



基于科研项目的实验教学探索与实践

王东辉

(北京大学 生命科学学院, 北京 100871)

摘要: 该文以烟草瞬时转化检测蛋白亚细胞定位实验为例, 通过注重实验原理的挖掘、强化基于科研项目的实验教学过程、建立与科研课题相结合的实验教学模式, 推动植物学实验教学的持续改进和发展, 培养更具实践能力和创新思维的高素质人才。这种创新思路不仅可以应用于植物学领域, 也可以在其他学科领域中加以推广和应用, 为推动整个高等教育实验教学的发展起到积极的作用。

关键词: 实验教学; 烟草瞬时转化实验; 科研项目; 植物学; 创新

中图分类号: G64

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240064

Exploration and Practice of Experimental Teaching Based on Scientific Research Projects

WANG Donghui

(School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Taking the protein subcellular localization experiment of tobacco instantaneous transformation as an example, an experimental teaching model combined with scientific research topics is reported, which emphasizes the exploration of experimental principles and strengthens the experimental teaching process. The practice shows that this innovative approach can promote the continuous improvement and development of botany experimental teaching and cultivate high-quality talents with more practical ability and innovative thinking. It can be expected that the approach proposed can not only be applied to the field of botany, but also in other courses, play a positive role in promoting the development of experimental teaching in higher education.

Key words: experimental teaching; tobacco instantaneous transformation experiment; scientific research projects; botany; innovation

实验教学是生命科学科研创新人才培养的重要途径, 目标是通过实践性的科学研究活动, 帮助学生深入理解生命科学的基本概念、原理和方法, 培养学生的科学素养、创新精神和实践能力, 提高学生的综合素质^[1]。

1 实验教学当下的困境及解决方法

生命科学实验教学的方法主要包括验证式实验、综合式实验、探究式实验等, 传统实验教学方法在以下方面表现出局限性。

1) 传统的实验教学方式单一, 往往以教师为中心, 学生处于被动接受的位置。这种“填鸭式”

的教学方法既无法充分调动学生的积极性和主动性, 也不能培养其独立思考和解决问题的能力。

2) 传统实验教学往往更注重理论的验证和再现, 而非实践和创新, 这导致学生可能对理论知识理解深刻, 但无法将其应用到实践中, 缺乏实操能力和创新思维。

3) 传统实验内容更新缓慢。教学方法往往使用固定的实验指导书和实验项目, 这些实验可能已经过时或未能反映最新的科研成果和技术进步, 使得学生难以接触到前沿的科学研究, 阻碍了其对于新知识的获取和应用。

4) 实验过程缺乏深度。传统实验教学只注重

收稿日期: 2024-02-22

基金项目: 北京大学教学新思路 2.0 项目(2022YB001)。

作者简介: 王东辉, 博士, 高级工程师, 主要从事植物学方面的研究。E-mail: wangdh@pku.edu.cn

实验结果的获取,而忽视了实验过程中的细节和深入的思考,使学生无法掌握实验的原理和深层意义,无法感知科学研究的严谨性和精确性。

5) 传统实验教学通常只关注实验的最终结果,而忽视了对于实验数据的深入分析和讨论,这使得学生可能无法全面理解实验的结论,也无法培养其对于科学研究的批判性思维和独立研究能力。忽视学生的个性化需求,这可能导致一些学生无法跟上教学进度,而另一些学生则觉得教学内容过于简单,无法满足其求知欲^[1]。

以上问题限制了学生的全面发展,阻碍了其创新能力和批判性思维的培养。因此,必须对传统的实验教学方法进行改革,以适应现代教育的需求和科学研究的进步^[2]。

在国外,美国、英国、加拿大等发达国家在实验教学改革方面投入大量资源,形成了各具特色的实验教学体系。加拿大麦克马斯特大学提出了问题式学习(problem-based learning, PBL)实验教学模式^[3],该模式以学生为主体、问题为中心,以提出问题、研究和解决问题为主线,通过自主和合作探究为主要学习方法,旨在增强学生的问题意识、提高理解掌握运用知识水平和解决问题的能力。PBL的实施需要教师具备较高的教学能力和专业知识水平,同时也需要学校提供相应的教学资源 and 教学支持。在国内,实验教学改革也得到了广泛关注,教育部和各级地方政府纷纷出台相关政策,支持实验教学改革的发展。许多高校和科研机构也积极开展相关实践和探索,如旨在培养创新型人才的“新工科”概念的提出,构建教学与科研实验室协同开放的管理模式和运行机制等^[4]。此外,各种教学方法的改革和创新也层出不穷,包括线上线下混合式教学、翻转课堂、案例教学等^[5]。

