

# “三位一体”育人理念在微生物学实验教学中的探索与实践

王智文<sup>\*</sup>, 冯远航, 朱勇

天津大学化工学院, 天津 300350

王智文, 冯远航, 朱勇. “三位一体”育人理念在微生物学实验教学中的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2022, 49(6): 2378-2387

Wang Zhiwen, Feng Yuanhang, Zhu Yong. The exploration and practice of trinity education concept in the teaching of Microbiology experiment[J]. Microbiology China, 2022, 49(6): 2378-2387

**摘要:** 微生物学实验是生物工程、制药工程、食品科学与工程、合成生物学等专业的专业基础课和核心实践课。基于价值塑造、知识传授、能力培养的“三位一体”育人理念, 教学团队科学制定微生物学实验教学目标, 从知识、能力、价值三个维度精心设计教学内容; 与时俱进地改进教学内容和教学方法, 探索线上线下融合教学, 强化实验方法规范性, 科教融合培育学生创新思维和科研热情; 完善评价体系, 建立知识、能力、价值的综合考核方案, 创建具有专业特色的微生物学实验室文化。初步建立了微生物学实验“三位一体”教学模式, 服务全方位高质量的人才培养使命。

**关键词:** 微生物学实验; 价值塑造; 知识传授; 能力培养; 评价体系; 实验室文化

## The exploration and practice of trinity education concept in the teaching of Microbiology experiment

WANG Zhiwen<sup>\*</sup>, FENG Yuanhang, ZHU Yong

School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300350, China

**Abstract:** Microbiology experiment is the basic course and a core practice course of bioengineering, pharmaceutical engineering, food science and engineering, synthetic biology and other majors. According to the trinity education concept of value shaping, knowledge imparting, and ability training, we set the teaching objectives of microbiology experiment and developed the teaching content system involving value, knowledge, and ability. Further, we improved the teaching contents and methods to keep up with the

基金项目: 天津大学化工学院一流课程建设项目(03)

Supported by: First-Class Course Construction Project of School of Chemical Engineering and Technology of Tianjin University (03)

\*Corresponding author: E-mail: zww@tju.edu.cn

Received: 2022-04-09; Accepted: 2022-05-30; Published online: 2022-06-07

times, integrated online and offline teaching, standardized the experimental methods, and fused science with education to foster students' innovative thinking and enthusiasm for research. Additionally, we improved the evaluation system by establishing a comprehensive assessment scheme covering knowledge, ability, and value, and created a microbiology laboratory culture with professional characteristics. The trinity teaching mode of microbiology experiment has been initially established to serve the training of all-round high-quality talents.

**Keywords:** Microbiology experiment; value shaping; knowledge imparting; ability training; evaluation system; laboratory culture

基于价值塑造、知识传授、能力培养的“三位一体”教育理念和人才培养模式,学生可构建符合自身个性需要与发展的知识体系,增强勇于探索的创新精神、善于解决问题的实践能力,形成具有大国工匠精神和家国情怀的积极价值观,从而实现人格健全、实践能力强与理论知识深厚的现代教育目的。

微生物学实验是生物工程、制药工程、食品科学与工程、合成生物学等专业的专业基础课和核心实践课。通过课程学习,学生掌握研究及应用微生物的主要方法与技术,加深对微生物基本特征的认识和理解;培养学生科学的实验方法和实验技能,提高学生在实践中综合运用所学的知识去认识、分析和解决问题的能力及创新意识 and 创新能力<sup>[1]</sup>。为了提高微生物学实验的教学质量,很多高校进行了实验教学改革,包括项目驱动<sup>[2]</sup>或问题导向<sup>[3]</sup>的教学模式改革,开发或增加设计性<sup>[4]</sup>、综合性<sup>[5]</sup>实验项目,以及线上线下融合教学<sup>[6]</sup>、课程思政教学改革<sup>[1]</sup>等。相较于传统的微生物学实验教学,这些实验教学改革取得了较好的效果。然而,新时代人才的培养目标对高等教育的教育理念和人才培养模式提出了新挑战和新要求,针对微生物学实验的课程知识特点,探索价值塑造、知识传授、能力培养于一体的立德树人新路径,是实现新时代创新性人才培养的重要着力点。

