

## “环境工程微生物学”实验教学改革初探

徐爱玲 宋志文\* 夏文香 孙好芬 李捷 谢经良

(青岛理工大学环境与市政工程学院 山东 青岛 266033)

**摘要:**“环境工程微生物学”是我国高校环境工程和环境科学专业的一门专业基础必修课，环境工程微生物学实验是本课程的重要组成部分。但目前环境工程微生物学实验教学中存在实验内容滞后、单调，学生的预习甚至实验过程往往流于形式，缺乏有效的考核方法等一系列问题。针对以上问题，作者采取将移动互联网引入环境工程微生物学实验，鼓励学生参与实验的前期准备等措施来改革传统教学模式，通过编写实验教材、精心安排实验内容、将科研带入到实际教学中等途径来优化教学内容，采用将平时成绩纳入最终实验成绩的方法来改革传统考核方式，取得了较好的教学效果，本文对以上教改内容进行详细阐述。

**关键词:** 环境工程微生物学实验，教学模式，教学内容，考核体系，教学改革

## Teaching reform in experiment of Environmental Engineering Microbiology

XU Ai-Ling SONG Zhi-Wen\* XIA Wen-Xiang SUN Hao-Fen LI Jie XIE Jing-Liang

(Institute of Environment and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266033, China)

**Abstract:** Environmental Engineering Microbiology is a professional basic course of Environmental Engineering and Environmental Science Specialty in university. However, there are some problems in the experimental teaching of Environmental Engineering Microbiology. For example, the contents are backward, the preparing before experiments and even the experiment often goes through the motions, and the effective assessment methods were lack. Therefore, the author reformed the traditional teaching model by introducing the mobile internet into the experimental teaching, encouraging students to participate in the preparation of the experiment. We optimized the teaching content by reworking curriculum, introducing the researchers into the experimental teaching. And we also optimized the assessment methods by calculating the final scores from the performance and lab reports. Those teaching reforms obtain a favourable effect, and this paper described those teaching

**Foundation items:** Elite School Construction Projects of Shandong Province-innovative Curriculum System of Environmental Engineering (MX1-003); Science Foundation of Shandong Province (2015ZRB01546); The Major Research Project of Shandong Province (GG201703100080)

\*Corresponding author: Tel: 86-532-85071236; E-mail: ssszww1015@sohu.com

Received: October 28, 2017; Accepted: January 24, 2018; Published online (www.cnki.net): January 25, 2018

基金项目: 山东省名校工程建设项目-环境工程创新课程体系(MX1-003); 山东省自然科学基金(2015ZRB01546); 山东省重点研发计划(GG201703100080)

\*通信作者: Tel: 86-532-85071236; E-mail: ssszww1015@sohu.com

收稿日期: 2017-10-28; 接受日期: 2018-01-24; 网络首发日期(www.cnki.net): 2018-01-25

reforms in detail.

**Keywords:** Environmental engineering microbiology experiment, Teaching mode, Teaching content, Assessment system, Teaching reform

“环境工程微生物学”是我国高校环境工程和环境科学专业的一门专业基础必修课，它以普通微生物学的理论与技术为基础，在研究自然环境中微生物形态、结构、生理生化、遗传变异、生态等一般规律的同时，更注重微生物在环境物质转化中的作用与机理<sup>[1]</sup>。环境工程微生物学实验是理论课的核心组成部分，实验教学是增强学生对于环境工程微生物学理论知识的理解能力、实验的独立操作能力，培养学生运用课堂知识分析问题、解决问题的思路，以及开发学生创新意识的重要环节<sup>[2]</sup>。因此，在新时期加强环境工程微生物学实验教学的改革研究，对学生深刻理解环境污染治理中微生物的重要作用，提高学生的专业、综合素质以及培养创新型应用型人才等方面都具有深远的意义<sup>[3]</sup>。目前，在环境工程微生物学实验教学中存在一些问题，主要表现在：(1) 由于实验内容滞后、单调，致使学生对实验的意义领会不深，进而影响了学习兴趣。(2) 实验环节存在弊端，学生的预习甚至实验过程往往流于形式，实验效果收获甚微。(3) 缺乏有效的考核方法，不能客观地反映学生的实验成绩。近几年，我们对环境工程微生物学实验教学进行思考和探索，并借鉴优秀的教改经验进行了一系列改革，旨在培养专业基础扎实、具有自主创新精神的环境工程类复合型人才。