基于科研项目的实验教学是一种以实际问题或科研项目为载体,将科研元素融入教学中,通过引导学生亲身实践、自主探究,实现知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观等多维目标的教学方法。该方法将理论知识与科研实践相结合,培养学生的实践能力和创新精神。

2 基于科研项目的实验方案设计

基于科研项目的实验教学为学生提供真实的

实践环境,使他们能够将理论知识与实际操作紧密结合,从而有效培养学生的实践能力和创新精神^[6]。在这种基于科研项目的实验教学中,学生的角色发生了根本性的转变,他们不再是单纯的实验操作者,而是成为了项目的重要参与者。他们需要负责项目的方案设计,考虑实验的目的、原理、步骤和可能遇到的问题;负责项目的实施,亲手操作实验设备,观察实验现象,记录实验数据;负责数据的分析,运用所学知识对实验数据进行处理,得出结论;撰写总结报告,对整个项目进行回顾和总结。

选择合适的科研项目是此类实验教学成功的关键,科研项目应该具有一定的挑战性和实际操作价值,能够涵盖相关课程的重要知识点,同时又不能过于复杂或难度过大,以免打击学生的信心和兴趣。学生是科研项目的主体,自主完成科研项目中的各项工作,教师只扮演指导者和协调者的角色,给予学生必要的指导和支持,帮助学生正确理解和把握项目的目标和要求,引导学生逐步完成任务。同时,教师也应该鼓励学生发挥创新精神,尝试不同的方法和思路,以获得更好的结果。

基于科研项目的实验教学需要注重团队合作,学生需学会与他人合作、交流和协调,共同完成任务;教师应鼓励学生在团队中发挥自己的作用,同时也要注意培养学生的团队精神和合作意识。教师需制定详细的项目计划和管理方案,确保项目能够按时、按质量完成;制定合理的评估标准和方法,对学生的表现和成果进行客观、公正的评估。

2.1 实验内容选择——烟草瞬时转化实验

在植物学实验教学过程中,我们将烟草瞬时转化实验的内容引入到课程教学中。烟草作为一种模式生物,具有多种生物学特性,使它成为生物学研究中的理想选择。特别是基于农杆菌侵染的烟草叶片瞬时表达系统,由于其简便性、实用性和高效性,已成为植物体内基因功能验证的重要工具^[7]。烟草叶片瞬时表达系统可应用于以下科学研究。

1) 通过将目标蛋白与荧光蛋白融合表达,利用烟草瞬时转化实验,可快速确定该蛋白在植物细胞中的位置,有助于理解蛋白的生物学功能和

作用机制。

2) 利用 BiFC(双分子荧光互补)、FRET(荧光共振能量转移)和 pulldown 等实验方法, 结合烟草瞬时转化实验, 可以研究两种或多种蛋白之间的相互作用。

3) 通过 ChIP(免疫沉淀)和 RIP(RNA 免疫沉淀)等技术, 结合烟草瞬时转化实验, 可以研究蛋白与 DNA 或 RNA 之间的相互作用^[8]。

4) 对于无法进行过表达、基因编辑无转化体系的植物来说, 可以使用瞬时转化体系来进行基因功能分析。

将烟草瞬时转化实验技术引入植物学实验教学体系, 不失为一个可以与科研课题相结合的, 为项目服务的实验教学内容。

蛋白亚细胞定位是生物学研究中的一项关键技术, 它有助于我们深入理解蛋白质在细胞中的功能及其与其他分子的相互作用。在植物科学中, 特别是针对如烟草这样的模式生物的研究中, 瞬时转化实验已成为研究基因表达和蛋白定位的有力工具。蛋白亚细胞定位指的是蛋白质在细胞内的具体分布位置, 如细胞核、细胞质、线粒体、叶绿体等。了解蛋白质的亚细胞定位对于揭示其生物学功能至关重要, 如某些蛋白质可能只在特定的细胞器或细胞区域中起作用, 因此了解它们的定位可以帮助我们更好地理解它们在细胞中的功能。基于农杆菌侵染的烟草叶片瞬时表达系统可以实现外源基因的快速、高效表达, 这对于研究基因功能和蛋白定位非常有利。此外, 通过与荧光蛋白的融合, 可以直观观察到目标蛋白在烟草细胞中的定位情况, 从而快速、准确地确定其亚细胞定位, 这对于理解基因如何在植物体内发挥作用、如何与其他分子相互作用以及如何不同细胞器中实现其功能具有重要意义。