为了落实“立德树人”的根本任务,天津大

学微生物学实验教学团队坚持以“学生为本”的微生物学实验教学改革<sup>[5]</sup>,基于“三位一体”的育人理念,科学制定教学目标,开发微生物学实验课程“价值、知识、能力”的教学体系,与时俱进地改进改革教学内容与教学方法,创新知识、能力、价值的综合考核新形式,完善课程评价体系,创建具有专业特色的微生物学实验室文化,确保知识、技能、素质教育与思政教育同向同行。

## 1 微生物学实验课程的教学目标

天津大学化工学院微生物学实验是针对生物工程、制药工程和合成生物学三个专业学生开设的一门专业核心课和学科基础课,也是专业核心实践课,共48学时,1.5学分。课程涵盖了微生物研究和应用的基本技术、微生物形态观察、微生物生理特性的检测与分析、菌种选育的综合性设计实验及细菌分离鉴定综合实验。通过学习微生物学的基本知识和操作技能,与迅速发展的学科前沿接轨,为从事专业技术工作和科学研究打下必要的微生物学实验基础。

贯彻价值塑造、能力培养、知识传授的“三位一体”的育人理念,基于生物类人才的培养目标,我们对微生物学实验课程从知识、能力、价值三个维度细化教学目标。

知识传授目标:让学生掌握微生物学基本实验技术及技能训练,具备微生物学无菌操作及微生物分离、形态观察、数量测定、生理生

化分析、菌种选育等实验操作的能力,能够利用掌握的原理与实验技能对微生物学实验中各环节操作中主要技术方案的合理性进行分析和评估,能够采用正确的技术方法解决微生物学实验各环节操作中的问题。

能力培养目标:熟练运用微生物学基本理论和技术,培养学生的观察分析能力、动手解决问题能力、科研探索能力、团结合作能力,培养创新思维、创新意识。

价值塑造目标:通过课程思政的有机融合,培养学生的家国情怀、全球视野和专业自信,树立精益求精的大国工匠精神和勇于探索的科学家精神。

## 2 微生物学实验“三位一体”育人体系的教学内涵

以“三位一体”育人理念为指导,结合微生物学实验课程的知识体系和教学特点,从知识、能力、价值三个维度精心设计教学内容,建立微生物学实验“三位一体”的育人体系。表1介绍了微生物学实验教学过程中知识传授、能力培养、价值塑造在各章节中的对应情况。针对不同专业的专业特点和培养目标设置差异性的实验项目,每个学生需完成10个实验项目。其中,实验项目1-8和12为生物工程、合成生物学和制药工程专业的共同必修实验项目,实验项目9-11分别为以上三个专业的必修实验项目。

## 3 与时俱进地改革教学内容与教学方法

课程是人才培养的核心要素,课程质量直接决定人才培养质量。微生物学教学团队重视教学内容与教学方法的改革,引入线上线下混合教学,激发学生学习热情;改革试验方法,

强化试验规范性;探索科教融合,培养学生创新意识。

### 3.1 线上线下融合教学,激发学生学习热情

随着“互联网+”技术的迅速发展,信息技术对高等教育产生了深刻影响,教学资源组织、学生学习方式、课堂教学等随之发生了深刻的变革<sup>[6]</sup>。为适应“互联网+”时代的教学特点,结合微生物学实验教学内容、学生学习特点及培养学生创新能力的需要,微生物学实验教学团队探索线上线下混合式教学的模式,将授课过程分为课前线上预习、课中线上线下结合讲解、课后实验结果线上反馈与指导三个阶段。

优化课前预习环节,在线上“雨课堂”发布预习课件,布置预习重点和问题,学生带着问题进行预习。教师端可以借助“雨课堂”掌握学生的预习进度及存在的问题或难点。针对微生物学实验涉及多项实验操作技术的学习和训练特点,通过课程微信群发布录制的实验操作视频资料、中国大学慕课(massive open online courses, MOOC)(如上海交通大学和北京师范大学的微生物学实验)视频教学资料。线上课程,强化学生们对试验操作规范性的学习,提高预习效果,增加拓展性学习内容,提升课程的广度和深度。

讲解环节通过问题式引入来考查学生对预习过程中实验目的、实验原理和实验过程的理解。如在培养基配制实验中,引入问题“细菌喜欢吃什么?”“不同微生物的口味一样吗?”从而引出不同培养基的配制方法及原理,增加学生的参与度,强化师生互动;在枯草芽孢杆菌的诱变实验中,通过问题“微生物育种的方法有哪些?”切入,引导学生思考和了解通过代谢工程与合成生物学技术进行细胞工厂创制的前沿技术和进展。学生们在实验过程中发现的问题或疑问,可以通过微信群上传实验照片等形式进行交流互动。

