微生物工程综合实验课程教学模式的构建与创新

张 琇[1*]，刘 秋[2]，李靖宇[1]，屈 欢[1]，许建韧[1]

（1. 北方民族大学生物科学与工程学院 宁夏特殊生境微生物资源开发与利用重点实验室，宁夏 银川 750021；
2. 大连民族大学 生命科学学院，辽宁 大连 116600）

摘 要 微生物工程综合实验课程是国家特色专业和国家一流本科专业“生物工程”的核心课程。课程内容紧密结合国家和地方产业需求，立足生产实际，由 8 个综合研究性实验项目构成。采取以学生自主实验为主，教师引导为辅的项目式与合作式的教学方法，教学过程按照课前动员、方案制定与论证、自主实验与过程管理、实验总结与分析、撰写报告、学业评价等 6 个步骤实施。课程注重培养学生的方案设计、综合实践、问题分析等能力，营造团结协作、共同探索、互帮互助的学习氛围，培养学生具备综合实践创新能力和解决复杂工程问题能力。课程的教学改革成效显著，为综合研究性实验课程的教学改革与创新奠定了基础。本文通过微生物工程综合实验课程教学模式的构建与创新，旨在为相关类型课程教学提供参考。

关键词 实验课程；教学方法；自主学习；教学图谱；微生物工程

中图分类号 Q939.9 **文献标识码** B **文章编号** 1005－7021(2026)02－0129－08

doi：10.3969/j.issn.1005－7021.2026.02.012

Construction and Innovation of Teaching Mode for Microbial Engineering Comprehensive Experiment Course

ZHANG Xiu[1*], LIU Qiu[2], LI Jing-yu[1], QU Huan[1], XU Jian-ren[1]

(1. *College of Biological Science and Engineering, North Minzu UniversityNingxia Key Laboratory for the Development and Application of Microbial Resources in Extreme Environments, Yinchuan* 750021;
2. *College of Life Sciences, Dalian Minzu University, Dalian* 116600)

Abstract The comprehensive experimental course of microbial engineering is one of the core courses of the National Characteristic Major and the National First-class Undergraduate Major in biotechnology. The course content is closely integrated with the needs of national and local industries, based on practical production and scientific problems, and consists of eight comprehensive research-based experimental projects. The teaching process is principally based on students′ independent experimentation, supplemented by teacher guidance, and implemented in six stages: pre-class mobilization, plan formulation and demonstration, independent experimentation and process management, experiment summary and analysis, report writing, and academic evaluation. The course places emphasis on cultivating students′ program design ability, comprehensive practical ability, problem analysis ability, and other pertinent skills. It fosters an environment characterized by cooperative learning, joint exploration, and mutual assistance, thereby enhancing students′ comprehensive practical innovation ability and their capacity to address complex engineering challenges. The teaching reform of the course has achieved marked effect, laying an important foundation for the teaching reform and innovation of comprehensive research-based experimental courses. The objective of this initiative is to serve as a valuable reference point for colleagues engaged in the instruction of associated course offerings. This objective is to be real-

基金项目：宁夏回族自治区级本科教育教学改革研究与实践项目(bjg2021054)；辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(12026293)；教育部产学协同育人项目(231100575062639，231105875243202)；大连民族大学本科教育教学改革研究与实践重大招标项目(ZB202401)；北方民族大学课程思政改革项目(XJSZ202314)

作者简介：张琇 男，教授，博士，博士生导师。主要从事微生物资源开发与利用研究。Tel：0951-2067508，E-mail：zhangxiu101@nmu.edu.cn

* 通讯作者。

收稿日期：2025-08-15

中国知网 https://www.cnki.net

ized through the development and enhancement of a novel, integrated experimental curriculum in microbial engineering.

Keywords experimental courses; teaching mode; self-directed learning; teaching map; microbial engineering

