

# 以“环境微生物学”为载体的环境生态工程专业本科生 科创能力培养

周豪<sup>\*</sup>, 张旭旺, 杨晓婧, 易先亮, 刘阳, 柳丽芬

大连理工大学海洋科学与技术学院, 辽宁 盘锦 124221

周豪, 张旭旺, 杨晓婧, 易先亮, 刘阳, 柳丽芬. 以“环境微生物学”为载体的环境生态工程专业本科生科创能力培养[J]. 微生物学通报, 2022, 49(1): 392-400

Zhou Hao, Zhang Xuwang, Yang Xiaojing, Yi Xianliang, Liu Yang, Liu Lifan. Innovation ability cultivation of undergraduates majoring in environmental ecological engineering based on Environmental Microbiology course[J]. Microbiology China, 2022, 49(1): 392-400

**摘 要:** 环境生态工程是一个设立较晚的新专业, 其基本的教学体系和专业课程设计还有待摸索和完善。“环境微生物学”作为环境生态工程专业普遍设置的专业必修课, 其授课内容和形式如何适应专业整体的培养需求是一个值得探讨的问题。我们结合所在学校、学院的特点和优势, 提出将融入海洋特色和生态学思想的“环境微生物学”作为载体, 结合课上理论教学、学生课堂报告、课下专题培训和实验技能培养等形式, 培养环境生态工程专业本科生的科创能力。这可为同专业开设“环境微生物学”课程的教师提供教学参考, 也可以为其他院校环境生态工程专业本科生科创能力的培养提供借鉴。

**关键词:** 环境微生物学; 创新能力; 课程设计; 课外学习

基金项目: 2020 年大连理工大学本科教学质量工程项目立项项目一流专业建设(环境生态工程)

**Supported by:** 2020 Dalian University of Technology Undergraduate Teaching Quality Project: First-Class Major Construction (Environmental Ecological Engineering)

**\*Corresponding author:** E-mail: zhouhao@dlut.edu.cn

**Received:** 2021-06-10; **Accepted:** 2021-08-06; **Published online:** 2021-09-02

# Innovation ability cultivation of undergraduates majoring in environmental ecological engineering based on Environmental Microbiology course

ZHOU Hao\*, ZHANG Xuwang, YANG Xiaojing, YI Xianliang, LIU Yang, LIU Lifan

School of Ocean Science and Technology, Dalian University of Technology, Panjin 124221, Liaoning, China

**Abstract:** Environmental Ecological Engineering is a new major and its basic teaching and curriculum design have yet to be explored and improved. The course of Environmental Microbiology is compulsory for Environmental Ecological Engineering. How to make the teaching content and format of the course adapt to the overall needs of the major to be discussed. Based on the characteristics and advantages of our university and college, the authors propose to employ Environmental Microbiology course as a carrier to cultivate the innovation ability of undergraduates majoring in environmental and ecological engineering. The course incorporates marine characteristics and ecological points, combining theoretical teaching in class, student lectures, extracurricular study, and experimental skills training. This research can provide a reference for teachers who set up Environmental Microbiology in the same major, and can also give tips for the cultivation of innovation ability of undergraduates majoring in Environmental Ecological Engineering in other universities.

**Keywords:** Environmental Microbiology; innovation ability; course design; extracurricular study

环境微生物学是微生物学在环境领域中的应用性学科,其主要目的在于培养学生利用微生物学原理分析和解决环境科学与工程领域中遇到的科学问题<sup>[1]</sup>。从课程定位而言,全国高校环境类专业中的环境科学、环境工程和环境生态工程专业普遍将“环境微生物学”设置为专业必修课,而国外开设环境相关专业的大学也多数开设了“环境微生物学”课程<sup>[2]</sup>。

大连理工大学的环境科学与工程这一学科具有鲜明的化学特色,强调培养学生的化学基础,在环境化学、环境催化和环境微生物等相关领域具有较强的研究实力。在2017年教育部组织的第四轮学科评估中,大连理工大学的环境科学与工程学科进入A档。同时,大连理工大学也是全国第一批招收环境生态工程专业本科生的高校之一(2013年)。

