

## 创建多层次微生物学实验教学体系培养科研创新型人才

潘皎 牛淑敏 魏东盛 陈容容 刘方 李明春\*

(南开大学生命科学学院微生物系 天津 300071)

**摘要:**“微生物学”课程是高等教育生命科学教学中一门重要的基础课程。微生物学实验作为独立于微生物学理论课的基础实验课,对学生基本实验技能的培养和综合素质的提高,培养学生探索精神、创新意识和创新能力方面起着至关重要的作用。南开大学微生物学教学实验室依托“微生物学”国家重点学科、“教育部分子微生物学重点实验室”和“国家级生物实验教学示范中心”,建立了多级别分层次的微生物学实验教学体系;确立了由基础性实验、综合性实验、创新性实验相结合的实验内容;同时充分利用本校教学科研资源优势,为学生搭建了多级别的科研创新训练实践平台,着重培养学生的科研素质、创新意识和创新能力,在微生物学科研创新型人才的培养中发挥了重要的作用。

**关键词:** 基础性实验, 综合性实验, 创新性实验, 科研创新训练

## The establishment of multi-level Microbiology experimental teaching system and cultivation of innovation elite

PAN Jiao NIU Shu-Min WEI Dong-Sheng CHEN Rong-Rong LIU Fang LI Ming-Chun\*

(Department of Microbiology, College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** Microbiology experimental course plays a vital role in the cultivation of student's basic experiment skills, innovative consciousness and ability, as the basic experimental course independent of Microbiology theory course. The Microbiology teaching laboratory of Nankai University established a multi-level Microbiology experimental teaching system and determined the experimental teaching content with the combination of fundamental experiment, comprehensive experiment and innovative experiment. At the same time, the laboratory makes full use of the teaching and research resource in the university and set up multi-level scientific innovation training platform for students, which focus on cultivating the students' scientific quality, innovative consciousness and ability.

**Keywords:** Fundamental experiment, Comprehensive experiment, Innovative experiment, Scientific innovation training

**Foundation item:** National Level Excellent Course; National Level Quality Resources Sharing Project in Microbiology

\*Corresponding author: Tel: 86-22-23508506; E-mail: limchun@nankai.edu.cn

**Received:** October 29, 2015; **Accepted:** December 18, 2015; **Published online** (www.cnki.net): January 04, 2016

基金项目: 国家级精品课程项目; 国家级精品资源共享课立项项目

\*通讯作者: Tel: 86-22-23508506; Email: limchun@nankai.edu.cn

收稿日期: 2015-10-29; 接受日期: 2015-12-18; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2016-01-04

在《国家 2010—2020 年中长期教育改革和发展规划纲要》中,强调高等教育要重视培养大学生的创新能力、实践能力和创业精神,而实践教学在培养学生实践能力和创新能力中具有重要的作用,是高等教育创新体系中重要组成部分。为了充分发挥高水平研究型大学人才培养优势,南开大学于 1998 年 5 月建立了生物实验教学中心,中心下设微生物学、植物生物学、动物生物学、细胞生物学与遗传学、生化与分子生物学五大教学实验室。中心坚持“融知识、能力、素质协调发展”的现代教育理念,遵循“强化基础训练、突出创新能力、提高综合素质”的建设方针,依靠学科优势和人才优势,深化实验教学改革,创新育人模式,取得了一系列的标志性成果。经过多年精心建设,南开大学生物实验教学中心在 2007 年获批为国家级实验教学示范中心,它已逐渐发展成为教学理念先进、实力雄厚、特色鲜明、管理科学规范、教学效果优良、成果突出、有广泛辐射示范作用的实验教学中心。