随着社会经济的快速发展,技术更新迭代日益加快,各类工程领域对本科人才质量提出了更高要求[1],综合实践与创新思维的培养已成为高等教育的核心任务[2]。实践教学是培养学生社会责任感、创新精神和实践能力的关键载体。目前,以产教融合与科教融通为引领,以问题导向[3]、项目驱动[4]和案例教学[5]为代表的实践教学方法改革已成为实践教学改革重要的发展方向。综合研究性实验类课程是实践教学体系中的高阶部分[6],通过综合掌握多学科知识,增强探索实践[7],已成为培养学生综合实践能力和创新探索精神的重要环节[8]。然而,目前国内高校的综合研究性实验课程普遍开设较少。究其原因,此类课程具有周期长、内容新、挑战度高的特点,因而对资源配置、教师教学以及学生自主学习等方面均有很高的要求。因此,构建一套科学规范、高效可行且具有推广价值的综合研究性实验课程教学模式已成为亟待解决的重要课题。微生物工程综合实验是北方民族大学国家特色专业和国家一流本科专业建设点——生物工程专业的主干课程,面向本科三年级学生开设,共 120 学时,分两个学期完成。课程组在分析国家发展战略和地方产业需求[9]的基础上,有机融入产教融合和科创并举的新工科教学理念[10],通过整合课程资源、优化课程内容、重构知识体系和持续迭代,形成了八个综合研究性实验项目(表 1)。实验项目紧密结合

表 1 微生物工程综合实验课程实验项目

Table 1 List of experimental projects for microbial engineering comprehensive experimental course

学期		实验项目	实验内容	对接产业	学习目标
第一学期(3 学分,72 学时)	1	酿酒酵母菌的分离筛选及其性能测定	葡萄酒酿酒酵母的初筛、复筛和鉴定;耐酒精度、耐 SO_2 及产酒精、产硫化氢(H_2S)、香气等性能测定;菌株生长曲线测定及其在葡萄汁中的发酵力测定等	葡萄酒	获得高效葡萄酒酿酒酵母或产香气酵母,并能够应用于葡萄酒产业
	2	乳酸菌的分离筛选及其性能测定	乳酸菌的初筛、复筛和鉴定;乳酸菌产酸和生长速率的测定;耐酸、耐胆盐、产乳酸等性能测定;生长曲线的测定及其秸秆发酵力测定等	牛奶、肉牛和滩羊	获得高效乳酸菌,并能够应用于青贮饲料和秸秆饲料发酵
	3	溶菌酶产生菌的分离筛选及其性能测定	溶菌酶产生菌的初筛、复筛和鉴定;生长曲线和产酶曲线的测定;微生物溶菌酶最适温度、pH 值的测定;微生物溶菌酶对大肠埃希菌和金黄色葡萄球菌的抑制作用测定等	牛奶、肉牛和滩羊	获得高效溶菌酶产生菌,并能够应用于“替抗”菌剂的开发
	4	固氮菌的分离筛选及其性能测定	固氮菌的初筛、复筛和鉴定;生长曲线测定;固氮菌对玉米幼苗耐盐促生的影响	经济作物和冷凉蔬菜	获得高效固氮菌菌株,并能够应用于生物菌肥开发的潜力菌株
第二学期(2 学分,48 学时)	5	酿酒酵母的分批发酵与补料发酵	酿酒酵母的摇瓶分批发酵和补料发酵;酿酒酵母的小试规模发酵和补料发酵	葡萄酒	获得酿酒酵母菌株最优摇瓶分批和补料发酵条件;并确立其小试规模的分批与补料发酵工艺
	6	乳酸菌的分批发酵与补料发酵	乳酸菌的摇瓶分批发酵和补料发酵;乳酸菌的小试规模发酵和补料发酵	牛奶、肉牛和滩羊	获得乳酸菌菌株最优摇瓶分批和补料发酵条件;并确立其小试规模的分批与补料发酵工艺
	7	溶菌酶产生菌的分批发酵与补料发酵	溶菌酶产生菌的摇瓶分批发酵和补料发酵;溶菌酶产生菌的小试规模发酵和补料发酵	牛奶、肉牛和滩羊	获得溶菌酶产生菌最优摇瓶分批和补料发酵条件;并确立其小试规模的分批与补料发酵工艺
	8	固氮菌的分批发酵与补料发酵	固氮菌的摇瓶分批发酵和补料发酵;固氮菌的小试规模发酵和补料发酵	经济作物和冷凉蔬菜	获得固氮菌摇瓶分批和补料最优发酵条件;并确立其小试规模的分批与补料发酵工艺

注:实验项目一般以 3 ~ 5 人实验小组为单位。实验样品采自全国各地的特殊生境,如特色水果(葡萄、枸杞等)、传统发酵制品(奶酪、自制酸奶)以及作物根际与盐碱土壤等