在植物学实验教学中, 烟草瞬时转化实验是一个综合性强、技能要求高的实验项目, 实验流程图如图 1 所示。

首先需要提前进行烟草种植培养和管理, 选择健康的烟草种子播种, 并给予适宜的温度和光照条件, 待烟草长到一定阶段后进行分苗换盆培养 1 个月, 并及时浇水管理烟草幼苗的生长。这部分工作融合了学生的劳动教育课程, 这是中国高等教育中重要的一部分, 旨在让学生通过实践

学习, 培养劳动精神, 提高自我管理能力, 增强社会责任感和培养团队合作精神。烟草是植物学研究的模式植物, 学会烟草的种植和可以进行实验研究的发育阶段对于获得准确的科研数据非常重要。

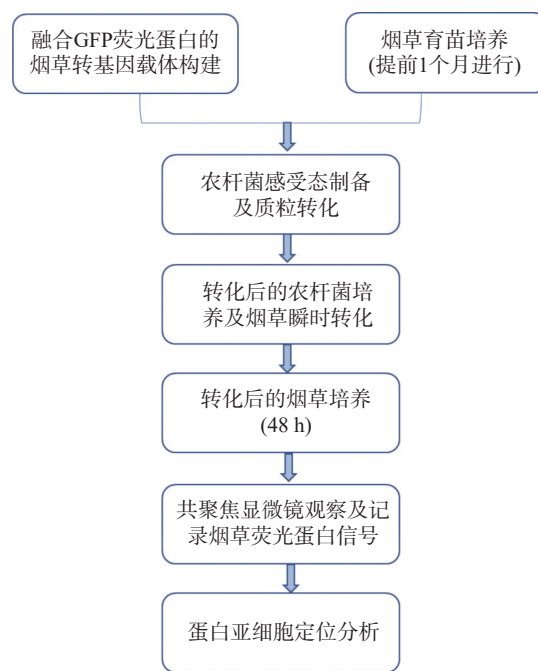


图 1 烟草瞬时转化进行蛋白亚细胞定位分析的实验流程图

在种植烟草的同时学生需要学习如何设计并构建转基因载体, 将目标基因与荧光蛋白基因融合, 为后续的瞬时转化做准备。

农杆菌感受态制备及质粒转化, 学生需要掌握农杆菌感受态的制备方法, 以及如何将构建好的转基因载体转化到农杆菌中, 这一步是实验成功的关键。

掌握烟草瞬时转化方法, 通过注射器, 将转化后的农杆菌注射到烟草叶片细胞进行共培养 2~3 天, 给予适宜的温度和光照条件, 以实现外源基因在烟草细胞中的瞬时表达。

掌握共聚焦显微镜观察烟草叶片的荧光信号的方法, 并对荧光信号进行分析, 包括荧光信号的表达情况、荧光信号的定量和定位数据等进行分析。这一步要求学生掌握显微镜操作技能和图像分析能力, 并根据记录的结果, 对目标基因的功能进行分析, 解释实验结果, 验证目标基因的功能。后续如果学生感兴趣, 可以开展扩展实验, 利用分子生物学技术, 对基因功能进一步研

究和分析。

此外, 学生还需要掌握实验室的基本安全操作规范、实验记录和数据分析方法等。通过完成该综合性实验, 学生不仅能够掌握多种实验技能, 还能够深入理解基因在植物体内的表达调控机制, 为未来的植物科学研究奠定坚实基础。同时, 该实验也培养了学生的团队协作精神和创新能力, 为他们成为优秀的植物学研究者打下良好基础。

2.2 实验教学中科研元素的选择和整合

实验教学是高等教育中培养学生实践能力和科研素养的重要环节, 为了更有效地实现这一目标, 选择和整合科研元素显得尤为重要^[9]。以下是在此过程中需要考虑的 3 个方面。

