

文献驱动的混合式教学模式构建与实践

李萍 陈家瑞 金文杰 何涛*
(青海大学, 生态环境工程学院, 西宁 810016)

摘要 该文聚焦青海大学生物工程与生物技术专业细胞工程课程及实验教学改革, 针对传统教学中存在的知识更新滞后于科技发展、教学模式单一难以激发学生主动性、实验教学与区域特色产业结合度不高等问题, 以“知识-能力-素质”三位一体为导向, 特别结合青藏高原特有的生物资源与生态环境, 构建了多元化改革体系。改革涵盖更新教学理念与模式、优化教学内容、丰富教学资源、创新实验教学及完善考核机制等方面。具体包括引入线上线下混合式教学、科技论文研读、分组竞赛、虚拟仿真与实操结合等举措, 并融入藏羊克隆、高原特色物种培养等地域相关内容。通过多元化考核与问卷调查评估改革成效, 结果显示学生对各项改革措施支持率超86%, 整体满意度达94.55%, 学生在知识掌握、实践技能、创新思维及地方服务意识等方面均取得显著提升。该教学模式将为同类课程教学改革提供参考。

关键词 细胞工程; 教学改革; 文献驱动; 混合式教学; 分组竞赛; 教学成效

Construction and Practice of a Literature-Driven Blended Teaching Model

LI Ping, CHEN Jiarui, JIN Wenjie, HE Tao*

(School of Ecology and Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract This paper focuses on the reform of the “Cell Engineering” course and experimental teaching within the Bioengineering and Biotechnology programs at Qinghai University. In response to such issues in traditional teaching as the updating of knowledge lagging behind advances in science and technology, the monotonous teaching model failing to stimulate student initiative, and the inadequacy of integration between experimental instruction and regional characteristic industries, this study adopts a “knowledge-ability-literacy” integrated approach. It specifically incorporates the unique biological resources and ecological environment of the Qinghai-Tibet Plateau, a diversified reform system has been established. The reforms encompass updating teaching philosophies and models, optimizing course content, enriching teaching resources, innovating experimental teaching, and improving assessment mechanisms. Specific measures include introducing blended online and offline teaching, scientific paper reading and discussion, group competitions, and combining virtual simulation with hands-on practical operations. Regional elements such as Tibetan sheep cloning and the cultivation of plateau-specific species are also integrated. The effectiveness of the reforms was evaluated through diversified assessments and questionnaire surveys. The results show that student approval rates for various reform measures exceeded 86%, with overall satisfaction reaching 94.55%. Significant improvements were observed in knowledge acquisition, practical skills, innovative thinking,

收稿日期: 2025-12-04 接受日期: 2026-02-27

青海大学教学名师培育计划、青海省省级“四新”研究与改革实践项目(批准号: SJSX-08)、青海大学2026年度本科一流核心课程建设项目(批准号: YLHX-202603)和青海大学2026年度实验(实践)类课程建设项目(批准号: SYSJ2026-07)资助的课题

*通信作者。Tel: 13897254775, E-mail: hetaoxn@qhn.edu.cn

Received: December 4, 2025 Accepted: February 27, 2026

This work was supported by the Qinghai University Distinguished Teacher Cultivation Program, the Provincial “Four New” Research and Reform Practice Project of Qinghai Province (Grant No.SJSX-08), the 2026 First-Class Undergraduate Core Curriculum Construction Project of Qinghai University (Grant No.YLHX-202603), and the 2026 Experimental (Practical) Curriculum Construction Project of Qinghai University (Grant No.SYSJ2026-07)

*Corresponding author. Tel: +86-13897254775, E-mail: hetaoxn@qhn.edu.cn

and awareness of serving local development. This reform provides a reference for similar course teaching reforms.

Keywords Cell Engineering; teaching reform; literature-driven; blended teaching; group competitions; teaching effectiveness

细胞工程课程是生物技术和生物工程两个专业的核心课程^[1],在人才培养过程中显得至关重要,对学生专业成长和未来发展发挥不可替代的作用。它是以细胞或组织为对象,应用生命科学理论并借助工程学原理与技术,有目的地利用或改造生物遗传性状以获得特定的细胞、组织产品或新型物种,最终服务于人类生产生活的研究领域^[2]。在理论层面,细胞工程课程系统阐述细胞培养、融合与细胞核移植等核心技术原理与方法,帮助学生深化对细胞生物学理论的理解,促进生物化学、分子生物学等基础知识的融会贯通,从而构建完整的知识体系;在实践层面,细胞工程实验为学生提供动手操作的机会,使其熟练掌握各类细胞工程技术的实验流程与操作技巧,并有效锻炼其实验设计、动手实践、数据记录与分析等综合能力。此外,该课程及实验还注重培养学生严谨求实的科学态度与开拓创新的科学思维:学生通过严格遵守操作规程、客观记录与分析数据,逐步养成实事求是、细致严谨的科研习惯;同时,接触前沿领域与技术进展,持续激发好奇心和求知欲,进而培育自身创新思维与探索精神。

尽管细胞工程课程在人才培养中占据核心地位,但国内高校的传统教学模式仍存在明显短板,尤其在结合地域特色、培养学生实际问题能力方面存在不足。具体而言,其局限性体现在以下几个方面。(1) 知识体系更新缓慢,与前沿及地域需求脱节:教学内容过度依赖经典教材,难以涵盖细胞工程领域的快速进展,更缺乏对青藏高原特有物种相关研究成果与技术的整合,导致学生所学知识与地方生物产业发展需求存在断层,难以建立服务地方经济的意识。(2) 教学方法单向灌输,抑制自主探索与创新思维:以教师课堂讲授为主的“填鸭式”教学,使学生处于被动接受状态,难以激发其针对高原特殊环境下的生物学问题(如高寒缺氧适应性)进行主动思考和探索的兴趣,学生批判性思维、创新能力及科研素养的培养受限;(3) 实验教学依附教材,脱离真实科研与区域应用场景:实验内容多为验证性、程序化操作,学生机械执行步骤,缺乏实验设计与独立思考的训练,实验材料与设计普遍通用化,未能有

效融入高原特色物种的培养、保育或开发利用等实际情境,使得实践教学与区域科技需求、就业导向关联不强,学生解决本土生物技术问题的能力提升有限。

因此,亟需加快细胞工程技术类人才培养模式的改革,创新教学模式与课程体系。通过构建更高效的教育模式提升教学质量,使学生既能扎实掌握细胞工程关键技术的基本理论与方法,又能及时吸纳学科发展中的新技术与新方法,从而切实提升创新能力^[3]。为此,本课程以知识、能力、素质三位一体为导向,围绕人工繁殖、新品种培育和生物制品生产三大主线,系统构建学生在动植物细胞与组织培养、细胞融合、转基因技术等方面的知识体系。通过教学改革与资源整合,重点强化学生解决实际问题的能力、科研素养与工程伦理意识,着力培养具有家国情怀、社会责任感和创新精神的新工科人才。同时,在整个教学过程中融入青藏高原特色研究内容,引导青海大学学生践行“志比昆仑,学竞江河”的校训,树立学以致用、服务地方与国家发展的坚定信念。

本研究以成果导向教育(outcome-based education, OBE)理念为核心理论指导。OBE是一种以学生最终学习成果(产出)为中心的反向教学设计模式,强调教育过程应首先明确学生毕业时应达成的能力目标,进而反向设计课程体系、教学内容和评估方式,并通过持续改进确保目标达成。其核心“反向设计”思路与“学生中心、产出导向、持续改进”原则,为本研究从重构教学目标、整合教学资源到改革实验与实践教学环节提供了系统化的设计框架。