中国知网 https://www.cnki.net

区域“六特”产业(枸杞、葡萄酒、肉牛、牛奶、滩羊和冷凉蔬菜)发展需求,采用项目式[11]和案例式[12]教学方法,引导学生自主学习、自主实践和自主创新[13],培养学生的学以致用能力和解决复杂工程问题的创新能力。经过 17 年的持续建设,本课程在学生自主实践能力与创新思维培养方面取得了显著成效。作者以参赛作品《构建“产教融合、科创并举”教学模式,培养实践应用创新人才——新工科背景下“微生物工程综合实验”课程教学设计创新》参加第三届全国教师教学创新大赛,荣获新工科正高组二等奖。为进一步推广本课程的教学理念与实践经验,本文系统构建了一个多元化、立体化的微生物工程综合实验课程教学模式图谱,清晰呈现了课程在培养学生任务执行能力、创新素养及达成教学目标等方面的整体设计框架,以期为开展相关教学改革提供参考与借鉴。

1 课程目标与课前引导

课程目标为引导学生筛选出活性高且具有应用潜力的功能微生物菌株,培养具有创新精神与实践能力的微生物工程人才。授课前,教师阐释实验项目设定的依据和意义(表 1、图 1),并将其有机融入思政元素(表 2)。例如项目 1(酿酒酵母菌的分离筛选及其性能测定)以贺兰山东麓葡萄产业为例,分析我国葡萄酒产业面临的葡萄酒酿酒酵母过度依赖进口,核心菌种成为制约产业发展的“卡脖子”问题。项目 2(乳酸菌的分离筛选及其性能测定)让学生了解乳酸菌在提升青贮发酵饲料品质与改善葡萄酒酿造过程中的苹果酸-乳酸发酵环节上发挥的重要作用,但目前常见的乳酸菌同质化严重且来源单一。项目 3(溶菌酶产生菌分离筛选及其性能测定)让学生了解微生物溶菌酶制剂的开发是响应国家抗生素减量使用政策,急需开发“替抗”产品,引领绿色生物制剂研发;项目 4(固氮菌的分离筛选及其性能测定)旨在减少化肥使用,改善土壤,提高作物质量,服务绿色生态农业,推动可持续农业技术创新。课程将产业痛点分析及其解决措施与课程思政相融合[14],通过展示教师团队及往届毕业生取得的研究成果[15],有效激发学生的社会责任感、科技报国使命和家国情怀[16]。

表 2 微生物工程综合实验课程思政案例

Table 2 Cases ideological and political education in microbial engineering comprehensive experimental course

思政案例	思政维度	思政元素	知识点(节选)
社会责任	社会需求	溶菌酶产生菌的分离与筛选	溶菌酶具有广谱抗菌、无药物残留且无耐药性的独特优势,有望替代传统药物,更在食品安全、生产绿色肉蛋奶产品等方面发挥着重要作用
	环境保护	固氮微生物的分离与筛选	固氮微生物肥料是以固氮微生物为核心制成的环境友好型生物肥料。对固氮微生物肥料的开发利用,有助于减少化肥用量、提高作物产量,以及在促进农业可持续发展和环境保护方面发挥作用
	产业需要	葡萄酒酿酒酵母的分离与筛选	刘延琳教授团队研发的 2 株本土葡萄酒酵母菌种及其产业化成果实现了我国本土葡萄酒酵母从 0 到 1 的突破,解决了我国葡萄酒产业长期以来依赖进口酵母存在的“卡脖子”技术隐患与产业风险,为我国葡萄酒产业的“微生物种业”安全提供了技术保障
专业情怀	专业自信	微生物资源开发	微生物资源开发与应用领域正日益受到重视。微生物在医药、农业、工业、环保等领域具有广泛的应用价值,其资源的开发与利用将对未来的经济社会发展产生深远影响
	乡村振兴	乳酸菌在青贮饲料发酵剂中的应用	微生物发酵技术将秸秆转化为优质饲料,提高消化率和营养价值,解决农村饲料短缺问题,降低养殖成本,促进农牧循环,助力农民增收致富,为乡村振兴提供绿色技术支撑
	家国情怀	功能微生物的应用	我国科研团队探索共生固氮菌与宿主植物间相互作用的遗传学关系,为中国近代分子遗传学的发展做出了重要贡献。如著名微生物生化和分子遗传学家沈善炯,响应祖国召唤,不顾阻挠,毅然归国,将对祖国的忠诚、对人民的热爱,融入无怨无悔、兢兢业业的科学事业中
科学家精神	创新精神	青霉素的发现	1928 年英国细菌学家亚历山大·弗莱明在实验中发现,被青霉菌污染的培养皿中,葡萄球菌被抑制生长,他敏锐地抓住这一偶然现象,深入研究,最终发现青霉素,开创了抗生素时代,拯救了亿万生命
	批判精神	自然发生论	路易斯·巴斯德用著名的“鹅颈瓶实验”,证明了微生物不是自然发生的,而是来自空气中的微生物种子,彻底驳斥了自然发生说。他还发明了加热杀死饮料中腐败微生物的方法(巴氏消毒法),解决了当时酒类和醋的变质问题
	求实精神	崇尚科学,坚持真理的求实精神	中国首位诺贝尔生理学或医学奖获得者、共和国勋章获得者、药学家屠呦呦在青蒿素研究中历经 190 次失败仍坚持不懈,最终发现有效提取方法

