

“微生物生理学”核心课程的建设探索

王磊, 田长富*, 楼慧强, 焦健, 梁鹏博, 毕国志, 李颖

中国农业大学生物学院微生物学与免疫学系, 北京 100193

王磊, 田长富, 楼慧强, 焦健, 梁鹏博, 毕国志, 李颖. “微生物生理学”核心课程的建设探索[J]. 微生物学通报, 2024, 51(4): 1167-1174.

WANG Lei, TIAN Changfu, LOU Huiqiang, JIAO Jian, LIANG Pengbo, BI Guozhi, LI Ying. Exploration of the development of the core course Microbial Physiology[J]. Microbiology China, 2024, 51(4): 1167-1174.

摘要: 建设高阶性、创新性和有挑战度的大学“金课”是培养高阶人才的基础, 而科学且智慧的教学方法是实现教学理念的保障。“微生物生理学”是面向中国农业大学生物学院基地班和理科试验班开设的必修课, 通过5年的核心课程建设, 建立了具有农科大学专业特色的系统性知识体系, 秉承“将知识还原为求知之道”的授课方法, 依托多元化的有效测评方式, 提升学生对知识点的理解、分析、评价和综合运用能力, 成为学生从事科研实践的奇思灵感和妙想源泉, 进而为高阶性人才培养赋能。

关键词: 微生物生理学; 核心课程建设; 高阶性人才培养

Exploration of the development of the core course Microbial Physiology

WANG Lei, TIAN Changfu*, LOU Huiqiang, JIAO Jian, LIANG Pengbo, BI Guozhi, LI Ying

Department of Microbiology and Immunology, College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: Creating advanced, innovative, and challenging core courses is essential for cultivating high-level talents. Scientific and intelligent teaching methods serve as a guarantee for achieving teaching objectives. Microbial Physiology is a compulsory course offered to the undergraduates in the biological science and experimental science programs. Over a five-year period of core course development, we have established a systematic knowledge framework with distinctive characteristics of agricultural university programs. Following the teaching

资助项目: 中国农业大学“双融合、双促进”教师党支部推动课程思政建设项目(2021-90)

This work was supported by the “Double Integration, Double Promotion” Teacher Party Branch of China Agricultural University Promotes Curriculum Ideological and Political Construction Project (2021-90).

*Corresponding author. E-mail: cftian@cau.edu.cn

Received: 2023-07-24; Accepted: 2023-10-05; Published online: 2023-11-10

approach of “translating knowledge into scientific research” and employing diversified assessment methods, we aim to enhance students’ understanding, analysis, evaluation, and integrated application of knowledge. The course has become a source of inspiration and ingenious ideas for students’ research practices, thereby empowering the cultivation of high-level talents.

Keywords: Microbial Physiology; core course development; cultivation of high-level talents

高等教育应当在传授学生知识的同时, 培养学生的学习能力、知识迁移能力、创新创造能力^[1]。中国农业大学生物学院作为国内最早设立的生物学院之一, 生物学学科的发展在国内处于领军地位, 2017 年生物学入选首批国家双一流建设学科, 在第四轮、第五轮学科评估中均被评价为“A”类学科, 也是国家基础学科拔尖学生培养基地。在人才培养中, 生物学院提出要培养志存高远、思想道德端正、综合素质高、基础知识扎实, 以及科学系统掌握生命科学基础知识、基本理论和基本技能, 并且具有国际视野和主动获取知识的能力, 能够深入开展生命科学和技术开发的拔尖创新型人才。

在一流本科人才培养中, 为了提高高校学生的学业挑战度, 实现拔尖人才培养目标, 生物学院在持续的教学改革中进一步调整课程的设置。2018 年生物学院将“微生物生理学”课程确定为专业必修课, 并重新组建了教学团队。系主任田长富教授担任课程负责人, 3 位引进人才和 1 位从教 20 余年的资深教师共同组成教学团队, 同时配有 2 名高年级研究生助教辅助课程管理和考核等工作。教学团队成员以中青年为主, 科研思维活跃, 教学热情饱满, 在教学中遵循人才成长规律, 深化创新教育教学方法, 以前瞻性的教学内容设置和系统化课程体系构建为基础, 关注前沿动态, 注重逻辑思维能力培养, 引导学生从被动接收转变为主动思考, 培养学生分析问题和解决问题的能力, 提升科学思维能力, 进而为培养专业拔尖、责任

