

面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革与探索

丁阿强, 卢培利

重庆大学环境与生态学院, 重庆

收稿日期: 2025年7月6日; 录用日期: 2025年8月7日; 发布日期: 2025年8月15日

摘 要

随着我国生态文明建设水平的提高, 环境微生物实验这门作为环境科学与工程学科重要实践基础的课程被提出了更高的要求。针对当前课程内容滞后、技术手段单一、课程与实践脱节等问题, 本文提出了面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革的新思路。实验以真实环境样品为研究主线, 设置了“传统微生物学 + 现代分子生物学”的双模块实验体系, 涵盖显微观察、菌株分离、DNA提取、功能基因检测等内容, 旨在引导学生形成对环境微生物形貌、种类、功能的系统性认识。此外课程还引入PAD教学模式, 帮助学生锻炼实验操作、数据分析和逻辑思维等多方面能力。本项教学改革立足于环境学科发展的实际需求, 致力于提升学生对现代微生物技术的理解与应用水平, 服务于生态文明建设和高素质环境人才的培养。

关键词

环境微生物学, 实验教学改革, 分子生物学技术, 样品主线式教学, PAD教学模式

Reform and Exploration of Environmental Microbiology Laboratory Teaching for Modern Biotechnology

Aqiang Ding, Peili Lu

College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing

Received: Jul. 6th, 2025; accepted: Aug. 7th, 2025; published: Aug. 15th, 2025

Abstract

With the growing emphasis on ecological civilization in China, higher standards are being placed on

文章引用: 丁阿强, 卢培利. 面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革与探索[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 859-865.
DOI: 10.12677/ae.2025.1581517

the environmental microbiology laboratory, a cornerstone of practical training in the disciplines of environmental science and engineering. To address prevalent challenges such as outdated curriculum content, limited technical methods, and a disconnect between coursework and real-world practice, this paper proposes a novel framework for reforming the course with an orientation toward modern biotechnology. The reformed curriculum is structured around the analysis of authentic environmental samples and implements a dual-module system that integrates traditional microbiology with modern molecular biology. It covers procedures including microscopic observation, microbial strain isolation, DNA extraction, and functional gene detection. The primary objective is to guide students in developing a systematic understanding of the morphology, diversity, and functions of environmental microorganisms. Furthermore, the course incorporates the Presentation-Assimilation-Discussion (PAD) teaching model to cultivate students' multifaceted skills in experimental operations, data analysis, and critical thinking. This pedagogical reform is rooted in the practical demands of the environmental science discipline. It aims to enhance students' comprehension and application of modern microbiological techniques, thereby supporting the national ecological civilization initiative and fostering the development of high-caliber environmental professionals.

Keywords

Environmental Microbiology, Experimental Teaching Reform, Molecular Biology Techniques, Sample-Driven Teaching, PAD Teaching Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态文明建设是社会主义现代化的一项重要战略任务,既担着筑起国家生态安全屏障的历史重任,又是高质量发展的支撑保障,“绿水青山就是金山银山”的价值观念展示了环境保护与经济发展相辅相成的关系[1][2]。我国当下的污染防治工作已从末端治理进入到了提质增效阶段,面对城市黑臭水体治理、土壤污染风险管控等领域,亟需建立起一套从基础理论研究到工程实践应用的全过程体系[3][4]。环境科学与工程学科是支撑生态文明建设的重要学科,紧密围绕国家战略生态安全体系设计,担负着解决环境污染问题和突破绿色技术瓶颈等职责。学科面向污水治理、大气污染防控、固废资源化处置等重点方向开展人才培养,在拓展学科专业宽度的同时也注重对学生的多学科交叉融合能力训练,着力培养服务国家战略发展的人才,满足生态环保部门和企业绿色创新发展的需求。环境科学与工程学科所培养的学生对于我国实现可持续发展的意义重大,也是支撑经济社会与生态环境协调发展的基石[5][6]。

环境生物技术由于其高效、低耗的特点已经成为污染控制领域中最常见的技术手段,环境微生物学则是其基础学科之一[7]。环境微生物学的实验课程以微生物为视角,帮助学生理解掌握从宏观到微观的污染物降解过程。通过实验课程的训练,可以帮助学生掌握微生物学分析的基本方法,并训练将理论知识运用到实际问题中的能力,这对于环境科学与工程创新型人才的培养有着至关重要的作用[8][9]。

