



环境工程微生物学课程教学中存在的问题与对策

宋志文* 徐爱玲 李捷 夏文香

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等学校环境工程专业的基础核心课程,具有知识更新速度快、知识点繁多、内容分散的特点。在其教学过程如何兼顾传统微生物学内容与现代微生物学研究新进展,合理选择教学内容、实验项目和安排实验时间,引导学生准确掌握基本概念和知识点,培养学生动手能力、创新意识和创新能力,是摆在每位教师面前的难题。围绕上述问题,我们教学团队在课堂与实验教学内容、教学方法和课外大学生实践活动等方面采取了一系列措施,取得了较好的教学效果。

关键词: 环境工程微生物学, 教学内容, 教学方法, 教学手段

Problems and countermeasures in Environmental Engineering Microbiology course teaching

SONG Zhi-Wen* XU Ai-Ling LI Jie XIA Wen-Xiang

School of Environmental & Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266033, China

Abstract: Environmental Engineering Microbiology is one of the basic core courses of Environmental Engineering major in higher education in China, with the characteristics of short knowledge refresh period, numerous knowledge points and dispersive contents. In the process of teaching, how to strike a balance between traditional microbiology content and progress in modern microbiology research, choose the teaching content rationally, arrange the experiment project and experiment time reasonably, guide the students to grasp the basic concepts and knowledge points accurately, and train students' hands-on ability, innovation consciousness and innovation ability are difficult problems for every teacher. Around the above-mentioned problems, our teaching team has taken some measures from the aspects of classroom and experiment teaching contents, teaching methods and extracurricular activities, and achieved better teaching results.

Keywords: Environmental Engineering Microbiology, Teaching content, Teaching methods, Teaching measures

环境工程微生物学是我国高等学校环境工程专业的基础核心课程,是许多高校环境工程、环境科学专业硕士研究生入学考试的专业课程^[1]。环境

工程微生物学教学内容既包括基础微生物学知识(微生物的分类、形态结构、营养、代谢、生长繁殖、生态、遗传与变异等),又包括微生物在环境物质循

Foundation item: High Level Colleges and Universities Construction Program of Shandong Province (MX1-003)

*Corresponding author: Tel: 86-532-85071262; E-mail: songzhiwen@qut.edu.cn

Received: 03-01-2018; Accepted: 29-10-2018; Published online: 08-11-2018

基金项目: 山东省名校工程建设项目(MX1-003)

*通信作者: Tel: 0532-85071262; E-mail: songzhiwen@qut.edu.cn

收稿日期: 2018-01-03; 接受日期: 2018-10-29; 网络首发日期: 2018-11-08

环和环境污染控制中的作用原理(微生物在元素循环中的作用、有害微生物的检测与控制、微生物对污染物质的降解与转化等)以及微生物新技术在环境工程中的应用等方面内容;同时环境工程微生物学实验教学也是实践技能训练的重要环节^[2-3]。通过学习,为后续的水、空气、固体废弃物污染控制工程以及污染环境修复技术等专业主干课程提供知识储备和理论基础。环境工程微生物学教学必须突出环境污染治理和生态环境保护的主题,将微生物学的知识理论与环境领域的工程实践紧密结合,才能取得良好的教学效果^[4]。

本团队教师自 2001 年起即担任青岛理工大学环境工程、环境科学专业环境工程微生物学课程的教学工作,该课程先后被评为山东省重点建设基础课程(2009 年)和山东省省级精品课程(2012 年),教学团队在教学内容、教学方法改革和课外大学生实践活动等方面采取了一系列措施,取得了一些效果。

1 环境工程微生物学教学中存在的主要问题

目前,我校环境工程微生物学课程总计 56 学时,其中课堂教学 40 学时,实验教学 16 学时,课程设置在大学二年级第二学期。在有限的学时内如何使学生较全面地掌握环境工程微生物学的基础理论体系、核心知识内容和基本实验技能,培养学生观察和分析事物的能力、利用微生物学理论知识解决环境问题的能力和创新能力,是本课程的中心任务。我们在该课程的教与学过程中发现存在以下问题:

(1) 微生物学学科正经历跨越式的发展,一些颠覆性的新发现、新概念层出不穷。在教学过程中课时的有限性与知识的增长性之间的矛盾日益突出,如何在授课过程中兼顾传统微生物学内容与现代微生物学新进展是摆在每位教师面前的一个难题。

以该课程中较为重要的教学内容氮循环为例,传统的氮循环过程主要包括固氮作用、氨化作用、

硝化作用(包括氨氧化作用和亚硝酸盐氧化作用)、反硝化作用、铵盐同化作用、硝酸盐同化作用等,涉及的微生物类群包括固氮菌、氨化细菌、氨氧化细菌(Ammonia-oxidizing bacteria, AOB)、亚硝酸盐氧化细菌(Nitrite-oxidizing bacteria, NOB)和反硝化细菌等。随着研究的深入,一些新的参与氮循环的微生物类群和微生物过程陆续被发现,包括氨氧化古菌(Ammonia-oxidizing archaea, AOA, 2005 年),厌氧氨氧化细菌(Anaerobic ammonia oxidizing bacteria, Anammox, 1996 年),异养硝化-好氧反硝化菌(1983 年)^[5]等。污水生物脱氮处理工艺也相应地在传统硝化-反硝化工艺基础上发展出了短程反硝化工艺(SHARON)、厌氧氨氧化工艺(ANAMMOX)、限氧自养硝化-厌氧反硝化工艺(OLAND)、同时硝化反硝化工艺(SND)、短程硝化-厌氧氨氧化工艺(SHARON-ANAMMOX)等脱氮新工艺^[3]。一个世纪以来,硝化作用一直被认为分别由氨氧化微生物(AOA 和 AOB)和亚硝酸盐氧化细菌(NOB)主导完成,但在 2015 年 3 个研究团队分别在不同环境发现了全程氨氧化微生物(Complete ammonia oxidizer, Comammox)^[6-8],其具备单独将氨氧化为硝酸盐的能力,从而修正了传承百年的理论^[9]。如何在有限的学时内将上述诸多内容准确、清晰地讲授给学生,对授课教师来讲是个挑战。

(2) 环境工程微生物学实验课是理论课的延伸,实验课教学是加深学生对环境工程微生物学理论知识的理解,培养学生动手能力、创新意识和创新能力的重要实践环节^[10]。但目前教学中存在实验内容单一、方法陈旧,实验安排彼此孤立、且实验学时安排不合理等现象。如何进行实验教学内容的优化与组合是教师亟待解决的问题。

传统的环境工程微生物学实验教学内容主要包括微生物形态观察,微生物细胞计数和测量,细菌的简单染色和革兰氏染色,细菌的纯种分离、培养和接种,培养基制备和灭菌等内容,基本上为验证性实验,学生主要学习和掌握微生物的观察、培养、分离、保藏、灭菌、无菌操作等基本实验技能。

尽管验证性实验对于加深学生对知识的理解、培养学生的动手操作能力和科学的工作态度十分必要,但为了培养学生的创新能力和提高学生的综合素质,必须融入综合性、设计性、创新性和研究性的实验项目^[11-12]。特别是随着分子生物学、基因组学等相关技术不断渗透到环境工程应用的各个领域,仅以基础型实验项目为主导的实验课程难以满足学生的学习需求,也难以使学生熟练掌握现代生物技术在环境工程领域的理论知识和操作技术^[13]。一些新的研究方法,如高通量测序(High-throughput sequencing, HTS)、荧光原位杂交(Fluorescence in Situ Hybridization, FISH)、实时荧光定量 PCR 等也应让学生有所了解。

此外,在传统微生物学实验中,不同实验项目的难度、耗时以及对团队协作意识的培养等存在较大差别,如“培养基的配制与灭菌”实验项目涉及到玻璃器皿的准备、包装、培养基配制、稀释水准备、灭菌等实验环节,整个实验大约需要 2-3 h,而“细菌淀粉酶和过氧化氢酶的定性测定”实验项目的难度和复杂程度则要低得多,一般只需 0.5 h 即可完成。因此,如何选择适宜的实验项目、合理安排实验内容和时间,对于实验教学效果和创新能力培养也至关重要。