1) 要确保所选择的科研项目能够与实验教学的教学目标相匹配。这可能涉及到特定的实验技术、研究方法, 或者是具体的科学理论。应考虑学生的实际能力, 过于复杂的科研课题可能会导致学生无法理解或无法独立完成, 而过于简单的则可能无法达到提升学生科研素养的目的。

2) 实验教学的核心在于培养学生的实践能力, 因此所选择的科研项目应具有强烈的实践性, 实践性强的科研项目能够帮助学生掌握实验技能。

3) 科研项目也应具有一定的创新性, 以激发学生的创新思维和批判性思维。在选择和整合科研元素时, 必须充分考虑学校现有的教学资源, 包括实验室条件、教师的研究方向等。通过合理利用这些资源, 不仅可以提高教学效果, 还能确保实验教学的顺利进行。

教师可以结合自己的科研项目, 从中选取适合学生理解和掌握的部分, 引入到实验教学中。如教师正在研究一个新的基因, 那么可以引入该基因的一些载体构建、基因的蛋白定位、基因在不同组织器官中的表达量变化等内容, 让学生亲手操作, 接触实际的科研工作。教师可以将科研项目中使用的各种实验技术和方法引入到实验教学中, 让学生学会使用这些先进的技术和方法。教师可以将基因编辑技术、蛋白质组学和生物信息学等引入生物相关实验课程中。教师可以将科研项目中获得的一些成果进行介绍和展示, 让学生了解科学研究的实际应用和价值。教师可以引

导学生自主开展一些小型的科研项目, 如对某个科学问题进行深入研究、开发某个新技术或新产品等。以上方法可以培养学生的独立思考和实践能力。

由于科研项目涉及到的实验技术和方法可能比普通实验更为复杂和危险, 教师需要更加注重实验的安全性, 确保学生的安全。由于学生的知识和能力有限, 教师在整合科研项目与实验教学时, 需要充分发挥引导作用, 包括帮助学生理解和掌握相关的知识和技术、解答学生的疑问、提供必要的指导和帮助等。教师还需要根据学生的实际情况, 调整实验内容和难度, 确保学生能够在实验中获得有效的学习和成长。为了更好地了解学生的需求和问题, 教师需要积极与学生进行沟通和交流, 这包括但不限于随时与学生进行面谈、听取学生的意见和建议、及时解答学生的疑问等。在实验结束后, 教师需要对学生的实验结果进行及时评价和反馈, 这有助于学生了解自己的不足之处并加以改进。同时, 通过评价和反馈, 教师还可以了解实验教学的效果和质量, 为未来的实验教学提供参考和改进的依据。

教师在整合科研项目与实验教学中扮演着至关重要的角色, 他们需要确保实验安全、发挥引导作用、积极与学生沟通和交流以及及时评价与反馈。通过这些努力, 教师可以为学生提供一个更为丰富、深入和有效的实验教学体验。将科研项目中的某些内容或研究成果引入实验教学中, 可以拓展和延伸实验教学内容。通过这样的方式, 学生可以接触前沿的科学技术和方法, 提高他们的学习兴趣和积极性, 培养他们的创新意识和实践能力^[10]。

2.3 实验教学的实施

烟草瞬时转化确定蛋白的亚细胞定位实验是一个相对复杂的实验, 需要 3~4 天才能完成整个实验步骤, 精确、合理、严谨的安排实验进程是确保学生完成整个小科研课题的有效保障。

2.3.1 实验准备

在实验教学实施之前, 教师需要确保所有必要的实验设备、材料和试剂都已经准备充足, 以支持实验的顺利进行。这可能包括培养箱、显微镜、离心机、PCR 仪等设备, 以及细胞培养基、质粒 DNA、感受态细胞、抗生素等必要的试剂和

材料。

为了确保实验的连贯性和效率，教师可能需要提前准备各种耗材和试剂，并根据实验的需求处理好各种可能的变量。这可能包括不同浓度的试剂、不同种类的细胞系以及不同的实验条件等。

此外，教师还需要根据学生的数量和实验设备的容量，将学生合理地分成若干小组，每个小组的人数应根据实验设备的数量和实验室的空间来决定，以确保每个学生都能充分参与到实验中。在每个小组中，可以设立一个负责人，负责协调小组内的实验操作和沟通。