目前,大连理工大学的环境科学与环境工程专业在凌水校区环境学院招生,而环境生态工程专业隶属于盘锦校区海洋科学与技术学院。环境生态工程专业区别于环境工程专业,具有更多的生态学特点。同时,盘锦校区临海的区位特点以及隶属学院的学科特点又决定了环境生态工程专业必须具有鲜明的海洋特色。海洋科学与技术学院的海洋技术专业具有较强的海洋装备研发能力,而食品科学与工程专业则关注水产品的高值利用。出于学院学科发展的协同考虑,大连理工大学环境生态工程专业的海洋特色主要体现在对近海生态环境的认识和保护上。一方面,通过微生物生态学、海洋生物学、生态与环境监测新技术、陆海协同污染防治及其环境效应模拟等研究方向认识近海生态环境;另一方面,采用高级氧化、电化学和微生物技术对近海受污染

的生态环境进行修复。然而从课程的角度而言,无论是服务环境生态工程专业还是体现海洋学科特色,“环境微生物学”的教学设计和思考均无太多可供借鉴的前期案例。同时,作为研究型大学,大连理工大学对本科生科创能力的培养一贯非常重视。因此,我们结合本课程团队

在环境生态工程专业6年的“环境微生物学”理论和实验教学经验与思考,对环境生态工程专业的“环境微生物学”课程(包含课内教学、课内实验和课外学习模块)如何培养本科生的科创能力进行初步探讨,具体的课程设计思路见图1。