中国知网 https://www.cnki.net

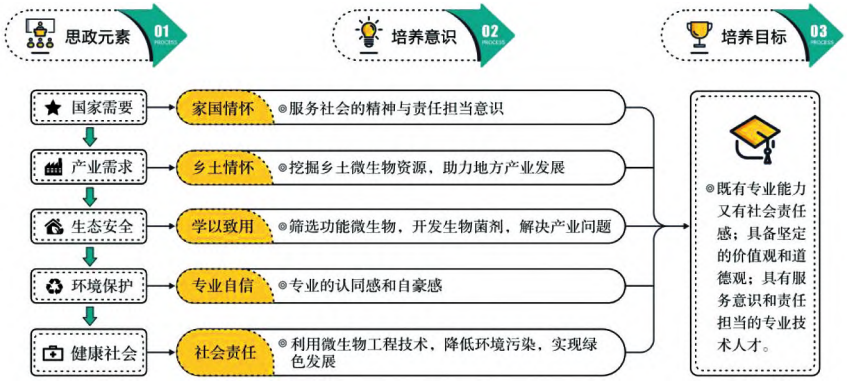


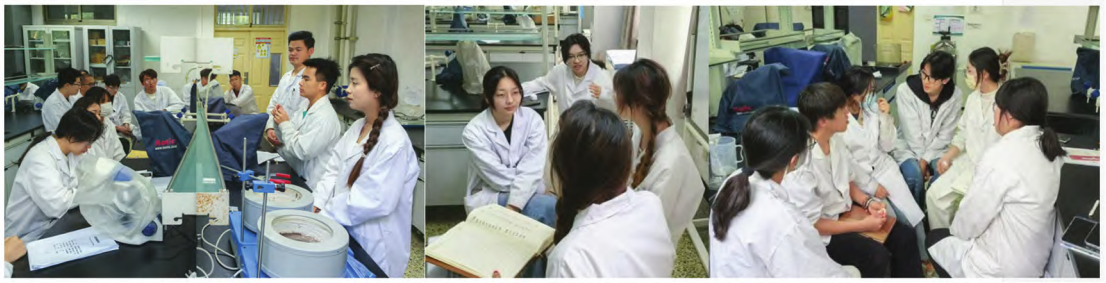
图 1 融入思政元素的课前动员

Fig. 1 Pre-class mobilization diagram integrating ideological and political elements

2 实验方案设计与论证

开展实验前，将学生分为若干实验小组，每组 3～5 人[17]。实验小组根据研究兴趣可自主选择实验项目，并针对实验项目进行分析和讨论，明确实验目标和任务。例如，以项目 1 为例，当前我国多数企业使用的优质葡萄酿酒酵母菌中，超过 70% 依赖进口，且菌种来源高度相似。这一现状直接导致葡萄酒同质化现象严重，产品差异化特征难以凸显，进而使整个行业的发展面临严峻挑战。基于产业对特色化、差异化葡萄酒酿酒酵母菌的实际需求，自主筛选特色菌种，开发多样化的葡萄酒产品是当前的重点任务之一。明确该实验目标和任务后，通过参考教学讲义，在知网上查阅相关文献资料，以商业葡萄酒酿酒酵母菌为对照，从香气、产酒精能力、低产 H_2S 等方面设定酿酒酵母的筛选条件，并制定实验方案。