2. 环境微生物实验教学中存在的问题

目前环境微生物实验教学中存在两方面的不足。其一是传授的实验技术技能与行业发展不匹配,其二是实验教学所选取的研究对象与实际情况差异较大[10]。具体而言,目前实验课程仍以光学显微镜观察、微生物染色、培养基制备等传统技术为主,实验项目的设置大多沿用自上世纪末的实验教学体系。

经典实验虽可以锻炼学生的实验技能, 但与当下行业常见的实时荧光定量 PCR、基因测序等分子生物学技术手段相去甚远, 使得学生们对微生物的分析能力已无法满足环境生物技术快速发展的现实以及工程实践需求。除此之外, 当前环境微生物学的教学内容偏向于对单菌培养与观测, 但真实的污水处理系统和土壤生物修复过程中微生物往往以更为复杂的群落方式出现, 单菌的研究不能很好的面向实际应用中的复杂问题。总结而言, 目前环境微生物实验教学的设计与内容和实际应用场景脱节严重, 既不能让学生了解掌握现代微生物学的研究方法和技术手段, 也不能为学生提供面向复杂生态系统的针对性训练, 难以满足行业对创新型技术人才的需求。

3. 现代分子生物学在环境微生物实验中的应用潜力

现代分子生物学是从分子水平研究生物大分子的结构与功能从而阐明生命现象本质的科学。自从 20 世纪中期起, 分子生物学一直在生命科学发展中起着重要的推动作用。不同以往依赖于显微镜观察或纯培养的实验方式, 分子生物学通过对 DNA、RNA 等遗传物质的测定来解析环境微生物群落的结构及功能。将分子生物学技术与环境微生物实验进行结合, 可更为清晰的构建从微观机理到宏观环境治理效果的路径[11]。在具体实验授课过程中, 学生可由显微镜观察细胞表观形态入手, 深入到对微生物基因组的认知, 并进一步理解微生物的种类特征及其在环境生态系统中的功能。分子生物学与环境微生物实验的结合不仅能填补传统实验项目因技术落后出现的空白, 也可启发学生加深对微生物种类、功能及其与污染物降解之间关联的思考。将传统微生物学与现代分子生物学方法在环境微生物实验课程中有机结合, 可帮助学生更为清晰的理解微生物的理论知识, 还能帮助学生了解学科前沿, 为未来从事环境事业奠定坚实基础[12]。

4. 面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革思路

面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革, 目的是培养具有丰富理论基础与实践创新能力的环境类专业人才。因此在教学过程中, 应尽力调动学生的学习热情, 并结合当前最前沿的研究成果以及行业发展趋势, 帮助学生开阔国际视野、培养工程素养, 使其具备成为学科发展领军人才的潜力。除此之外, 在课堂上还需穿插思想政治教育相关内容, 将“立德树人”贯穿教学始终, 实现教书育人相统一。

课程改革着重于以下三个方面。首先以知识为主导, 构建以传统微生物学和现代分子生物学为双核心的知识结构。其次以能力为中心, 将实验课程中技能操作训练为主的教学环节, 进一步转化为对环境领域工程实际问题的思考。最后则是以素养为基石, 将生态文明理念贯穿于理论与技术之中。环境微生物实验课程教学内容具体包括两个部分, 其一是传统微生物学实验模块, 主要面向微生物观察、分离、培养等基本训练; 其二是现代分子生物学实验模块, 主要针对 DNA 提取、物种鉴定、功能基因分析等关键技术。教学过程中的试验微生物均取自市政污水处理厂、工业废水处理厂、垃圾渗滤液处理场等典型环境行业场景中的真实样品, 以帮助学生更好的理解环境生物技术在真实场景中的应用。另一方面, 由于实验课程更偏重于操作以及思维训练, 因此“对分课堂”(Presentation Assimilation Discussion, PAD)的教学模式能够发挥更好的作用, 教学方式可以从“教师讲授-学生接受”转变为“问题引导-自主吸收-小组讨论”, 进一步发挥学生的主动学习意识, 提高实验课的教学效果[13]。

5. 面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革内容

为增强环境微生物实验课程与环境学科工程实践的联系, 课程所用样品全部来自于市政污水处理厂、工业废水处理系统、垃圾填埋场渗滤液处理装置、堆肥发酵设施、土壤修复工程等典型污染控制及生态修复现场, 开课时由教师将有代表性的微生物样品分发给各组学生(学生未知具体来源), 每组学生利用整