担当的新型人才奠定基础。

“微生物生理学”课程面向中国农业大学生物学院国家一流专业理科试验班和基地班(生物科学和生物技术专业)开设, 是建院以来就设立的一门专业基础课, 最初由中国科学院院士李季伦先生主讲。1993 年李先生主编了第一本《微生物生理学》教材^[2], 成为该领域的经典教材; 2013 年李颖教授组织教学团队对该教材进行了再版, 是目前课程使用的主要教材^[3]。同时, 2009 年课程团队翻译并出版了毛特(Albert G. Moat)主编的第 4 版《微生物生理学》^[4], 促进了课程教材和配套书籍的不断完善。

在数次教学改革中, “微生物生理学”课程经历了从必修课到选修课的调整, 学时也从 96 学时锐减至 20 学时, 2018 年再次调整为必修课(理论课 48 学时), 同步开设的实验课为选修课(20 学时), 两门课程均在大三上学期开设。我们微生物系教学团队始终保持教育教学的初心, 为微生物学专业课程的系统性和学生知识结构的完整性做出努力, 在目前生物学专业大通识教育的背景下, 本系仍保留十余门微生物学方向的特色课程, 而“微生物生理学”作为核心课“微生物学”的进阶课程, 是发酵工程、合成生物学等课程的基础。我们设立的课程目标是深入、系统地理解微生物生命活动的规律, 以重要科学问题为导向, 剖析微生物生理相关理论的研究思路和方法, 进而实现发现问题、分析问题、解决问题综合能力的提升。

本文主要介绍“微生物生理学”课程核心知

识体系构建的理念,将知识还原为求知之道的教学方法,通过多元化的考核方式,提升学生的理解能力、综合运用能力及解决问题的能力,为高阶性人才培养提供重要支撑。

1 注重课程系统性知识体系的构建,突出农科大学专业特色

正如微生物学奠基人法国科学巨匠巴斯德(Louis Pasteur)对微生物的描述:“自然界中极小

之物作用极大”。微生物的巨大作用是通过其生理活动实现的。微生物的代谢类型多种多样,每种微生物的生理活动又随环境的改变千变万化。因此,了解微生物形态结构特异性、代谢功能多样性对于理解微生物无处不在、无所不能的生命现象本质具有重要的作用。

微生物生理学课程共 48 个学时,分 8 章讲述(表 1)。绪论中我们以生命的起源作为切入点,引发学生思考微生物生理的多样性与生物

表 1 课程章节及核心授课内容

Table 1 Course chapters and teaching contents

章节名称 Chapters	学时 Credit hours	核心授课内容 Contents
第一章 绪论 Chapter 1 Introduction to microbial physiology	2	微生物生理学发展史,主要研究对象及内容 Development history of Microbial Physiology, main research objects and content
第二章 细菌的细胞壁和生物被膜 Chapter 2 Bacterial cell walls and biofilms	8	细胞壁的结构、功能、合成和调控;抗生素对细胞壁合成的抑制机理;生物被膜的合成、调控及功能 The structure, function, synthesis, and regulation of cell walls; the inhibitory mechanism of antibiotics on cell wall synthesis; the synthesis, regulation, and function of biofilms
第三章 细菌的鞭毛 Chapter 3 Bacterial flagella	6	鞭毛的结构、组装和表达调控;鞭毛运动的机理、趋向性运动机制及应用 The structure, assembly, and expression regulation of flagella; the mechanism and application of chemotaxis and energy taxis
第四章 C1 代谢 Chapter 4 C1 metabolism	6	微生物的 CO ₂ 固定系统、其他 C1 化合物固定途径及应用 Carbon dioxide fixation system, other C1 compound fixation pathways and applications
第五章 氮代谢 Chapter 5 Nitrogen metabolism	6	氮循环各途径特点、功能及调控的分子机制 Characteristics, functions, and molecular mechanisms of nitrogen cycle pathways
第六章 能量代谢 Chapter 6 Energy yielding metabolism	8	能量的产生方式;来自无机物、可见光和有机物的能量产生机制及生态学意义 Energy generation mechanisms from inorganic matter, visible light, and organic matter
第七章 代谢的调控 Chapter 7 The regulation of metabolism	4	初级代谢对次级代谢的调节;次级代谢的多重调控机制及人工控制 Regulation of metabolism by primary metabolism; multiple regulatory mechanisms and artificial control of secondary metabolism
第八章 微生物与植物互作 Chapter 8 Interactions between microorganisms and plants	8	植物-丛枝菌根、豆科植物-根瘤菌识别机制,免疫和共生特点;多种植物病原菌的侵染、互作机制 Plant-mycorrhizal and leguminous-rhizobia recognition mechanisms, immune and symbiotic characteristics; the infection and interaction mechanisms of various plant pathogens

