

“七步法”课堂设计与实践：构建研究导向型微生物学“金课”课堂

赵国琰^{*}，李娜，王宁，张智敏，邓玉颖，戴美学^{*}

山东师范大学生命科学学院，山东 济南 250014

赵国琰，李娜，王宁，张智敏，邓玉颖，戴美学. “七步法”课堂设计与实践：构建研究导向型微生物学“金课”课堂[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1264-1276

Zhao Guoyan, Li Na, Wang Ning, Zhang Zhimin, Deng Yuying, Dai Meixue. “Seven-step” teaching design and practice: developing research-oriented “golden course” for Microbiology[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1264-1276

摘要：研究导向型教学是以学生成长和发展为中心的创新性教育模式，其核心目标与“金课”的建设目标一致，强调培养学生的研究技能，使其具有创新性和高阶性。在微生物学一流课程建设过程中，将研究导向型教学理念与 BOPPPS 课堂[导入(bridge-in)、目标(objective)、前测(pre-assessment)、参与式学习(participatory-learning)、后测(post-assessment)和总结(summary)]组织形式相结合，并创新性引入“提升”模块，以问题为驱动，聚焦科学前沿，融入思政材料，形成导入—目标—前测—参与式学习—后测—提升—总结(七步法)的新型模块化闭环教学模式。该模式的实施能够有效提升课堂教学的逻辑性和组织性，提高教学效率，提升学生分析问题和解决问题的高阶性，为学生将来开展科研工作奠定良好的基础，并为打造以学生为中心的“金课”课堂实践提供借鉴参考。

关键词：研究导向型；模块化教学；金课；教学设计；高阶性

基金项目：山东师范大学“专创融合”特色示范课程建设项目(SDNU2021ZCRH006)；山东师范大学教学改革项目(2019XM39, 2021BJ066)；山东省普通本科教育课程思政示范课程(2021-13-119)；国家自然科学基金(31640002)；山东省自然科学基金(ZR2020MC002)；中国博士后基金(2016M600551)

Supported by: Shandong Normal University “Integration of Specialty and Innovation” Characteristic Demonstration Curriculum Construction Project (SDNU2021ZCRH006); Teaching Reform Projects of Shandong Normal University (2019XM39, 2021BJ066); Ideological and Political Demonstration Course of Undergraduate Education in Shandong Province (2021-13-119); National Natural Science Foundation of China (31640002); Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2020MC002); China Postdoctoral Science Foundation (2016M600551)

***Corresponding authors:** E-mail: ZHAO Guoyan: zhaoguoyan@sdu.edu.cn; DAI Meixue: daimeixue@sdu.edu.cn

Received: 2021-04-20; **Accepted:** 2021-12-15; **Published online:** 2022-01-30

“Seven-step” teaching design and practice: developing research-oriented “golden course” for Microbiology

ZHAO Guoyan*, LI Na, WANG Ning, ZHANG Zhimin, DENG Yuying, DAI Meixue*

College of Life Sciences, Shandong Normal University, Jinan 250014, Shandong, China

Abstract: Research-oriented teaching is an innovative teaching model focusing on students' development, and the purpose coincides with the goal of “golden course” development that emphasizes the cultivation of students' research skills and inspiration of their creativity. In the process of building leading curricula for Microbiology, we combined research-oriented teaching philosophy and BOPPPS teaching mode, and added the “improvement” module and ideological and political materials to establish a problem-driven modular closed-loop teaching model of introduction—objective—pre-test—participatory learning—post-test—improvement—summary (seven-step method) focusing on scientific frontier. The model can effectively improve the logicity and organization of classroom teaching, teaching efficiency, and the ability of students to analyze and solve problems. It lays a solid foundation for students to conduct scientific research in the future and provides a reference for developing “golden course” courses centering on students.

