



微生物学虚拟仿真实验教学平台的建设与应用

刘金林^{1,2} 许敏^{1,2} 蒋金辉^{1,2} 杨娇艳^{1,2} 胡原^{1,2} 万建^{1,2} 李兵^{*1,2}

1 华中师范大学生命科学学院 湖北 武汉 430079

2 华中师范大学国家级生物学虚拟仿真实验教学中心 湖北 武汉 430079

摘要: 从微生物学实验教学的实际应用出发,以“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”为主题,建立了微生物学实验课程的虚拟仿真实验教学平台。文中介绍了该平台的建设方法、功能及其实际应用。该平台充分发挥了现代信息技术的作用,与实体课堂教学进行有机结合,能有效提升教学效果、增强学生的学习兴趣和学习能力,为推进微生物学实验教学改革创新和高层次人才培养奠定了基础。

关键词: 微生物学实验, 细菌的分离与鉴定, 虚拟仿真实验平台, 建设, 应用

Construction and application of a virtual simulation experiment teaching platform for Microbiology

LIU Jinlin^{1,2} XU Min^{1,2} JIANG Jinhui^{1,2} YANG Jiaoyan^{1,2} HU Yuan^{1,2}
WAN Jian^{1,2} LI Bing^{*1,2}

1 College of Life Sciences, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079, China

2 National Virtual Simulation Experimental Teaching Center for Biology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079, China

Abstract: A virtual simulation experiment teaching platform for a Microbiology Experimental course was established based on the practical application of Microbiology experiment teaching to study the theme of “isolation and identification of *Bacillus subtilis* in soil”. This paper describes the construction, function and practical application of the platform. By focusing on the role of modern information technology, this platform can be used with traditional classroom teaching to enable effective improvements in teaching and to enhance students’ interest and ability. This study lays a solid foundation for the promotion of teaching reform and innovation of Microbiology Experiments, and the creation of high-level talents.

Keywords: Microbiology Experiment, isolation and identification of bacteria, virtual simulation experiment platform, construction, application

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (61977028); The 2017 Teaching Research Project of Central China Normal University (2017035)

***Corresponding author:** Tel: 86-27-67868475; E-mail: shblzl@mail.ccnu.edu.cn

Received: 11-05-2021; **Accepted:** 15-06-2021; **Published online:** 18-08-2021

基金项目: 国家自然科学基金(61977028); 华中师范大学 2017 年校级教学研究项目(2017035)

***通信作者:** Tel: 027-67868475; E-mail: shblzl@mail.ccnu.edu.cn

收稿日期: 2021-05-11; **接受日期:** 2021-06-15; **网络首发日期:** 2021-08-18

随着现代科技和教育国际化的不断发展,社会对大学生能力的要求逐步提高。因此,对于新形势下我国高等教育的发展水平及国际竞争力也提出了更高的要求。在2018年召开的“新时代全国高等学校本科教育工作会议”中,多次强调了大学本科教育的重要性,要将本科教育放在人才培养的核心地位,通过思想创新、理念创新、方法技术创新和模式创新,激发学生的学习动力和专业志趣,提升学生的综合素质,打造教育高地^[1]。

生物技术专业是以实验为基础而发展起来的学科,该专业毕业生需要掌握扎实的基础生物学理论知识,而且特别强调的是必须具备较强的生物学实验技能,这两点是生物技术专业人才培养的重要目标^[2]。微生物学是生物技术专业的重要基础课程,与其关联的实验课程在专业化人才培养中的作用尤为重要^[3]。如何通过实验课程提升学生的动手能力、分析解决问题能力和创新创造能力,值得相关教育工作者和管理者深入思考。