微生物学教学实验室是生物实验教学中心下设的五大教学实验室之一,在本校微生物学课程教学与培养本科生和研究生的过程中,充分发挥“微生物学”国家重点学科优势,依托“教育部分子微生物重点实验室”的科研平台,坚持“将科研引入教学,以科研带动教学”的理念,建立了一套创新人才培养模式;实验室教学环境优良;长江学者及教授以不同的方式参与到实验实践教学中,并且通过不断引进具有博士学位的年轻教师,逐渐形成了一支年富力强、教学经验丰富、学术水平高的实验教学队伍。微生物学教学实验室同时也参加了国家级“微生物学”精品课和国家级“微生物发酵工程”精品课的建设,逐渐发展成为学校微生物学教学和学生科研创新的重要基地<sup>[1]</sup>。本文将着重介绍我们根据实验教学对象和实验教学内容不同建立了多层次的微生物实验教学体系;并且依托学校微生物学科和科研优势为本科生搭建了多级科研创新训练实践平台,建立了多个产学研实验教学基地。以此与

国内从事微生物学相关教学的同行们相互商榷,共同提高、进步。

## 1 针对不同的教学对象,建立分层次的教学体系

微生物学实验室共承担了 6 门实验课,根据教学对象的不同,实现了分层次、有针对性、重点突出的教学体系。

第一层次,针对全校非生物类专业本科生开设了校公共选修课——基础生命科学导论实验,共 32 个学时,1 个学分,分两个学期完成,选课人数每一学年为 120 人,连续 5 年选课总人数达到约 600 人。针对全校非生物类专业本科生设计的微生物实验是最基本的微生物实验内容。如:微生物形态观察及人体口腔及体表微生物的检测和细菌个体形态观察及染色技术。该实验主要是帮助学生确证微生物无处不在,自然环境中存在不同的微生物;观察不同微生物的菌落形态特征;比较不同取样处微生物的类型和数量;初步掌握无菌操作技术,学习细菌的涂片技术和染色技术,帮助学生认识细菌球形、杆状和螺旋形三种基本形态,了解革兰氏染色的原理。该实验课的教学目的主要是为了在全校本科生中普及现代生物科学教学,主要注重实验的实用性和趣味性的特点。

第二层次,针对生命科学学院的生命科学专业、生物技术和生物伯苓班本科生开设了院公共基础必修课——微生物学实验,共 32 个学时,1 个学分,在 1 个学期内完成,选课人数每年总共为 150 人左右。该课程的设置在内容选择上既注意整体上的系统性,同时又注意了实验的衔接性和深化,强调了实验的综合性、探索性、研究性,科研与教学相结合,并且将科研成果直接转化为开放性实验内容。课程共设计了十多个微生物学实验,由浅入深、由易到难、由单个实验到系统性实验,由传统式授课到开放性实验。该课程包括基础实验:细菌的革兰氏染色及特殊结构染色,微生物测微技术和计数,丝状真菌和放线菌的小室培养及

形态观察, 培养基的制备与灭菌; 综合性实验: 微生物的纯种分离培养, 细菌鉴定中常用的生理生化反应; 研究创新性实验: 微生物多糖的制备——黄原胶的发酵和提取, 产蛋白酶、淀粉酶芽孢杆菌的分离筛选和酶活力检测等。通过本课程的学习, 使学生得到有关微生物实验技能的基本训练, 进一步加深对微生物基础理论的理解, 在实验中进一步提高了科学素养。