1 国内教育改革的实践成果与启示

国内高校在细胞工程课程与实验教育改革方面积极探索实践,取得了系列成果。在教学方法改革上,不少高校引入案例教学法^[4-6]和项目驱动教学法^[7-8]。案例教学法借助细胞工程实际案例引导学生分析背后的技术原理和讨论实验方案等,着重培养学生分析和解决实际问题的能力,比如在讲述细胞融合技术时引入单克隆抗体制备的经典案例,引导学生在

真实场景中理解技术的应用价值,从而将抽象原理知识转化为解决实际生物学问题的能力。项目驱动式教学法以项目为导向,学生通过综合运用多种知识和技能来解决一个项目中存在的复杂综合性问题,进而培养学生的团队合作意识与创新能力^[9]。

国内细胞工程课程与实验的教学改革实践,为我们提供了如下启示。(1) 课程内容需与时俱进。应紧密追踪细胞工程领域的前沿动态与研究成果,及时更新教学内容,以培养学生的前沿视野与创新能力。(2) 教学方法应多元创新。可综合采用线上线下混合式教学(如MOOC资源与线下深度答疑相结合)、案例式教学、项目驱动及文献研讨等多种模式,激发学生兴趣,增强学生自主学习的能力。(3) 实践环节要持续强化。必须加强理论教学与实验、实践的衔接,通过系统化的动手训练,切实提升学生的实践能力与就业竞争力。(4) 目标重在综合能力培养。最终应着眼于培养学生紧跟学科发展的前沿意识、解决复杂问题的创新能力以及终身学习的自主性,使其更好地适应未来科技发展与产业需求。

2 细胞工程课程理论教学改革举措

2.1 更新教学模式,使教学内容系统化

在教学理念方面,坚持以学生能力提升为导向,通过整合对分课堂、文献阅读、案例分析、讨论式教学等多元模式,实现“教师精讲+学生内化+课堂互动”的有机统一,从而有效提升学生的自主学习与知识整合能力。

为有效开展细胞工程教学,使其教学内容系统化,其教学设计主线如表1所示。

2.2 引入慕课资源,开展线上线下混合式教学

为了深化学生对知识的理解与掌握、提升其自主学习能力并适应信息时代学生的学习特点,本课程在细胞工程课程教学中引入细胞工程MOOC资源,开展线上线下混合式教学,以拓展教学时空,增强教学灵活性与资源可及性^[10]。

(1) 课前准备: 教师于开课前系统介绍课程目标、内容结构、考评方式与实际应用,帮助学生建立学习框架,明确课程价值,激发其学习主动性;(2) 线上学习: 学生自主观看东北大学细胞工程MOOC资源,按个人进度完成学习,并记录疑难问题。教师通过线上平台收集学生反馈,并以此为依据,针对性设计线下教学内容。(3) 课堂互动: 教师结合教学内容难度、学生线上学习数据与常见问题,采用集中讲授与个别辅导相结合的方式,重点突破学习盲点与难点,帮助学生巩固理论、衔接实践。(4) 巩固提升: 教师借助“雨课堂”等工具发布随堂检测题目,学生在线完成测试并进行总结复习,及时巩固所学,实现知识内化与能力提升。

线上线下混合式教学模式的实施,有效提升了学生的学习效果。该模式支持学生根据个人的学习节奏和需求自主安排学习,有利于培养其自我管理能力与自主学习意识。通过线上资源学习和线下针对性答疑相结合,学生能够更深入地理解并掌握知识,从而提高学习效率和质量。此外,丰富的学习资

表1 细胞工程教学内容设计主线

Table 1 Instructional design framework of the Cell Engineering curriculum

主要知识点 Key knowledge points	教学设计主线 Instructional design framework
细胞工程介绍	定义→研究内容→发展历程→应用领域
细胞工程技术基础	设备支撑→无菌保障→培养基基础
植物组织培养的理论基础及离体繁殖技术	理论基础(全能性、脱分化、再分化)→核心技术(离体繁殖)→应用与问题防控
植物脱毒技术、花药/花粉培养、胚胎培养	技术原理→操作流程→应用场景
植物细胞培养及次生代谢产物生产	单细胞培养的理论方法→大规模培养→次生代谢产物生产
原生质体培养	原生质体分离→纯化→活力测定→培养→植株再生
植物体细胞杂交	原生质体分离→诱导融合→杂种细胞选择→杂种植株鉴定→应用
动物细胞培养	细胞特征→培养液配制→培养技术→同步化→细胞系建立与保存
杂交瘤技术与单克隆抗体	免疫基础→杂交瘤原理→制备流程→特性应用
胚胎工程	胚胎工程核心技术→技术流程→应用场景→伦理规范
干细胞	干细胞定义→分类→胚胎干细胞(建系、鉴定、应用)→成体干细胞(类型、特性、应用)→挑战与展望

源和多样化的教学活动,也增强了学生的学习兴趣和学习积极性,使其更主动地参与到学习中,形成良性互动。

2.3 针对教学内容引入文献,不断提升教学深度

在借鉴国内改革经验的基础上,本课程构建了以“文献驱动”为特色的混合式教学模式。以青藏高原特色生物资源保护与开发为切入点,在教学过程中适时引入细胞工程领域前沿科技文献,引导学生密切关注科研动态、强化科技创新意识、参与实验设计,逐步形成系统的科研思维,培养严谨求实、敬畏科学的专业素养;同时整合线上MOOC自主学习、线下翻转课堂研讨、虚拟仿真实验验证及分组竞赛实践等多元教学环节,构建“文献引领—线上奠基—线下深化—实践内化”的闭环教学链,逐步提升学生分析与解决问题的能力。

在细胞工程课程的教学实践中,为有效培养学生的文献阅读与理解能力,进一步拓宽其知识视野并助力其把握学科前沿动态,采用定期引入科技论文的教学模式。在具体实施时,教师会依据课程教学进度与核心内容,精心筛选涵盖细胞工程领域最新研究成果、技术应用进展及热点问题探讨等方面的代表性文献,以实际科研案例深化学生对理论知识的理解,引导学生关注科研热点并运用所学理论知识进行实验设计和科研素养训练,进而在教学科研相长的学习氛围中,培养学生的科学家精神、探索精神以及团队协作能力,持续提升其自主学习能力和求知动力。课程累计引入40余篇科研文献(含综述与应用型),构建“课前—课上—课后”三位一体的文献教学闭环。课前预习:学生阅读文献并总结内容、提出疑问,培养自主学习与批判性思维。课堂研讨与衔接:课上教师在讲解具体章节知识点的时候引入相关文献中的方法、结果以及新发现新结论等,并解答学生的疑问,引导学生思考和分析问题,这相对于没有预习的传统被动接受,教学效果会大幅增加。课后巩固与拓展:教师或学生基于文献内容完成相关设计性作业,进一步强化知识运用与综合能力。细胞工程理论课教学中文献引入及拟解决的问题见表2。在课堂教学环节,教师首先对论文的研究背景、核心目的及主要内容进行简明扼要的解析,引导学生快速聚焦研究的核心问题与整体设计思路。其次组织学生开展研讨,并同步安排基于文献内容的随堂测试,通过即时检验来精准评估学生

对文献的理解程度。这种“解析—研讨—测评”的递进式教学设计,通过解析环节保障了学生对文献核心要素的精准把握,进而通过研讨深化理解层次,同时利用随堂测试揭示认知盲区,从而为后续针对性指导提供明确依据。