目前,由于教学时数不足、教学内容陈旧、教学模式单调等一系列问题,导致多种生物学实践课程的教学效果达不到预期的目标。在微生物学实验的教学过程中,我们经常发现,经过几次基础训练之后,有些学生仍然未能掌握正确的显微镜使用方法,部分学生跟不上实验教学步骤,实验过程操作慢且存在明显的规范性问题;还有一些学生的实验报告中不能有效地分析实验数据,并且不能正确回答一些比较简单的思考题。鉴于教学过程中存在的这些问题,我们对“微生物学实验”课程进行了改革,以便于学生毕业后能够胜任工作。

虚拟仿真(Virtual Reality, VR)技术是指利用计算机生成具有良好交互性的三维环境,对特定的场景或过程进行模拟,能向操作者提供视觉、听觉和触觉等多方位感知;虚拟仿真技术已广泛应用于娱乐、艺术、工业、旅游和教育等领域。虚拟仿真技

术能够创设部分或全部虚拟实验环境,可以有效克服传统实验教学中受时间和空间限制的问题,从而实现对传统实验教学的辅助、部分替代或完全替代^[4]。本文以“土壤中枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”实验为例,介绍虚拟仿真技术在“微生物学实验”课程教学中的应用实践。

1 实验内容介绍

自然界是具有巨大潜力的菌种宝库,但微生物在自然环境中是混合生长的,而通常只有单一微生物的培养物(纯培养物)才能被较好地研究、利用并保证研究结果的可重复性。要想获得理想的菌种,就需要将其从繁杂的环境中分离出来。因此,如何从复杂的微生物群体中分离、纯化特定菌种并对菌种进行初步鉴定,是微生物学实验的重要内容^[3]。在菌种分离鉴定过程中,需要注意将一般原则和菌种特异性相结合,灵活设定筛选和鉴定条件。本研究以“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”实验为例,通过实验教学,让学生了解4个微生物分离的基本原则和步骤(图1)。

1.1 菌种分离实验的基本原理

“稀释”为分离获得细菌纯培养的最基本方法,即将样品进行逐步稀释培养,直到出现单一菌落或细胞。然而,当目标微生物数量在微生物样品中比例非常小的时候,用稀释法很难将其分离出来。因此,需要根据目标微生物的特征设计特别适合其生长的环境,如选择特定培养基、加入特殊物质或选择特定的培养条件等,才能将目标微生物分离出来获得纯培养。

1.2 以菌种的形态学差异区分

由于枯草芽孢杆菌产生的芽孢具有极强的耐热性,因此,在土壤样品处理时可以通过加热杀死其他微生物及芽孢的营养体从而只剩下芽孢,然后分离产芽孢菌,再根据芽孢细菌的细胞形态、大小、革兰氏染色和芽孢特征等缩小范围。