第三层次, 针对生物技术专业开设了专业必修课——生物技术综合实验, 共 48 个学时, 1.5 个学分, 在 1 个学期内完成, 选课人数每年为 60 人左右。生物学技术是微生物学科的重要环节, 也是高素质生物人才必须掌握的实验技术。该课程选以原核细胞和真核细胞为实验材料, 利用现代生物学手段在分子水平上研究微生物的结构与功能, 生物技术包括分子生物学技术、细胞工程技术、蛋白质工程技术、基因工程技术和发酵工程技术等五大技术。分子生物学技术实验包括: 酵母菌 28S RNA、18S RNA 及质粒 DNA 的分离提取及琼脂糖凝胶电泳法检测; T4 噬菌体裂解液的制备、效价测定和基因组 *rII* 区域不同突变的互补实验; 细胞工程技术实验: 不同药物处理后对肿瘤细胞生长活力的测定; 蛋白质工程技术实验: 原核诱导表达蛋白的 SDS-聚丙烯酰胺凝胶和蛋白质印迹法检测; 基因工程技术实验: 丝状真菌少根根霉基因组 DNA 的提取及鉴定, 少根根霉  $\Delta^{12}$ -脂肪酸脱氢酶基因的分离及检测; 发酵工程技术实验: 果酒的酿造技术(酵母菌快速酿造果酒的静止发酵技术), 乳酸链球菌产乳链菌素 Nisin 的定量检测。通过本课程的学习, 使学生进一步掌握了生物学中几大主要的技术, 通过实验加深了对微生物生理学、微生物遗传学、分子生物学、细胞工程、基因工程、发酵工程和现代真菌学基础理论的理解。

第四层次, 针对微生物学硕士研究生开设的专业必修课——分子微生物学技术, 该课程同时面对其他专业, 如生物化学与分子生物学专业、遗传学

专业和生物信息学专业, 为这些专业硕士研究生的专业选修课。该课程共 96 个学时, 3 个学分, 在 1 个学期内完成, 选课人数每年为 45 人左右。因为针对硕士研究生, 在实验内容设计上更注重实验的探索性、研究性和创新性。其中部分实验为微生物学科老师直接将科研成果转化为成熟的实验课题, 目的主要是培养硕士研究生科学地设计实验、合理地安排实验时间、运用所学的微生物理论知识和基本实验技能独立操作的能力。实验内容包括: 大肠杆菌乳糖操纵子基因表达调控基因型分析实验;  $\lambda$ DNA 的多种内切酶物理图谱的绘制和基因型分析; 灰树花真菌疏水蛋白 HGFI 的双抗体夹心法检测; 苏云金芽孢杆菌新型 *vip* 基因的 RFLP 分析和少根根霉  $\Delta^{12}$ -脂肪酸脱氢酶基因在酿酒酵母中的表达等。实验内容涉及到基因的表达调控、基因型分析、免疫学以及基因工程菌的构建, 突出了对硕士研究生综合能力和创新能力的培养。

第五层次, 针对生命科学学院的生命科学专业、生物技术专业和生物伯苓班本科生开设了院选修课——免疫学实验和微生物发酵工程实验。

免疫学实验课程共 32 个学时, 1 个学分, 在 1 个学期内完成, 选课人数每年为 20 人。本课程设计了“绿色荧光蛋白的转化表达及免疫印迹检测”和“干扰素的转化表达及双抗体夹心法检测”两个连续、系统的综合性实验, 主要由免疫学经典的免疫印迹技术和酶联免疫吸附实验(ELISA)组成, 同时包括了质粒 DNA 的提取、感受态细胞的制备及转化、外源基因片段的酶切鉴定、基因工程菌株的诱导表达、聚丙烯酰胺凝胶电泳等一系列微生物学、生物化学和分子生物学实验技术, 使学生在免疫学技术的同时, 系统地复习和巩固已学过的理论知识和实验技术, 提高学生的实际操作能力和综合分析能力<sup>[2]</sup>。

微生物发酵工程实验共 48 个学时, 1.5 个学分, 在 1 个学期内完成, 选课人数每年为 20 人以内。该课程包括 2 个综合实验: (1) 聚羟基脂肪酸酯

(PHA)的发酵、固液分离、产物分离及其产品转化(野生菌发酵);(2) 基因工程菌的补料分批发酵和产物分离(工程菌发酵)。通过两个综合实验将微生物的发酵、发酵条件的控制、中间产物分析、固液分离、产物纯化精制等若干小实验内容有机地组合,使学生熟悉发酵的基本原理及操作规程,了解微生物发酵工艺的过程及控制方法,学习发酵设备的使用方法和发酵产物的后处理过程。该实验课也是国家级“微生物发酵工程”精品课建设的重要组成部分。