2.3.2 实验讲解

在开始实验之前，教师需要详细讲解烟草瞬时转化实验的原理、步骤和预期结果，这有助于学生理解实验的背景和目的，以及他们在实验中的角色和责任。为了帮助学生更好地理解实验内容，教师可以使用图示、视频等辅助教学材料，这些材料可以直观地展示实验的关键步骤和注意事项，使学生更加清晰地掌握实验技能。

在实验过程中，教师需要引导学生正确进行瞬时转化实验的操作，包括感受态细胞的制备、质粒的转化以及转化细胞的观察等关键步骤。教师应确保学生了解每一步操作的目的和要点，并在实验过程中进行适时的指导和帮助。通过充分的实验准备和详细的实验讲解，教师可以为学生提供一個顺利、安全且有效的实验教学环境，有助于培养学生的实验技能、科研素养和团队合作精神，为他们的未来发展奠定坚实的基础。

2.3.3 科研项目的选择

在实验教学实施过程中，教师为学生准备多个不同的功能基因，这些基因均来自于教师的科研课题。学生可以根据自己的兴趣和专业方向选择其中一个基因进行深入研究。这种选择性的实验设计旨在为学生提供一個真实的科研环境，使他们能够更深入地了解基因的功能和调控机制。

学生选择基因后，首先需要对该基因进行前期的生物学分析，包括基因序列分析、表达模式研究以及可能的功能预测等。通过这一步骤，学生不仅能够掌握基本的分子生物学技能，还能够对所选基因有一个初步的认识。接下来，学生需要构建载体以进行后续的瞬时转化实验。载体构

建是基因功能研究的关键步骤，它需要学生掌握基因克隆、载体选择和酶切连接等基本技术。在这一过程中，教师需要提供必要的指导和支持，确保学生能够顺利完成载体构建。

2.3.4 数据分析和讨论

实验结束后组织学生参与对实验结果的分析 and 讨论环节至关重要。这一步骤不仅有助于学生深入理解基因表达的复杂机制，还能通过实际案例学习如何运用瞬时转化技术来研究基因的具体功能。在讨论中，教师应鼓励学生分享各自的实验结果，比较不同组别间的数据差异，并尝试解释这些差异可能的原因。通过集体讨论，学生们可以相互学习，发现实验过程中可能忽略的细节，并加深对基因表达调控、细胞信号转导等生物学原理的理解。

2.3.5 撰写实验报告

为了巩固所学知识并提升科研写作能力，教师应要求学生认真撰写实验报告。报告内容应包括实验目的、方法、结果、讨论以及结论等部分，尤其要强调对实验数据的详细分析和解释。通过撰写报告，学生不仅可以系统回顾实验过程，还能学会如何客观、准确地描述实验结果，并为未来的研究工作或学术论文撰写打下坚实基础。

2.3.6 学生反馈与跟进

实验教学结束后，教师仍需关注学生的学习进展和反馈意见。可以通过小测验、问卷调查等方式来检查学生对瞬时转化实验及相关知识点的掌握程度。同时，鼓励学生提出在实验过程中遇到的问题或建议，以便教师及时调整教学方法和内容，更好地满足学生的学习需求。

此外，教师还可设置课后答疑时间，为学生提供进一步的指导和帮助。通过持续的跟进和反馈机制，教师可以确保实验教学的效果得到最大化提升，同时也有助于培养学生的自主学习能力和科研兴趣。

通过以上步骤，将烟草瞬时转化实验成功引入植物学实验教学课程中，这将有助于提高学生的学习兴趣 and 参与度，培养他们的实践能力和科研素养。

2.4 教学效果和成果分析

将烟草瞬时转化实验引入到实验教学中，能

够让学生在短时间内观察到基因或蛋白的功能变化，有助于学生理解生物过程的快速性和简洁性，学生在课堂完成的实验结果如图 2 所示。质粒构建和提取、烟草瞬时转化和检测筛选等实验操作不仅有助于培养学生的实验技能，还可以增强学生的独立思考和解决问题的能力。通过烟草瞬时转化实验，学生可以了解到科研论文的写作、实验设计和数据分析等方面的知识，将帮助

学生养成严谨的科研态度和扎实的实验技能。烟草瞬时转化实验具有趣味性和挑战性，质粒提取浓度不高、烟草生长状态不好、农杆菌培养时间过长或过短、烟草注射操作不当都可能得不到有效的实验数据，可以激发学生对植物生物学的兴趣。引入烟草瞬时转化实验有助于学生在实验教学中掌握实用的技能和方法，为未来的科研工作打下坚实的基础。