进化之间的关系；以微生物生理学发展史引导学生掌握“发现现象→提出问题→解释机制”的自然科学研究规律，延伸至微生物生理学在未来生物学研究中的重要作用。

课程的第二章讲授“细菌的细胞壁和生物被膜”，在通过“微生物学”课程已了解细菌细胞壁基本结构和组成的基础上，重点介绍细胞壁共有组分肽聚糖，以及特有组分脂多糖、磷壁酸和 S 层等的合成途径及功能。生物被膜是微生物在自然界中的主要存在方式，结合医疗上的细菌持续性感染，农业中的根际定殖等现象，重点介绍生物被膜的形成、调控和抗逆机制。第三章以“鞭毛”为主题，介绍其结构、装配和表达调控，并深度剖析鞭毛运动的机理，掌握鞭毛运动与信号传导及趋化性的关系。同时配合后续章节中微生物与植物互作专题，使学生更加深入地认识细菌运动的生理功能。从第四章开始，分别介绍微生物特有的 C1 固定途径、生物固氮分子基础、氮源调控系统、微生物特有的能量产生方式和反向电子传递的机制等，而在代谢调控中则重点介绍次级代谢的全局调控以及环境因素对次级代谢的调节。为了更好地体现农科特色，融汇前沿进展和教师科研优势，课程的第八章以“微生物与植物互作”为题，选择了经典的互作组合：植物和多种病原微生物互作、植物-菌根真菌共生互作和豆科植物-根瘤菌共生互作，从识别机制、免疫和共生特点等展开。这些模式互作组合所具有的普遍性规律，为学生今后理解农业微生物的生理作用奠定了基础。

在“微生物生理学”课程系统性知识体系的构建中，以介绍微生物多样性的结构特点和代谢机制为基础，帮助学生理解微生物适应环境的生理功能优势，同时“教”“研”相长，把科研优势转变为教学资源，形成基础理论扎实、专业特点突出的课程体系。

2 建立“将知识还原为求知之道”的教学方法，实现教育的高阶目标

按照布鲁姆教育目标分类法(Bloom's taxonomy), 认知领域的教育目标从低到高可被分为 6 个层次，即知道(知识)-领会(理解)-应用-分析-综合-评价。为实现这一教学目标，南开大学“微生物生理学”课程做了非常好的示范，建立了以结果为导向的 O-AMAS 教学模型，包括教学目标设计(objective, O)、迅速激活(activation, A)、多元学习(multi-learning, M)、有效测评(assessment, A)和简要总结(summary, S)这 5 个环节^[5-6]。本教学团队在课程知识体系的构建中增加了学生对微生物生理学广度和深度的认识，一定程度上提高了学生的学业挑战度。在授课过程中，为了实现学生对基本知识点的领会理解，并可以应用于未来科学问题的分析和评价，我们进行了一系列改革。

在教学过程中，我们不拘泥于知识点的传递，更注重学生创新思维的锻炼。在重要知识点的讲授上，围绕“将知识还原为求知之道”的核心理念，从两条主线上开展了课程内容的讲授：(1) “现象→研究→知识”的逻辑主线；(2) 学科和技术发展的历史主线。以重要科学问题的发现为序，介绍研究过程中的各种矛盾，融合学科技术发展的历史，引导学生深度思考科学研究的规律与突破，理解创新性思维在基础理论发展中的引领作用，以及技术发展对核心理论的推动作用，进而掌握关键知识点的内涵，培养学生的思辨能力，激发学生的创新思维。