2.4 教学内容体现青藏高原特色

在讲解细胞培养技术时,结合青藏高原独特地理环境,重点介绍如何针对当地高寒、缺氧、强紫外线等极端条件,开展藏区特有植物细胞的培养研究。讲解细胞克隆技术时,引入“青青”克隆藏羊这一标志性案例,以此说明该技术在高原生物遗传资源保存与利用中的重要进展。“青青”是西北农林科技大学苏建民教授团队^[5]与青海省西宁市动物疫病预防控制中心共同培育的世界首例、也是全球首例体细胞克隆顶级种用藏羊,其诞生为藏区优良畜种的繁育保护开辟了全新路径,也为高原动物细胞克隆技术的应用提供了珍贵范本。此外,教师在教学中还拓展了青海特色物种的细胞培养实践内容,强化了教学的本土性与应用性。一方面,以红景天、高山雪莲等珍稀药用植物为例,系统讲解其组织培养关键技术,涵盖外植体消毒方案优化、脱分化培养基的配比等核心环节;另一方面,教师结合青海湖裸鲤的细胞培养为例,阐释从肾脏细胞原代培养到稳定传代体系建立的全过程,使学生深入理解高原生物细胞培养的特殊性与技术突破。通过将地方特色资源融入教学,引导学生在掌握专业知识的同时,树立“学在一方、造福一方”的价值观,增强其服务区域发展的使命感。

3 细胞工程实验教学改革举措

3.1 基于OBE理念的细胞工程实验内容反向重构

遵循OBE的“反向设计”原则,对细胞工程实验课程教学内容进一步优化,明确了细胞工程实验教学欲达成的核心能力成果,即:学生能够针对特定生物对象,独立完成从文献调研、方案设计、实验操作到结果分析的全过程。以此成果为终点,反向重构了实验教学内容与流程,实现了线上线下实验设计,尽可能涵盖理论课教学内容,如表3所示。

3.2 实验前针对线下实验内容引导学生精读相关文献

实验前引导学生精读与内容紧密关联的科技文献,帮助学生建立理论联系:讲解种子消毒时,引入

表2 细胞工程教学中引入的资源及对应的思政内容

Table 2 Resources integrated into Cell Engineering instruction and their corresponding ideological and political elements			
章节 Chapter	知识点 Knowledge point	教学引入资源 Teaching introduction resources	引入目的及课程思政 Purposes of introduce and corresponding ideological and political education
第一章 绪论	植物的离体快速繁殖	2024年全国植物组织培育研究与快繁技术创新研讨会 [11]	引导学生关注植物组织培养相关国际国内会议, 建立起学科认同、科技自信以及将个人发展融入国家需要的远大志向 建立平邑甜茶高效快繁体系, 服务现代农业, 课程思政融入创新与责任教育
	细胞核移植	2024年2月25日, 两只体细胞克隆欧拉型藏系羊青青出生	讲青海特色故事, 这是我国在高原特有家畜体细胞克隆领域的重大突破, 对保护和利用我国优良畜禽种质资源具有里程碑意义
	胚胎工程	《人类辅助生殖技术管理办法》(2001)和《人类辅助生殖技术规范》(2004)	引导学生要遵循正确的细胞工程技术使用规定。在保障人民生殖健康、治疗不孕不育的同时, 严格防止技术滥用, 维护社会伦理和公共安全
	干细胞	2024年植物干细胞与再生国际研讨会 [12]	引导学生关注和参加干细胞领域学术会议, 养成自我提升的习惯 通过鹿角中发现具有强大再生潜力的干细胞群, 分享哺乳动物器官再生的潜力模型
	染色体工程	[13]	通过该致敬专栏, 让学生了解老一辈科学家在小麦远缘杂交和染色体工程领域所做的努力, 以及科学家对种质资源创新、外源基因的转移、克隆及利用方面的期望
	转基因生物反应器	[14-17]	引入转基因生物方面的研究进展, 使学生掌握该领域的最新研究方法和研究趋势——少量组织培养或无组织培养, 高通量的基因型分析及转化体系
	细胞工程的应用	创新种质、选育品种, 为的就是打赢这场种业翻身仗——86岁高龄盖钧镒院士的事迹 李振声培育的集持久抗病性、高产、稳产、优质等品质于一身的小偃6号 [18]	通过国内科学家贡献使学生了解树立科学家精神, 了解我国科学家在动植物繁育、品种改良与新品种培育等方面所做的努力 强调细胞工程生物制品在人类生命健康、医疗方面的重要作用。引入该案例旨在展示农业生物技术前沿突破, 其成功应用蕴含科技为民、交叉创新的思政内涵
第三章 植物组织与器官培养	细胞脱分化过程	[19]	举例说明细胞脱化过程的时空顺序及各阶段的特点, 为植物再生与基因工程提供理论基础
	细胞再分化	[20-22]	通过“bZIP59-LBD复合物对拟南芥再生过程中生长素诱导愈伤组织形成的调控”、“转录因子WRKY23和bHLH041调控愈伤组织细胞再生”、“AMP通过PLT途径增强植物器官发生中的愈伤再生能力”, 说明适用于转基因和生物技术用途的体外植物再生程序通常从诱导愈伤组织细胞开始, 这是随后芽或根系再生所必需的
	植株再生的方式	[23-24]	文献举证植物细胞经过再分化形成完整个体的方式。引入新机制解析前沿突破, 课程思政融入勇于探索、服务农业创新的科学精神
	器官发生	[25]	为什么愈伤组织能够在不同的激素诱导下再生为不同的器官, 而普通体细胞却没有这样的能力? 揭示器官再生的细胞学基础, 融入探索生命规律、支撑农业创新的科学观教育

续表2

章节 Chapter	知识点 Knowledge point	教学引入资源 Teaching introduction resources	引入目的及课程思政 Purposes of introduce and corresponding ideological and political education
		[26]	文献举证器官发生间接途径中愈伤组织再分化器官一般要经历的三个生长阶段。展示高频再生与药用成分调控技术,融入科技服务大健康、可持续利用自然资源的理念
		[27]	文献举证光质、激素、活性碳在器官发生过程中的作用。建立珍稀彩色蕨类高效再生体系,融入通过科技创新保护与利用生物多样性的理念
		[28]	文献举证基因工程(载体构建)和细胞工程(遗传转化)在科学研究中的应用。建立高效萝卜遗传转化体系,融入技术攻关、求真务实的科研精神与产业服务导向
		[29]	通过多枝景天芽的诱导来解释器官发生的直接途径。建立景天属植物遗传转化体系,为植物修复研究提供关键技术,融入利用科技创新服务生态文明建设的理念
	体细胞胚胎发生	[30]	通过油点百合植物再生的方式解释体细胞胚从外植体上直接发生途径。建立巨型鳞芹高效体胚发生体系,融入珍视生物资源、以技术创新发掘其价值的科学责任感
		[31]	通过荔枝体细胞胚发生研究,解释经过愈伤组织的体细胞胚发生途径。建立荔枝高效体胚发生体系并解析其早期分子机制,融入以科技创新推动特色农业发展的责任意识
		[32]	文献举证通过细胞悬浮培养的体细胞胚胎发生途径。建立椰子细胞悬浮高效繁殖体系,融入以技术攻关保障特色作物产业发展的使命感
	植物离体繁殖	[33]	引导学生分析植物离体繁殖过程中筛选合适的植物激素浓度以及配比的实验设计。建立月季体细胞胚胎发生体系,解析再生机制,融入科技与美结合、创新服务美好生活的理念
	植物组织培养中的常见问题及预防措施	[34]	举证不同基因型、预处理方法、取样时间、植物生长调节剂、抗褐化剂对叶片愈伤组织诱导及降低褐化率的影响。系统揭示多因素协同优化机制,培养严谨、创新的科学素养与服务产业的担当
		[35]	引导学生比较山核桃正常愈伤组织与褐化愈伤组织的细胞的显微结构和生理状态差异。使学生掌握控制木本植物离体培养褐化的技术
		[36]	举证杉木体胚破除基因型依赖性方面取得的新突破——PSK的发现及作用机制。彰显基础研究赋能林业创新的科学使命
第四章 植物细胞培养及次生代谢产物生产	植物细胞培养及次生代谢产物举例	[37]	解析喜马拉雅红豆杉紫杉醇合成途径起源,融入珍视生物资源、科技守护自然遗产的科研使命感
		[38]	解析红豆杉基因组揭示紫杉醇合成机制,彰显我国在珍稀资源研究与利用领域的科技自强与生态责任
		[39]	引入微生物-植物互作提升紫杉醇合成的前沿策略,融入尊重自然、绿色创新的可持续发展理念