表 1 微生物学实验“三位一体”的课程体系

Table 1 The trinity curriculum system of Microbiology experiment

知识传授(授课内容) Knowledge imparting (teaching contents)	能力培养 Ability training	价值塑造 Value shaping	思政教育元素 Ideological and political education elements	思政教育目标 Ideological and political education objectives
1 培养基的制备和灭菌 1 Preparation and sterilization of culture media	思考与解决问题能力 Ability of thinking and solving problems	规范使用特种设备 Specification usage of special equipment		实验室安全意识 Laboratory safety awareness
2 土壤中微生物的分离纯化和菌落 形态观察 2 Isolation, purification and colony morphological observation of microorganisms in soil	观察能力 Observation ability	微生物的多样性 Diversity of microorganisms		世界的多样性、多元性 Diversity and pluralism of the world
3 显微镜的使用与微生物染色及其 形态观察 3 Use of microscopes, staining and morphological observation of microorganisms	科学严谨的实验态度 Scientific and rigorous experimental attitude	乙醇脱色时间与结果可靠性 Time for ethanol decolorization and reliability of results		严谨认真的科研精神 Rigorous and serious scientific research spirit
4 酵母菌、霉菌、放线菌的形态观察 4 Morphological observation of yeast, mould and actinomycetes	探索能力 Exploration ability	青霉素的发现 Discovery of penicillin		勇于探索的科研精神 Spirit of scientific research that dares to explore
5 微生物大小与数量的测定 5 Determination of microbial size and count	思考能力 Thinking ability	测量大小与数量的现代方法 The modern methods for determination of microbial size and count		科技进步 Advancement of science and technology
6 环境因素对微生物的影响 6 Effects of environmental factors on microorganisms	发现及分析问题能力 Ability of discovering and analyzing problems	2021 年诺贝尔生理学或医学 奖“发现温度和触觉感受器” 2021 Nobel Prize in Physiology or Medicine for “The discovery of temperature and touch receptors”		拓宽科技视野, 培养勇攀科 学高峰的责任感和使命感 Broaden vision of science and technology, cultivation a sense of responsibility and mission to scale the heights of science
7 大分子水解和糖发酵实验 7 Macromolecular hydrolysis and sugar fermentation experiments	生物安全意识 Biosafety awareness	发酵产业及废弃物处理 Fermentation industry and waste treatment		生态环保, 专业责任感 Ecological and environmental protection, professional responsibility
8 IMViC 与硫化氢实验 8 IMViC and hydrogen sulfide experiment	细菌鉴定能力 Bacterial identification ability	现代生理生化鉴定试剂盒开 发 Development of modern physiological and biochemical identification kits		增强专业自信 Enhancing professional confidence
9 枯草芽孢杆菌的诱变效应 9 Mutagenic effect of <i>Bacillus subtilis</i>	探索能力 Exploration ability	工业菌种和工业酶的关键技术 Pivotal technology of industrial strains and industrial enzymes		工匠精神 Spirit of craftsmanship
10 利用 16S rRNA 基因序列鉴定细菌 10 Identification of bacteria by 16S rRNA gene	探索能力 Exploration ability	自动微生物鉴定系统 Automated microbial identification system		创新精神 Spirit of innovation
11 细菌素的发酵与检测 11 Fermentation and detection of bacteriocin	探索能力 Exploration ability	新药创制 Creation of new medicine		创新精神 Spirit of innovation
12 革兰氏染色、显微摄影、微生物绘画 12 Gram staining, microphotography, microbial painting	创新能力 Innovation ability	积极向上的主题 Positive themes		思政与美育结合 Combination of ideological and political education with aesthetic education

课后学生在课程微信群上传实验结果,教师对其进行点评与指导,鼓励学生相互学习与借鉴,突出学生的主体地位,学生不只是学习者,同时也是其他同学的“老师”,改变了学生处于被动的状态,加强生生互动。线上线下融合教学模式对增强学习主观能动性,以及提升和培养学生的问题探究、实践创新能力具有重要意义<sup>[7]</sup>。