Keywords: research-oriented; module teaching method; golden course; teaching design; higher-order ability

2018年12月,第十一届“中国大学教学论坛”指出:中国“金课”要具备高阶性、创新性与挑战度。微生物学是一门综合性和应用性强的学科,重在培养学生的知识运用、分析解决问题的能力及实现科研创新的高阶能力,其教学效果直接影响着未来生物学人才的创新能力与应用水平。2020年11月,山东师范大学“微生物学”获首批国家级一流本科课程。为进一步强化教学系统化设计、提高课堂教学质量、打造研究型教学课堂,在BOPPPS[导入(bridge-in)、目标(objective)、前测(pre-assessment)、参与式学习(participatory-learning)、后测(post-assessment)和总结(summary)]教学模式基础上,我们探索出一套实用性较强的新型课堂模式,以期构建研究导向型教学课堂,激发学生自主学习兴趣,促进学生深度学习和广度学习,提升学生的综合素养,推进“学习革命”向“质量革命”的

纵深发展。

1 以学生为中心的教学创新:研究导向型教学

培养创新人才是高等生物学教学的主要任务^[1]。研究导向型教学(research-led teaching and learning)是一种“以学生为中心”的创新教学模式,包括研究导向的“学”和研究导向的“教”2个方面。前者针对学生学习而言,是指学生在科学问题驱动下,充分激发好奇心、释放学习动力和潜力,主动搜集资料,自主寻求答案,在这一过程中培养学生的批判性思维及交流、合作和创新的能力,使其在终身学习过程中逐步提升综合素养,以应对未来不确定性所带来的挑战;后者则针对教师的“教”而言,要求在课程设计、教学手段、实施过程和教学评价上突破传统的知识点讲授,根据所授课程知识体系

涉及的领域,以相关现象、问题、困惑、人类的挑战或当下的社会现实问题入手,将经典文献资料与最新前沿进展研究相结合,形成供学生思考和讨论的话题,践行“专业基础知识、实践创新能力、综合科研素养”三位一体的人才培养理念,引导学生思考、学习、解决问题,并在探索型学习中提供必要的指导和支持^[2]。

教育的本质不仅在于传承,更在于育人。大学教育旨在培养能够推动社会进步的重要力量,其核心在于激发学生的内在主动性和创造性,培养学生批判性独立思考的能力,并为其终身学习打下基础。在网络化的当下,知识的获取日益便捷,但“有知”不代表“懂知”和“用知”,所检索到的知识也不一定都正确。与之相适应,如果课堂教学仅停留在较为初级的知识获取和记忆层面,仅让学生“有知”,一方面难以训练出可以应对现代社会严重挑战且具有鉴别性、探索性、创新性素养和能力的学生,另一方面教师的自身价值也在现代网络技术面前黯然失色^[2]。作为教师,我们必须反思,在能力、素养和智慧越来越重要的时代,所执教的课堂教学是否能够满足社会的发展和时代的要求?研究导向型教学的提出,便旨在构建一个高效转化的教学方式,培养学生通过研究问题和现象获得知识、能力、素养和智慧的能力,激发学生学习、研究和探索的兴趣和动力。在先进的理念支撑下,如何真正具体落实到每一节课上,有效地组织教学,充分调动学生的学习积极性并达到教学目的,这是研究导向型教学需要解决的关键问题之一。

2 在课堂上让学习真实发生: BOPPPS 教学模式

BOPPPS 模式最早于 1976 年由加拿大温哥华大学提出,目前已有超过 30 多个国家引用和

采用该模式进行课堂教学。该模式基于建构主义、认知主义和三元交互决定论的理论基础,将课堂教学过程进行结构化分解,分为导入(bidge-in)、目标(objective/outcome)、前测(pre-assessment)、参与式学习(participatory-learning)、后测(post-assessment)和总结(summary) 6 个模块,每个模块都是为了实现教学目标而精心设计。在教学环节中,强化学生的主体地位,强调参与式学习,形成一个完整的教学闭环;在教学目标上,由浅入深,循序渐进,按照认知规律设定具体可行的目标;在教学方法上,强调学生参与式教学,力求学生充分发挥主观能动性,实现学生素质和能力的培养。

BOPPPS 模式能够调动学生的学习兴趣和,提高学生的课堂参与度,通过自主探究加深学生对知识的理解和记忆。在“互联网+高等教育”背景下,如何将 BOPPPS 模式应用到“金课”的建设中,有效转变课程设计,聚焦学习过程、学习效果和 student 发展,是一个值得探索的途径。