为确保实验方案的科学性、可行性，组织实验方案论证会。实验小组通过 PPT 汇报实验方案[18]，授课教师对实验方案进行点评[19]，实验小组互评[20]。方案论证聚焦于如何能够筛选获得发酵性能优越，甚至超越商业葡萄酒酿酒酵母菌，引导和启发学生思考核心问题：如何高效、快速筛选出足够数量的酵母菌？如何从这些菌株中筛选出性能优良的菌种？如何通过酿造实验验证其可靠性？大多数学生能基于理论联想到从葡萄表皮筛选酵母菌。通过分享往届学生从苹果皮成功筛选出酵母菌的先例，启发他们认识到酵母菌广泛存在于各类酸甜环境中。进而鼓励学生将目光投向桑葚、枸杞乃至家乡的特色水果，以扩大筛选范围，增加获得特殊优良菌株的机会。实验方案论证会不仅是理论知识的应用展示，更是对方案严密性、科学性与可行性的综合检验。实验小组根据教师点评与论证意见，围绕取样、富集、筛选、性能测定及功能验证等关键环节，对实验方案进一步优化与完善（图 2）。在方案制定与论证环节，引导学生对方案的可行性与科学性进行深入思考与探讨，既强化了其思辨能力与创新意识，也锻炼了语言表达、逻辑思维与学术交流能力（图 3）。



方案汇报与论证　　组内交流与讨论　　组间交流与讨论

图 2 实验方案设计与论证课堂效果

Fig. 2 Design and demonstration for the experiment plans completed by students in the classroom

中国知网 https://www.cnki.net

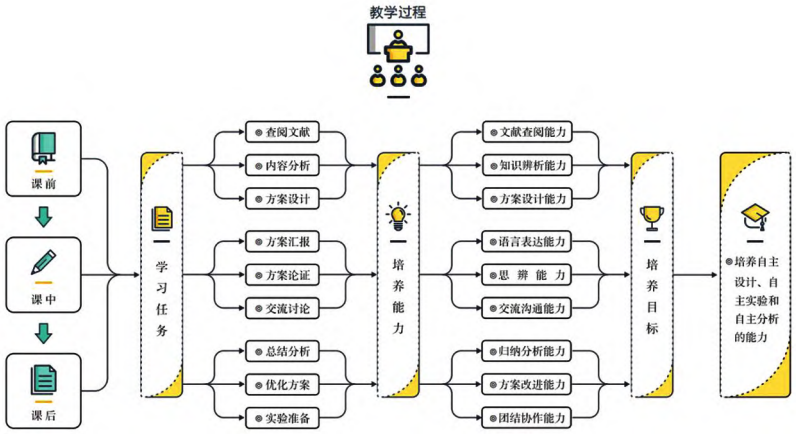


图 3　实验方案制定与论证

Fig. 3　Design and demonstration diagram of experimental plan

3　实验实施与过程管理

教师引导实验小组开展模拟实验与实操演练，确保每名学生均能熟练掌握从基础操作到核心实验的全流程技能，包括器皿包扎、灭菌、培养基配制以及取样、稀释、富集培养、菌种分离纯化与保藏等。实验项目筛选菌种周期通常需要 1 ~2 周，涉及取样、分离纯化、复筛、连续传代、性能测定及菌种鉴定等多个关键步骤。实验期间，要求学生及时将实验记录，包括实验数据、图片等资料上传至课程微信群、QQ 群或邮箱，实现实验数据的实时共享与备份。学生需详细记录实验现象、操作细节和实验结果等，作为后期实验结果分析的重要依据。此阶段重点培养学生的过程管理能力、实验观察能力以及问题分析等能力，帮助学生养成严谨的实验习惯和良好的科研态度(图 4)。

