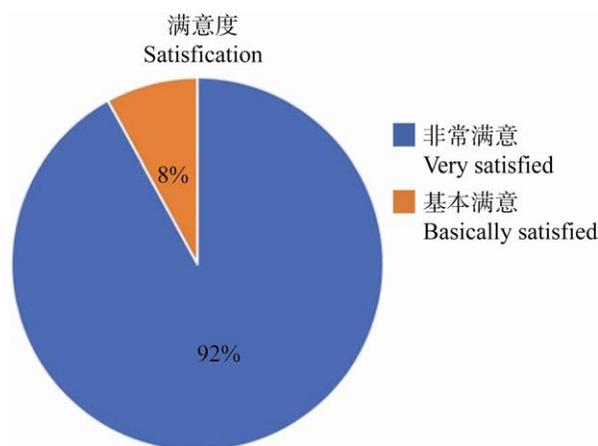


图9 虚拟仿真系统使用人员满意度调查  
Figure 9 User satisfaction of virtual simulation system.

表 1 学生对课程各项教学质量指标评价

Table 1 Students' evaluation of teaching quality indicators

一级指标 Primary index	权重 Ratio	二级指标 Secondary index	满分分值 Full marks score	平均分 Average score
教学目标 Teaching aims	0.15	符合大纲要求 Meet the outline requirement	5.0	5.0
		授课目标明确, 重点突出 Teaching aims are clear and the key points are prominent	5.0	5.0
		符合学生实际需求, 联系紧密 Meet the actual needs of students	5.0	5.0
教学过程 Teaching processes	0.40	教学内容充实, 深、广度适宜, 体现工程应用及与实际联系, 符合大纲要求 The teaching content is substantial, the depth and width are appropriate, and the engineering applications are reflected	10.0	9.0
		教学知识点切入点精准, 容易理解 Teaching knowledge points are accurate and easy to understand	10.0	9.0
		条理清楚, 启发诱导, 鼓励创新 Thoughts clear, inspiring and encouraging innovation	10.0	9.0
		激发学生兴趣、调动学生积极性, 注重锻炼学生的实践能力, 能及时处理学生提出的问题, 驾驭课堂能力强 Stimulate students' interest, arouse students' enthusiasm, pay attention to promote students' practical abilities, and deal with students' questions in time	10.0	8.8
教学方法 Teaching methods	0.30	方法新颖, 手段合理容易实施 The method is novel, reasonable and easy to implement	10.0	9.0
		提升学生学习主动性 Improve students' learning initiative	10.0	9.0
		符合新时代教学模式和体系发展新方向 Conform to the new direction of teaching mode and system development in the new era	10.0	8.7
教学效果 Teaching effects	0.15	学生掌握相关实验原理和一起操作规程, 有一定的自我解决问题能力 Students should master relevant experimental principles and operating procedures together, possess certain self-solving abilities	7.5	7.0
		实验过程体现综合性、设计性实验内容, 能培养学生的实验设计能力、创新思维与创新意识 The process reflects comprehensive and design experiments, and can cultivate students' experimental design abilities, innovative thinking and innovation	7.5	7.0
总体评价得分 Overall evaluation score	91.5			

## 5 结语

综合性实验是生物工程类专业培养高水平应用型人才的必要环节,关系着学生综合实践能力的培养与科学研究精神的启蒙。如何发挥好综合性实验在人才培养中的关键作用,受到了越来越多的关注与重视,相关专业高等院校都在思考如何建设好这门课程。本学院结合自身所在科研平台与地理位置情况,统筹考虑生物工程专业的特点和应用情况,建立了以黄河三角洲特色野生植物为研究对象的综合性虚拟仿真实验课程,与生物医药产业和医养健康产业进行了有机结合,使学生在专业知识的学习和技能提升的同时与生产实际和产业发展相联系,取得了较好的教学效果。也希望我们在这一方面开展的教学改革工作能够为其他同类高校提供改革思路与对策,共同推动生物工程类专业学生综合能力的提升和人才培养。