美国凯斯西储大学的哈兰·伍德(Harland G. Wood)在生命科学领域，尤其是 C1 代谢研究领域做出了卓越的贡献，他是开发使用同位素进

行代谢示踪研究的先驱。哈兰·伍德提出了一个有关 CO_2 固定的新途径——厌氧乙酰辅酶 A 途径。授课中主讲教师不直接介绍该途径的代谢通路,而是介绍乙酰辅酶 A 途径的发现历程,帮助学生了解代谢途径研究的思路。首先科研中如何发现问题来源于对细节的观察,哈兰·伍德发现热梭菌不同于一般的细菌,其发酵 1 分子葡萄糖可以生成 3 分子的乙酸,一般细菌则生成 2 分子乙酸和 2 分子 CO_2 。然后是有关科学问题的猜想,推测第 3 个乙酸有可能来源于 CO_2 的固定。随后是科学的验证过程,如同位素示踪技术的使用,瞬间标记法的借鉴(美国加州大学伯克利分校梅尔文·卡尔文建立的技术,阐明了卡尔文循环并获得 1961 年诺贝尔化学奖),中间产物的分离,反应过程酶系的纯化,以及不同反应体系的构建等。最后谜底的揭开出人意料,这是一个比卡尔文循环更快捷的 CO_2 固定途径,是一个非循环且不需要有机物受体的过程,然而研究者们却花费了近 30 年的时间才将其阐明。在介绍了整个发现历程后,引导学生思考该途径有哪些特点导致其阐明困难重重,研究过程中的主要突破是如何实现的,在整个途径的解析过程中给我们最大的启示是什么等问题。教学中以乙酰辅酶 A 途径研究历史为主线,按照“现象→研究→知识”的逻辑主线,帮助学生掌握核心知识点。后续哈兰·伍德另一个重要成就是证明 CO_2 仅被自养生物利用的观点不正确,进而阐明了 CO_2 固定在异养生物中的应用。在面对如何突破已有的研究结果,以及如何解释不按规律发展的实验结果等问题时,思辨能力和创新思维在科学研究中的重要性不言而喻。 CO_2 转化利用是当今世界科技创新的战略方向,不依赖植物光合作用,设计人工生物系统固定二氧化碳合成淀粉或其他高附加值农产品将是影响世界的重大颠覆性技术。

我们在教学中通过渗入前沿问题,引导学生理解“小生物”的“大生理”,这是未来解决“藏粮于地”的重要保障,进而赋予学生“新农人”的使命感和责任心。在细菌趋化性知识点的介绍中,同样以“All because of a butterfly”引导学生从现象发现开始,了解趋化性研究的思路,在学生掌握核心知识点后,扩展至相关理论机制是如何以小见大地促进从低等生物到高等生物“感知系统”理论的建立。

微生物学课程中安排专家讲座环节可帮助学生构建多维度知识体系,了解前沿进展^[7]。“微生物生理学”课程在具体的实施过程中很好地借鉴了这一模式,除了教师在授课过程中介绍前沿进展,还结合课程内容邀请科研一线科学家讲授合成生物学、代谢工程和组合生物学等相关概念的产生与发展,并以微生物次级代谢调控的典型案例分析,引导学生从发展的角度思考知识如何服务于科学研究。为更好地提升学生的参与度,我们还开展课堂反转活动“我来问,你来讲”。例如,“耳熟能详的基因编辑手段,你知道它的核心技术是什么?它的优势和缺点有哪些?针对这些特点,你有哪些改造它的思路?”先以问题为导向,引导学生阐述他们所理解的基因编辑方法,再针对学生理解的薄弱环节进行讲解,给予学生印象深刻的课堂体验。

在整个授课过程中,我们践行“将知识还原为求知之道”的核心理念,不再枯燥地介绍知识点,而是在知识还原为科学研究的过程中帮助学生理解核心知识点,注重研究过程对学生的启示作用,提升学生将知识点应用于实践的能力,使他们在后续科学探索中拥有思辨精神和创新能力,具备对科学问题分析和评价的潜力,进而获得综合运用知识的科学素养,实现高阶人才培养的目标。