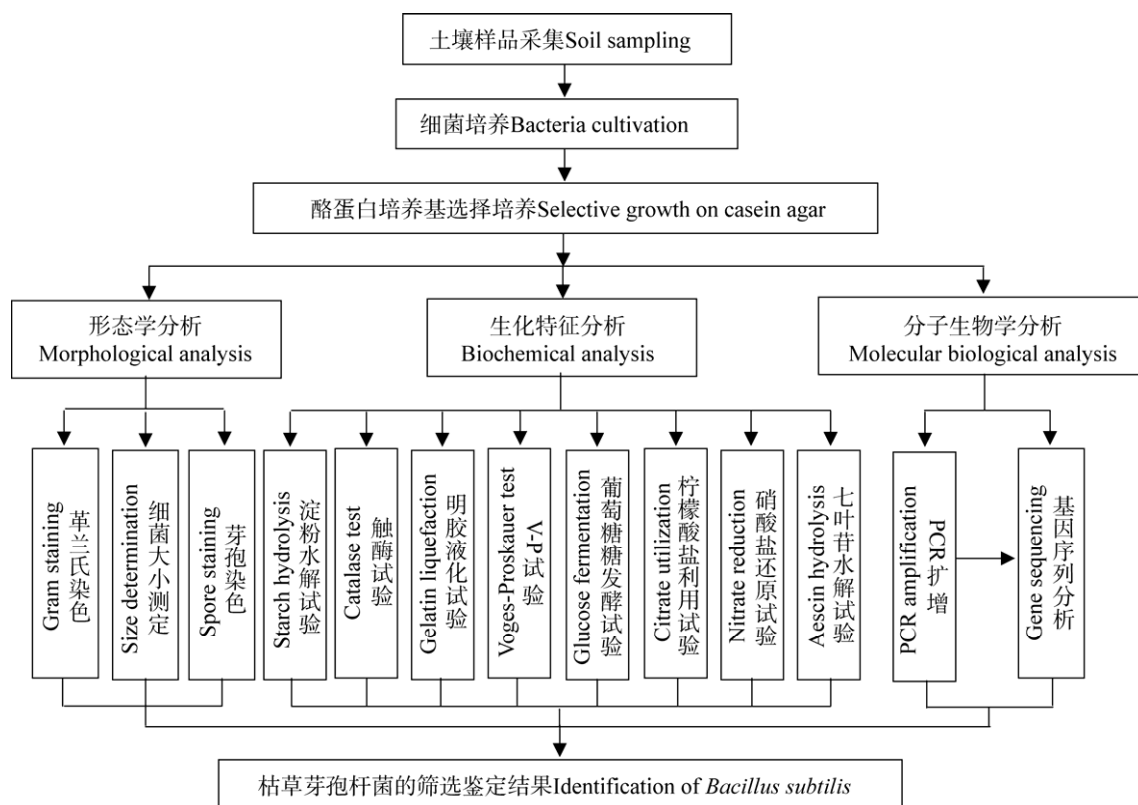


图1 “土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”虚拟仿真实验流程

Figure 1 Processes of VR experiment titled “isolation and identification of *Bacillus subtilis* from soil”

1.3 以菌种的生化特性进行鉴定

由于不同微生物具有的酶系不尽相同,对于营养物质的分解能力也不一样,所以代谢产物也有一定差别,可以根据微生物对特定营养物的代谢作用及其代谢产物对微生物种类进行鉴别。因此,实验根据枯草芽孢杆菌的代谢特点设计了酪蛋白分解、糖分解、淀粉酶、触酶、明胶液化和硝酸盐还原等实验,初步鉴定枯草芽孢杆菌。

1.4 鉴定菌种的特定基因序列

克隆细菌种属特异性的 16S rRNA 基因并测序,根据该基因序列特征对目的菌株进行确认。

2 实验功能效果与操作流程

“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”虚拟仿真实验,利用 Flash 和 Unity 3D 技术构建了分离目标微生物的样品采集与处理、微生物的分离培养、形态学鉴定、生化鉴定和分子生物学鉴定等过程的动

画及各环节的虚拟仿真操作资源。学生可以通过网络终端设备观摩动画过程,也可以通过虚拟操作仿真实验熟悉实验过程、了解目标微生物分离的基本原理和流程,特别是其中细菌形态、大小和革兰氏染色特性鉴定、生化鉴定等环节的操作技巧。另外,在虚拟仿真实验过程中同时设置了交互式习题,帮助学生巩固相关知识点。

通过链接进入虚拟实验界面后,可以看到“实验目的”“实验原理”“开始实验”和“课后思考”4个选项,学生可以先点击查看实验目的和原理,然后进入虚拟仿真实验操作(图2A)。虚拟仿真实验分为土样采集、细菌培养、酪蛋白筛选、形态学分析、生化特征分析和分子生物学分析等6个模块。实验操作区域左侧列有操作清单,即实验顺序,学生可以选择不同的模块进行操作学习。在每个模块内都配有小提示,提醒学生注意的操作环节;同时配有