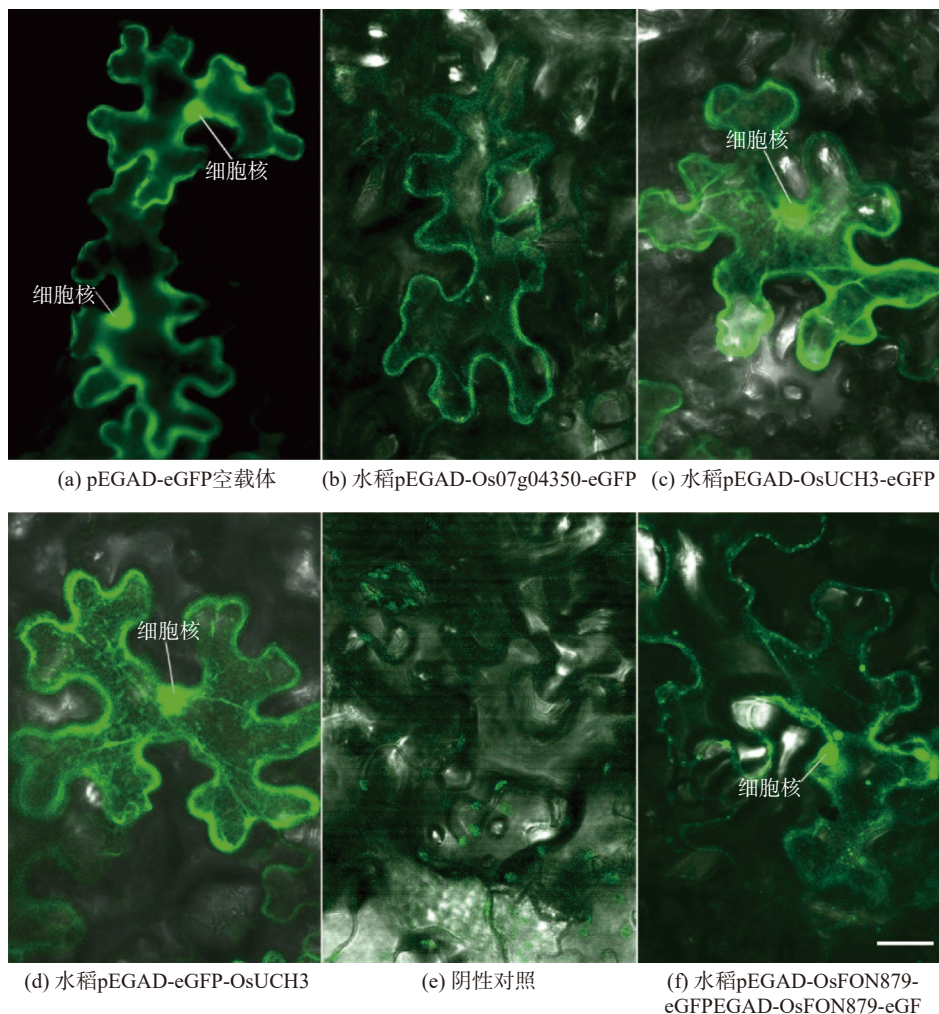


图 2 bar=50 μm 时的烟草瞬时转化蛋白亚细胞定位结果图

问卷调查学习效果如图 3 所示，92% 的学生认为实验课程具有挑战性，能引起学生的学习兴趣并能激发学生积极参与教学讨论，表明实验课程成功地引起了学生的兴趣，并且能够激发他们的积极参与；95% 的学生通过该课程的学习增长了知识，提高了分析和解决问题的能力；93% 的

学生通过该课程的学习了解了本学科的前沿动态，掌握科研课题开展的方式方法。学生通过实验课程的学习不仅掌握了基本的知识和技能，还能够了解本学科的前沿动态，掌握科研课题开展的方式方法，这对于学生未来的学习和职业发展都非常重要。