## 1 加强对环境工程微生物学实验的认识，改革传统教学模式

### 1.1 将移动互联网引入环境工程微生物学的实验教学

传统环境工程微生物学实验常采用“理论课程学习—实验预习—教师实验讲解—学生实验操作—实验报告撰写”等一系列流程的教学模式，然

而这种灌输式的实验教师演示、学生机械模仿的学习方法不利于学生实验操作技能的提高，也限制了学生创新思维的发展。

目前，我们在教学过程中改变传统的教师板书讲授模式，积极地引入多媒体和移动互联网教学，充分利用计算机与互联网技术将实验涉及的实验原理、步骤及相关知识点等素材整理加工制作成图片、Flash 动画和短视频等，建立起内容新颖、知识点丰富、专业性强的教学资源系统。然后通过微信群和 QQ 群，最大化地利用多种移动互联网平台将这些资源及时传输给学生，使学生可以随时随地利用零星时间进行学习，而不再拘泥于有限的实验课时，从而达到资源共享、实时交流的目的。例如，针对基础微生物学实验技术章节的“细菌的革兰氏染色”实验<sup>[4]</sup>，我们拍摄制作了实验过程的小视频，将涂片固定、草酸铵结晶紫染色及蒸馏水冲洗、加碘液覆盖涂面染色、水洗后用吸水纸吸去水分、加 95%酒精数滴进行脱色并冲洗，最后用蕃红染色液(稀)染色、蒸馏水冲洗、干燥、镜检等步骤及注意事项详细地展现给学生，不但生动形象而且易于掌握；在环境微生物检测与评价技术章节的“变性梯度凝胶电泳技术分析污水处理系统中微生物的多样性”实验中，我们针对实验原理<sup>[5]</sup>精心制作了 Flash 动画，演示在双链 DNA 片段的一端加入一段富含 GC 的 DNA 片段(GC 夹，一般 30–50 个碱基对)成为高熔点区，当该 DNA 片段在变性剂浓度呈梯度增加的聚丙烯酰胺凝胶中电泳时，泳动至与 DNA 变性所需变性剂浓度一致的凝胶位置时发生解链变性，导致泳动受阻、电泳迁移速率降低而停留的过程，使晦涩难懂的实验原理通过动画的展示变得趣味横生、简单直观；在现代微生物学技术章节的“环境微生物基因的 PCR 扩增”实验中，教师与学生通过

微信群对扩增产物的电泳条带出现了非特异性条带的现象进行了思考并积极展开讨论,认为造成这种现象的可能原因主要有:(1)引物与靶序列不完全互补或引物聚合形成二聚体;(2)  $Mg^{2+}$  浓度过高、退火温度过低及 PCR 循环次数过多;(3)酶的质和量。针对该讨论结果学生们分别从引物量、模板量、酶量、酶种类、循环次数、退火温度等方面对实验进行了改进,最终得到了满意的实验结果。实验问题的解决使学生们获得了成就感,激发了学习兴趣和动手能力。

### 1.2 积极鼓励学生参与实验的前期准备工作

实验的前期准备工作异常繁琐,教师除了要检查实验药品、配制实验试剂、消毒实验器皿、摆放实验用品、调试实验仪器等,还要进行多次预实验以确保实验结果的准确性。学生参与到实验前期的准备工作,不仅可以在配制试剂、消毒器皿和调试仪器过程中熟悉和掌握基本的实验操作技能,还可以加深对实验机理的理解,熟悉实验步骤和相关仪器的原理与使用方法,在保证后续实验课程顺利进行的同时,也调动了学生的积极性与主动性<sup>[6]</sup>。例如,“细菌生长曲线的测定”实验中,前期的准备工作包括培养基的制备,吸头、三角瓶和培养皿的灭菌以及分光光度计的调试等;“RNA 的提取及逆转录”实验中,前期的试验准备工作包括吸头、吸头盒、离心管、无菌水的 DEPC (Diethyl pyrocarbonate)处理,操作台的消毒,大肠杆菌的培养及细胞计数,凝胶的制备及电泳技术,这些基础的实验步骤在正式实验中是接触不到的。另外,由学生进行实验前期准备工作,不仅可以让教师有更充足的精力投入到实验备课阶段,提高教学质量,还可以激发学生的实验兴趣,为其实验课的探究做好思想准备,增强其在经历、感受实验探究过程中的求知欲。这充分体现了我们以学生为主体的教育方针,发挥学生的主体性,自己主动获得知识技能,达到事半功倍的效果。