3 提升课堂挑战性:“七步法”教学模式的提出和实施过程

3.1 新模式的提出

建设“金课”,要以学生为中心。以学生为中心不是简单地迎合学生,而是要具备合理的挑战度。1963 年,美国管理学家埃德温·洛克提出著名的目标设置理论——洛克定律:“确定跳一跳,够得着的目标,专注行动。当目标既是未来指向的,又是富有挑战性的时候,它便是最有效的。”为提高课程的挑战性,我们在微生物学教学环节中,基于 BOPPPS 模式,融入第 7 个模块:“提升(improvement)”,形成了具有特色的“七步法”闭环教学模式,包括导入、目标、前测、参与式学习、后测、提升、总结

七步。在“提升”模块中,教师根据教学目标和课堂教学内容,设置一个具体的科学问题,如与本课程内容密切相关的科学观点、困惑、挑战等,引导学生关注和剖析高水平科研论文,把握科研前沿,开展深度学习和讨论。这一科学问题往往是尚未完全解决的前沿课题,有待进一步研究。该问题又往往与社会聚焦和热点相互衔接,在探索过程中,自然而然地融入思政内容。在教学过程中,既提升学生的科学素养、启悟学生潜在智慧,又提高学生的情感价值、树立科技报国的家国情怀和使命担当。

3.2 教学实例

以第三章第三节“动物病毒的复制”(45 min)为教学案例,在授课过程中,教师将课堂内容精练到一个核心命题上:“决定动物病毒复制方式差异的原因是结构差异(包膜有无)还是遗传物质差异?”用“差异”这一条逻辑线索贯穿整个课堂展开论述。结合专业教学特点、课程特点与教学实践,采用以学生为中心、以核心问题为导向的混合式教学框架,由课前准备、课中实施和课后反馈三部分构成(表1)。

3.2.1 课前

根据所讲授课程知识体系所涉及的领域,上课前,教师向学生提出一个开放性问题、现象、困惑、人类的挑战或当下的社会问题(与“提升”环节相一致),发布相关文献等资料,请学生先行思考,从而激发学生学习兴趣。以本次课为例,教师通过网络平台向学生们发布前置思考问题:“对新型冠状病毒(corona-virus disease 2019, COVID-19)的结构是否了解?对现阶段我国疫情防控和疫苗开发进展是否了解?有何感触?”并向学生发布本次课“提升”环节将要讨论的学术论文;学生将其在课前思考(或预习)中遇到的问题及其文献阅读情况通过网络平台与教师进行反馈交流。

3.2.2 课中

教学课堂由“导入-目标-前测-参与式学习-后测-提升-总结”7个模块组成,构成一个完整的教学闭环,强化学生的主体地位,强调参与式学习;引入最新科学研究进展,扩展知识体系;融入课程思政,树立学生科技兴国的爱国情怀和报国大志;通过随堂测试,及时得到教学反馈。如表1所示,具体实施过程如下:

(1) 导入(bridge-in)

紧跟新型冠状病毒肺炎社会焦点,密切联系学生的关注点,将当前重大事件与本节课教学内容建立联系,将学生带入到课堂教学中,激发学生的学习兴趣。

教师讲稿(实例):“这一年来,一场突如其来的新型冠状病毒肺炎疫情严重影响了全世界人们的正常工作和生活,相信在座的每位同学都深有感触。2021年1月21日 *Science* 发文,COVID-19不会很快消失,可能会长期存在,成为地方流行病^[3]。在举国上下万众一心、众志成城地做好新型冠状病毒肺炎疫情防控工作的特殊时刻,同学们,作为一名生物专业的学生,作为一名风华正茂的大学生,我们应该在这场疫情中承担起责任和义务。目前我们能做的就是将我们的理论知识学扎实,在不久的将来运用到实践中,为疾病的控制、疫苗和药物的研发奠定基础。正如“全国大学生同上一堂疫情防控思政大课”中冯秀军教授的评论:疫情当下,青年人当胸有大志,心有大我,肩有大任,行有大德。同学们,在此背景下,让我们一起开始本节课的学习,了解病毒的复制方式。”

(2) 目标(objective/outcome)

明确本堂课的知识和能力教学目标,明确本节课的重点和难点。

(3) 前测(pre-assessment)

教师利用“雨课堂”软件,向学生发送两道

表1 七步法课堂教学实施过程(以“动物病毒的复制”为案例)

Table 1 The teaching process of seven-step method (taking “the replication of animal virus” as an example)