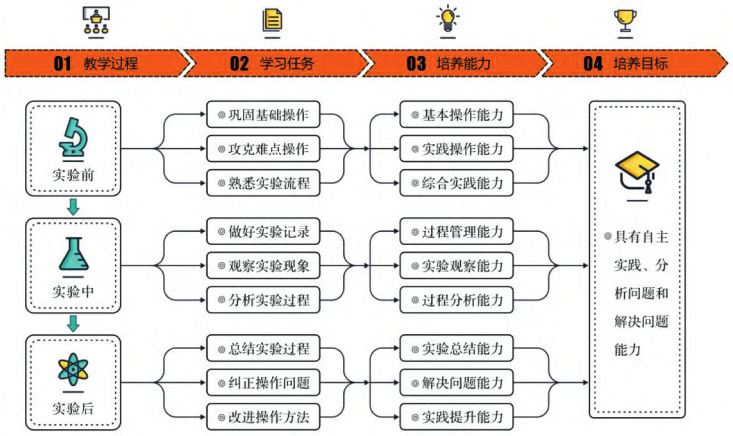


图 4　实验实施与过程管理

Fig. 4　Diagram of experiment implementation and process management

4　实验结果分析与总结

实验结束后，实验小组进行系统的总结汇报。汇报内容主要包括以下三个方面。①实验材料与方法。以项目 1 取样环节为例，筛选葡萄酒酿酒酵母时明确所选样品的来源、种类、所在生态位点、取样时间及筛选方法等。②实验结果分析。从获得的功能菌如酿酒酵母菌的菌体特征、生长周期、产酒精能力、香气等方面，结合相应的数据图表、过程照片等对实验结果进行深入分析。假设实验结果未达到预期目标，如筛选的酿酒酵母产酒精能力较好，但葡萄酒口感一般。接下来引导学生探讨改进方法和实验步骤等，有

中国知网 https://www.cnki.net

以下几种方案：a. 继续筛选一种产酒精能力强且具有良好香气的酵母菌株；b. 将产香酵母菌与产酒精能力强的酵母组合发酵；c. 通过将不同品种的葡萄组合，改善葡萄汁的综合香气味道，再用该酵母菌发酵葡萄酒。实验小组改进实验方案，制定下一步工作计划。③实验结果总结。学生从实验方案设计的科学性、操作步骤的规范性、实验过程的严谨性以及结果分析的逻辑性等维度展开深度反思。并邀请产业教师进课堂，针对学生的实验结果，提出与产业对接的可行性，对于菌种是否具有实际应用价值或商业价值等进行评价[21]。这一过程不仅强化了学生的数据分析与总结能力，还培养了学生批判性思维和学术交流的能力（图 5）。



图 5 实验结果总结与分析

Fig. 5 Summary and analysis diagram of experimental results

5 报告撰写与综合能力提升

实验结束后，每名学生均需独立完成实验报告。报告应完整保留原始实验记录，详细记录采样位点、菌种筛选、性能测定等关键步骤，并附实验数据、图表及照片等实证材料，确保实验过程的可追溯性与可重复性。同时，需对实验方案、记录与结果进行关联分析，总结实验中的经验与不足。报告应真实反映学生的实验体会、认知思考与创新见解等。教师对学生实验报告进行详细反馈[22]，针对共性问题进行集中讲解，对个性问题进行单独指导[23]。同时，结合实验报告持续优化实验教学内容，改进教学方法，从而形成“实验-反馈-改进”的良性循环（图 6）。

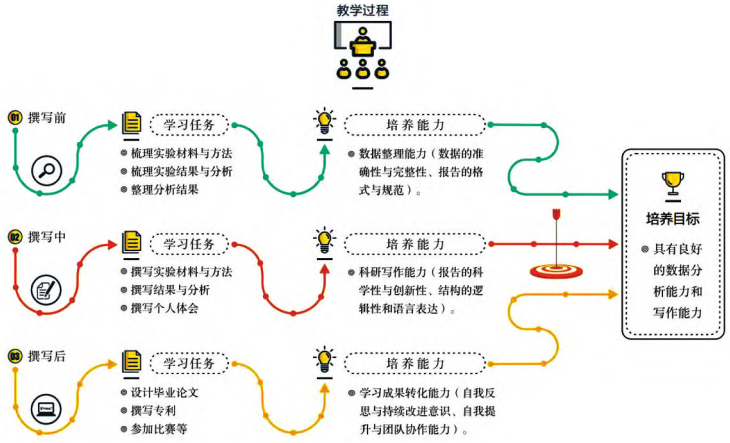


图 6 实验总结报告要素

Fig. 6 Diagram of elements for experimental summary report

中国知网 https://www.cnki.net

6 学业评价体系构建

课程考核方式采用过程性评价(70%)和终结性评价(30%)相结合的多元化评价方式[24]。①过程性评价具体包括综合表现(15%)、实验设计(15%)、实操能力(30%)、实验记录(15%)、实验总结(25%)。每个环节均设置详细的考核观测点和评分标准。②终结性评价采取口试+实操的方式,重点考核学生对实验原理、实验方法和实验结果的理解和思考程度(50%),以及对实验的基本操作、关键技术及设备操作等的掌握和运用(50%),全面评估学生的实验能力和综合素质[25]。这种多样、多元化的考核方式,不仅能够客观反映学生的实验技能掌握程度,还能全面评估学生的科研素养和创新能力,为培养高素质应用创新型人才提供保障(图7)。