## REFERENCES

- [1] 赵东旭,周连景,李勤,等. 基于 STEAM 模式提高生物技术和生物工程专业学生的核心竞争力. 高校生物学教学研究(电子版), 2020, 10(3): 18-22.  
Zhao DX, Zhou LJ, Li Q, et al. Promoting key competitiveness of the graduate from Biotechnology and Bioengineering majors based on STEAM teaching model. *Biol Teach Univ (Electron Ed)*, 2020, 10(3): 18-22 (in Chinese).
- [2] 沙莉,孙淑静. 立足专业定位,改革生物工程综合实验课程. 高校生物学教学研究(电子版), 2017, 7(2): 52-55.  
Sha L, Sun SJ. Reformation and exploration of Bioengineering Comprehensive Experiment. *Biol Teach Univ (Electron Ed)*, 2017, 7(2): 52-55 (in Chinese).
- [3] 金利群,胡忠策,汤晓玲,等. 基于 OBE 的实验教学示范中心实践教学改革探索——以浙江工业大学为例. 浙江工业大学学报(社会科学版), 2017, 16(2): 227-231.  
Jin LQ, Hu ZC, Tang XL, et al. Practical teaching system reform and the practice of Experimental Teaching Demonstrating Center based on the concept of OBE—taking Zhejiang University of Technology as an example. *J Zhejiang Univ Technol (Soc Sci Ed)*, 2017, 16(2): 227-231 (in Chinese).
- [4] 李艳红,葛风伟,赵惠新. 生物工程专业综合性设计性实验课程教学改革探索. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2017, 36(3): 93-96.  
Li YH, Ge FW, Zhao HX. Exploration on the teaching reform of comprehensive and designing experiment course for Bioengineering specialty. *J Xinjiang Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, 36(3): 93-96 (in Chinese).
- [5] 陈容容,孙益顶,魏东盛,等. 多媒体虚拟仿真教学法在微生物学实验中应用. 实验室研究与探索, 2015, 34(11): 194-196, 200.  
Chen RR, Sun YD, Wei DS, et al. Application of interactive multimedia and virtual simulation teaching method in Microbiology Experiment. *Res Explor Lab*, 2015, 34(11): 194-196, 200 (in Chinese).
- [6] 张敬南,张镠钟. 实验教学中虚拟仿真技术应用的研究. 实验技术与管理, 2013, 30(12): 101-104.  
Zhang JN, Zhang LZ. Study on application of virtual simulation in experimental teaching. *Exp Technol Manag*, 2013, 30(12): 101-104 (in Chinese).
- [7] 赵铭超,孙澄宇. 虚拟仿真实验教学的探索与实践. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 90-93.  
Zhao MC, Sun CY. Exploration and practice of pedagogy with simulation-based experiments. *Res Explor Lab*, 2017, 36(4): 90-93 (in Chinese).
- [8] 谢晖,罗艳霞,沈晓敏,等. 虚拟仿真课程的“行为-能力”双模态智能评价——以“现代工科微生物学仿真实验”课程为例. 现代教育技术, 2020, 30(10): 105-111.  
Xie H, Luo YX, Shen XM, et al. The “behavior-capability” bimodal intelligent evaluation in the virtual simulation courses—taking the course of “Modern Engineering Microbiology Simulation Experiment” as an example. *Mod Educ Technol*, 2020, 30(10): 105-111 (in Chinese).
- [9] 杨文婷,杨立,黄静,等. 啤酒发酵虚拟仿真项目在发酵工程系列课程的应用与实践. 山东化工, 2019, 48(3): 116, 118.  
Yang WT, Yang L, Huang J, et al. Application of beer fermentation virtual simulation project in Fermentation Engineering series courses. *Shandong Chem Ind*, 2019, 48(3): 116, 118 (in Chinese).
- [10] 何书英,刘煜,郑珩,等. 生物制药虚拟仿真实验教学平台的建设与应用. 实验技术与管理, 2017, 34(8): 118-120, 161.

- He SY, Liu Y, Zheng H, et al. Construction and application of virtual simulation experimental teaching platform for Biologic Pharmacy. *Exp Technol Manag*, 2017, 34(8): 118-120, 161 (in Chinese).
- [11] 杨旭, 胡晓龙, 宋丽丽, 等. 虚拟仿真实验平台助力白酒酿造工艺实践教学. *食品与发酵工业*, 2021, 47(5): 309-314.
- Yang X, Hu XL, Song LL, et al. Construction of virtual simulation experimental platform for liquor brewing practical teaching. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(5): 309-314 (in Chinese).
- [12] 刘平平, 虞旦, 王昌涛, 等. 三七多糖的微生物发酵提取工艺优化及其抗炎功效评价. *食品研究与开发*, 2019, 40(18): 71-78, 83.
- Liu PP, Yu D, Wang CT, et al. Optimization of microbial fermentation extraction process of *Panax notoginseng* and evaluation of its anti-inflammatory effect. *Food Res Dev*, 2019, 40(18): 71-78, 83 (in Chinese).
- [13] 李晶晶, 刘欣鑫, 薛阳, 等. 碱蓬多糖 SSP1-1 的分离纯化及其抗肿瘤活性. *食品工业科技*, 2020, 41(20): 314-319.
- Li JJ, Liu XX, Xue Y, et al. Separation and purification of polysaccharide SSP1-1 from *Suaeda salsa* and its antitumor activity. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(20): 314-319 (in Chinese).
- [14] 王昭晶. 碱蓬多糖 SPA 的分离纯化和抗氧化活性研究. *辽宁中医药大学学报*, 2009, 11(9): 168-169.
- Wang ZJ. Studies on separation purification and antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide SPA from *Suaeda* spp. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2009, 11(9): 168-169 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)