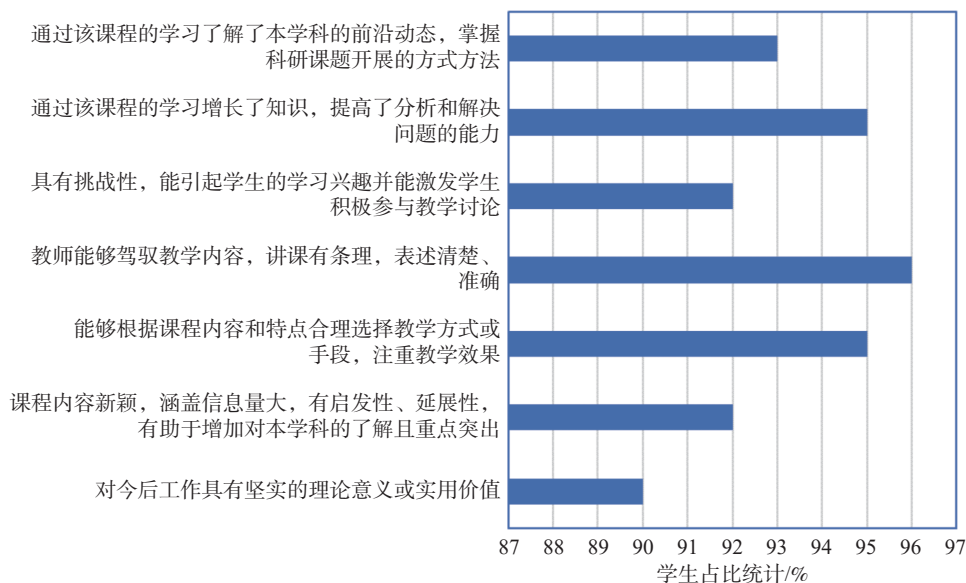


图3 问卷调查统计结果

3 结束语

在当今教育与科技深度融合的时代背景下, 实验教学正处于变革与发展的关键节点。本研究以烟草瞬时转化检测蛋白亚细胞定位实验为范例, 深入探索基于科研项目的实验教学模式, 为植物学实验教学注入了新的活力, 也为其他学科实验教学改革提供了可借鉴的思路^[1]。

通过此次实践, 可清晰地看到, 将科研项目融入实验教学, 有力地推动了教学内容和方法的革新。学生在参与实验的过程中, 不再局限于传统教学的被动接受, 而是主动投入到科研项目的各个环节, 从实验方案设计、操作实施, 到数据处理与分析, 全方位锻炼了实践能力和创新思维, 切实提升了科研素养。这种教学模式不仅使学生掌握了专业知识和实验技能, 更培养了他们解决实际问题的能力, 为其未来的学术研究和职业发展筑牢了根基^[12]。

展望未来, 实验教学的发展前景广阔且充满机遇。在能力培养方面, 实践与创新能力将始终是核心目标。学校和教师应进一步探索多元化教学方法, 引导学生在实验中勇于创新、敢于突破, 让学生在面对复杂问题时, 能够灵活运用所学知识, 提出创新性解决方案。

在融合发展层面, 实验教学与科研、产业的联系将更加紧密。与科研的深度融合, 能让学生接触到最前沿的研究课题和技术方法, 紧跟学科发展步伐; 与产业的对接, 则可使学生明确专业

知识的实际应用场景, 提高学生的就业竞争力, 培养出更多符合社会需求的复合型人才。数字化技术的广泛应用将成为实验教学发展的重要驱动力。虚拟仿真技术可模拟高成本、高风险实验, 让学生在虚拟环境中反复练习, 积累经验; 大数据和人工智能技术能够深度挖掘实验数据价值, 为个性化教学提供精准支持, 满足不同学生的学习需求; 智能化设备的引入, 将大幅提升实验效率和精度, 为实验教学带来更高质量的教学效果。

实验教学的开放与共享也将成为必然趋势。加强与国内外高校、科研机构和合作交流, 实现资源共享、优势互补, 能够为学生创造更广阔的学习平台。不同地区、不同背景的学术思想和实践经验相互碰撞, 将激发新的教学灵感和研究思路, 共同推动实验教学改革不断深入。

通过持续建立实验教学与科研活动的良性互动机制, 学校有信心为学生打造更优质的学习环境, 激发学生的学习热情和创新潜能, 为培养具有国际视野、创新精神和实践能力的高素质人才贡献力量, 让实验教学在高等教育中发挥更大的作用, 推动教育事业不断向前发展。

参考文献

- [1] 王东辉. 植物学专业研究生实验教学模式的创新与实践[J]. 高校生物学教学研究(电子版), 2017, 7(3): 43-47.

(下转第44页)