返回主界面的按钮,点击可以返回主界面查看实验相关的原理。

(1) 土样采集

在“土样采集”模块,被分为“土样采集”“土样处理(溶解)”“加热处理”和“样品稀释”这4个过程,学生可以点击左侧导航栏,进入相应的操作区进行虚拟操作(图2B)。在每个操作区右下方有操作提示,如“土样采集”(图2B),点击后即出现模拟采样的场景和相应的动作。动画结束后则自动进入下一个过程。如图2C所示,在这些过程中的重要环节会出现文本框对操作要点进行解释说明,让学生更好地理解操作方法。另外,虚拟仿真实验过程中还设置有一些小任务,如选择题可以帮助学生巩固知识点和该操作的必要性。同时,该任务还可避免学生挂机刷学习时长,如果在学生操作过程中离开,实验进度则会停滞。在“土样采集”模块中,学生不仅可以通过虚拟仿真实验操作学习土壤中微生物样品采集和处理流

程,还可以了解产芽孢细菌的特征和提高目的菌株分离效率的方法。

(2) 细菌培养和酪蛋白培养基选择培养

这两部分均详细展示了微生物样品处理后的培养过程。在这2个模块中,虚拟实验界面会显示培养基加热、倒平板、细菌接种、平板培养和培养结果观察等实验过程。学生通过这两部分内容的学习了解固体培养基的准备、细菌样品涂布和平板培养与观察,以及蛋白酶产生菌的选择性培养和筛选方法。在虚拟实验最后还展示了酪蛋白培养基培养蛋白酶产生菌分解酪蛋白出现透明圈的实验结果,让学生更好地理解透明圈的概念及在以后实际操作实验中观察的方法(图2D)。