教学环节	时间	教学内容(互动主体)	
Teaching sessions	Time (min)	Teaching contents (interactive subject)	
课前 Before class	—	课前(师生) Before class (both teacher and students)	通过网络平台, 教师发布“提升环节”所要讨论的知识点和相关资料, 并 与学生交流其思考(或阅读)中遇到的问题 Through the network platform, teacher sends out knowledge points and relevant materials to be discussed in the “improvement” and talk with students about their questions
导入 Bridge-in	1	课程导入(教师) Bridge-in of new course (teacher)	教师通过案例——肆虐全球的“新冠肺炎”疫情导入本节课内容, 激发学 生的学习兴趣 The teacher introduced COVID-19 and stimulated students' interest in learning
目标 Objective/Outcome	1	明确目标(教师) Specify teaching aims (teacher)	教师向学生明确本节课的知识目标、能力目标、素质目标 The teacher makes the knowledge, ability and quality objectives clear to the students
前测 Pre-assessment	1	测试(学生) Test (students)	利用“雨课堂”, 教师发送选择题, 了解学生学习情况、开启弹幕实现课堂互动 Using the rain classroom, the teacher sends questions to determine the students' learning situation and opens the barrage to enhance in-class interactions
参与式学习 Participatory learning	27	教师讲授(教师) Lecture (teacher)	根据学生学习情况, 教师将教学内容精炼到一个核心问题上。结合绘图, 分析腺病毒、脊髓灰质炎病毒、单纯疱疹病毒、狂犬病毒复制方式的异同 According to the students' learning situation, the teacher refines all the content to a core problem, and analyzes the similarities and differences of replication ways of adenovirus, poliovirus, herpes simplex virus and rabies virus
	5	小组讨论(学生) Group discussion (students)	学生根据上述学习知识, 思考、讨论并绘制新型冠状病毒的复制方式; 教师点评 According to what they just learned, students draw a probable replication way of COVID-19, and the teacher gives them comments
	3	加深思考(师生) Deepen thinking (teacher and students)	教师讲解反转录病毒与上述病毒复制的差异, 启发学生思考: 为何该发 现能获得诺贝尔奖? 师生开展讨论 The teacher explains the differences between retroviruses and the above viruses and asks students why this discovery won the Nobel Prize
后测 Post-assessment	1	测试、抢答(学生) Test and answer (students)	利用“雨课堂”, 教师发送与本节课相关的历年考研题, 学生进行测试和抢答 Using the rain classroom, the teacher sends the postgraduate entrance examination questions related to this class, and the students give answers
提升 Improvement	5	前沿知识引读 (师生) Introduction to frontier knowledge (teacher and students)	教师引读我国科学家发表在 <i>Science</i> 和 <i>Cell</i> 上的关于“COVID-19 进入人 体细胞的特异性受体”的相关工作, 启发学生思考和讨论。在危机当下, 提升学生的时代责任心和历史使命感 The teacher reads the related papers about COVID-19 receptors published by Chinese scientists on <i>Science</i> and <i>Cell</i> , inspiring students to think and discuss, to improve students' sense of responsibility and historical mission
总结 Summary	1	课堂评价(教师) Evaluation (teacher)	总结本节课内容, 教师对本课堂学习情况和效果进行简要评价 The teacher summarizes the content of this class and briefly evaluates the learning situation and effect of this class
课后 After class	—	课间/课后(学生) After class (students)	利用课间带领学生观看 2020 年 9 月 8 日中央电视台播出的《全国抗击“新 冠肺炎”疫情表彰大会》回放视频。学生在课后通过网络平台完成作业 The students watch the video of the novel coronavirus pneumonia conference that CCTV broadcasted on September 8, 2020. Students finish their homework through the network platform after class

Note: —: Outside class time.