(3) 环境工程微生物学课程中概念多、内容抽象,学生基础知识薄弱,增加了教与学的难度。

由于大部分高校环境工程专业不开设普通生物学、生物化学等课程,而普通生态学课程即使开设也大多安排在环境工程微生物学课程同一学期或之后,使得学生缺乏相应的生物学和生态学基础知识,在课堂教学时不得不花时间去讲授细胞结构、蛋白质和酶、糖酵解、三羧酸循环、DNA 结构等内容。

与此同时,大多数同学认为环境工程微生物学只是一门需要“背”的课程,考试之前花点时间“背一背”就能考试过关,对平时学习不重视,进而影响课堂教学质量和学生对知识点的准确掌握。同样以氮循环、生物脱氮工艺教学内容为例,从氮循环的

主要环节、参与氮循环的微生物类群到传统生物脱氮工艺、生物脱氮新工艺,前后涉及的概念和知识点近 30 个,学生单靠死记硬背是很难全面准确掌握这些概念的。

2 理论教学环节中采取的主要措施

2.1 优化教学内容,调整教学计划

目前使用的环境工程微生物学或环境微生物学教材通常内容较为丰富,既有理论又有实践。以使用较为广泛的同济大学周群英、王士芬编著的“环境工程微生物学(第四版)”^[3]为例,该教材包括 3 篇:第一篇 微生物学基础;第二篇 微生物生态与环境生态工程中的微生物作用;第三篇 环境工程微生物实验。针对环境工程微生物学概念、知识点多和内容抽象等问题,我们教师团队对知识点进行进一步梳理,减少与其他相关课程交叉重复以及理论课和实验课重复的知识点。针对学生反映的该课程绪论、微生物基础中前三章(非细胞结构的超微生物——病毒、原核微生物、真核微生物)授课内容较为通俗易懂,但进入微生物生理章节后,难度增大,并且该章节与之后的微生物在环境物质循环中的作用、微生物在环境污染治理中的作用等章节关系密切,我们对授课内容进行了重新安排,减少绪论及前三章的学时数,增加微生物在环境物质循环中的作用、微生物在环境污染治理中的原理学时数。微生物基础理论知识,包括绪论、非细胞结构的超微生物、原核微生物、真核微生物、微生物的生理、微生物的生长与繁殖因子、微生物的遗传和变异等内容共 20 学时,环境工程中的微生物应用知识,包括微生物的生态、微生物在环境物质循环中的作用、水环境污染控制与治理的生态工程及微生物学原理、污(废)水深度处理和污染源水预处理中的微生物学原理、有机固体废物与废气的微生物处理技术及其微生物群落、微生物学新技术在环境工程中的应用等内容共 20 学时。

2.2 紧抓基础知识点,引入新知识点和社会热点
针对学生反映的环境工程微生物学课程知识

点多且杂乱的问题, 教师在授课过程中始终贯穿一条主线, 即: 微生物主要类群→不同类群微生物特点→微生物在环境物质循环中的作用→微生物在环境污染治理中的原理, 对授课过程中各章节中相互关联的内容点进行衔接(图 1)。在授课过程中注意承前启后, 如在微生物营养类型教学中引出氨氧化微生物(AOA, AOB)和亚硝酸盐氧化细菌(NO_B), 说明其在氮循环、污水生物脱氮中的作用, 由丝状细菌引出其会导致活性污泥丝状膨胀等; 在之后讲授氮循环、污水生物脱氮除磷工艺、污泥膨胀等章节时, 对氨氧化微生物、亚硝酸盐氧化细菌、丝状细菌性质等内容进行回顾。针对不同章节多次出现的较为重要的知识点, 如氮循环中关键微生物类型及特征、参与的反应过程、与污水脱氮工艺类型的关系等制成表格, 阐明概念间的关系, 方便学生记忆。对于一些新的重要研究发现, 如全程氨氧化微生物(Comammox)等, 在课堂上做简单介绍, 然后将相关研究文献上传班级 QQ 群和微信群, 供学生课外阅读学习。

在课程教学过程中引入与教学内容相关的热话题可以引起学生的兴趣。如在讲授微型后生动内容时, 介绍了媒体报道的自来水中出现“小虫子”现象, 分析问题可能出现的环节及防治措施;