### 3.2 改革实验方法,强化实验规范性

“化学因素对微生物生长的影响”是微生物学实验中设置的一个重要实验,旨在通过实验的学习,使学生了解常用的化学消毒剂对微生物生长的影响,掌握常用化学消毒剂包括有机溶剂(酚、醇、醛等)、重金属、卤族元素及其化合物、染料和表面活性剂等抑(杀)菌的能力和作用原理。传统的化学因素对微生物生长的影响实验采用滤纸片法<sup>[8]</sup>,即通过无菌镊子取灭菌的圆形小滤纸片分别浸入不同的化学消毒剂润湿,沥去多余溶液,放置在制备好的混菌平板上,平板培养后观察抑(杀)菌情况。

该方法存在的问题包括:由于采用滤纸片蘸取消毒剂的方式,导致可能存在不同的滤纸片蘸取消毒剂的体积存在差异,不同学生

的操作差异性更大,定量操作的规范性低;其次,由于滤纸片蘸取的化学消毒剂体积较小,对于挥发性消毒剂,如75%乙醇其抑(杀)菌效果不明显。针对以上问题,微生物学实验教学团队尝试改进实验方法,采用打孔法进行化学消毒剂对微生物生长的影响实验。以大肠杆菌作为指示菌制备混菌平板,利用孔径为8 mm的打孔器对混菌平板进行打孔,采用移液器注入50  $\mu$ L的化学消毒剂,37  $^{\circ}$ C培养48–60 h,通过测量抑(杀)菌圈直径分析不同化学消毒剂的抑(杀)菌情况。如图1所示,打孔法除1%来苏水外均能看到明显的抑(杀)菌圈,然而滤纸片法仅1%龙胆紫可以看到明显的抑(杀)菌圈。通过移液器加入相同体积的化学消毒剂,可以定量分析不同化学消毒剂的抑(杀)菌能力,而且该方法简单易操作、重复性高,适合本科生学习与实验。

### 3.3 科教融合,培育学生的创新思维

科研是大学创新发展的动力,将科研项目内容适当引入本科教学有利于拓宽教学资源的广度、探究教学内容的深度、驾驭教学讲授的高度。科教融合助推实验教学,创新开放式实验项目更能考查学生基本实验技能的掌握及综

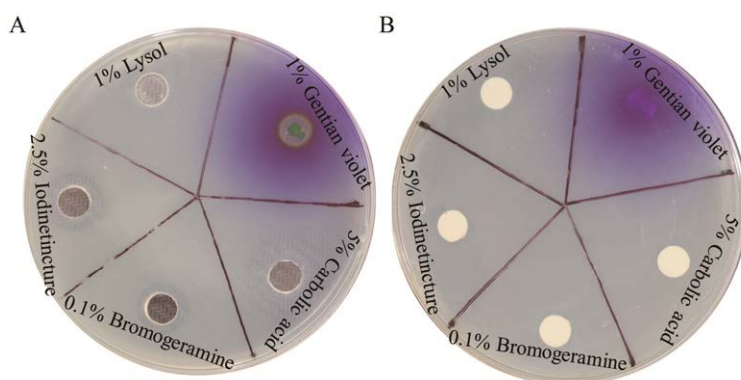


图1 化学消毒剂对微生物生长的影响 A: 打孔法; B: 滤纸片法

Figure 1 Effects of chemical disinfectants on microbial growth. A: Punch method; B: Filtering paper method.

合应用情况<sup>[9]</sup>。前期的科研中,教学团队基于多元质粒工程(multiple plasmid engineering, MIPE)技术,突变了红色荧光蛋白(red fluorescence protein, RFP)的23个氨基酸,获得了呈现出不同颜色的荧光蛋白<sup>[10]</sup>(图2)。微生物学实验课程中,通过自愿报名的形式招募学有余力的学生,成立了由14位学生组成的科研小组,通过易错PCR等方法,构建表达不同颜色荧光蛋白的工程菌株。将蛋白的定向进化实验研究融入微生物学实验的课堂教学,促进了学生对酶定向进化的理解,而且由于突变蛋白会呈现不同的颜色,可为微生物绘画提供“颜料”,也增加了实验的趣味性。学生的参与积极性很高,利用课余时间进行科研尝试,培养了科研兴趣及创新思维。