## 2 优化教学内容

### 2.1 精心安排教学内容

目前高校一般采用周群英教授主编的《环境工程微生物学》作为理论课的教材,但并未有统一的、系统性的环境工程微生物学实验理论和方法的教材。环境工程微生物学实验一般沿用传统微生物学实验,实验内容单一、方法陈旧、专业性不强,而且实验安排彼此孤立,学生很难将实验内容与实际应用联系起来。针对这种现状,我们精心编制了《环境工程微生物学实验》教材(中国电力出版社出版),新增了微生物技术和微生物污染控制专题,实验内容分为基础微生物学技术、现代微生物学技术、环境微生物检测与评价技术和污染物微生物处理与资源化综合实验技术四大部分。实验内容编排上遵循由简到繁的原则,首先让学生通过基础实验课程掌握基本的实验操作技能和知识理论,然后通过接触一些现代微生物技术和微生物检测与处理技术了解环境工程微生物学学科领域发展过程中的最新科研成果,最后通过污染物微生物处理与资源化专题将环境工程微生物学的理论知识应用到工程实际中,让学生深刻理解在环境监测与环境污染治理中微生物区别于动植物的独特作用和重要地位。四个部分的实验内容环环紧扣、循序渐进,将分散的知识点有机地结合,组织成连续的、系统的、针对性的综合性实验。在完成大纲要求基础教学的前提下,既挖掘了环境工程微生物学实验的深度,丰富了教学内容,又拓展了学生的知识体系,增强了科学研究意识。为培养具有探索意识、创新精神、实践能力、充分掌握所学知识并融会贯通的环境工程类复合型人才奠定坚实的基础。具体的实验内容安排如表 1 所示。

《环境工程微生物学实验》教材的知识点覆盖面广、实验内容形式多样,但由于学生实验课时(共 24 学时)受到限制,在具体实验教学中教师在基础微生物学技术、现代微生物学技术和环

表 1 环境工程微生物学实验内容安排

Table 1 The content arrangement of environmental engineering microbiology experiment

编号 Number	实验类别 Experimental type	实验名称 Experiment
1	基础微生物学技术	微生物形态和结构观察, 细菌的革兰氏染色, 显微镜测微技术和微生物显微镜直接计数, 培养基的制备及消毒灭菌, 微生物的稀释涂布及平板计数, 细菌纯种分离、培养和接种技术, 细菌生长曲线的测定, 菌种的紫外诱变, 菌种保藏, 微生物生理性质检测
2	现代微生物学技术	细菌总基因组的提取纯化及检测, 环境微生物基因的 PCR 扩增, 实时荧光定量 PCR 技术, 凝胶的制备及电泳技术, RNA 的提取及逆转录, 质粒的分离纯化和鉴定, 感受态细菌的制备及细菌的转化, 重组质粒的定向克隆及蓝白斑筛选, 酶活性检测
3	环境微生物检测与评价技术	水中细菌学检测, 废水生化需氧量的测定, 富营养化湖水中藻类的测定(叶绿素 a 法), 空气中微生物数量检测, 变性梯度凝胶电泳技术分析污水处理系统中微生物的多样性, 限制性片段长度多态性技术分析污水处理系统中微生物的多样性, 物理和化学因素对微生物生长发育的影响, Biolog 分析废水微生物代谢特性
4	污染物微生物处理与资源化	活性污泥的培养及曝气生物滤池对污水的生物处理( I 活性污泥的培养, II 曝气生物滤池对污水的生物处理), 废水厌氧消化, 石油高效降解菌株的分离鉴定及性质研究, 固体废物处理与资源化方法( I 碱溶性金属废物碱浸——电解资源化, II 固体废物破碎与筛选, III 固体废物热值、含水率测定, IV 固体废物浸出毒性实验, V 农作物秸秆制备活性炭), 微生物堆肥技术, 室内甲醛的微生物去除

境微生物学检测与评价技术中可针对性地选择几个具有代表性的实验章节进行实践教学。其中, 培养基的制备及消毒灭菌、细菌的革兰氏染色、细菌总基因组的提取纯化及检测、环境微生物基因的 PCR 扩增和水中细菌学检测等实验章节一般为必选部分。通过这部分的实践学习, 学生可初步掌握实验流程和操作基本技能, 并建立起分析实验数据的方法和能力, 为后续环境工程微生物学专业性实验课程的进行做好准备。除必选实验章节外, 学生可根据自身兴趣和爱好自发组成 3-4 人的研究性学习小组, 然后在相似类实验章节中有选择性地实践学习。例如, 在基础微生物学技术部分, 学生可选择微生物形态和结构观察实验与微生物显微镜直接计数实验的其中之一进行; 在微生物的稀释涂布及平板计数实验与细菌纯种分离、培养和接种技术实验中选其一学习。另外, 为满足学生的好奇心和求知欲, 可在无时间冲突的前提下适当对学生开放实验室, 让其可进行多种实验内容的实践学习, 并鼓励大家积极参与到此类自主性学习的实践过程中来。这样安