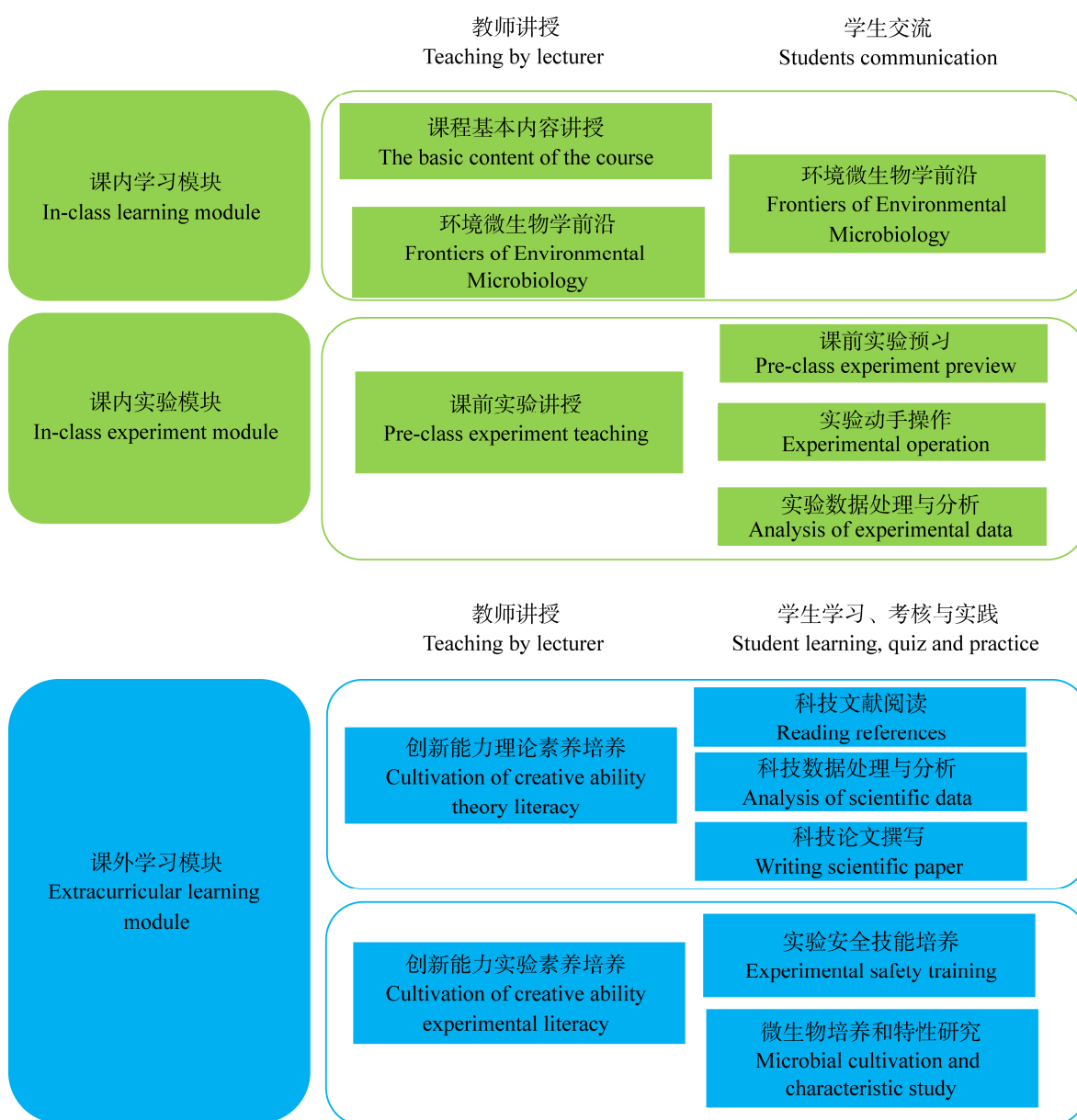


图1 环境微生物学的课程设计

Figure 1 Course design of Environmental Microbiology.

# 1 “环境微生物学”理论课程的讲授思路和课程形式探讨

## 1.1 “环境微生物学”理论课程的讲授思路

我们教学团队所讲授的“环境微生物学”课程共3学分,其中理论课32学时(2学分),实验课24学时(1学分)。理论课程的授课思路和课程形式的基本设计见图2,其中红色括号为课程学时的分配。课程采用教材为高等教育出版社的《环境工程微生物学》第四版(周群英,王士芬

编著)<sup>[3]</sup>。结合课程教学所需的环境生态工程专业的学科背景和海洋特色,我们认为“环境微生物学”的课程内容至少应该为以下两类实际问题提供理论支撑:(1) 着重于实际微生物修复过程的问题,如黑臭水体修复的过程中添加的菌剂是如何实现作用的?这一问题涉及微生物的结构、微生物的代谢、微生物的应用和微生物生态学等相关知识点。(2) 海洋中的微生物如何影响元素地球循环?这一问题就涉及微生物的结构、微生物的代谢、微生物在物质循环中的作用等部分的