3 加强过程考核力度, 实现多元化的有效测评

目前, 越来越多的高校课程在成绩的综合评定中提高了过程考核比例, 在考核方式上也体现了多元化。例如, 南开大学“微生物生理学”课程的考核方式为平时成绩占 40%, 包括学生线上学习成绩(20%)、小组专题汇报(10%)、综述成绩(10%); 期末考试占 60%, 为开放式问卷形式, 主要为思考题和科研实验设计题, 考查学生的独立思考能力^[6]。山东大学的“微生物发酵生理学”课程考核则包括了课程网站测试和随堂测试(20%)、课堂讨论和课堂展示(60%)、课程小论文(20%), 这在考查学生知识点掌握及灵活应用能力、总结能力和创新性思维方面都起到了积极的促进作用^[8]。

我们的“微生物生理学”课程在 2018 年之前为选修课, 小班授课方式为问题引入的讨论课形式提供了便利, 提交课程论文作为主要考核方式^[9]。在教学改革后, 课堂规模扩大至 150 余人, 为了保证教学效果, 发挥主讲教师的科研背景优势, 采用了分班授课方式, 每位教师负责 1-3 个章节课程内容和授课任务, 完成前期课件的制作, 定期交流, 确保课程内容的系统性和有机衔接。同时在考核方法上进一步完善, 结合往年学生反馈信息和课程考核效果确定了新的课程考核方案: 随堂小测+课程思维导图占总成绩的 30%, 课程报告占总成绩的 20%, 考试占总成绩的 50%。

平时小测验引入“对分易”系统, 除了开展随堂小测, 还可以进行在线答疑以及前沿进展分享等。在各种线上教学模式不断迭代的过程中, 为了更好地让学生专注于课堂, 我们提出了减法原则, 应用最少的软件平台系统达到最直接的教学目的。课程除了使用“对分易”和本

校教学平台进行随堂小测及提交作业外, 还鼓励学生充分利用其他教学资源, 但不额外考核学生的使用频次, 使学生不至于为了应付而增加负担。

为了更好地帮助学生们理顺知识点, 实现知识体系的全局性掌握, 引导学生们归纳总结课堂内容, 我们在平时成绩考核中还要求学生提交各章节的思维导图。从提交的作业来看, 学生们对相关知识点的掌握准确而富有逻辑性。从期末的调查来看, 学生们也反映思维导图对他们的复习帮助很大。

课程报告则提出开放性的思考题, 鼓励和引导学生打破物种和学科界限, 重视新兴交叉学科和创新思路的启迪, 汇集所有可能的技术解决问题。围绕课程内容设置相关主题。例如, 导致细菌耐药性的因素有哪些; 未来破解耐药菌, 你有什么新的构想; 分析现有的 C1 代谢途径, 你会选择哪种途径人工构建自养型微生物; 试分析人工构建自养微生物可能存在的问题; 如何用合成生物学手段设计植物自主固氮体系; 如何理解 Fd 和 ATP 在细胞生物能量演化历史中的重要性; 植物如何特异性识别病原菌和有益微生物; 丛枝菌根与植物共生的“各取所需”包括哪些方面; 根瘤菌侵染后宿主为什么要保持结瘤固氮的“度”以及如何保持。课程报告中, 要求学生能够回答 3 个问题: 感兴趣的“生命科学问题”(what); 研究背景及研究意义(why); 解决问题的思路、过程和主要方法(how)。教师强调灵活运用课程讲授的思路和方法, 并鼓励学生在此基础上无限拓展。同时对学术规范提出了要求, 参考文献在文中需正确地引用, 注重独立自主地思考和解决问题的思路; 所有不是自己原创的图片和文字都必须标注所引用的参考文献, 否则视为学术不规范行为; 严格遵守科研道德和学术规范, 如有

抄袭和复制等行为,一旦核实,期末总成绩为0。课程报告的评分由两位新引进的青年研究员负责,助教辅助,每个人要对150余份课程报告独立打分,而后将评分合并,减少偏差。我们也在此环节收集学生建设性甚至听起来“逆耳”的意见。课程报告的考核模式,鼓励学生从关注知识点过渡到关注科学问题上,学会思考和探究。这种课程报告形式锻炼了学生对最新科研文献的调研能力,使他们在解决问题的过程中,通过知识由“点”向“线”串联、向“面”扩展、向“维”深入,在知识的应用、综合、分析和评价能力方面均有明显的收获。