续表2

章节 Chapter	知识点 Knowledge point	教学引入资源 Teaching introduction resources	引入目的及课程思政 Purposes of introduce and corresponding ideological and political education
第五章 原生质体培养	原生质体培养的重要性	[40]	举证第一个丹参原生质体再生系统的建立, 引入无转基因基因编辑提升丹参药用价值的前沿技术, 融入自主创新、服务“健康中国”的科研使命
		[41]	引导学生比较酶消化时间、数量、活性、细胞和细胞核形态、倍性以及亚细胞定位等因素对椰子液体胚乳和幼嫩叶片原生质体诱导的影响。建立椰子原生质体高效研究体系, 体现技术攻关突破瓶颈、服务热带农业发展的科学担当
	[42]	举证基因型对原生质体诱导的影响。建立通用原生质体再生体系, 支撑观赏植物基因工程, 融入以基础研究服务美好生活的科学志向	
	[43]	举证不同来源原生质体和培养基类型对植株再生率的影响。建立棉花高效原生质体再生体系, 以技术创新服务棉花育种, 体现科研报国的务实担当	
	[44]	文献精读: 建立羽衣甘蓝高效原生质体再生体系, 以方法学创新支撑蔬菜育种, 体现科研服务产业的责任担当	
第六章 植物体细胞杂交	诱导原生质体融合的方法	[45]	文献精读: 进一步掌握原生质体培养的方法及技术, 并基于文献进行命题和解题。建立蓝莓高效原生质体转化体系, 以方法创新驱动特色育种, 彰显科技兴农的务实精神
		[46]	引导学生比较常规回交、原生质体融合、植株内单倍体的制备、植株中父系单倍体诱导等在植物雄性不育方面的应用。该研究建立一步法制油菜CMS系新技术, 体现以方法学创新驱动现代育种、保障粮食安全的科研使命
		[47]	引导学生分析PEG处理时间、浓度、温度、渗透压等对原生质体融合的影响, 学习实验设计的思路。掌握细胞融合关键技术优化方法, 培养严谨求实的科学态度与解决实际问题的创新能力, 服务现代农业生物技术创新
第八章 杂交瘤技术与单克隆抗体	单克隆抗体技术	[48]	引导学生明确不同交流场强、交流频率、直流脉冲场强、直流幅宽及脉冲次数等对原生质体融合的影响。建立不结球白菜胞质杂种创制新技术, 融入突破育种瓶颈、服务蔬菜产业创新的科研担当
		[49]	引导学生学习单克隆抗体的制备方法。制备小反刍兽疫病毒关键单抗, 为疫病诊断提供核心工具, 体现科研服务畜牧安全、保障民生需求的使命
第九章 胚胎工程	胚胎冷冻保存及体外受精技术	[50]	胚胎保存技术举例及实验设计。优化秦川牛胚胎冷冻技术, 实现优质种质长期保存, 科技服务我国畜牧种业自主与可持续发展
		[51]	体外受精技术的应用举例及实验设计。探索胚胎发育阻滞新机制, 融入攻坚医学难题、服务国家人口健康战略的科研使命

续表2

章节 Chapter	知识点 Knowledge point	教学引入资源 Teaching introduction resources	引入目的及课程思政 Purposes of introduce and corresponding ideological and political education
第十章 干细胞	胚胎干细胞研究历程	[52]	强调中国科学家挑战灵长类胚胎干细胞多能性理论基础。报道世界首只嵌合猴诞生,彰显我国在干细胞与生殖工程领域的原创突破,体现勇攀科学高峰的精神
第十一章 动物染色体工程	人工诱导多倍体的方法	三倍体虹鳟育种技术	分享本校冷水鱼养殖团队开展的工作,讲述青海故事。研发三倍体虹鳟育种技术,提升水产养殖效益,体现以科技创新驱动农业可持续发展的责任担当

“不同消毒剂对油菜种子消毒效果的比较”,使学生直观认知不同消毒剂(如0.1% HgCl₂、10% NaClO)及处理时长对消毒效果的影响;在无菌苗培养环节,引入“甘蓝型油菜无菌苗培养方法的优化”一文,引导学生理解种子贮存、消毒方法比较与培养基优化等关键实验技术的原理;进行愈伤组织诱导时,结合“红花烟草叶片愈伤组织诱导与植株再生”,帮助学生明确光照与黑暗条件对愈伤形成的影响差异、明晰光照与黑暗条件对红花烟草叶片愈伤组织形成的差异化影响;在激素调控教学中,引入“利用植物生长调节剂诱导烟草器官分化”的基础教学实验,清晰展示生长调节剂在组织培养中的实际调控作用。通过系统引入科技文献,本实验教学实现了以下目标:拓宽知识视野,使学生接触植物基因克隆、功能分析等前沿内容,了解学科发展脉络,完善知识体系;强化科研素养,在文献研读与课堂讨论中,锻炼学生的逻辑思维与批判性思维;激发科研志趣,引导学生逐步形成科学探究意识,为未来从事科研工作奠定基础。该教学方法将文献阅读融入实验全过程,不仅提升了学生的实验理解与操作规范性,也有效培养了其科学思维与创新潜能。

3.3 混合式实验教学模式成效显著

开展线上+线下实验教学模式。借助虚拟仿真实验平台和MOOC资源^[54],学生可在虚拟环境中完成以下训练:操作“草莓脱毒苗工厂化生产虚拟仿真实验”与“药用植物细胞组织培养及应用综合设计虚拟仿真实验”,系统掌握实验流程与关键注意事项;观看“烟草BY-2细胞的培养及烟草BY-2细胞原生质体的制备及瞬时转化”视频,掌握细胞培养及原生质体制备和瞬时转化的实验原理、操作以及结果观察方法。借助虚拟仿真实验平台,学生能够在无实物

损耗与时间压力的环境中亲身体验实验错误所导致的结果,从而降低在真实实验中的试错成本;通过虚拟仿真实验,使学生精准掌握实验步骤,这使其在进行后续线下实验时能显著提高成功率并减少误差;另外,教师通过学生撰写的线上学习实验报告与心得体会,了解学生对实验原理、步骤、结果分析等的掌握情况,在线下实验之前进行有针对性地讲解和答疑,进一步保障实验教学质量。

在细胞工程实验的线下教学环节,课程采用“差异化设计、协作化实施、实时化分享”的实验组织模式,具体安排如下(表3)。(1) 分组设计与任务安排,在线下实验开展前,将学生分为若干大组,每组设计不同的实验内容,实现“一班多题”,使每位学生均能深入参与特定环节。(2) 过程实施与实时共享,在实验观察阶段,老师要求学生通过在线表格拍照和记录实验现象,实现不同组之间实时分享实验进展,促进相互参照与启发。(3) 报告撰写与集体研讨,实验报告以小组为单位合作完成。每组需安排代表参与不同实验内容的报告撰写,促使学生跨任务交流、整合多类实验结果,并在讨论中深化对实验原理和数据的理解。该模式通过任务差异化、过程可视化、报告协同化,强化了学生的动手操作、观察记录、数据分析和合作交流能力。通过前期虚拟仿真平台的预训练,学生在线下实验中表现出更高的操作规范性和任务完成度,实现了理论知识、虚拟模拟与真实实验的有机贯通,显著提升了学生综合实践能力与问题解决素养。

线下实验增加分组竞赛模式。在细胞工程实验教学中,为增强学生学习自主性与积极性,培养其团队合作精神和竞争意识,老师要求学生设计并开展分组竞赛实验模式。实验项目需涵盖细胞工程领域