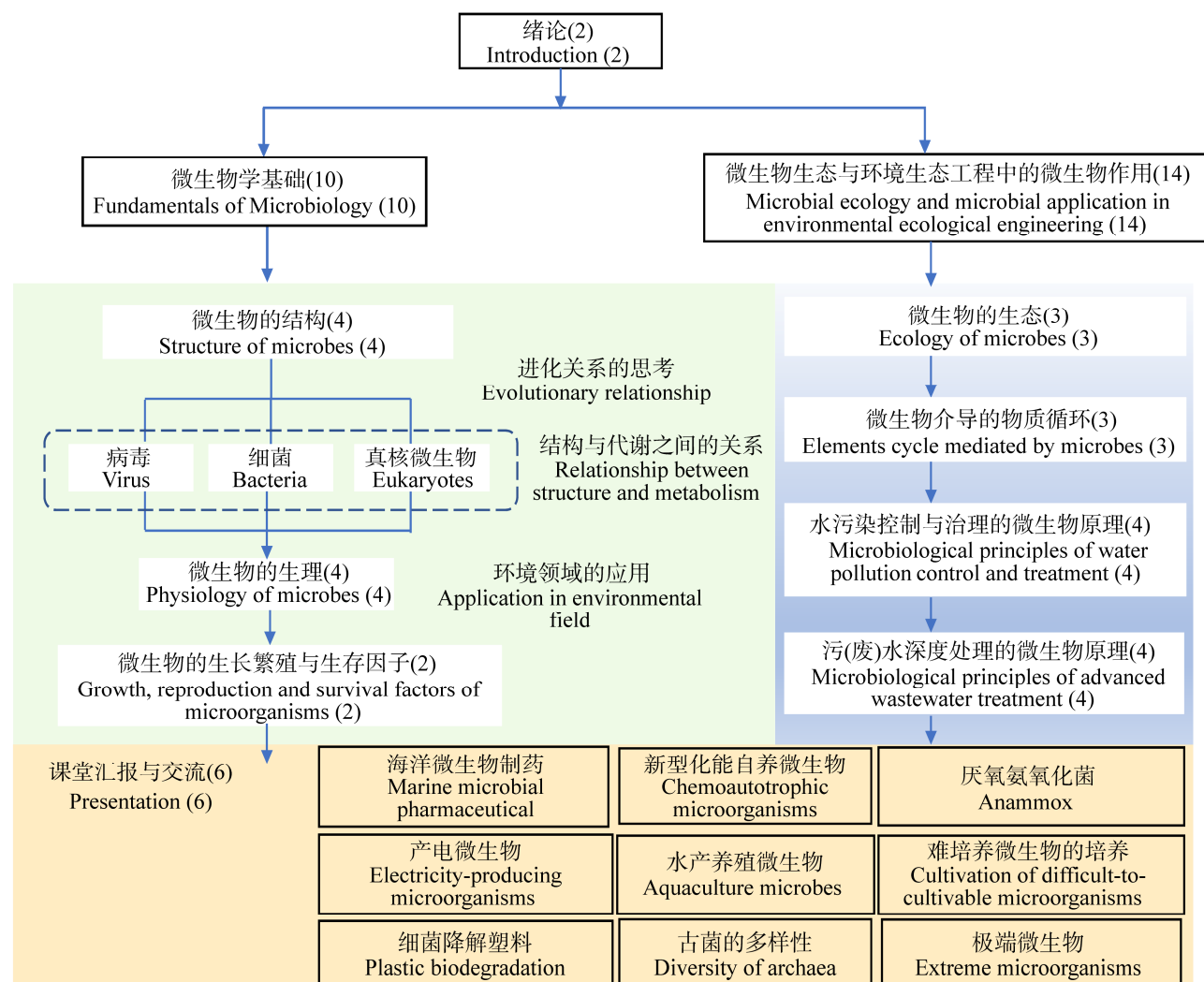


图2 环境微生物学课程的理论讲授和交流部分设计

Figure 2 Design of the teaching and communication part of Environmental Microbiology course.

内容。基于以上思考,我们首先将讲授的理论课程重点放在了教材第一部分“微生物学基础”中的原核微生物、真核微生物、微生物的生理,以及教材第二部分“微生物生态与环境生态工程中的微生物作用”中的微生物生态、微生物在环境物质循环中的作用、水污染控制与治理的生态工程及微生物学原理、污(废)水深度处理和微污染源水预处理中的微生物学原理上。其中,微生物的生态这部分的学习内容注意与本专业开设的“生态学原理”课程进行贯通,在本课程中主要讲授微生物生态学的应用,淡化生态学基本原理部分的内容。其他教材涉及的内容采用线下录课、课后讨论等形式作为补充内容供学有余力的学生进行自主学习。

在理论课授课的过程中,我们教学团队首先注意从章节之间的逻辑关系上给本科生梳理清楚整个课程的逻辑链条,辅助学生建立从理论到应用、从简单到复杂的学习思路。如病毒到原核微生物再到真核微生物,就是典型的生物结构复杂性增加的过程;而从微生物的结构、代谢和营养需求到水环境污染控制与治理就属于从理论到应用的思路。同时,在特定章节的讲述过程中,采用问题引入式的教学方法激发本科生对讲授内容的兴趣,明确学习特定章节的意义。比如讲述“原核微生物”章节之前,引入塑料的微生物降解、阿斯加德古菌的发现、iChip 芯片推动产新颖抗生素细菌的发现等学科进展,引起学生对微生物功能的好奇和探索欲望,从而加强对特定章节知识的学习热情;又如讲述“微生物的生态”部分内容之前,引入深海热泉微生物群落的代谢特征、环境污染物治理过程中的菌剂使用及可以摄食细菌的捕食性细菌等内容,引发本科生对于微生物互作方面的兴趣。在特定的章节内容讲述结束之后,对章节涉及的知识点进行总结和梳理,并对学生进行提问,确定课程讲述的效果。

## 1.2 “环境微生物学”理论课程的教学形式

现在的理论课教学通常注重教师和学生的共同参与<sup>[4]</sup>。因此,本课程考虑将学生作为讲述内容的主角参与到课程中来。在已有的实践中,我们采用较为理想的方式是将学生分成3-4人一小组,每组在课堂报告前随机指定汇报人,这样既可避免一个小组内只有个别学生认真准备的问题。课程报告的题目围绕环境微生物学科前沿,采用2种形式拟定,即教师指定或者学生申请教师审核的方式进行。以2016级本科生的汇报题目为例,包括人工智能深度学习在微生物水处理过程中的应用、好氧颗粒污泥、商业化微生物菌剂调查、产电微生物、肠道微生物菌群、微生物美容等,这些方向均与环境微生物的学科发展热点和应用重点息息相关。值得一提的是,从事微生物美容方向汇报的小组还在课下自发进入到我们教学团队的科研实验室,进行了数款商业面膜中微生物的培养和鉴定的相关工作,给其他本科生提供了一个数据、理论和应用紧密结合的良好课程报告案例。