课程的期中闭卷和期末开卷考试题目的设计均秉持基础知识和开放题目并重的原则。近3年的学生成绩分布显示(图1),17%–30%的学生成绩高于90分,而试验班的优秀率甚至可达50%;63%–71%的学生成绩分布于70–90分,而且随着课程考核模式的成熟,此区段学生比例也有所升高,而低分段和不及格率逐年下降,表明大部分学生可以较好地掌握课程内容。

4 结语

“微生物生理学”课程为学生夯实专业基础提供了宝贵的支持,也为学生参加科研实践提供了帮助。我们在教学中鼓励学生开展科研训练,并积极辅导学生参加学科竞赛。课程团队负责人田长富教授指导学生连续4年获得国际基因工程机器大赛(International Genetically Engineered Machine competition, iGEM)金牌(2019–2022),并在2022年比赛中获得3项单项奖提名,以及生物制造赛道第一、全球top 10的佳绩,创下参赛以来的最好成绩,项目设计理念融汇了微生物的生理优势。学生在课程中学习的相关理论也有助于其他学科竞赛,团队教师王磊副教授指导学生获得“第八届北京市大学生生物学竞赛(实验设计)”三等奖(塑料基高附加值产品产生菌种体系的构建);焦健副教授指导的项目“自带buff的根瘤菌”获得“北京市大学生奇思妙想生物学竞赛”三等奖。本年度大学生生物竞赛主题“生物固碳”促进了学生对

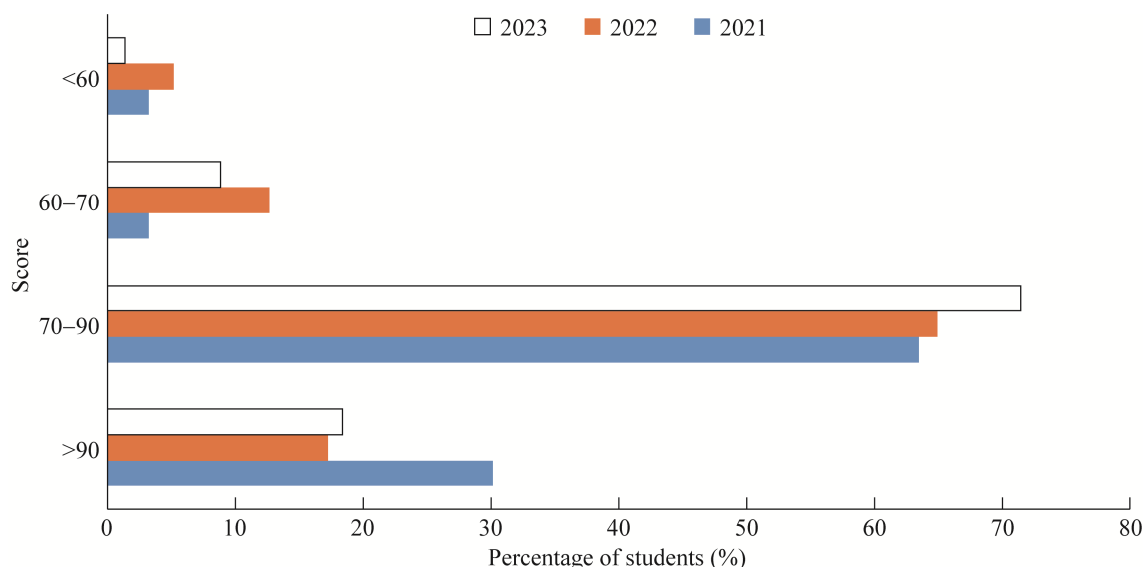


图1 课堂成绩分布

Figure 1 Distribution of the students' grades.