(3) 形态学分析

特定培养条件下的形态、大小、革兰氏染色特性和芽孢特征是细菌分类鉴定的重要依据。为了更好地鉴别目标微生物的特性,在形态学分

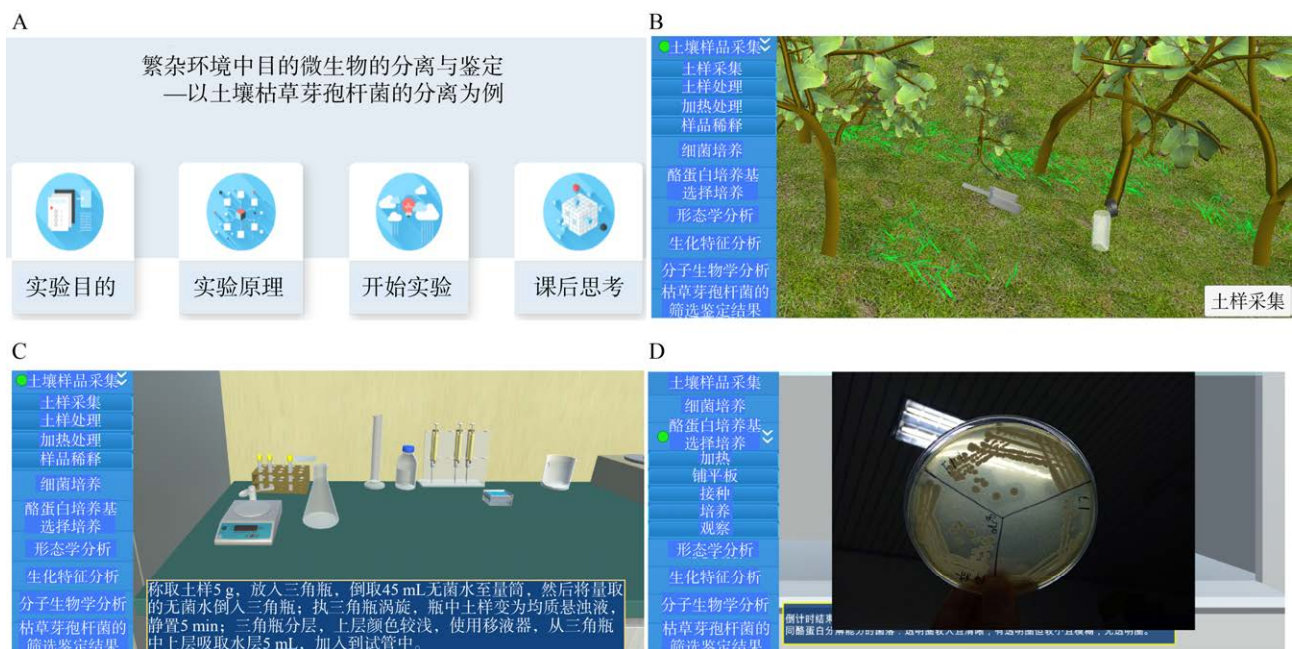


图2 “土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”虚拟仿真实验界面

Figure 2 Interfaces of VR experiment titled “isolation and identification of *Bacillus subtilis* from soil”

注: A: 开始界面; B: 土样采集界面; C: 操作提示界面; D: 实验结果示例界面

Note: A: Start interface; B: Soil sampling interface; C: Operation tips interface; D: Result interface

析模块,虚拟仿真实验设置了“革兰氏染色”“细菌大小测定”和“芽孢染色”三部分内容,实验结束后会显示标准的阳性结果供学生参考。通过虚拟实验操作,学生可以掌握这些细菌形态分析实验的流程,增强对细菌基本形态、大小和芽孢形态的感性认识,并加深对课堂上所学理论知识的理解。

(4) 生化特征分析

由于各种微生物具有的酶系不尽相同,对于营养物质的需求和分解能力也不同,代谢产物也有一定差别,生化鉴定即利用这种差异对不同微生物进行鉴别。在“生化特征分析”模块,根据枯草芽孢杆菌的特性,设置了淀粉水解、触酶、明胶液化、V-P 实验、糖发酵、柠檬酸盐利用、硝酸盐还原和七叶苷水解等 8 个生化鉴定指标,对枯草芽孢杆菌进行鉴定。在进行虚拟实验操作前,要求先了解几种生化鉴定的原理,然后通过虚拟仿真实验操作学习这些生化鉴定的步骤及方法,实验结束后会呈现枯草芽孢杆菌鉴定的结果。学生通过虚拟仿真实验模拟枯草芽孢杆菌生化鉴定过程,可以掌握生化鉴定的流程、结果判定标准及注意事项。

(5) 分子生物学分析

为了完善细菌分离鉴定实验体系,该虚拟仿真实验设置了 DNA 序列克隆及分析的内容,由于开课年级尚未完成分子生物学理论和实验课程的学习,所以属于拔高实验内容。这部分内容主要以对细菌的种属标志性基因 16S rRNA 的基因序列进行克隆和测序^[5]来确定所分离菌株为枯草芽孢杆菌。学生可以通过预习相关理论知识,也可以通过本校分子生物学虚拟仿真实验教学平台研习基因克隆的基础方法,然后通过虚拟仿真操作了解细菌基因克隆和序列分析的步骤及方法。

“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”为耗时较长的综合性实验,中间环节失误容易导致后续无可用的材料,可能得不到理想的结果。通过采用虚拟仿真技术对实验的完整流程进行在线可视化,可使学生对繁杂环境中目标微生物分离和鉴定过程的

理解更加准确和深刻。通过线上操作能够提高学生实践操作能力。同时,在实践中,由于目标微生物不同,其分离鉴定的流程并不完全一致,学生通过学习能促进他们建立辩证、全面思考问题的方法,提高解决问题的能力。

3 虚拟仿真实验资源的建设过程和应用分析

“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”虚拟仿真实验资源的开发,以我校生物学国家级虚拟仿真实验教学中心为依托开展,其建设过程类同于我校“大豆生长发育的光周期响应”虚拟仿真实验资源建设^[6],经历了申请立项、建设取材设计和反馈完善等过程。

该项目的建设自 2016 年底开始筹备,至 2017 年秋基本完成并应用于教学实践。为更好地配合实验室教学过程,我们对原版的教学大纲做了较大的调整,将之前单个实验有机地整合为“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”综合实验,其中囊括了原教学大纲中培养基的配制及细菌的简单染色、大小测定、革兰氏染色、芽孢染色和生化鉴定等实验内容。截至目前已完成了三届共计 783 名学生的实验教学训练,初步实现了“虚(虚拟仿真操作)-实(实验室授课)”相结合的实验教学体系。