在讲授硝化细菌内容时, 结合山东省水产养殖业的快速发展, 介绍了养殖环境的主要污染物以及微生态制剂在水质净化中的作用; 在讲授真核藻类时, 介绍了青岛浒苔成因及其治理措施。另外, 要求学生通过查阅文献资料, 了解当前环境领域研究热点和最新进展, 使学生认识到本门课程知识对解决热点问题的重要性, 培养学生解决问题的能力。

3 实验与实践教学环节中采取的主要措施

3.1 优化实验内容, 注重实验与课堂的有机结合

为了使环境工程微生物学实验教学内容具有系统性和先进性, 针对传统实验教学存在的不足, 借鉴其他院校的经验^[14-18], 优化重构以“基本实验→设计性/综合性实验→创新性实验”为主线的实验教学环节, 结合国家大学生创新性实验计划、挑战杯全国大学生课外学术科技作品竞赛和创业计划大赛、企业基金项目及自主设计等开展实验教学活动。在不同阶段采用专家讲座、本科生科技导师制、开放实验室、参与科研项目等方式, 循序渐进地培养学生的创新能力。

针对不同实验项目的难度、耗时以及对团队团队协作意识培养等方面存在的差异, 重新优化组合课程实验。实验内容分为基础微生物学实验技术、现代微生物学实验技术、环境微生物检测与评价实

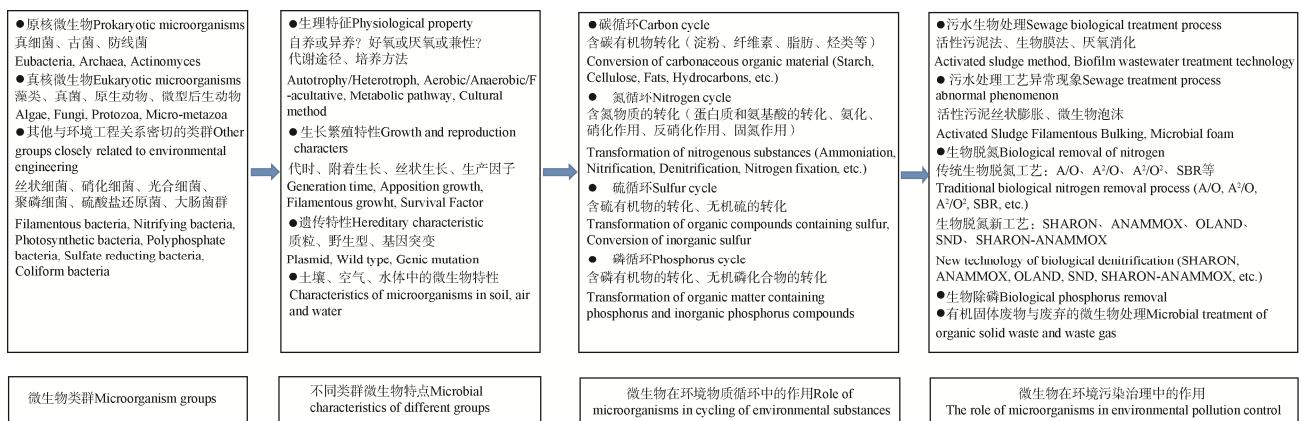


图 1 环境工程微生物学课程主要知识点

Figure 1 Major knowledge points in the Environmental Engineering Microbiology course

验技术和污染物微生物处理与资源化综合实验技术^[19]。减少了单一的验证性实验(如显微镜的使用、培养基的制备)的课时,将基础实验有机结合,使得各基础知识融合在一起,培养学生自主完成实验,提高学生的创新能力^[20]。结合环境工程专业特点设置“活性污泥和生物膜中生物相的观察”、“活性污泥富集培养、功能菌分离筛选及性质研究”等实验项目,涵盖显微镜的使用、培养基的制备与灭菌、纯种分离培养和接种、细菌简单染色与革兰氏染色、菌落形态观察等内容。为解决实验学时少等问题,将部分实验教学内容与课堂教学相结合,如在讲授“空气微生物生态”内容时,将预先制备好的培养基平板带到教室,在教室不同位置采用“落菌法”取样,实验室培养后,通过照片形式告诉学生实验结果。除必选实验章节外,还在无时间冲突的前提下开放实验室,让学生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。