## 4 完善课程评价体系,强化知识、能力、价值的综合考核

我们尝试引入显微摄影与微生物绘画,考查学生对常见细菌、霉菌、酵母及放线菌典型形态特征等专业知识的掌握,反映学生的细菌制片与染色、显微镜使用、无菌操作、平板

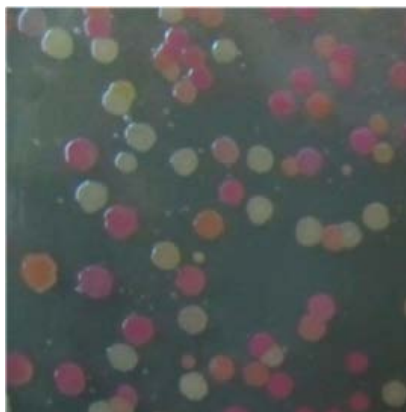


图2 红色荧光蛋白的不同突变<sup>[10]</sup>  
Figure 2 Different mutations of red fluorescence protein<sup>[10]</sup>.

划线等实验操作能力,同时鼓励学生采用不同的绘画主题展现新时代与当代大学生的精神风貌。突破单一的以专业知识考核为主的考核形式,将微生物学实验专业知识、实验操作能力和课程思政进行综合考核,形成知识、能力、价值“三位一体”育人体系的闭环考核。

### 4.1 显微摄影,巩固微观知识

显微镜观察是微生物学实验的重要教学内容,是学生了解微生物的结构特征、观察微生物微观形态的重要手段。利用显微镜进行观察的过程中,往往存在学生不能准确判断观察目标及讨论和交流不足等问题。为提升学生的学习兴趣、增强学习效果,实验课程考核环节中加入显微摄影环节,要求学生对观察到的典型微生物形态和革兰氏染色的结果进行拍照,并上传到课程微信群。学生使用手机对准目镜进行拍摄,更加精益求精地调整观察视野,努力拍出反映微生物典型特征的图片(图3)。学生对细菌、霉菌、放线菌的典型结构特征等专业知识理解得更深刻,对生物显微镜的使用技能更熟练,有助于提升学生的学习兴趣。

### 4.2 创新课程思政考核新形式

课程思政是以“课程”作为“思政”的载体,探索知识传授、能力培养与价值塑造“三位一体”融合教育的有效途径<sup>[11]</sup>。传统的课程思政教学过程中,主要采用教师发掘思政素材讲授、学生被动接收的思政教育模式,很容易产生说教感,学生容易产生抵触情绪<sup>[12]</sup>。此外,目前生物化工类课程思政建设主要包括分析课程基础、提炼能够融入的思政元素和组织实施<sup>[13]</sup>,鲜见思政的考核评价环节。我们探索性地将发掘思政元素的工作交给学生,以学生为主体,转换角色,激发学生的学习热情。微生物绘画,考察专业知识与试验操作能力基础上,展现个性特点和时代精神风貌。菌种选择上,一部分

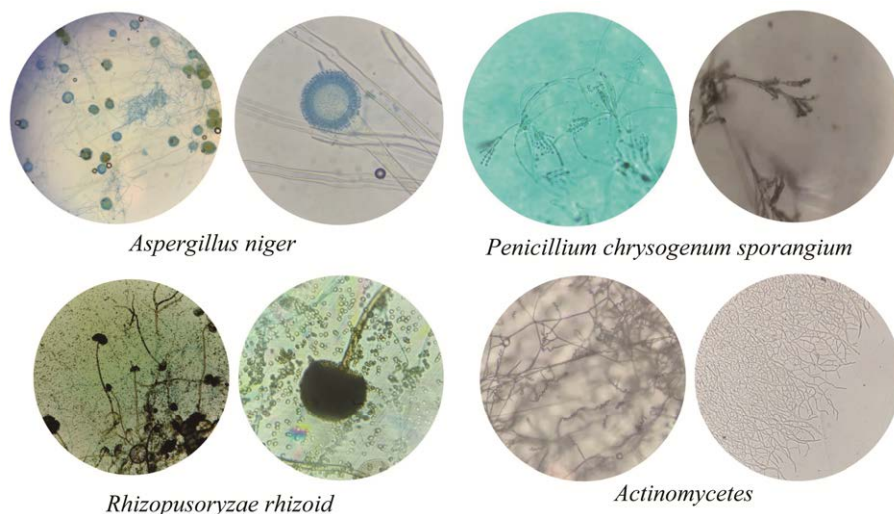


图3 部分显微摄影实验照片

Figure 3 Partial photomicrographs of microorganisms.