此外,随着现代信息化技术的进步以及2020年突然暴发的新型冠状病毒肺炎疫情,线上教学在高校教学中的采用程度产生了暴发式增长<sup>[5]</sup>。在我们教学团队近2年的教学实践中,也尝试了线上教学和线下教学两种模式,发现线上教学确实具有其独特的优点。与线下教学相比,线上教学可以反复回看,不易遗漏重点。同时,线上进行的课程讲授和课程汇报直接实现电子化,可以方便地储存于特定的在线平台中。然而通过对学生进行的课后调查来看,也有学生反映线上教学不容易集中精力,教师和学生的交互性也不如线下课程通畅。据此,我们将课程教师讲授的部分提前录制成视频放置于在线平台上,要求本科生提前预习,作为线下教学的辅助手段。同时,也将一些用于科学传播(无版权限制)的环境微生物相关视频剪辑好整合在线上平台

中, 作为辅助的教学单元。

## 2 “环境微生物学”课程实验设计

在传统的环境微生物学课程实验中, 通常是将微生物的纯培养技术, 如培养基的配制和灭菌、微生物的接种与分离, 微生物细胞计数等作为单独的实验。本科生在进行相关实验后可以掌握对应的实验技能, 但是可能无法对何时需要采用这些技术、如何在一个系统的研究框架下应用这些技术产生足够的理解。因此, 我们对“环境微生物学”的实验课程进行了设计, 将所有的基础实验都纳入到“苯酚降解菌的筛选和特性研究”这一整体框架里, 后面括号内数字为必修实验对应的学时数(图 3)。

在整体的“环境微生物学”实验设计中, 必修的 24 学时实验包括培养基的配制与灭菌、微生物的接种与分离、微生物的平板计数、微生物的苯酚降解性能测试、微生物的革兰氏染色和镜检及撰写结题报告这 6 个部分。在完成必修的 24 学时之外, 有兴趣筛选获得纯培养苯酚降解菌的学生可以进行额外的选做实验。学生们对必修实验中涂布的培养皿上不同的菌落进行反复接种纯化, 获得纯培养菌落后在实验室里进行简单的生理生化鉴定后, 进行 16S rRNA 基因测序用于鉴定菌株。最后, 将学生们获得的纯培养菌株保存在实验室中构建苯酚降解菌株资源库。