表3 细胞工程实验教学内容更新前后对比

Table 3 Comparison of instructional content in Cell Engineering laboratory before and after revision

实验名称 Experiment title	改革前实验内容设置及要求 Experimental content arrangement and requirements before the reform	改革后实验内容设置及要求 Experimental content arrangement and requirements after the reform
实验1 细胞培养器皿的清洗与消毒	器械清洗原理 消毒剂的选择与使用	能够掌握器械清洗原理 能够正确选择与使用消毒剂
实验2 植物外植体的消毒处理与接种	MS培养基的配置 拟南芥种子的消毒处理与接种	能够对拟南芥种子进行消毒与接种 能够对青稞种子进行消毒与接种 能够对烟草种子进行消毒与接种 能够对紫花苜蓿种子进行消毒与接种 能够利用拟南芥叶片诱导产生不定芽 能够利用烟草叶片诱导产生不定芽 学生能够独立设计并完成拟南芥叶片愈伤组织的诱导实验 学生能够独立设计并完成烟草叶片愈伤组织的诱导实验
实验3 植物组培苗的生根诱导实验	拟南芥根的诱导	学生能够独立设计并完成拟南芥根的生根诱导实验 学生能够独立设计并完成马铃薯组培苗的生根诱导实验 学生能够独立、规范地完成马铃薯无菌苗的继代培养操作
实验4 动物细胞原代培养及无菌操作技术	动物细胞培养的原理与方法 细胞无菌操作技术 实验室安全与生物安全	学生能够掌握熟练进行动物组织细胞取样及前期准备工作、能熟练进行动物组织的消化及酶解、会制备动物细胞培养基并明确其成分的作用、熟练使用CO ₂ 培养箱、通过观察不同组织来源鱼细胞的差异进行比较分析 掌握动物细胞无菌操作技术 增强实验室安全与生物安全意识
实验5 草莓脱毒苗工厂化生产虚拟仿真实验	未安排	线上线下融合教学,学习和操作掌握草莓脱毒苗的制备,撰写实验报告
实验6 药用植物细胞组织培养及应用综合设计虚拟仿真实验	未安排	线上线下融合教学,学习和掌握植物细胞培养的原理及方法,撰写实验报告
实验7 MOOC资源学习 烟草BY-2细胞的培养及烟草BY-2细胞原生质体的制备及瞬时转化	未安排	线上线下融合教学,根据MOOC学习结果小组讨论撰写实验报告

多个方面,如无菌操作、培养基配制、细胞培养等,要求各小组综合运用所学理论知识和实验技能,在规定时间内完成实验任务。在竞赛过程中,每个小组同学都参与从实验设计、操作到结果分析的全过程,并提交结构完整的实验报告。实验报告包含实验目的、原理、步骤、结果与分析、结论等内容,强调对实验过程和数据的详细记录,以及对结果的深入讨论。教师根据实验报告质量、操作规范性、结果准确性以及小组合作多个维度,对每个小组进行评价和打分。

分组竞赛模式的开展,有效增强了学生学习自主性与积极性。为在竞赛中取得好成绩,学生通过主动查阅资料,学习相关知识与技能,积极参与实验操作并认真分析实验数据,有效提高了自身学习的主动性和自觉性。这种模式培养了学生团队合作精

神和竞争意识。在小组合作过程中,学生分工明确,相互协作,共同解决实验中遇到的问题,提高了团队协作能力和沟通能力。同时,竞赛形式激发了学生竞争意识,促使学生不断努力、追求卓越,提高了学生的综合素质和竞争力。

4 细胞工程课程与实验教学改革成效评估

改革前,理论课成绩由考勤和期末考试两部分组成,实验课由实验报告成绩确定,考核方式单一,没有体现出过程化考核,不符合工程认证的OBE理念。此次改革重点强调过程化考核,体现了OBE理念,全面加强对学生能力的培养。改革后的细胞工程理论和实验教学评价体系如图1所示,均采用多元化、过程性的综合评价方式,具体构成如下:最终成绩由

平时成绩(40%)和期末考试(60%)共同构成。平时成绩细分为考勤(3%, 平均分为99)、课堂测验(10%, 平均分为80)、小组讨论(6%, 平均分为90)、课后作业(6%, 平均分为83)、期中考试(15%, 平均分为77); 期末考试平均分为84分。该体系改变了以往仅依赖考勤和期末考试的单一评价模式, 体现了对学生学习全过程的持续关注。在细胞工程实验教学方面, 最终成绩包括平时成绩(65%)和实验报告(35%)。平时成绩由以下两部分组, 包括实验设计(30%, 平均分为91)和实验表现(35%, 平均分为86); 实验报告作为期末考核形式, 考核除评价实验报告外还依据小组汇报情况和竞赛结果加分, 平均分为90分。该设计突破了以往仅以实验报告为评价依据的模式, 强调了对学生在实验过程中分析问题、解决问题能力的培养。

课程改革结束后, 对参与细胞工程理论及实验课程的学生开展问卷调查, 共发放问卷110份, 全部有效回收。问卷内容涵盖学生对改革措施的满意度、学习效果的自评以及对课程内容与教学方法的意见与建议。各项改革措施的改革效果反馈如图2A所示, 引入科技论文教学, 获得91.82%的学生支持; “线上MOOC+线下答疑”混合式教学, 总认可度为93.64%; “虚拟仿真+线下实验”模式, 86.36%的学生认为虚拟仿真对理解实验操作具有积极作用; 小组讨论参与率达94.54%。此外, 学生对课程整体满意度较高, 总体满意度为94.55%; 调查结果表明, 本次课程与实验改革措施获得学生广泛认可, 成效显著。

在引入科技论文教学方面, 问卷调查结果如图2B所示, 在教师讲解效果方面, 51.82%的学生认为教师讲解非常深入, 能有效拓宽知识视野; 37.27%的学生认为讲解内容清晰, 能基本理解论文核心要点, 合计89.09%的学生对讲解持积极评价。在学习兴趣激发方面, 43.64%的学生表示非常感兴趣, 45.45%比较感兴趣, 总计89.09%的学生对科技论文教学表现出较高兴趣。在教学效果认同方面, 51.82%的学生认为在教学中引入科研相关案例对理解学科前沿非常有帮助, 40%认为比较有帮助, 总认可度达91.82%。在教学频率安排方面, 49.09%的学生认为教学频率非常合适, 40%认为比较合适, 合计89.09%的学生认可当前教学安排。结果表明, 引入科技论文教学有效激发了学生兴趣、拓展了知识视野, 并显著增强了学生对学科前沿的理解与跟进能力。