本研究还通过问卷、访谈和试卷分析的方式,对学生在“微生物学实验”课程中的学习体验和效果进行了分析,力求了解“虚-实结合式”的微生物学实验教学的效果和存在的问题,为之后完善这部分实验教学内容及更好地推进虚拟仿真技术辅助实验教学提供数据支撑。本研究主要调查了学生对于虚拟仿真式实验教学的接受程度、对综合性实验的兴趣、虚拟实验操作完成比例、虚拟操作流畅程度、对知识的巩固效果等方面进行了问卷和访谈,还对近几届微生物学实验期末考试卷得分情况进行了分析,以判断推行“虚-实结合式”教学后学生的学习情况。分析结果如图 3 所示。

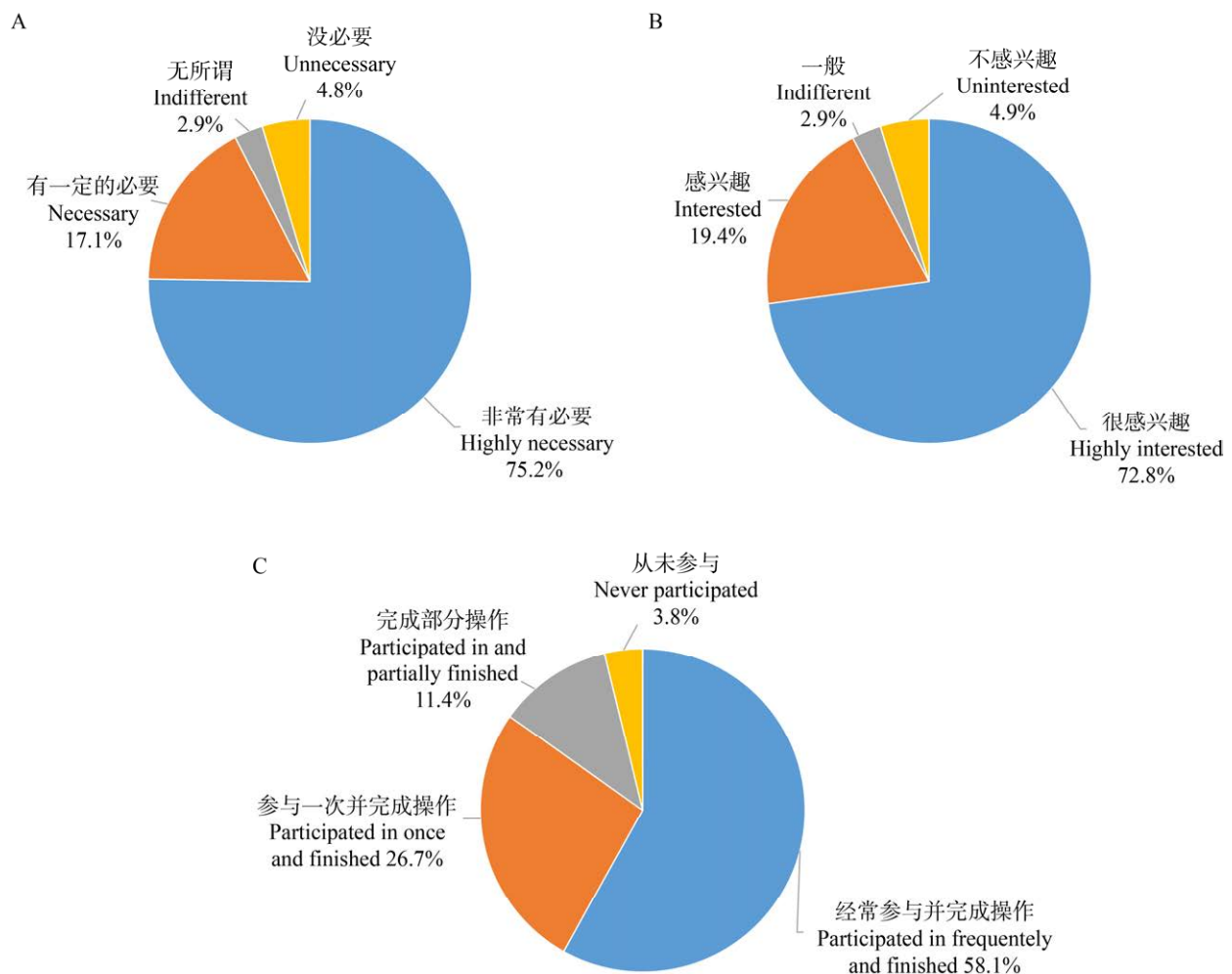


图3 学生对“虚-实结合式”教学的反馈调查情况

Figure 3 Students' responses towards combination of VR technology-based online teaching with traditional classroom teaching

注: A: 学生对新教学模式的接受程度; B: 学生对综合实验设计的兴趣; C: 学生线上学习完成的情况

Note: A: Students' acceptance of new teaching mode; B: Students' interest in comprehensive experimental design; C: Students' completion status of online learning tasks

从学生对虚拟仿真式实验教学的接受程度进行的调查结果(图 3A)显示,大部分学生(75.2%)认为很有必要开展“虚-实结合式”实验教学,而认为没必要开展“虚-实结合式”实验教学的学生仅占 4.8%。这一结果与学生对实验课的兴趣吻合(图 3B),通过虚拟仿真资源辅助实验教学,绝大部分学生(92.2%)对于微生物学综合性实验感兴趣;参与调查的大部分学生(84.8%)在课程结束时,均能通过虚拟仿真教学平台完成虚拟实验操作(图 3C),而且通过访谈得知,