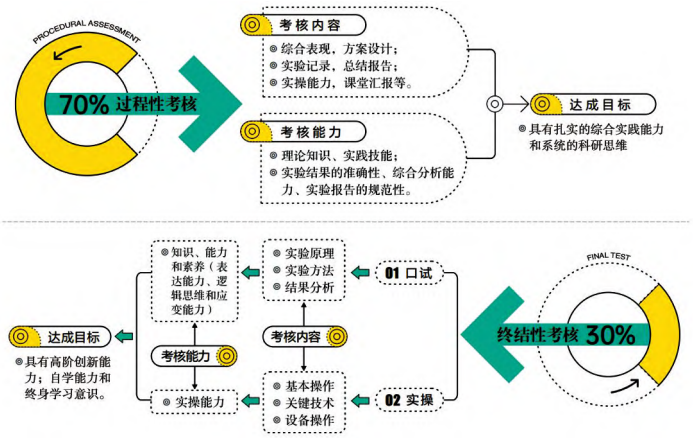


图7 学业评价体系构建

Fig. 7 Diagram of academic evaluation system

7 教学效果评估与分析

7.1 学生科研成果丰硕,创新实践能力跃升

课程紧密对接产业实际和行业需求,显著增强了专业知识的实用性和应用性,有效激发了学生的学习兴趣。学生的文献研读、方案设计、综合实践等高阶能力显著提升,不仅融会贯通了前期知识体系,更为后续创新创业训练及毕业论文(设计)的开展奠定了坚实基础。近三年,宁夏特色微生物资源开发与利用科技创新团队指导本科生发表论文7篇(其中SCI一区收录1篇,核心期刊6篇),获评校级优秀毕业论文6篇。学生积极参与学科竞赛及创新项目,获国家级一等奖等奖项7项、省级一等奖等奖项9项;主持国家级大创项目4项、省级项目6项;参与教师科研项目,助力企业成功开发产品9项,并获得宁夏科技进步奖二等奖1项。

7.2 团队协作能力提升,综合素养增强

教学改革显著加强了学生的自主实践、团队协作、系统分析、创新思维、应用能力及服务意识。学生综合素养普遍提升,对课程效果的满意度达95%以上。以团队形式参加中国国际大学生创新大赛、全国大学生生命科学竞赛等学科竞赛的学生达70%以上;参与教师科研项目的学生达到80%以上。通过小组项目、专题研讨与实验协作,使学生的沟通协调、解决问题及团队合作能力得到系统性强化。学生高度认同交流、讨论与协作对自身学习成长不可或缺,使其能更从容地应对复杂问题的挑战。

7.3 以评促学机制形成,学习内驱力激发

课程通过融合多元过程性评价与实效导向的终结性评价,有效调动了学生的学习自觉性与主动性,实现从被动接受向主动探究的根本转变。过程性评价侧重于学生在综合表现、方案设计、实验操作、过程记录、问题思考、团队协作及总结汇报等关键环节中的实际表现;终结性评价则突破传统笔试与实验报告的局限,采用“口试+实操”的复合考核方式,重点考查学生的实践操作能力以及对理论知识的理解与应用水平。每次考核

中国知网 https://www.cnki.net

后,教师不仅给出评价结果,更提供个性化反馈,明确后续提升方向。该评价体系在增强学生学习动力的同时,有力促进了其自主探究能力与批判性思维的培养,引导学生不断总结与改进。

8 结 语

课程设立八个综合研究性实验项目,教学过程分六个环节,包括课前动员、方案制定与论证、自主实验与过程管理、实验总结与分析、撰写报告、学业评价等,通过 36 项教学任务,培养学生掌握 24 项关键能力,实现 7 个核心学习目标。结合“过程性评价 + 终结性评价”多元考核体系,构建了系统完整的微生物工程综合实验课程教学模式。该模式显著增强了学生的工程实践能力与复杂问题解决能力,为培养契合现代生物工程产业需求的高素质应用型人才提供了有效支撑。同时,也为同类工程实验课程的教学改革提供了可借鉴的实践路径。

参考文献:

[1] 张琇, 刘雅琴, 倪志婧. 民族院校生物工程专业微生物实验教学体系的构建与实践[J]. 微生物学通报, 2010, 37(11):1701-1704.