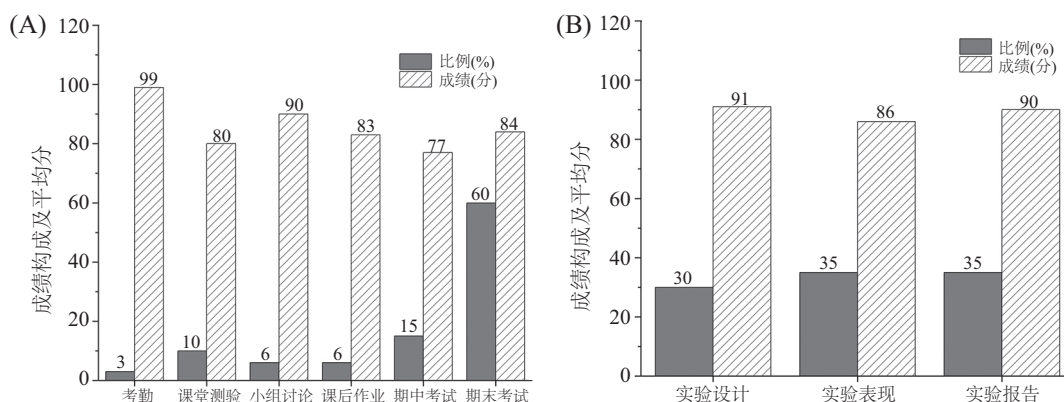
在对“线上MOOC+线下答疑”混合式教学模式

的评价中, 54.55%的学生认为线上资源非常有帮助, 39.09%认为比较有帮助, 总认可度达93.64%, 表明该模式在支持学生自主学习、拓展学习资源方面效果显著。在“虚拟仿真+线下实验”方面(图2C), 86.36%的学生认为虚拟仿真对理解实验操作具有积极作用(48.18%认为非常有帮助, 38.18%认为比较有帮助)。同时, 98.18%的学生建议在线下实验中有必要增加操作细节讲解, 反映其对实操指导的强烈需求。在实验难度方面, 64.55%的学生认为难度适中, 7.27%认为较容易, 合计71.82%, 表明实验难度设置合理。此外, 94.55%的学生认为该模式对掌握实验技能有帮助(54.55%认为非常有帮助, 40%认为比较有帮助)。综上, 本次改革在教学设计、难度梯度和学习支持等方面均获得学生积极反馈, 表明“MOOC+线下”、“虚拟+实境”等融合式教学模式有效促进了学生的能力提升与学习体验优化。

在小组讨论方面(图2D), 学生反馈如下: 在参与频率方面, 56.36%的学生经常参与讨论, 38.18%有时参与, 总参与率达94.54%。在对学习的帮助方面, 57.27%的学生认为非常有帮助, 36.36%认为比较有帮助, 合计93.63%。在对学习动力的影响方面, 49.09%的学生认为改革措施显著提升了学习动力, 另有49.09%认为有所提升。以上结果表明, 小组讨论结合分组竞赛模式有效促进了学生的交流协作, 提高了其参与主动性与整体学习动力。

学生对课程改革方向的反馈[学生最偏好实验教学(82.73%), 其后依次为讲座授课(65.45%)、小组讨论(62.73%)、在线学习(50%)及热点论文分析(49.09%)](图3), 充分反映出学生对实践性、互动性教学形式的需求尤为突出。在改革建议方面, 学生的主要建议包括: 增加实验机会(75.45%)、加强案例分析(67.27%)、引入更多前沿技术(63.64%)以及增强师生互动(47.27%)。结果表明, 学生对实验类教学内容具有较高期待。建议在后续教学中适当增加实验学时, 并结合实际优化讲座、讨论、线上学习等多种教学形式的配置, 以更好地满足学生的学习需求与期待。

在课程中融入青藏高原特色研究内容方面^[4], 多数学生表示该举措增强了自身对本土生物资源的关注与保护意识, 并激发了服务地方发展的责任感与热情。学生反馈显示, 相关内容的学习加深了对家乡生物多样性的了解, 也使其对未来在相关领域



A: 细胞工程; B: 细胞工程实验。

A: Cell Engineering; B: Cell Engineering experiment.

图1 细胞工程理论和实验课程教学评价体系

Fig.1 Teaching evaluation system of theoretical and experimental courses of Cell Engineering

从事研究或工作表现出更明确的意愿。

5 结论与展望

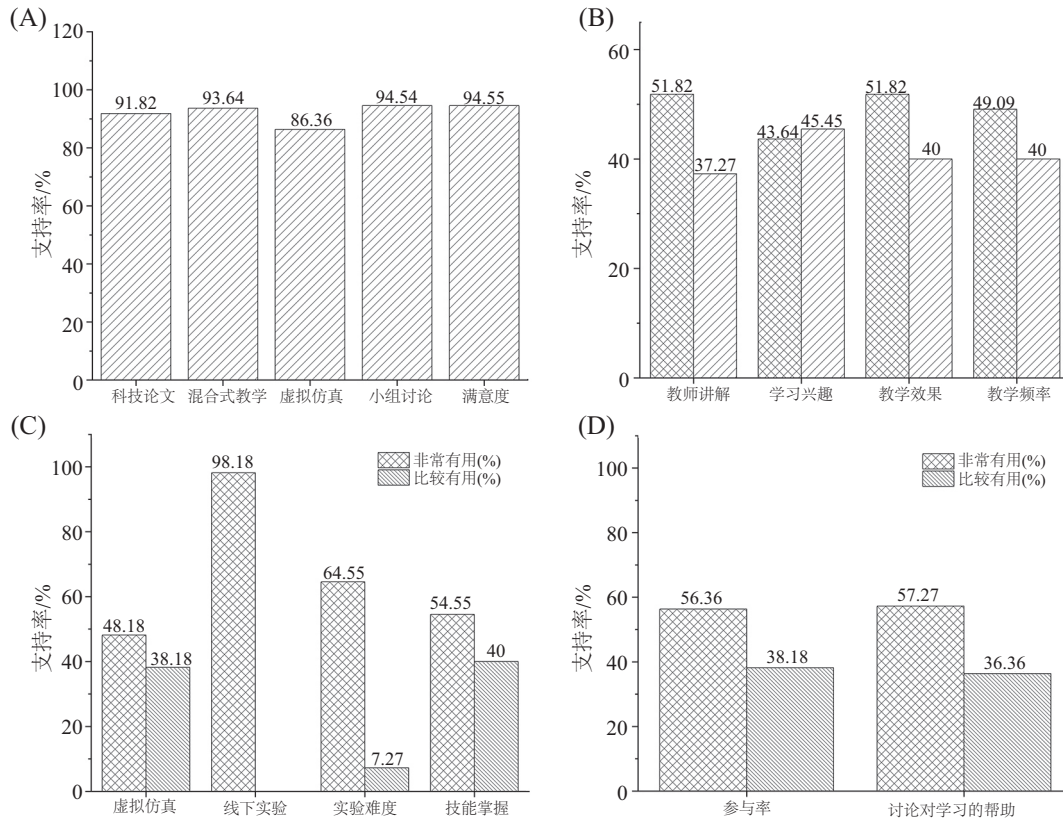
本研究围绕考核方式、教学内容、教学模式及地域特色融合等方面,对细胞工程课程进行了系统改革,具体包括:推行多元化考核评价、引入科技论文、开展线上/线下混合教学、构建“虚拟仿真+线下实验”模式,并有机融入青藏高原地域特色内容。问卷调查显示,改革获学生高度认可,各项措施支持率均超过86%,课程整体满意度达94.55%。改革有效激发了学生的学习兴趣,强化了其实践能力与创新思维,在人才培养和教学质量提升方面成效显著。学生不仅在知识、能力与综合素质上得到了全面发展,也对改革后的教学方式与整体教学效果给予了积极评价。展望未来,课程可进一步强化校企协同,通过培育“双师型”师资、引进企业技术人员参与教学,推动课程内容与行业实际紧密结合,帮助学生了解学科前沿与产业需求,从而全面提升其综合实践能力与就业竞争力。

参考文献 (References)

- [1] 李志勇. 细胞工程学(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [2] 刘芳, 唐映红, 陈治国, 等. 创新型实践人才培养在《细胞工程》实践教学设计与运用[J]. 当代教育实践与教学研究(LIU F, TANG Y H, CHEN Z G. Design and application of innovative practical talent cultivation in the practical teaching of Cell Engineering [J]. Contemporary Education Practice and Teaching Research), 2016(10): 26-7.
- [3] 刘哲, 崔玉东, 佟丹丹, 等. 细胞工程技术类型人才培养教学模式改革[J]. 安徽农学通报(LIU Z, CUI Y D, DONG D D, et al.