一些学生还反复研习部分未进行课堂实验或感觉较难的虚拟仿真实验内容。受访学生均表示,该虚拟仿真实验资源操作流畅度不太理想,而且互动效果也有待提高。我们还对“虚-实结合式”实验教学前(2015 年)后(2019 年)各 2 个教学班的期末试卷进行了分析,了解了学生无菌操作、菌种分离、细菌的鉴别染色及大小计算等基础知识的得分情况,结果如表 1 所示,在应用虚拟仿真实验教学平台后,学生对于细菌学相关知识点的掌握程度有所提高($P<0.05$)。

表 1 虚拟仿真实验教学对期末考试成绩的影响分析^aTable 1 Influence of VR experiment teaching on final examination^a

VR experiment teaching	Number of students with score \geq 80	Number of students with score $<$ 80	Total number	Percentage of students with score \geq 80 (%)	<i>P</i> value ^b
Before	35	15	50	70	0.027
After	44	6	50	88	
Total numbers	79	21	100	79	

Note: ^a: Bacteriology-related questions were analyzed; ^b: The chi-square test was used for statistical analysis

4 讨论

合理高效地利用课堂时间和课后时间,让学生更多、更好地掌握微生物学实验中相关的理论知识和实验技能,培养学生的动手能力、拓展思维和综合实践能力,是当下微生物学实验教师和教学辅助人员努力的重要方向^[7]。结合当代信息化技术的高速发展、相关设备和软件的不断更新换代和普及,利用信息化资源优化学习资源和拓宽学习平台是一个可行且较为迫切的方向,而虚拟仿真实验教学则是此背景下的一种新的教学手段。