排实验课程内容, 不仅克服了传统授课的单调性、摆脱了学校课时的局限性, 也最大程度上实现了实验室的利用率, 更能够充分调动学生积极性和主动性, 让其更多地接触、了解环境工程微生物学实验的目的和意义, 在基础知识和专业知识的学习过程中增长见识、提高动手能力、培养创造性。

## 2.2 科研促进实验教学

### 2.2.1 鼓励科研教师参与到本科生实验教学中

环境工程微生物学学科领域近几年知识的更新速度不断加快, 其实验技术的发展也日新月异。为了紧跟时代与科学的步伐, 我们编写的《环境工程微生物学实验》教材新增了现代微生物技术和微生物污染控制专题。实验室专职指导教师虽可以胜任教材中传统的基础实验与经典验证实验的讲授工作, 但新增的现代微生物技术和微生物污染控制专题实验设计技术要求高、实验操作难度大, 需要学生查找多方面相关文献, 运用多学科知识及技能分析并解决实验过程中出现的随机性具体问题, 而专职实验指导教师由于缺乏对当前阶

段环境工程微生物学领域的研究学习,其技术和知识思维系统更新速度较慢,所以很难辅助指导学生顺利完成实验实践工作。因此,我们非常重视科研工作对实验教学的促进作用,积极鼓励从事相关研究的教师将其承担的科研课题项目与实验教学进行有机结合,将目前科研取得的部分成果先期转化为环境工程微生物学的教学内容,通过聚焦环境工程微生物学科领域前沿发展动态,激发学生对环境工程等专业的学习兴趣,为其将来在专业领域深入开展研究创造良好的学术氛围。例如,鼓励环境专业优秀教师以国家自然科学基金为依托,将石油高效降解菌株的分离鉴定及性质研究纳入环境工程微生物学实验的教学中,在了解目前海洋溢油和石油污染的现状及其处理方法的基础上,还可以让学生掌握石油降解微生物的分离鉴定技术;鼓励青年教师以横向项目为依托,将室内甲醛的微生物去除技术带入到实验教学中,让学生了解目前室内空气污染及解决办法,掌握甲醛测定及甲醛降解微生物的筛选技术。这些社会热点的研究内容及技术,不但可以让学生了解环境领域亟待解决的实际问题,认识环境工程微生物实验技术在环境领域的重要地位,而且还可以激发专业学习的兴趣。此举措开创了学校以科研促进实验教学、积极推进实验教学改革的新局面。

### 2.2.2 鼓励在读硕士生和博士生参与到本科生实验教学中

全日制硕士生和博士生群体是绝大多数高校科研项目的重要参与者,也是具体实验的主要实施者。实验研究工作使其熟练掌握各项实验操作技能。另外,在校研究生除实验研究外更关注于本专业研究领域的发展动态、热点问题以及国内外高质量文献,他们思维开阔、动手能力强、精力充沛,对本专业学科领域的认知更加深入透彻。因此,将研究生引入到本科生环境工程微生物学实验指导工作中,不仅可以规范学生的实验操作、提高课堂效率,还可以开拓学生的视野。例如,

在“物理和化学因素对微生物生长的影响”实验中,我们安排了两名硕士研究生进行协助,该实验需要检测温度、pH、碳源、氮源、有机污染物对微生物生长的影响,研究生不但可以对学生在实验过程中遇到的诸如微生物最适温度、最适 pH、最佳碳氮比、微生物数量的测定方法等基本问题进行答疑解惑,还可以拓宽学生知识面,将其在研究过程中发现的诸如自养微生物培养基中加入少量的有机物会加速自养微生物的生长,低剂量的紫外照射不但不会杀菌,反而因其诱变作用会加速微生物的生长等特殊现象或者规律讲述给本科生,刺激本科生的求知欲,对他们知识的运用及创新能力的提升起到很大的帮助作用。