门实验课中所有实验项目对此样品进行分析,并在课程结束后形成有关该样品来源、特性、功能等方面的微生物学诊断报告。这种“样品主线式”的教学设计可突破以往实验教学过程中内容碎片化、技能割裂等弊端,帮助学生们从一系列连贯的实验任务中建立起关于整个微生物群落的认知,实现对知识结构的系统融合。

在具体的实验项目设计方面,本门课设置了“传统微生物学实验模块”与“现代分子生物学实验模块”两个部分,既有不同侧重点又互为补充。前一部分传统微生物学实验模块通过光学显微镜观察、细胞大小及数目测量、细菌染色及结构观察、微生物的分离纯化等实验项目,着重于基础知识的训练和基本操作能力的培养。后一部分现代分子生物学实验模块则通过 DNA 提取、系统发育构建、功能基因和蛋白检测、生物毒性检测等实验项目,引领学生从基因层面理解和分析微生物的种类与功能。这两个模块协同构成了层次清晰、逻辑严谨的微生物实验教学思路。课程架构如图 1 所示。

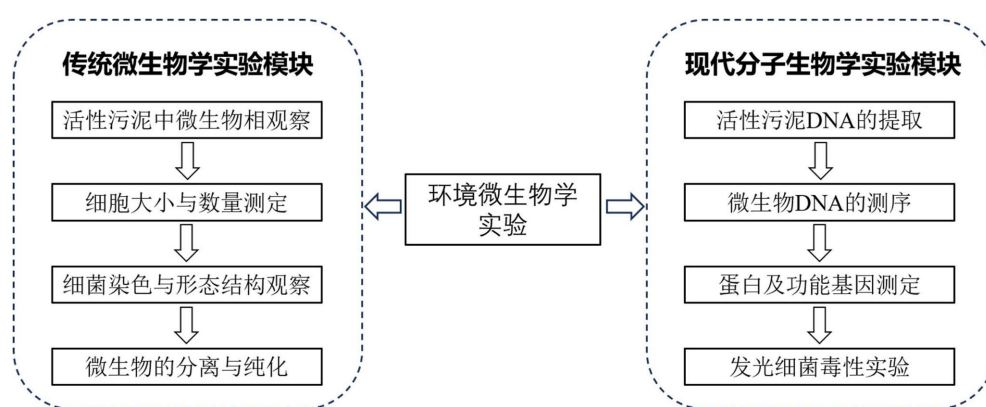


Figure 1. Architecture diagram of environmental microbiology experimental course oriented towards modern biotechnology

图 1. 面向现代生物技术的环境微生物实验课程架构图

各实验项目具体内容如下:

光学显微镜使用及活性污泥中微生物相观察实验: 实验要求学生掌握体视镜及光学显微镜的操作,并完成活性污泥三维结构形态的观察,同时识别出活性污泥微生物群落中原生动物、后生动物等代表性个体。依据指示性生物关联污染类型、处理工艺、微生物群落等,加深学生对环境生物处理技术的理解。

细胞大小与数量测定实验: 利用细胞计数板和目镜刻度测定细胞的大小和数量,计算样品中的微生物在不同环境压力下的体积、数量及分布密度,并对其进行定量分析,了解微生物的生理适应性。本实验项目可锻炼学生的操作和定量分析能力,并为后续比较不同种类微生物、探究微生物的功能奠定基础。

细菌染色与形态结构观察实验: 利用革兰氏染色法、荧光活死细胞染色法等对细菌进行染色,在显微镜下观察细胞不同的形态结构与活性状态。结合染色结果说明微生物的细胞结构特征和对外界环境胁迫的细胞响应。

微生物的分离与纯化实验: 利用超净工作台、高压灭菌和恒温培养等条件,完成从样本中分离微生物并纯化单个菌落的过程,学习平板划线、平板涂布等基本操作方法,并通过对菌落形态的认识判断菌种多样、生态系统稳定性以及环境适应性之间的关联。

活性污泥 DNA 提取实验: 通过细胞裂解、杂质去除和 DNA 沉淀等过程,从样品中提取基因组 DNA,帮助学生了解样品来源对于提取效率的影响,并为后续分子生物学检测打下基础。