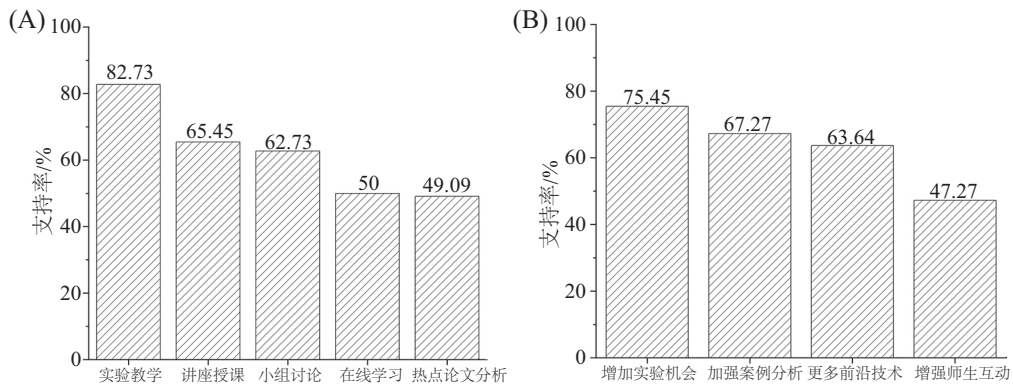
Reforming the teaching model for skill-based talent cultivation in Cell Engineering [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin), 2014, 20(Z1): 152-3.

- [4] 郭莹, 周丽萍, 吴昊. 中医药背景下“知识-案例-思政”三位一体的细胞工程课堂教学模式构建[J]. 中医教育(GUO Y, ZHOU L P, WU H. Construction of a “Knowledge-Case-Ideology and Politics” trinity classroom teaching model for Cell Engineering within the context of traditional chinese medicine [J]. Chinese Medicine Education), 2025, 44(1): 102-6.
- [5] 陈费, 刘清桂, 王敏君. 案例教学在高校细胞工程授课中的应用[J]. 基础医学教育(CHEN F, LIU Q G, WANG M J. Application of case-based teaching in Cell Engineering courses in higher education [J]. Basic Medical Education), 2023, 25(3): 179-82.
- [6] 黄林彬, 严兴洪. 提高《细胞工程》课程教学质量的探索[J]. 教育教学论坛(HUANG L B, YAN X H. Exploration on improving the teaching quality of “Cell Engineering” [J]. Education Teaching Forum), 2018(30): 120-1.
- [7] 乐尧金, 曹永军, 崔国祯, 等. 基于PBL的研究生细胞工程课程教学改革探索[J]. 基础医学教育(LE Y J, CAO Y J, CUI G Z, et al. Exploration of PBL-based teaching reform in the postgraduate Cell Engineering course [J]. Basic Medical Education), 2025, 27(9): 818-23.
- [8] 梁娟, 伍贤进, 黄荟, 等. 基于“学科竞赛+科研项目”驱动的地方院校生物类应用型创新人才培养[J]. 怀化学院学报(LIANG J, WU X J, HUANG H. Cultivating applied innovative talents of biology in local universities based on the “subject competition+research project” mode [J]. Journal of Huaihua University), 2020, 39(5): 136-9.
- [9] 陆菁菁. 生物技术专业优质实验课程教学改革探索[J]. 实验室研究与探索(LU J J. Exploration on teaching reform of high-quality experimental courses for biotechnology major [J]. Research and Exploration in Laboratory), 2021, 40(1): 176-9.
- [10] 游牧, 何梅, 刘海涛. 基于OBE理念的细胞工程课程混合式教学模式研究[J]. 安徽农业科学(YOU M, HE M, LIU H T. Research on blended teaching mode of Cell Engineering course based on OBE concept [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences), 2022, 50(20): 274-6.
- [11] 黄欣艳, 蒙小玉, 冯建文, 等. 平邑甜茶离体快繁体系的建立



A: 各种改革措施的满意度和课程总体满意度; B: 引入科技论文教学; C: “线上MOOC+线下答疑”混合式教学模式; D: 小组讨论。
 A: satisfaction with various reform measures and overall course satisfaction; B: introduction of scientific paper teaching; C: the “online MOOC + offline Q&A” blended teaching model; D: group discussion.

图2 不同改革措施的改革效果
Fig.2 Reform effects of different reform measures



A: 课程改进方向; B: 课程改革建议。
 A: directions for course improvement; B: suggestions for course reform.

图3 学生对课程教学改革方向的建议
Fig.3 Students' views on the direction of curriculum teaching reform

[J]. 中国南方果树(HUANG X Y, MENG X Y, FENG J W, et al. Establishment of in vitro rapid propagation system for *Malus hupehensis* [J]. South China Fruits), 2024, 53(4): 175-81.

[12] QIN T, ZHANG G, ZHENG Y, et al. A population of stem cells with strong regenerative potential discovered in deer antlers [J]. Science, 2023, 379(6634): 840-7.

[13] 郑琪, 赵李, 李滨, 等. 中国小麦远缘杂交与染色体工程育种的理论与实践[J]. 遗传(ZHENG Q, ZHAO L, LI B, et al. Wheat wide hybridization and chromosome engineering breeding in China [J]. Hereditas), 2025, 47(3): 289-99.

[14] CODY J P, MAHER M F, NASTI R A, et al. Direct delivery and fast-treated *Agrobacterium* co-culture (Fast-TrACC) plant