微生物学教学实验室根据教学对象的不同,分层次、有针对性、重点突出地建立了多层次的教学体系,既满足了在全校本科生中普及微生物学知识的需要,又很好地完成了本学院微生物学专业本科生和硕士研究生的实验教学任务。教学中采用在传统授课的基础上,结合教学录像向学生演示规范的实验操作,以及利用显微互动设备现场演示和分析学生的实验结果等教学手段;并且利用提问式、启发式、讨论式和研究式等多种教学方法进行授课,取得了良好的教学效果。实验教学中要求学生每次上课前要提交预习实验报告;在基本实验技能的学习中,要求学生的实验操作必须规范化和标准化;在开放实验中,要求学生自由组合,从选题、实验方案的设计、课题的完成到最后实验结果的分析都以小组为单位独立完成。为了能够客观、真实地反应学生的实验能力和科学素养,实验课的成绩采用综合评价体系,其中实验综合能力考核占 60%,实验报告质量占 30%,实验素养占 10%。在每年的第一学期末,教研室设置“微生物实验技能竞赛”,以考察学生们对微生物实验技能的熟练掌握程度。学生们通过微生物实验课全面而系统的学习,不仅掌握了基本的微生物学实验技能,也极大地激发了他们学习微生物学的兴趣,培养了一定的科研能力;在教学中体现了系统性、探索性、研究性和创新性,极大地培养和提高了学生的实验能力、科学素养、创新意识和创新思维,取得了很好的效果。

## 2 根据实验内容的不同,建立分级式的微生物学实验教学新模式

微生物学是一门实验性很强的学科,而基本实验技能的培养就显得尤为重要。目前大学生普遍存在动手能力差、眼高手低的问题,因此微生物学基础实验技能的训练既能培养学生良好的科研能力、科研习惯和科研素养,又能满足将来具体工作岗位所需要的基础实验技术要求。大学生能力的培养,尤其是创新能力的培养是现代教育的主题,如何将基础实验技能培养和创新能力培养有机地结合起来是实验教学中的重点。

微生物学教学实验室始终遵循“强化基础训练、突出创新能力、提高综合素质”的建设方针,在微生物学实验中,确立了由基础性实验、综合性实验和研究创新性实验相结合的 3 个层次的实验内容<sup>[3]</sup>。

第一层次基础实验教学部分,要求学生必须掌握微生物学的四大基础技术,即显微镜技术(包括染色制片技术)、无菌操作技术、分离纯化技术及纯培养技术。教学中优选了微生物学中的经典实验,包括细菌的革兰氏染色及特殊结构染色、微生物的测微技术和计数、丝状真菌和放线菌的小室培养与形态观察等。

第二层次综合实验部分,本阶段教师采用开放式的教学方式,将培养基的制备与灭菌、微生物的纯种分离培养与细菌鉴定中常用的生理生化反应这 3 个实验,组合成一个大的综合性实验来组织教学。在实验中,要求学生们设计实验检测土壤中细菌、放线菌和霉菌的数量和种类。从样品的采集,到培养基的配制,微生物的分离,微生物的分类和计数,以及最后细菌的生理生化反应,全部由学生亲自完成。在实验中,教师起到引导、启迪思维,审核实验方案,在实验的关键环节把关,组织学生进行结果分析和讨论的作用。因为该实验是个系统而连续性的实验,学生成为了实验课的主体,极大地激发了学生的学习兴趣 and 热情。

第三层次研究创新性实验部分, 这部分实验内容主要是由我院教师的科研成果直接转化而来的研究性实验内容, 主要是培养学生的探索精神、创新意识和创新能力。如微生物多糖的制备——黄原胶的发酵和提取; 产蛋白酶、淀粉酶芽孢杆菌的分离筛选和酶活力检测; 不同来源的水体细菌学检查分析研究及实验等。学生在整个实验过程中, 思维力、创造力和创新意识都得到了一定程度的提高。同时教师做到了教学和科研相辅相成。