3.2 鼓励学生积极参与各种竞赛及教师科研项目

将科研、教学与应用紧密结合是提高教学水平的有效途径之一,高等学校在教学中越来越重视将科研成果转化为教学内容^[20]。为鼓励学生参与到专业教师的科学研究中,本团队教师每年都会接纳一定数量学生参与教师的课题研究工作,通过预先公布题目,学生选择感兴趣的项目,组建团队,通过查阅文献、设计实验方案、分工协作,并依托城镇污水处理与资源化国家地方联合工程中心、环境生态工程与污染修复山东省高校重点实验室等科研平台完成。近年来先后设立了“光合细菌性质及对水质的净化作用”“甲醛降解菌的分离筛选及其在空气净化中的作用”“硝化细菌富集培养及应用”“BOD生物传感器的研制”“人工湿地基质微生物多样性”“校园不同功能区空气微生物组成及分布”等实验项目,学生的团队协作和创新能力得到明显提高。

自实施以来,本教学团队指导的学生先后获得省级优秀毕业论文1篇,校级优秀毕业论文3篇,

授权专利20多项。获得挑战杯全国大学生课外学术科技作品竞赛和创业计划大赛等课外科技活动奖励10余项,其中,“新型硝化细菌在水产养殖中的应用”获得中国科技创业计划大赛三等奖,“全自动生化需氧量(BOD)生物传感分析仪”获得挑战杯山东省大学生课外学术科技作品一等奖,“基于固定化微生物小球传感器的BOD速测仪研制”获得挑战杯山东省大学生课外学术科技作品二等奖。

4 结语

针对传统环境工程微生物学教学过程中存在的问题,为了培养综合素质高、应用知识和创新能力强的创新型人才,我们对环境工程微生物学课程进行了改革,逐渐探索出一套环境工程微生物学教学体系,取得了阶段性成果。通过调整理论与教学课程内容,突出实践应用能力培养,激发了学生的求知欲和对本课程的兴趣,提高了学生的创新思维 and 创新能力,调动了学习的主动性。通过专家讲座、本科生科技导师制、开放实验室、参与科研项目等措施使学生的创新思维、表达沟通能力、团结合作精神都得到了明显的提高。

REFERENCES

- [1] Wang LM. Practice teaching reform of Environmental Engineering Microbiology[J]. *Microbiology China*, 2017, 44(11): 2755-2759 (in Chinese)
王利明. 环境工程微生物学实践教学改革与实践[J]. *微生物学通报*, 2017, 44(11): 2755-2759
- [2] Zhou QY, Wang SF. *Microbiology of Environmental Engineering*[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2008 (in Chinese)
周群英, 王士芬. 环境工程微生物学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2008
- [3] Zhou QY, Wang SF. *Microbiology of Environmental Engineering*[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2015 (in Chinese)
周群英, 王士芬. 环境工程微生物学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2015
- [4] Cheng X, Sun DZ. Several important problems in the teaching of Environmental Engineering Microbiology course[J]. *Forestry Education in China*, 2013, 31(1): 49-51 (in Chinese)