在早期的教学活动中, 苯酚降解菌的样品来源为校园土壤、校园河水等区域。从 2020 年开始,

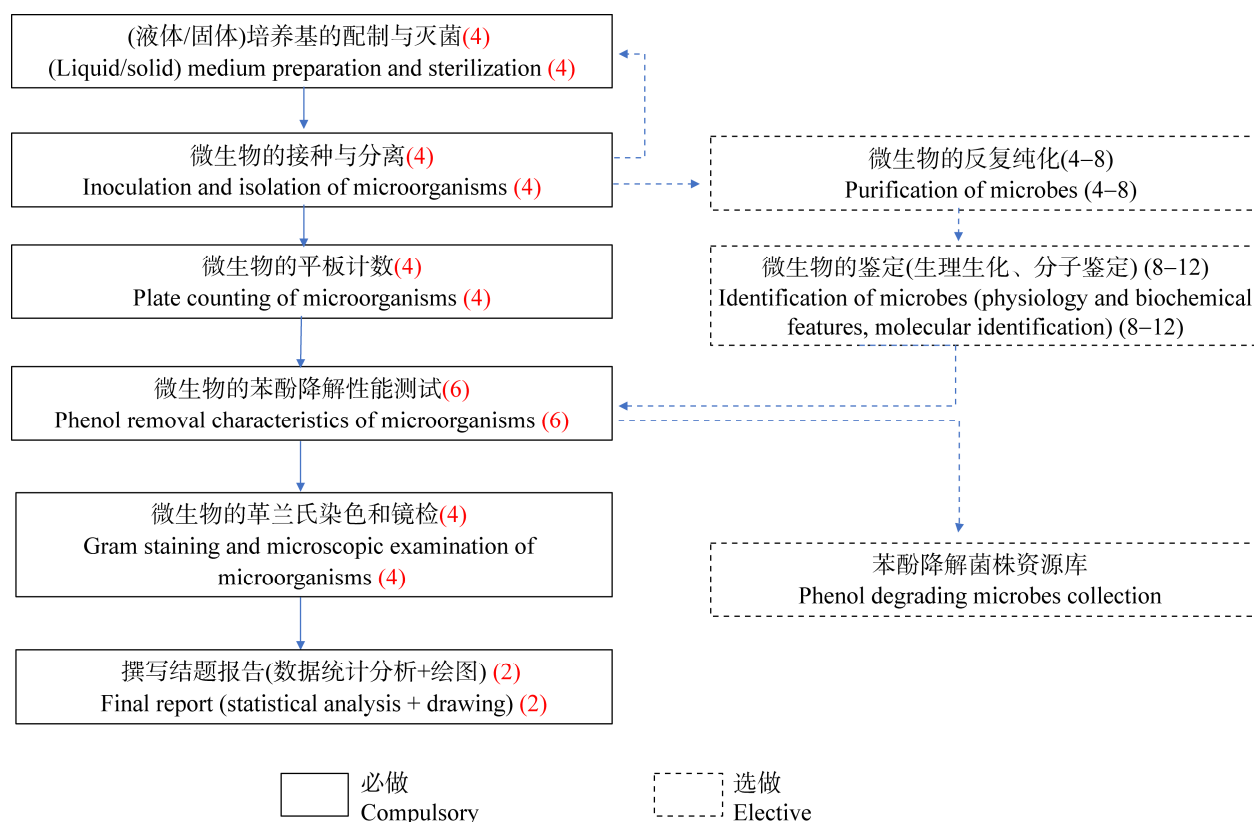


图 3 环境微生物课程的实验设计

Figure 3 Design of the experimental part of Environmental Microbiology course.

我们将所有的样品来源统一为近海沉积物和海水,旨在体现“环境微生物学”实验教学的海洋特色。考虑的基本点包括:(1) 盘锦校区临海,取样十分方便。通过每一季度的海边采样,可以将日常的科研工作、实习实践课程和“环境微生物学”课程的实验联系起来,不用额外的取样成本,也可以体现海洋科学与技术学院教学的“海洋特色”。(2) 苯酚是一种常见的、易被微生物代谢的简单碳源。无论是作为唯一碳源或者是被共代谢,在近海沉积物中都可以发掘较多的微生物资源,不会存在采用难降解污染物作为唯一碳源导致本科生筛选不出特定功能微生物的困扰。(3) “环境微生物学”的教学研究重点之一,实际是理解微生物如何利用环境污染物的过程和能力。因此,在整体的实验过程中,我们还设计了利用紫外分光光度法检测苯酚浓度的实验,旨在通过该实验让本科生对微生物降解苯酚的速度、耐受苯酚的浓度以及不同微生物降解苯酚性能的差异产生直观的理解。比如,在实际操作中,让不同的小组采用不同的沉积物样品进行菌株的筛选,随后在苯酚降解的实验中采用不同的苯酚初始浓度,在各小组都测完本组的实验结果之后,大家共享数据,对各组微生物的形态、颜色、苯酚耐受能力和苯酚降解性能等方面进行横向比较。在对苯酚降解率进行分析的时候,通过引入本专业“生物统计”课程讲授的基础数据统计分析方法,对结果差异进行显著性检验。通过以上实验教学及后续的数据分析,加深本科生对纯培养微生物去除污染物过程的整体认知,提高了本科生独立进行创新性实验的能力。