### 3 依托学科优势和科研资源优势, 搭建多级科研创新训练实践平台

科学研究是设置“研究创新性实验”最大的平台, 也是学生做“研究创新型实验”最好的课堂<sup>[4]</sup>。为了提高学生的创新意识和创新能力, 微生物学教学实验室依托学科优势和科研资源优势, 搭建了多级科研创新训练实践平台, 分别是伯苓班“研究型开放实验必修专题”平台, 生科院本科生“科研创新项目”平台, 南开大学本科生创新科研“百项工程项目”平台和教育部“国家大学生创新性实验计划”平台<sup>[5]</sup>。

(1) 伯苓班“研究型开放实验必修专题”平台。2010 年, 南开大学被批准实施“基础学科拔尖学生培养计划”, 专门成立了伯苓学院, 负责数学、物理、化学和生物四个伯苓班的人才培养计划。该平台是主要针对生物学科的伯苓班学生开设的 1 学分的“研究型开放实验必修专题”, 要求学生在第五学期必须选择一名教授作为导师, 在导师实验室独立完成一项科研项目, 最后撰写科研论文。导师要写评语, 评定成绩。学生通过在实验室浓厚的学术氛围中学习, 并且经过严格的科学实践的锻炼, 极大地提高了学生的综合能力和创新能力。

(2) 生科院本科生“科研创新项目”平台。早在 1999 年, 学院为学生设立了“科研创新开放实验”。学院设立科研创新基金, 学生根据自己的兴趣爱好, 自己编制或选择研究项目。申请项目基金的学生, 向教授组成的立项评审组做开题报告, 阐

明研究项目的重要性、可行性和创新点。项目批准后可获得基金资助, 在导师指导下, 在开放实验室完成项目研究, 最后向评审小组做结题验收报告。如“钙通道阻断剂对白念珠菌氧化压力应答能力的影响”、“放线菌抗真菌活性的研究”、“津河水 and 校园引河水中大肠菌群的检测”等课题, 都取得了很好的研究成果。

(3) 南开大学本科生创新科研“百项工程项目”平台。2002 年, 南开大学设立了本科生创新“百项工程”, 每年投入 100 万元, 资助由学生主持立项的百项左右的科研创新项目。学生可跨年级、跨专业甚至可以跨院校组成科研团队, 并确定研究项目。“百项工程项目”由院系评审组推荐, 学校专家组审批立项。学校批准立项后, 学生科研团队要在导师指导下, 按照项目认定书的计划要求完成项目研究, 研究结果要发表论文或申请专利, 学生可根据研究成果申请学分。

(4) 教育部“国家大学生创新性实验计划”平台。国家大学生创新性实验计划是高等学校本科教学“质量工程”的重要组成部分, 该计划的启动和实施, 旨在探索并建立以问题和课题为核心的教学模式, 倡导以本科学生为主体的创新性实验改革, 调动学生的主动性、积极性和创造性, 激发学生的创新思维和创新意识, 在校园内形成创新教育氛围, 建设创新教育文化, 全面提升学生的创新实验能力。南开大学于 2007 年第一批入选。其中“真菌紫杉醇的亚细胞定位和示踪”、“红色亚栖热菌中海藻糖合成途径的研究”、“ $\gamma$ -聚谷氨酸合成菌及其对应产物的多样性研究”和“白念珠菌钙途径介导的环境压力应答和药物耐受性作用的研究”项目分别获得 2007 年至 2010 年“国家大学生创新性实验计划”的立项。

学生们在这些科研创新训练实践平台上, 积极开展多项科研创新实验, 提高了创新意识、创新能力、协作精神和实践能力。科研成果分别在“Virologica Sinica”、“J. Biological Chemistry”和