- 程翔, 孙德智. “环境工程微生物学”课程教学的几个重要问题[J]. 中国林业教育, 2013, 31(1): 49-51
- [5] Robertson LA, Kuenen JG. *Thiosphaera pantotropha* gen. nov. sp. nov., a facultatively anaerobic, facultatively autotrophic sulphur bacterium[J]. Microbiology, 1983, 129(9): 2847-2855
- [6] van Kessel MAHJ, Speth DR, Albertsen M, et al. Complete nitrification by a single microorganism[J]. Nature, 2015, 528(7583): 555-559
- [7] Daims H, Lebedeva EV, Pjevac P, et al. Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria[J]. Nature, 2015, 528(7583): 504-509
- [8] Pinto AJ, Marcus DN, Ijaz UZ, et al. Metagenomic evidence for the presence of comammox *Nitrospira*-Like bacteria in a drinking water system[J]. mSphere, 2016, 1(1): e00054
- [9] Dong XS, Wang ZH, Huang XR, et al. Recent discovery in nitrification: one-step nitrification and complete ammonia oxidizing microorganisms[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(1): 345-352 (in Chinese)
董兴水, 王智慧, 黄学茹, 等. 硝化作用研究的新发现: 单步硝化作用与全程氨氧化微生物[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 345-352
- [10] Shao JH, Wei XD, Zhou XH, et al. Exploring experimental teaching reforms for environmental engineering microbiology in the background of “Quality Projects”[J]. Journal of Biology, 2010, 27(3): 106-108 (in Chinese)
邵继海, 魏祥东, 周细红, 等. “质量工程”背景下的环境工程微生物学实验教学改革探索[J]. 生物学杂志, 2010, 27(3): 106-108
- [11] Bao LN, Ling Q, Wang L. Application of hierarchical integration teaching mode in the reform of microbiology of environmental engineering experiment[J]. Journal of Biology, 2013, 30(4): 110-112 (in Chinese)
鲍立宁, 凌琪, 王莉. “层次一体化”教学模式在《环境工程微生物学实验》课程改革中的应用[J]. 生物学杂志, 2013, 30(4): 110-112
- [12] Shen HY. New concept and system of practical teaching in university[J]. Higher Education Forum, 2007(2): 104-106, 124 (in Chinese)
申海燕. 高校实验教学的新理念与新体系[J]. 高教论坛, 2007(2): 104-106, 124
- [13] Sun Y, Hu HY, Lu Y, et al. Development and practice of research-based experimental projects in environmental engineering microbiology[J]. Experimental Technology and Management, 2016, 33(7): 217-219 (in Chinese)
孙艳, 胡洪营, 陆韻, 等. 环境工程微生物学研究型实验项目开发与实践[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(7): 217-219
- [14] Wang GH. Construction and practice of comprehensive experimental teaching system of Environmental Engineering Microbiology[J]. Microbiology China, 2017, 44(1): 232-237 (in Chinese)
王国惠. 环境工程微生物学综合性实验教学体系的构建与实践[J]. 微生物学通报, 2017, 44(1): 232-237
- [15] Ruan Q, Jin Y, Zhang PH. Offerings of designing experiment in environmental engineering microbiology[J]. Journal of Microbiology, 2013, 33(1): 104-106 (in Chinese)
阮琴, 金杨, 张萍华. 《环境工程微生物学》设计性实验的开设[J]. 微生物学杂志, 2013, 33(1): 104-106
- [16] Wang Z. Experience in teaching reform of Environmental Engineering Microbiology[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(36): 16163-16164, 16167 (in Chinese)
王哲. 环境工程微生物学课堂教学改革的体会[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16163-16164, 16167
- [17] Qiao WC, Yu L, Ye JD. Teaching reforms of comprehensive experiment in Environmental Microbiology[J]. Microbiology China, 2017, 44(6): 1500-1506 (in Chinese)
乔维川, 虞磊, 叶菊娣. 环境微生物学综合性实验教学改革[J]. 微生物学通报, 2017, 44(6): 1500-1506
- [18] Wang SY, Zhang HY, Yang XL. Optimizing the teaching content of Microbiology based on applied ability training[J]. Microbiology China, 2016, 43(12): 2738-2742 (in Chinese)
王素英, 张宏宇, 杨晓丽. 基于应用能力培养的微生物学教学内容优化[J]. 微生物学通报, 2016, 43(12): 2738-2742
- [19] Xu AL, Song ZW, Xia WX, et al. Teaching reform in experiment of Environmental Engineering Microbiology[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 691-696 (in Chinese)
徐爱玲, 宋志文, 夏文香, 等. “环境工程微生物学”实验教学改革初探[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 691-696
- [20] Gao L, Li QQ, Zhao YH, et al. Reform of Environmental Microbiology education based on training talents for applied technology[J]. Microbiology China, 2017, 44(11): 2748-2754 (in Chinese)
高莉, 李琴琴, 赵英虎, 等. 基于应用技术型人才培养模式下的环境微生物学教学改革探索[J]. 微生物学通报, 2017, 44(11): 2748-2754