微生物 DNA 测序与系统发育树构建实验: 利用获得的微生物 DNA 进行基因测序与系统发育树构

建。将分离得到的 DNA 序列经过序列比对, 分类注释以及系统发育分析分析后, 发掘样品中微生物优势种属并判断其潜在的生态环境功能。此实验可帮助学生掌握分子生物学分析的基础技能, 并增强其对微生物多样性与环境关系的理解。

活性污泥功能蛋白及功能基因测定分析实验: 在 qPCR 平台上检测典型的功能基因(如氨氧化基因、硝酸还原基因等), 并通过酶标仪或流式细胞仪实现对目标蛋白的定量。对照 qPCR 和蛋白分析的结果, 帮助学生加深对中心法则在环境微生物学中应用的理解, 提升对污染控制过程中微生物作用机理的认知。

发光细菌毒性实验: 利用发光细菌在不同污染环境中发光强度的差异, 开展生物急性毒性实验教学。训练学生掌握测定 IC50、LC50 等毒理学指标的方法, 并指导学生理解数据处理、分析、拟合的意义和目的, 进一步帮助学生认识污染物对微生物群落健康的直接影响。

本研究所提出的面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革有以下四个特色。

其一, 本次实验教学改革强调了样本驱动的系统性学习, 以环境行业真实存在的微生物学样品为试验原材料, 打破了传统实验课中知识点对接实验内容的线性教学模式, 而是搭建起以问题为导向、样品为主线的探索式学习模式。学生在多个实验项目中持续围绕同一样本开展分析, 从细胞形态到基因特征、从定性识别到定量测定, 逐步加深对环境样品中微生物结构与功能的解析, 有效激发了学生的问题意识和综合研究能力。

其二, 本次实验教学改革同样注重了研究逻辑系统性与知识结构化。实验项目先从细胞形态及数量的角度观察分析微生物表观特征, 再从 DNA 提取与基因测序的角度了解其遗传特性, 最后从定量检测功能基因及蛋白的角度认识其功能, 八个实验项目的串联设计为学生展示了一个完整的微生物学研究路径。在实验项目过程中, 学生并不是孤立地学习操作技能, 而是随着实验的进展不断地把所学到的知识串联起来, 由表观到机理认识环境样品中微生物群落结构组成与功能, 及其和生态环境之间的相互作用关系。这种模式可更好地帮助学生理解相关概念、掌握方法技术, 并提高逻辑思维能力。

其三, 本次实验教学改革还体现在实验技能和研究范式的多样化上面。面向现代生物技术的环境微生物实验将传统微生物学的经典方法, 如显微观察、染色分析、菌种分离等, 与当下环境微生物学研究常用的分子生物学方法, 如 DNA 提取、功能基因检测、生物信息分析等进行融合。学生操作技能的训练由浅入深, 同时也能更加直观地感受到目前环境微生物学的研究进展和技术路线。实验可帮助学生理解各种微生物学技术的应用范围和应用场景, 为其在将来的科研工作中打下良好的基础。

其四, 本次实验教学改革最后还突出了不同技术方法之间的差异比较以及对实验结果总结分析能力的培养。课程中由于设置了不同实验项目考察同一个环境样品的不同方面信息, 因此每个实验项目所获得的结果之间可能存在一定的差异性甚至是矛盾。通过比较这些实验项目所得到的结果, 能够帮助学生更好地理解不同分析方法在微生物学应用中的侧重点和适用范围, 并启发学生根据实际需求选择最优的研究技术路线。对于实验结果不一致的现象, 鼓励学生开展自主分析, 用批判性思维解释论证其中存在的可能原因, 并对实验假设进行大胆发问、提出质疑。这些训练可以更好地培养学生的思辨方式与科研素养。

6. 面向现代生物技术的环境微生物实验教学方法改革

在面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革中, 还推行 PAD (Presentation-Assimilation-Discussion) 的教学模式, 构建以学生为中心, 任务为驱动的学习框架。在新的教学模式下, 环境微生物实验可将传统的“教师讲解-学生操作”单一方式, 转变为将实验教学作为集知识传授、技能培养及思维训练的综合平台。