采用本学期学习过的细菌、霉菌、酵母、放线菌，并加入科研中常用的表达绿色荧光蛋白、红色荧光蛋白和其他色素的工程菌株。学生们可以根据自己拟创作内容，结合菌株生长特性和菌落形态特点，自由选择菌种。针对微生物生长周期长的特点，在考核周内实验室面向学生开放，为学生提供创作环境和空间。学生们可以在酒精灯创造的一定无菌环境下，用培养皿、接种环或微量移液器吸头和微生物，分别充当“画布”“画笔”和“颜料”进行微生物绘画与创作。

学生们的题材选择丰富多彩，除了 2022 冬奥会等时事热点题材外，还包括崇尚科学、奋发励志、美好校园等。如图 4 所示，冬奥会会徽充分利用了产荧光蛋白细菌和霉菌的特性，以青霉菌营造雪景，用产不同荧光蛋白细菌描绘会徽；天大校徽中字体较小的英文字母都清晰可见，可见学生的平板划线技术熟练。微生物绘画结合了科学、艺术、人文，综合考查学生微生物学基本知识、实验操作的规范性、主题创意等，将知识考核、能力培养与价值塑造紧密结合。

微生物绘画的作品受到中央广播电视总台

的关注，应邀拍摄“[一起向冬奥]冬奥倒计时·看天津大学学生如何用微生物画冬奥！”为冬奥加油的视频，并在中央广播电视总台和新浪视频等播放。此次教学改革得到了主流媒体央广网、人民网、中国科学报、光明日报、光明网、搜狐、腾讯等 16 家以上主流媒体的报道。人民网报道的精选留言中，网友纷纷对此次考核改革进行正面评价，对“寓教于乐”的考核方式表示赞同，如“科学与艺术的结合”等。

#### 4.3 课程问卷调查，挖掘课程持续改进线索

改革后的考核办法能否被学生接受，是否能够增加学生的获得感，需要科学合理的方法进行评价。课程结束后，教学团队制作线上匿名调查问卷，了解学生的学习情况，形成课程教学改革评价闭环。调查问卷发放对象为 2021 年秋季学期开设微生物学实验的 3 个专业 5 个教学班，共计 110 名学生，收回匿名调查问卷 110 份，实现全员覆盖。调查问卷内容涵盖了课程讲解时间、教学模式、课程考核形式和学习效果等，共计 20 个问题。86%和 92%的学生



图 4 部分微生物绘画作品

Figure 4 Partial paintings with microorganisms.

认为课程讲解时间与课程考核形式恰当, 96% 的学生认为线上线下融合教学, 提高了预习和实验学习效果, 拓展了学习内容; 大部分学生认为微生物绘画提高了学习兴趣, 巩固了所学的“无菌”操作意识和技术; 超过 88% 的学生认为自己微生物学实验的学习效果很好或非常好。

在征集的建议中, 有些也反馈了课程需要持续改进的地方, 如增加超净台和显微镜摄影成像设备等硬件设备的要求, 还对微生物绘画菌株提出了更高的要求。这也是微生物教学团队下一步课程改革的重点, 进一步扩大科教融合的深度和学生们的参与度, 定向或者随机突变荧光蛋白, 构建更多表达不同颜色荧光蛋白的工程菌株, 为学生的微生物绘画提供更加丰富多彩的“颜料”, 激发学生的科研热情。关于造成实验结果不理想原因的问卷调查结果显示, 无菌操作意识弱和无菌操作技术不熟练, 是造成实验结果不理想甚至失败的主要原因。针对微生物学实验需要无菌环境的特点, 后续实验课程教学过程中应强化“无菌”概念和规范

的无菌操作技术训练。此外, 在教学方法方面, 需要进一步探索翻转课堂新形式或启发式教学方法, 加强与学生的互动, 以增强学生的注意力和学习热情, 提高课程的学习效果。

## 5 创建微生物学实验室文化, 形成朋辈教育氛围

按照“办大学就是办氛围”的理念, 营造“一草一木皆育人”的环境氛围。立足学生成长成才需求, 发挥实验室空间的育人功能, 我们尝试构建具有微生物学实验特色的实验室文化。将优秀微生物绘画作品整理为助力冬奥、榜样力量、我爱北洋等 11 个主题, 冲洗装裱照片和创作内涵; 同时将实验过程及考核环节中获得的优秀实验结果, 如革兰氏染色、不同霉菌典型形态特点的显微摄影照片也冲洗装裱, 并标注作品内容、作者信息等, 在实验中心走廊集中展示(图 5)。微生物学实验室文化建设, 与学科建设和专业建设紧密结合起来, 使实验室文化