课程中 C1 代谢、生物固氮和能量代谢等内容的温故知新, 依靠微生物特殊的代谢途径, 将为合成生物学改造提供新的创意和资源。

我们的“微生物生理学”课程在 5 年的建设过程中, 通过系统性知识体系设计, 突出了农业大学专业特色, 实现了将科研优势转化为教学资源的目的; 授课方式上, “将知识还原为求知之道”的教学方法贯穿于整个课程, 问题是创新的起点, 研究是探索的过程, 知识是总结的成果, 对书本知识的认知系统化、过程化, 提升学生对核心知识点的理解、分析和评价能力, 而多元化考核模式则是辅助教学理念实现的有效手段。几年来, “微生物生理学”课程在培养学生创新性思维能力、提升科学素养方面起到了积极的作用, 在指导学生科研实践、生物学竞赛中的作用日益突显。未来课程也将借鉴兄弟院校成功的教学改革成果, 不断完善课程体系建设, 为实现教育的高阶目标而继续努力。

致谢

感谢中国农业大学生物学院学生事务中心贾昊晨在本科生竞赛成果整理中的帮助。

REFERENCES

- [1] 王艳茹. 大学“金课”建设的智慧教学法: 原理、内涵与框架设计[J]. 创新与创业教育, 2019, 10(4): 112-115.
WANG YR. The wisdom teaching method of “golden course” construction in universities-principle, connotation and framework design[J]. Journal of Innovation and Enterprise Education, 2019, 10(4): 112-115 (in Chinese).
- [2] 李季伦, 张伟心, 徐耀才, 杨启瑞, 赵亮启. 微生物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1993.
LI JL, ZHANG WX, XU YC, YANG QR, ZHAO LQ. Microbial Physiology[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 1993 (in Chinese).
- [3] 李颖, 关国华. 微生物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
LI Y, GUAN GH. Microbial Physiology[M]. Beijing: Science Press, 2013 (in Chinese).
- [4] ALBERT GM, JOHN WF, MICHAEL PS. 微生物生理学(中文版)[M]. 李颖, 文莹, 关国华 译. 北京: 高等教育出版社, 2009.
ALBERT GM, JOHN WF, MICHAEL PS. Microbial Physiology[M]. Translated by LI Y, WEN Y, GUAN GH. Beijing: Higher Education Press, 2009 (in Chinese).
- [5] 潘皎, 李霞, 李登文, 周卫红, 刘方. O-AMAS 有效教学方法在“微生物生理学”教学中的应用[J]. 高校生物学教学研究(电子版), 2019, 9(5): 17-20.
PAN J, LI X, LI DW, ZHOU WH, LIU F. The application of “O-AMAS” effective teaching method in the Course of “Microbial Physiology”[J]. Biology Teaching in University, 2019, 9(5): 17-20 (in Chinese).
- [6] 潘皎, 刘方, 吴卫辉, 马挺, 魏东盛, 靳永新, 徐海津, 李霞, 陈凌懿. 微生物生理学课程建设与教学改革体会[J]. 微生物学通报, 2020, 47(4): 1068-1073.
PAN J, LIU F, WU WH, MA T, WEI DS, JIN YX, XU HJ, LI X, CHEN LY. Construction of microbial physiology course and experience in teaching reform[J]. Microbiology China, 2020, 47(4): 1068-1073 (in Chinese).
- [7] 王磊, 李颖, 楼慧强, 文莹, 陈文峰, 王颖, 李大伟. 以前沿进展启迪创新思维: “微生物生物学”课程特色专题讲座[J]. 微生物学通报, 2016, 43(4): 834-838.
WANG L, LI Y, LOU HQ, WEN Y, CHEN WF, WANG Y, LI DW. Frontier progress enlightens creative thinking: seminars in Microbiology[J]. Microbiology China, 2016, 43(4): 834-838 (in Chinese).
- [8] 王书宁, 盛多红, 张怀强. “微生物发酵生理学”教学改革初探: 基于微课的翻转课堂的应用[J]. 教育教育论坛, 2021(17): 58-61.
WANG SN, SHENG DH, ZHANG HQ. Preliminary study on the teaching reform of microbial fermentation physiology: the application of flipped classroom based on micro-lectures[J]. Education Teaching Forum, 2021(17): 58-61 (in Chinese).
- [9] 关国华, 王瑜, 陈文峰, 李颖. 微生物生理学教学探索: 以细菌鞭毛结构与功能的教学为例[J]. 微生物学通报, 2016, 43(4): 756-761.
GUAN GH, WANG Y, CHEN WF, LI Y. Microbial physiology teaching exploration of taking the teaching of the structure and function of bacterial flagellar as an example[J]. Microbiology China, 2016, 43(4): 756-761 (in Chinese).