### 3 结合专创荣誉课程的课外学习模块设计

大连理工大学从 2020 年本科生开始,将本

科生必修的 175 学分变成 160 学分,另外开设了 15 学分的课外专创荣誉课程,旨在培养更多有志于从事科研工作的本科生的课程能力。我们教学团队参与了环境生态工程专业的专创荣誉课程设计,该课程设计中的“环境生态工程科研基础”和“环境生态工程科研专题”及“环境生态工程创新创业实践”都将引入基于“环境微生物主题”的科研创新能力培养过程。具体而言,“环境生态工程科研基础”包含文献阅读、科研绘图和科研数据处理,“环境生态工程科研专题”则包含“环境纳米技术”“环境水处理”“环境微生物”等不同的专题交流。同时,“环境生态工程创新创业实践”则是为有志于从事科研工作的本科生提供基础的实验材料、实验平台,通过学院公共的实验资源,实现成果导向的本科生培养过程。结合“环境微生物学”课程理论和实验教学的延伸,我们教学团队拟结合“微生物降解环境污染物”这一主题,开展中英文文献检索、文献阅读等环节,选择《微生物学通报》和《环境科学》等优秀中文期刊以及 *Applied Environmental and Microbiology*、*Environmental Microbiology*、*Environmental Science and Technology* 等优秀英文期刊上逻辑较为简单、实验设计容易理解的论文进行师生之间的交流。通过相关讲解,让本科生理解基本的中英文论文构成、写作规范和写作逻辑。随后,结合教学团队所在实验室的实际原始数据,教授本科生利用 SPSS 进行数据的统计分析,并利用 Origin 绘图软件进行科研图片的绘制,以完成基本的从原始数据到图片的科研过程。随后,培养学生利用中、英文撰写论文的能力,有效地阐述清楚图片所说明的实验结果,并进行简单的分析。针对“环境生态工程科研专题”,我们开设环境微生物研究领域所属若干专题,如“微塑料降解微生物”“养殖物种肠道微生物与养殖物种健康”“海洋氮代谢相关微生物”



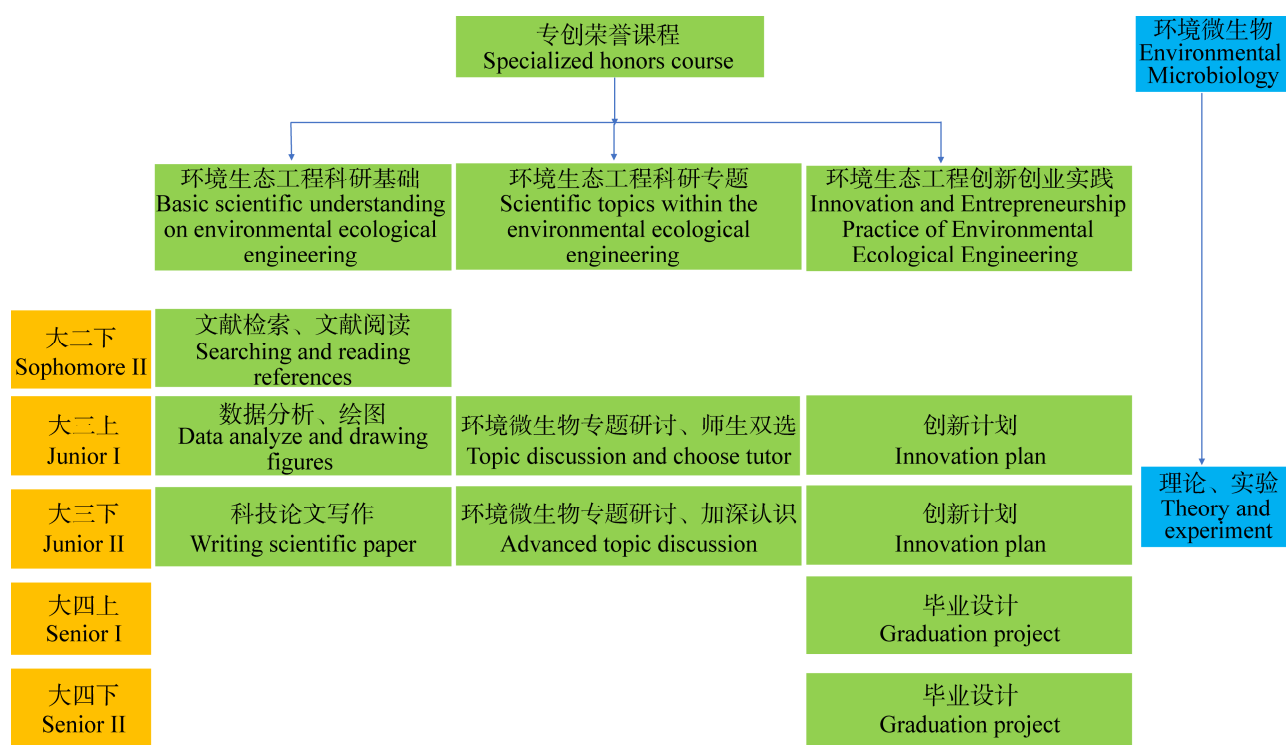


图 4 环境微生物学课程与专创荣誉课程的结合设计

Figure 4 The integrate design of the Environmental Microbiology course and the special honor course.