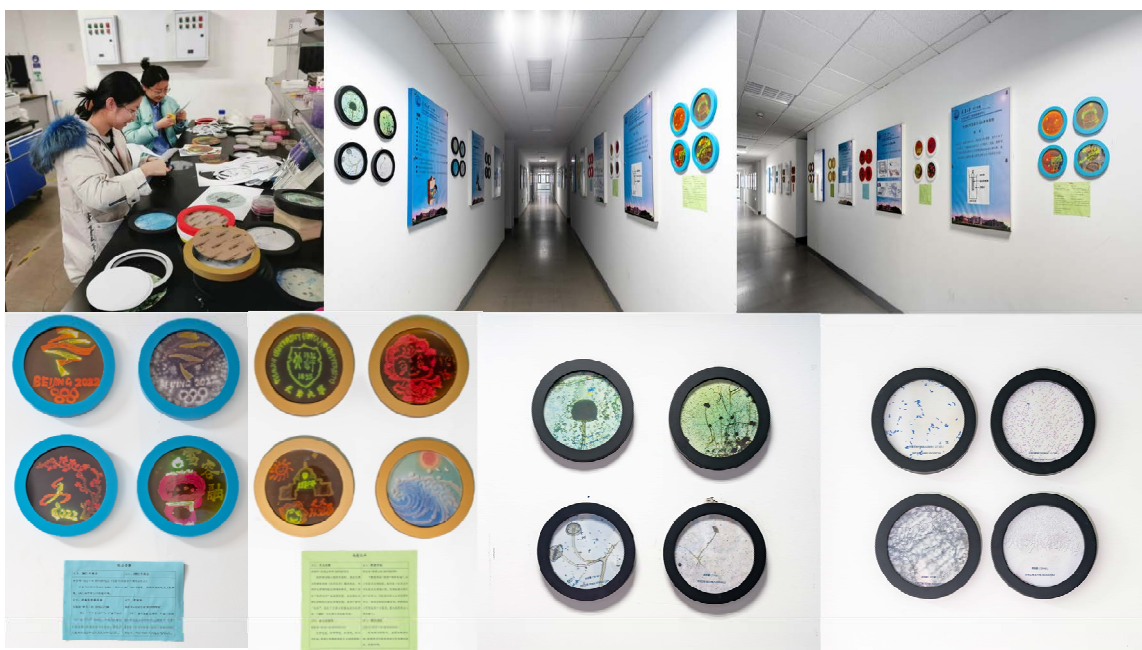


图5 微生物学实验室文化建设

Figure 5 Laboratory culture development of Microbiology.

具备专业特色、学科特色。通过实验室文化的持续建设，可不断积累更多、更优秀的实验作品，学生们在学长学姐的作品中汲取营养，受到启发，形成朋辈教育。

## 6 总结与展望

通过微生物学实验教学团队的努力，基于“三位一体”育人理念在微生物学实验教学中的探索与实践取得了良好效果，学生对微生物学实验学习的积极性和参与度明显提升，学生的学习效率提高，对微生物学基础知识的理解更加深刻，实验操作技能稳步改进，课程思政育人的成效显著。课程改革得到了央视网、人民网、中国科学报等诸多主流媒体的宣传报道和同行的高度评价，而且学生对教师的评价成绩高达 95.52 分，增强了教学团队教师“教书育人”的信念和信心。落实“立德树人”根本任务，微生物学实验教学团队将继续坚持“以学生为

本”，持续改进课程质量，进一步探索科教融合的教学形式，尝试开展微生物绘画竞赛融入课程，基于学生个性特点因材施教，逐步完善微生物学实验的“三位一体”教学模式，从价值塑造、能力培养和知识传授全方位地培养高层次优秀本科生人才。

## REFERENCES

- [1] 殷利眷, 王洪彬, 满淑丽, 滕玉鸥, 罗学刚, 李玉. 微生物学实验课程思政教学改革与探索[J]. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1434-1442  
Yin LJ, Wang HB, Man SL, Teng YO, Luo XG, Li Y. Ideological and political education in Microbiology Experiment: reform and exploration[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2021, 37(4): 1434-1442 (in Chinese)
- [2] 王素英, 张宏宇, 杨晓丽. 项目驱动的实验教学新模式的构建与实践: 以微生物学实验为例[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 702-707  
Wang SY, Zhang HY, Yang XL. Construction and practice of a novel experimental teaching model based on the project actuation: taking Microbiology experiment as an example[J]. Microbiology China, 2018, 45(3):