当前我校实验教学改革倾向于减少教学时数和优化课堂教学,激发学生自主学习的意识,提高学生自主学习的能力。微生物学实验的课时数由改革前的 48 学时缩减为 32 学时,授课时间也从 16 周缩减为 8 周,为学生创设了自主学习空间。我们建立的“土壤枯草芽孢杆菌的分离与鉴定”虚拟仿真实验资源,融入了多个微生物学知识点,具有较强的综合性,兼具交互性,可以为微生物学实验的教学和学生学习提供较好的辅助。通过实行“虚-实结合式”教学,教师可以利用有限的课堂教学时间进行重点、基础的实验技能教学,对拓展实验资源学习进行引导;学生除通过实际实验操作学习,还能够根据需求选择虚拟仿真实验的不同模块进行在线学习,以满足其个性化的学习需求。

近 3 年的教学实践显示,学生普遍能接受“虚-实结合式”实验教学。在这一过程中,虚拟仿真实验资源在一定程度上可以提高学生的学习兴

趣和学习成效,但也存在一些不足之处,如线上操作受到网速的影响,有时会出现卡顿,资源交互性也还有待提升等。另外,虚拟仿真实验操作毕竟与实际操作实验存在区别,如在资源开发过程中,对实验过程的设置和实验结果的判定存在一定的局限性,因而会影响学生深入了解实验过程、判断实验结果和分析实验误差等。此外,目前我们开发和应用的虚拟仿真实验教学资源仅对应于细菌学相关的知识,在今后的教学研究过程中将进一步开发微生物学实验课程的虚拟仿真实验教学资源,并以学科发展和学生的需求为依据,对微生物学实验课程的“虚-实结合式”教学进行不断的改进和创新。

REFERENCES

- [1] Tang JL. Adhere to the concept of “Considering Undergraduate Education as the Basic”, promoting the “Four Regression”: a review of the National Undergraduate Education Work Conference of Higher Education Institutions in the New Era[J]. China Higher Education, 2018(Z2): 11-12 (in Chinese)
唐景莉. 坚持“以本为本”推进“四个回归”: 新时代全国高等学校本科教育工作会议述评[J]. 中国高等教育, 2018(Z2): 11-12
- [2] Gong DH, Li CX. Thinking on the teaching reform of biotechnology major in the new era[J]. Science & Technology Vision, 2013(30): 58 (in Chinese)
巩东辉, 李春霞. 新时期生物技术专业教学改革思考[J]. 科技视界, 2013(30): 58
- [3] Zhang ML, Jia CF. Application of personalized teaching method in Microbiological Experiment[J]. Microbiology China, 2020, 47(4): 1230-1233 (in Chinese)

- 张美玲, 贾彩凤. 个性化实验在微生物学实验教学中的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2020, 47(4): 1230-1233
- [4] Zhao QP. A survey on virtual reality[J]. Science in China: Series F: Information Sciences, 2009, 39(1): 2-46 (in Chinese)
- 赵沁平. 虚拟现实综述[J]. 中国科学: F 辑: 信息科学, 2009, 39(1): 2-46
- [5] Liu CJ, Shen DX. Application of 16S rDNA sequencing for identification of bacteria[J]. Journal of Chinese PLA Postgraduate Medical School, 2011, 32(7): 774-776, 779 (in Chinese)
- 刘朝军, 沈定霞. 16S rDNA 序列测定在细菌鉴定中的应用[J]. 军医进修学院学报, 2011, 32(7): 774-776, 779
- [6] Wang MX, Hu Y, Li B, Yang WN. Development and application of virtual simulation experiment on photoperiodic response of soybean growth and development[J]. Experimental Technology and Management, 2017, 34(12): 142-145 (in Chinese)
- 汪梦旭, 胡原, 李兵, 杨万年. 大豆生长发育光周期响应虚拟仿真实验的开发与应用[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(12): 142-145
- [7] Wang CC, Guo QX, Zhang MZ. Several explorations on the reform of microbiology experiment teaching in higher education institutions[J]. China Journal of Multimedia & Network Teaching, 2020(4): 162-163 (in Chinese)
- 王楚楚, 郭庆勋, 张明哲. 高等院校微生物学实验教学改革的几点探索[J]. 中国多媒体与网络教学学报: 上旬刊, 2020(4): 162-163