“Journal of Environmental Science”等杂志上发表。良好的科研素质和实验技能的培养为这些学生在科研道路上继续深造奠定了坚实的基础。

#### 4 采用理论和实践相结合的教学模式,建立产学研实验教学基地

微生物学是应用性很强的学科,如何将微生物学的理论知识应用到实际生产和生活中,如何学以致用,是学生们最关心的问题<sup>[6]</sup>。微生物学教学实验室充分利用微生物学国家重点学科的优势,建立了多个产学研实践教学基地,带领学生走出课堂、走进企业,去了解微生物如何在实际生产生活中发挥作用造福人类。这几个产学研教学基地包括天津工业微生物研究所、金耀集团(原天津制药厂)、天士力集团、天津经济技术开发区污水处理中心、天津市氨基酸公司制造车间、天津诺维信酶制剂公司、石家庄华北制药集团等。例如,学生们通过参观天津诺维信酶制剂公司,了解到从菌种的选育、种子液的培养、发酵罐的放大培养、发酵液中蛋白酶的分离纯化及酶制剂制备的全过程。同时了解到企业不仅可利用废弃的发酵液进行沼气的发酵生产,为工厂提供能源、动力,又可回收发酵后的菌体蛋白,作为农作物的肥料等微生物的实际应用过程。通过在企业中的参观学习,开阔了学生们的眼界,使学生们深刻体会到小小微生物的巨大威力,对自己所学专业更加充满信心。

#### 5 结语

南开大学微生物系教学实验室,依托国家微生物学重点学科,充分发挥教学和科研优势,逐渐探

索出一套培养微生物学科创新型人才的多层次微生物学实验教学体系。近年来取得了阶段性成果。今后,我们还需要将实验课程建设着眼于未来,不断提高教师队伍的科研水平和教学水平,使课程始终保持可持续的高水平的发展,努力为我国培养出更多更好的微生物学科创新型人才。

#### 参考文献

- [1] Li MC, Yang WB, Liu F, et al. Establishment of platform in cultivating innovation elite in Microbiology course[J]. Microbiology China, 2007, 34(6): 1222-1225 (in Chinese)  
李明春, 杨文博, 刘方, 等. 将微生物学课程构建成创新型人才培养的平台[J]. 微生物学通报, 2007, 34(6): 1222-1225
- [2] Yan B, Bai G, Yang WB, et al. Design of the integrated immunology experiment and its practice[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2005, 24(4): 82-84 (in Chinese)  
严冰, 白钢, 杨文博, 等. 免疫学综合实验课程的设计和实验[J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(4): 82-84
- [3] Niu SM, Yan B, Wei DS, et al. Establishment of a new multilevel teaching pattern for microbiology experimental teaching[J]. Experimental Technology and Management, 2008, 25(2): 11-15 (in Chinese)  
牛淑敏, 严冰, 魏东盛, 等. 建立分级式微生物学实验教学新模式[J]. 实验技术与管理, 2008, 25(2): 11-15
- [4] Wang MY, Yu J, Yu ZY, et al. Reforming experimental teaching of undergraduates' microbiology based on system principle of scientific research[J]. Experimental Technology and Management, 2013, 30(8): 157-160 (in Chinese)  
王梦瑶, 于佳, 于正洋, 等. 依据科研系统性原则改革本科微生物实验教学[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(8): 157-160
- [5] Yang JH, Yan B, Li MC, et al. The construction of integrated microbiology experimental teaching system on scientific research platform[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2007, 26(3): 86-88 (in Chinese)  
杨建华, 严冰, 李明春, 等. 构建在科研平台上的微生物综合实验教学体系[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(3): 86-88
- [6] Deng BW, Chen WQ, Peng H, et al. Research on reform in means and method based on the capability development in the experiment teaching of microbiology[J]. Experimental Technology and Management, 2011, 28(2): 7-10 (in Chinese)  
邓百万, 陈文强, 彭浩, 等. 基于能力培养的微生物实验教学手段与方法的改革研究[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(2): 7-10