- 702-707 (in Chinese)
- [3] 刘倩, 魏涛. POPBL 模式微生物学实验课程教学改革探索[J]. 生物学杂志, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1081.Q.20211213.1312.014.html>  
Liu Q, Wei T. The application of problem oriented and project based learning on the teaching reform of experimental course of microbiology[J]. Journal of Biology, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1081.Q.20211213.1312.014.html> (in Chinese)
- [4] 吕志堂, 张秀敏, 赵丽坤, 石楠, 李景晨. 微生物学研究型设计性实验教学改革与实践[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 670-675  
Lyu ZT, Zhang XM, Zhao LK, Shi N, Li JC. Exploration in reform and practice of research-based designing experiments of Microbiology courses[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 670-675 (in Chinese)
- [5] 冯远航, 朱勇, 王智文. 改革微生物学实验教学, 激发学生创新潜力[J]. 微生物学杂志, 2018, 38(3): 122-125  
Feng YH, Zhu Y, Wang ZW. Reformation of microbiology experimental teaching to motivate the students' innovation potential[J]. Journal of Microbiology, 2018, 38(3): 122-125 (in Chinese)
- [6] 戴亦军, 何伟, 袁生, 刘中华, 贾永, 韩管助. “互联网+”背景下“微生物学实验”课程的改革与实践[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 683-690  
Dai YJ, He W, Yuan S, Liu ZH, Jia Y, Han GZ. The reform and practice of the Microbiology Experiment course under the “Internet +” era[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 683-690 (in Chinese)
- [7] 鲁乐乐, 李林珂, 李文华, 郝越, 董海亭, 汤欣妍, 苏春. STEAM 教育理念下“线上+线下”混合教学模式初探: 以微生物学实验为例[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1472-1482  
Lu LL, Li LK, Li WH, Hao Y, Dong HT, Tang XY, Su C. The “online + offline” blended teaching mode under the concept of STEAM education: taking Microbiology Experiment as an example[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1472-1482 (in Chinese)
- [8] 沈萍, 陈向东. 微生物学实验[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2018  
Shen P, Chen XD. Microbiology Experiment[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2018 (in Chinese)
- [9] 杨颖丽, 李家雯, 丁艳平, 杨少斌, 张娅, 伍雨娟, 王飞, 于鹏. “人体解剖及动物生理学实验”教学中科教融合理念的强化与运用[J]. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1425-1433  
Yang YL, Li JW, Ding YP, Yang SB, Zhang Y, Wu YJ, Wang F, Yu P. Strengthening and application of science and education integration in experimental course of human anatomy and animal physiology[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2021, 37(4): 1425-1433 (in Chinese)
- [10] Li YF, Gu Q, Lin ZQ, Wang ZW, Chen T, Zhao XM. Multiplex iterative plasmid engineering for combinatorial optimization of metabolic pathways and diversification of protein coding sequences[J]. ACS Synthetic Biology, 2013, 2(11): 651-661
- [11] 张美玲, 贾彩凤, 杜震宇. 见微知著溶盐于汤: 浅谈高校微生物学课程思政的探索与实践[J]. 生物学杂志, 2019, 36(4): 102-104  
Zhang ML, Jia CF, Du ZY. Application of “ideological and political education” in microbiology[J]. Journal of Biology, 2019, 36(4): 102-104 (in Chinese)
- [12] 杨金水, 袁红莉, 李宝珍. “双一流”建设背景下农业微生物学课程教学改革的探索[J]. 微生物学通报, 2020, 47(2): 641-648  
Yang JS, Yuan HL, Li BZ. Exploration on the teaching reform of Agricultural Microbiology under the background of “double-first-class” construction[J]. Microbiology China, 2020, 47(2): 641-648 (in Chinese)
- [13] 邹雷, 李婷婷, 那立艳, 王红峰. 生物化工类专业“课程思政”建设的设计与实践研究[J]. 大连民族大学学报, 2020, 22(3): 281-284  
Zou L, Li TT, Na LY, Wang HF. The design and practice research on the construction of ideological and political education in the courses of biochemical engineering majors[J]. Journal of Dalian Minzu University, 2020, 22(3): 281-284 (in Chinese)