在 Presentation 中, 教师通过 PPT 讲解、视频播放及线上教学资源结合等方式让学生了解本次实验的

背景、基本原理、技术路线、关键技术点等, 继而结合工程案例或者研究热点, 带领学生思考本次实验设计的目的意义及技术应用方向, 激发学生主动学习能力和发现问题的意识。在 *Assimilation* 中, 学生进行实验操作完成实验, 记录原始数据和完整的操作过程, 最终形成实验报告。实验报告里不仅鼓励学生通过查阅文献、组间比较等方式对实验结果进行分析, 同时也需要学生对自己的实验操作进行反思, 并提出改进建议。在 *Discussion* 中, 重点针对学生实验报告中的结果分析、方法选取、理论推论等角度进行探讨。基于实验报告的内容, 开展学生与老师、学生与学生之间的交流互动, 促使学生厘清每个问题背后的原理支撑。尤其当出现实验结果与预期不符, 或者是组间差异较大的情况时, 鼓励学生积极反思, 主动提出潜在的原因与对策, 借此培养学生科学质疑及假设检验的习惯, 并在其中锻炼批判性思维和科学表达的能力。

7. 结语

本文围绕“面向现代生物技术”的教学理念, 对环境微生物实验的教学内容和教学方法进行全面改革与优化。由原来仅注重单个实验技能的培养, 转变为以培养学生的综合分析能力为目标, 从细胞层面到分子层面进行系统性的技能训练。课程通过设置传统微生物学模块和现代分子生物学模块, 将不同知识进行了互补与关联, 形成了对微生物系统性的认知。在教学组织中, 运用 *PAD* 教学模式改善课堂教学节奏与学生参与形式, 使实验课程成为融合理论、技能和科研素养培养的平台。

未来课程建设还可进一步加入更多环境领域真实样品和与其相关的各类数据, 如污水处理厂在线水质数据、温室气体检测数据等等, 进一步提高教学内容与行业的契合度。此外, 环境微生物实验课程在未来也可与环境毒理学、环境材料学等学科进行交叉开设实验项目, 提高学生综合思维和跨学科解决实际问题的能力。最后课程还可通过对学生阶段性追踪及个性化反馈, 帮助学生在实验过程中保持科研意识, 激发科学研究的兴趣, 推动课程教学与科研训练的有机融合, 为高层次环境人才的培养奠定实践基础。

基金项目

重庆大学本科教育教学改革研究项目“面向现代生物技术的环境微生物实验教学改革与实践”(2023Y23)。

参考文献

- [1] 高国荣. 中国共产党与中国生态文明建设[J]. 近代史研究, 2024(6): 4-24, 158.
- [2] 王雨辰. “绿水青山就是金山银山”理念 20 年: 理论创新与实践应用[J]. 人民论坛, 2025(12): 47-51.
- [3] 刘智晓, 刘龙志, 吴凡松. “双碳”战略下构建面向未来气候适应型城镇排水系统[J]. 中国给水排水, 2024, 40(8): 1-10.
- [4] 晏井春, 宋静, 孙钰沅, 等. 我国工业场地土壤污染防治十大科技问题与对策[J]. 环境科学研究, 2024, 37(12): 2733-2744.
- [5] 李家科, 王哲, 王东琦, 等. 西部地方高校环境类研究生培养模式探索与实践[J]. 大学教育, 2025(6): 120-123, 132.
- [6] 孙亚乔, 段磊, 张丽敏, 等. “双碳”战略目标下环境类研究生创新意识的培养[J]. 科技风, 2025(8): 162-164.
- [7] 贾晓强, 周晓, 张雷. 环境生物技术课程思政建设[J]. 化工管理, 2025(1): 49-55.
- [8] 满百鹰, 向兴, 罗洋, 等. 环境微生物学课程教学改革的探索与实践[J]. 微生物学通报, 2025, 52(6): 2883-2895.
- [9] 任丽英, 秦鹏飞, 卫静, 等. 环境微生物课程教学改革探索与实践[J]. 高教学刊, 2024, 10(23): 39-42.
- [10] 赵金博, 谢恬, 李松鸿, 等. 线上线下教学在“环境微生物实验”课的运用策略[J]. 科技风, 2024(31): 81-83.
- [11] 钱凯, 付丹, 孙赛格, 等. 基于综合素质培养的分子生物学教学改革研究[J]. 宜春学院学报, 2024, 46(12): 117-

121.

- [12] 李舜尧, 李玉成, 武超, 等. 环境微生物学实验课程教学模式的改革与探索[J]. 蚌埠学院学报, 2023, 12(2): 123-128.
- [13] 李科友, 徐全乐. 对分课堂在生物化学实验技术教学中的应用[J]. 生命的化学, 2022, 42(11): 2119-2126.