### 3 完善考核方式与评价方法

传统微生物学实验课的考核只关注实验报告上的结果分析,而忽略了学生在实验具体操作过程中的表现,这在某种程度上打击了学生的实验积极性,造成一部分学生存在消极对待实验而无法掌握实验基本技能的现象。新的考核评价体系更加注重学生的操作技能、综合运用知识和自主创新的能力,以培养学生分析问题、解决问题的思路为目标<sup>[7]</sup>。为此,我们新的考核方式与评价方法是将实验成绩与实验操作过程管理紧密结合起来。实验成绩由平时成绩和实验报告成绩两部分组成,其中平时成绩占 40%,包括撰写实验预习报告和规范的实验操作。新的考核方式加大了对学生综合能力和实践操作动手能力的考核,更加科学合理,对学生提出了更高的要求,有利于扭转学生长期以来重理论轻实验的现象,提高学生对实验课重要性的认识。鼓励重视实验课的学生,鞭策不重视实验课的学生,新的考核方式更能达到实验教学的目的,受到了广大学生的好评,主要表现在两方面:第一,36 个实验的平均年开出率达到 70%以上;第二,在学生评教工作中,环境工程微生物学实验的评分由 75 分升至 87 分。

#### 4 结语

环境工程微生物学实验是增强学生对于环境工程微生物学理论知识的理解能力、实验的独立操作能力,培养学生运用课堂知识分析问题、解决问题的思路,以及开发学生创新意识的重要环节。本校经过一系列的改革大大地激发了学生的学习热情,特别是新技术和新知识在实验教学中的渗透,加深了学生对专业的了解,拓宽了他们的视野,提高了学生分析问题和解决问题的能力及实验技能,增强了科研意识及专业信心。实践证明,改革后的环境工程微生物学实验更利于学生适应今后的学习和工作。例如,本专业部分学生毕业后被同济大学、中国海洋大学、北京工业大学和华东理工大学录取为研究生,其导师们普遍反映学生不但掌握了良好的微生物学和分子生物学基础知识,而且具有较强的实验设计能力;部分学生毕业后在青岛市环境监测中心站、青岛市水质监测中心、青岛市污水处理厂、山东海普安全环保技术股份有限公司和上海金山联合环境工程公司等单位从事环境检测和环保产品的研发工作,主管领导反映他们不但操作规范、培训期短,而且思路清晰、工作能力较强。

#### REFERENCES

- [1] Guo RX, Li WH, Wu SM, et al. Exploration and practice of experiential teaching model in environmental microbiology course in pharmaceutical field[J]. *Pharmaceutical Education*, 2015, 31(1): 57-61 (in Chinese)
- 郭瑞昕, 李文红, 吴盛美, 等. 药学类环境微生物学课程体验式教学模式的探索与实践[J]. *药学教育*, 2015, 31(1): 57-61
- [2] Pan SB, Sun HQ. Optimization of laboratory teaching contents of environmental engineering microbiology[J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2010, 22(9): 841-842 (in Chinese)
- 潘少兵, 孙慧群. 环境工程微生物学实验教学内容优化研究[J]. *中国微生态学杂志*, 2010, 22(9): 841-842
- [3] Wang GH. Research on experiment teaching reform of Environmental Engineering Microbiology[J]. *Microbiology China*, 2005, 32(2): 144-145 (in Chinese)
- 王国惠. 环境工程微生物学实验教学改革研究[J]. *微生物学通报*, 2005, 32(2): 144-145
- [4] Hong QH, Shi L, Sun JM, et al. A discussion about the application of Gram Stain three-step method[J]. *Research and Exploration in Laboratory*, 2010, 29(11): 15-17 (in Chinese)
- 洪庆华, 石璐, 孙井梅, 等. 革兰氏染色三步法应用试验探讨[J]. *实验室研究与探索*, 2010, 29(11): 15-17
- [5] Liu PF, Zhao D, Song G, et al. Application of denatured gradient gel electrophoresis technology in microbial diversity research[J]. *Journal of Microbiology*, 2013, 33(6): 88-92 (in Chinese)
- 刘鹏飞, 赵丹, 宋刚, 等. 变性梯度凝胶电泳技术在微生物多样性研究中的应用[J]. *微生物学杂志*, 2013, 33(6): 88-92
- [6] Lü LZ, Lin H, Chen XZ, et al. Reform and practice of Environmental Engineering Microbiology experiment teaching[J]. *Microbiology China*, 2014, 41(10): 2149-2153 (in Chinese)
- 吕绿洲, 林海, 陈秀枝, 等. 环境工程微生物学实验教学改革与实践[J]. *微生物学通报*, 2014, 41(10): 2149-2153
- [7] Kong F, Xue ZL, Yang CY, et al. Teaching reform of environmental microbiology experimental[J]. *Journal of Science of Teachers' College and University*, 2016, 36(1): 97-99 (in Chinese)
- 孔芳, 薛正莲, 杨超英, 等. 环境工程微生物学实验教学改革[J]. *高师理科学刊*, 2016, 36(1): 97-99