“古菌筛选与特性”等容易吸引学生兴趣的科研专题。通过组织相关研究生和本科生的学术探讨,提高本科生对相关研究方向的兴趣,进而与相关教师接洽进行后续的环境生态工程创新创业实践或者毕业设计。通过以上设计,将“环境微生物学”的课程教学、实践教学及专创荣誉课程有机地结合起来,吸引本科生对微生物相关方向的研究兴趣并培养具备初级科研创新能力的研究型人才。

## 4 总结与展望

教学团队依托“环境微生物学”的课程和实验教学,逐步总结规律,对课程的授课内容、授课形式及实验课的设计进行了改进。通过激发环境生态工程专业本科生对环境微生物学的研究兴趣,已经培养出多名优秀本科生参加了与环境

微生物相关的创新项目、学科竞赛和毕业设计。教学团队一共参与了 5 组本科生国家级创新项目的指导工作,产出了发表在《环境工程学报》《微生物学通报》及 *Environmental Science and Pollution Research*、*ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 等中英文期刊上的学术论文。同时,依托创新项目所得成果也获得了大连理工大学攀登杯一等奖、辽宁省创新创业年会特等奖、辽宁省挑战杯一等奖、第十三届全国环境友好科技竞赛理念组第一名等成绩。我们指导的多个本科毕业设计,如“锰氧化菌的筛选与特性研究”“草酸青霉菌耐受钴酸锂的机制研究”等课题也获得大连理工大学优秀本科毕业论文。同时,基于对环境微生物相关研究领域的兴趣,所指导的本科生绝大多数也进入中国科学技术大学、厦门大学、南京大学、上海交通大学等院校继续进行



环境微生物相关的研究。据此,我们认为现有的“环境微生物学”课程可以有效地激发本科生对环境微生物的研究兴趣,并且能够结合课程和后续的培养提高本科生的基础科创能力。

在未来的课程建设中,可以继续改进和加强的地方包括:(1) 线上资源的整合和开发。随着现代教学信息化手段的增加,将制作精良的微生物结构、代谢和水处理相关的视频资源整合,作为学生课前学习和课后扩展知识的主要来源。具体的操作形式可以结合在线视频网站(如Bilibili)、慕课平台和自运营微信公众号等方式实现。(2) 加强学生反馈-课程内容/形式修正的循环过程。通过设计合理的调查问卷,对每一届教过的本科生进行授课形式、授课内容的调研,并邀请学生提供对于课程的建议。综上所述,希望能够以“环境微生物学”课程及其相关延伸内容为载体,为提高环境生态工程专业本科生的科创能力提供助力和平台。

## REFERENCES

- [1] 史春薇, 杨占旭, 王吉林, 顾桂洲. “新工科”背景下环境微生物学课程实践教学育人模式的探索[J]. 微生物学通报, 2020, 47(4): 1202-1209
- [2] Shi CW, Yang ZX, Wang JL, Gu GZ. Exploration on the practical teaching model of Environmental Microbiology course under the background of New Engineering[J]. Microbiology China, 2020, 47(4): 1202-1209 (in Chinese)
- [3] Traw MB, Gift N. Environmental Microbiology: tannins & microbial decomposition of leaves on the forest floor[J]. The American Biology Teacher, 2010, 72(8): 506-512
- [4] 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
- [5] Zhou QY, Wang SF. Environmental Engineering Microbiology[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2015 (in Chinese)
- [6] 杨金水, 袁红莉, 李宝珍. “双一流”建设背景下农业微生物学课程教学改革的探索[J]. 微生物学通报, 2020, 47(2): 641-648
- [7] Yang JS, Yuan HL, Li BZ. Exploration on the teaching reform of Agricultural Microbiology under the background of “double-first-class” construction[J]. Microbiology China, 2020, 47(2): 641-648 (in Chinese)
- [8] 唐晓峰. 核心通识课“微生物的世界”网课直播工具筛选[J]. 微生物学通报, 2020, 47(4): 1004-1010
- [9] Tang XF. Selecting the most appropriate tool of e-course live broadcast for core general education course The Microbial World[J]. Microbiology China, 2020, 47(4): 1004-1010 (in Chinese)