[2] 郭彤彤, 刘禹辰, 崔红, 等. 成果导向教育理念下大学生创新能力培养的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2025, 52(1): 476-492.

[3] 伍珍,陈怀侠. 以问题为导向的分析化学设计性实验教学研究与实践[J]. 大学教育, 2025,41(5):77-81.

[4] 张爱敏,王桂龙,高学平,等. 线上线下项目驱动式实验教学模式改革与实践[J]. 实验室科学,2024, 27(6):71-75.

[5] Zhao LY, Dai XH, Chen SY. Effect of the case-based learning method combined with virtuareality simulation technology on midwifery laboratory courses: Aquasi-experimental study[J]. International Journal of Nursing Sciences, 2024,11:76-82.

[6] 张琇, 王薇, 任贤, 等. 以科研促进生物工程专业实践教学模式的构建与实践[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(3): 132-134.

[7] 张美玲,谭红岩能力图谱在微生物学及实验教学效果评价中的应用及实践反思[J]. 生物学杂志,2025,42(4):1-4.

[8] 陈俊臣, 郭秉淑, 胡彪, 等.“三位一体”的“专业基础综合实验”课程改革探索[J]. 教育教学论坛, 2024, 43:57-60.

[9] 张琇, 屈欢, 李敏, 等.“微生物学综合研究性实验”课程教学模式构建与实践[J]. 教育教学论坛,2022(48):94-97.

[10] 王浩绮, 刘兆星, 江凌. 新质生产力视域下打造微生物制造产教融合人才培养模式的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2025, 52(5): 2359-2367.

[11] 顾赛汝, 刘璐, 杨乐, 等. 高师院校“微生物学”项目式教学的创新与实践:以科普项目为例[J]. 微生物学通报, 2025, 52(3): 1351-1361.

[12] 张琇, 朱娟娟, 刘雅琴, 等. 新工科背景下综合性实验课程的学业评价改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2023, 4: 103-108.

[13] 顾欣, 王新谱, 李培富, 等. 基于学习体验重构的高校实验教学模式探索:以农业微生物学实验教学为例[J]. 高教学刊, 2025,8(15):111-114.

[14] 李瑞华, 岑辉, 葛新锋. 创新设计与实践课程研究性教学改革设计与实践[J]. 高教学刊, 2025,11(5):132-135, 140.

[15] 许波, 丁俊美, 赵三军, 等.“微生物学”课程思政教学模式探索与实践[J]. 微生物学杂志, 2025,45(2):130-137.

[16] 王华, 张鹏娟, 孙蕾,等. 新工科视域下食品微生物检验课程思政建设的理论与实践探索[J]. 微生物学通报, 2025, 52(4): 1903-1914.

[17] 陈杰, 黄鑫. 研究性实验教学中学生分组策略的研究[J]. 实验室科学, 2020, 23(2):229-232.

[18] 南亚萍, 袁林江, 张海涵. 基于工程认证理念的“环境工程微生物学”多元混合式教学改革及效果:以课程目标达成度评价[J]. 微生物学通报, 2025, 52(3): 1337-1350.

[19] 王茹, 刘秋, 陈超, 等. 基于虚拟教研室共享平台的微生物学开放性课程资源的重构[J]. 微生物学杂志,2025, 45(1):132-138.

[20] 郭跃萍, 常彦龙, 冯庆华,等.“大组讨论、小组实验”化工专业实验的新思路:以甲醇制汽油实验为例[J]. 大学化学, 2022, 37(2):94-100.

[21] 周翠霞, 孔瀛, 孟盼盼, 等.“大班教学、小班辅导”教学模式在发酵工程课程中的应用:以泰山学院生物与酿酒工程学院为例[J]. 微生物学杂志, 2024, 44(5):120-128.

[22] 张琇, 倪志婧, 王薇, 等. 综合研究性实验项目的教学设计与过程管理[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2):159-161.

[23] 倪志婧, 马文平, 张琇. 项目教学法在工业微生物实验课程教学中的应用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(30):15057-15058.

[24] 阎松, 郭海燕, 柳志刚, 等. 基于工程教育认证的环境工程微生物学课程目标达成度评价分析[J]. 微生物学杂志, 2024, 44(6):124-128.

[25] 王奎洋, 唐金花, 张兰春, 等. 基于评价反馈的混合式一流课程闭环建设探索[J]. 高教学刊, 2025, 11(5):37-40.

中国知网 https://www.cnki.net