- transformation methods for *Nicotiana benthamiana* [J]. *Nat Protoc*, 2023, 18(1): 81-107.
- [15] CAO X, XIE H, SONG M, et al. Cut-dip-budding delivery system enables genetic modifications in plants without tissue culture [J]. *Innovation*, 2023, 4(1): 100345.
- [16] CAO X S, XIE H T, SONG M L, et al. Simple method for transformation and gene editing in medicinal plants [J]. *J Integr Plant Biol*, 2024, 66(1): 17-9.
- [17] MEI G G, CHEN A, WANG Y R, et al. A simple and efficient in planta transformation method based on the active regeneration capacity of plants [J]. *Plant Commun*, 2024, 5(4): 100822.
- [18] FAUSTHER-BOVENDO H, KOBINGER G. Plant-made vaccines and therapeutics [J]. *Science*, 2021, 373(6556): 740-1.
- [19] 余迪求, 洪维廉, 陈睦传, 等. 甜菊叶肉细胞脱分化过程中超微结构的研究[J]. *植物学报*(YU D Q, HONG W L, CHEN M C, et al. Ultrastructural study of mesophyll cells during their dedifferentiation in *Stevia rebaudiana* [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1993, 35(7): 499-505.
- [20] XU C Y, CAO H F, ZHANG Q Q, et al. Control of auxin-induced callus formation by bZIP59-LBD complex in *Arabidopsis* regeneration [J]. *Nat Plants*, 2018, 4(2): 108-15.
- [21] XU C Y, CHANG P J, GUO S Q, et al. Transcriptional activation by WRKY23 and derepression by removal of bHLH041 coordinately establish callus pluripotency in *Arabidopsis* regeneration [J]. *Plant Cell*, 2024, 36(1): 158-73.
- [22] LEE H G, JANG S Y, JIE E Y, et al. Adenosine monophosphate enhances callus regeneration competence for *de novo* plant organogenesis [J]. *Mol Plant*, 2023, 16(12): 1867-70.
- [23] LONG Y, YANG Y, PAN G T, et al. New insights into tissue culture plant-regeneration mechanisms [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 926752.
- [24] WANG J, ZHOU P H, LI C H, et al. Progress on medicinal plant regeneration and the road ahead [J]. *Med Plant Biol*, 2024, 3: e030.
- [25] ZHAI N, XU L. Pluripotency acquisition in the middle cell layer of callus is required for organ regeneration [J]. *Nat Plants*, 2021, 7(11): 1453-60.
- [26] KIM Y D, MIN J Y, KIM W J, et al. High frequency plant regeneration and accumulation of tropane alkaloids in regenerated plants of *Scopolia parviflora* [J]. *In Vitro Cell Dev-Pl*, 2008, 44(3): 203-8.
- [27] YU R P, LI F, WANG G X, et al. *In vitro* regeneration of the colorful fern *Pteris aspericaulis* var. *tricolor* via green globular bodies system [J]. *In Vitro Cell Dev-Pl*, 2021, 57(2): 225-34.
- [28] YI X F, WANG C C, YUAN X Q, et al. Exploring an economic and highly efficient genetic transformation and genome-editing system for radish through developmental regulators and visible reporter [J]. *Plant J*, 2024, 120(4): 1682-92.
- [29] LIU H, ZHAO H X, WU L H, et al. A genetic transformation method for cadmium hyperaccumulator *Sedum plumbizincicola* and non-hyperaccumulating ecotype of *Sedum alfredii* [J]. *Front Plant Sci*, 2017, 8: 1047.
- [30] LAN T H, HONG P I, HUANG C C, et al. High- frequency direct somatic embryogenesis from leaf tissues of *Drimyopsis kirkii* Baker (giant squill) [J]. *In Vitro Cell Dev-Pl*, 2009, 45(1): 44-7.
- [31] QIN Y Q, ZHANG B, WANG S Q, et al. Establishment of somatic embryogenesis regeneration system and transcriptome analysis of early somatic embryogenesis in litchi [J]. *Hortic Plant J*, 2025, 11(2): 535-47.
- [32] KONG E Y Y, BIDDLE J, FOALE M, et al. Cell suspension culture: a potential in vitro culture method for clonal propagation of coconut plantlets via somatic embryogenesis [J]. *Ind Crops Prod*, 2020, 147: 112125.
- [33] DUAN M G, LIU J, ZHAO Y N, et al. Somatic embryogenesis from the leaf-derived calli of *in vitro* shoot-regenerated plantlets of *Rosa hybrida* 'Carola' [J]. *Plants*, 2024, 13(24): 3553.
- [34] 李婷婷, 陈红. 刺梨叶片愈伤组织诱导及抗褐化研究[J]. *中国农学通报*(LI T T, CHEN H. Study on callus induction and anti-browning of *Rosa roxburghii* tratt leaves [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(32): 12-21.
- [35] LIU C, FAN H R, ZHANG J Q, et al. Combating browning: mechanisms and management strategies in *in vitro* culture of economic woody plants [J]. *For Res*, 2024, 4: e032.
- [36] HAO Z D, WU H, ZHENG R H, et al. The plant peptide hormone phyto-sulfokine promotes somatic embryogenesis by maintaining redox homeostasis in *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Plant J*, 2023, 113(4): 716-33.
- [37] CHENG J, WANG X, LIU X N, et al. Chromosome-level genome of Himalayan yew provides insights into the origin and evolution of the paclitaxel biosynthetic pathway [J]. *Mol Plant*, 2021, 14(7): 1199-209.
- [38] XIONG X Y, GOU J B, LIAO Q G, et al. The *Taxus* genome provides insights into paclitaxel biosynthesis [J]. *Nat Plants*, 2021, 7(8): 1026-36.
- [39] CAO X Y, XU L X, WANG J Y, et al. Endophytic fungus *Pseudodidymocyrtis lobariellae* KL27 promotes taxol biosynthesis and accumulation in *Taxus chinensis* [J]. *BMC Plant Biology*, 2022, 22(1): 12.
- [40] HSU C T, CHIU C C, HSIAO P Y, et al. Transgene-free CRISPR/Cas9-mediated gene editing through protoplast-to-plant regeneration enhances active compounds in *Salvia miltiorrhiza* [J]. *Plant Biotechnol J*, 2024, 22(6): 1549-51.
- [41] GUO Q H, WANG Y N, ZOU J X, et al. Efficient isolation and transformation of protoplasts in coconut endosperm and leaves for gene function studies [J]. *Trop Plants*, 2023, 2(1): 16.
- [42] MEYER L, SEREK M, WINKELMANN T. Protoplast isolation and plant regeneration of different genotypes of *Petunia* and *Calibrachoa* [J]. *Plant Cell Tiss Org*, 2009, 99(1): 27-34.
- [43] SUN Y Q, ZHANG X L, HUANG C, et al. Plant regeneration via somatic embryogenesis from protoplasts of six explants in Coker 201 (*Gossypium hirsutum*) [J]. *Plant Cell Tiss Org*, 2005, 82(3): 309-15.
- [44] STELMACH-WITYK K, SZYMONIK K, GRZEBE- LUS E, et al. Development of an optimized protocol for protoplast-to-plant regeneration of selected varieties of *Brassica oleracea* L [J]. *BMC Plant Biol*, 2024, 24(1): 1279.
- [45] ZHAO X Y, SONG H F, LIU J L, et al. Efficient protoplast isolation and PEG-mediated transformation protocols for blueberry *Vaccinium corymbosum* [J]. *Sci Hortic*, 2025, 340: 113916.
- [46] HAN F Q, ZHANG X L, LIU Y X, et al. One-step creation of CMS lines using a BoCENH3-based haploid induction system in Brassica crop [J]. *Nat Plants*, 2024, 10(4): 581-6.
- [47] 聂琼, 杨川龙, 徐如宏, 等. 聚乙二醇法诱导烟草原生质体融

- 合的条件优化[J]. 山地农业生物学报(NIE Q, YANG C L, XU R H, et al. The optimized conditions for polyethylene glycol-induced fusion of *Tobacco protoplast* [J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology), 2012, 31(4): 288-92.
- [48] 侯喜林, 曹寿椿, 余建明, 等. 原生质体非对称电融合获得不结球白菜胞质杂种[J]. 园艺学报(HOU X L, CAO S C, YU J M, et al. Synthesis of cytoplasm hybrid of non-heading *Chinese cabbage* through asymmetric electric fusion of protoplast cell [J]. Acta Horticulturae Sinica), 2001, 28(6): 532-7.
- [49] 李菊, 毕冬琳, 杨晓莉, 等. 小反刍兽疫病毒非结构蛋白C单克隆抗体的制备与鉴定[J]. 浙江农业学报(LI J, BI D L, YANG X L, et al. Preparation and identification of monoclonal antibodies against non-structural protein C of *Peste des petits ruminants virus* [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis), 2024, 36(5): 1047-54.
- [50] 李金辉, 王新庄, 胡文举, 等. 秦川牛胚胎冷冻保存效果[J]. 贵州农业科学(LI J H, WANG X Z, HU W J, et al. Qinchuan cattle embryo cryopreservation [J]. Guizhou Agricultural Sciences), 2017, 45(9): 72-5.
- [51] 黄雪梅, 樊军, 马蓉宁, 等. 组蛋白精氨酸甲基化酶在人体外受精发育阻滞胚胎中的功能研究[J]. 南昌大学学报(医学版)(HUANG X M, FAN J, MA R N, et al. Functional study of protein arginine methyltransferase in *in vitro*-fertilized human embryos with developmental arrest [J]. Journal of Nanchang University, Medical Sciences), 2022, 62(6): 6-10.
- [52] 冯丽妃, 张双虎. 世界首只胚胎干细胞“嵌合猴”诞生[N]. 中国科学报(FENG L F, ZHANG S H. World's first embryonic stem-cell "Chimeric Monkey" born [N]. China Science Daily), 2023-11-10(001).
- [53] YU T, ZHANG C T, SONG W J, et al. Single-cell RNA-seq and single-cell bisulfate-sequencing reveal insights into yak preimplantation embryogenesis [J]. J Biol Chem, 2024, 300(1): 105562.
- [54] 金太成, 杨丽萍, 赵永斌. 虚拟仿真实验平台在生物技术专业本科实践教学中的应用[J]. 长春师范大学学报(JIN T C, YANG L P, ZHAO Y B. Application of the virtual simulation experiment platform in undergraduate practical teaching for the biotechnology major [J]. Journal of Changchun Normal University), 2019, 38(2): 139-40.