选择题,了解学生对先导课(上次课)——“噬菌体的复制过程”的知识掌握水平,开启弹幕实现课堂互动。

(4) 参与式学习(participatory learning)

1) 教师讲授。教师将课堂内容精练到一个核心命题上:“决定动物病毒复制方式差异的原因是结构差异(包膜有无)还是遗传物质差异?”用“差异”这一逻辑线索贯穿整节课。综合运用讲授和示范、板书和图表绘制等教学方式,分析腺病毒、脊髓灰质炎病毒、单纯疱疹病毒、狂犬病毒、冠状病毒等不同动物病毒复制方式的异同。

2) 小组讨论。教师提出问题:“结合上述讲述,请同学们推测有包膜含正单链 RNA 的 COVID-19 可能的复制方式。”学生根据先前学习到的知识,充分思考教师提出的问题。通过小组讨论,绘制 COVID-19 的复制方式。教师对学生的讨论结果进行点评,鼓励学生综合运用基础知识,举一反三,大胆设想,小心求证,这是做好科研工作的必备要素。

3) 加深思考。教师进一步提出问题:“同样具有包膜结构和单股正链 RNA 的艾滋病病毒(human immunodeficiency virus, HIV),与冠状病毒的复制过程是否相同呢?”继续讲解 HIV 的复制过程,并讲述科学家巴尔的摩和梯明因发现 HIV 的复制方式,于 1975 年荣获诺贝尔生理学或医学奖。启发学生思考:为何该发现能获诺贝尔生理学或医学奖,其他病毒复制过程的发现未获诺贝尔奖?学生阐述其思考过程和讨论结果。教师进行简评:HIV 复制过程中发现的逆转录现象突破了遗传学中心法则,体现了从细微处见真知,尊重科学、挑战权威、敏锐观察、细心谨慎的科学态度和科学精神。

(5) 后测(post-assessment)

教师再次利用“雨课堂”软件向学生发送与本节课密切相关的考研题目,学生进行测试和抢

答,以此测试学生对本节课知识的掌握水平。

(6) 提升(improvement)

在素质能力提升模块,教师利用“雨课堂”,推送与本课堂相关的 3 篇新发表在顶级期刊 *Science* 和 *Cell* 上的文献,和学生一起解析文献,补充教科书中传统知识的不足,开阔学生视野,提升学生的综合科研素养;开展“微专题研讨”,讨论我国科学家周强等在 COVID-19 病毒的特异性受体——血管紧张素转化酶 2 (angiotensin converting enzyme 2, ACE2)发现中的重要工作,启发学生思考如何根据受体进行药物开发、如何运用所学知识应对危机。升华学生们的责任担当和科研强国的爱国主义情怀,提升学生的时代责任心和历史使命感:“生命至上、举国同心、舍生忘死、尊重科学、命运与共”。

(7) 总结(summary)

总结该堂课的知识点,带领学生思考,将该堂课拟解决的问题进行归纳、落脚为一个关键点:遗传物质差异是决定动物病毒复制方式差异的主要原因。学生通过该堂课,理解和掌握两个难点:病毒复制环节与细胞之间的关系、病毒复制的核心环节与病毒基因组结构特征。布置课后作业,完成闭环教学。

3.2.3 课后

课间(5 min)组织学生观看 2020 年 9 月 8 日中央电视台播出的《全国抗击“新冠肺炎”疫情表彰大会》回放视频片段,让学生了解以钟南山院士、陈薇院士等为代表的医护人员和科学家在防控“新冠肺炎”中的重大贡献。激励学生以钟南山院士、陈薇院士等为榜样,在将来工作中敢担当、有作为;在国家危难时挺身而出,为国家和人民做出贡献。

课后,学生完成作业和课后思考题,一方面可以巩固学生的学习成果,另一方面也可以作为教师对学生过程性学习评价的依据。

3.3 “提升”方案的设置

在微生物学“七步法”教学模式实施过程,科学问题的提出尤为重要。为此,教师为每一章精心设计了“提升”方案和设计原则,并有文献支撑(表 2)。比如在第六章“微生物的生长及其控制”的教学“提升”环节,教师提出问题:目前细菌耐药性与新型抗生素药物研发的困境是什么? 头孢霉素类、青霉素类、喹诺酮类和大环内酯类四大类广谱抗生素结构骨架类型都是 20 世纪发现的,尽管其后又发现了氨基糖类、糖肽类、四环素类和脂肽类等抗生素,但它们的结构新颖性较差、抑菌效率一般。近 20 年来,美国食品药品监督管理局仅批准了 6 种新抗生素,而且无一种对革兰氏阴性菌有抑制活性。随着细菌耐药性的进化,新药研发的滞后已成为公众卫生危机。教师向学生推送 2020 年发表在 *Cell* 上的观点类文章“The science of antibiotic discovery”^[35],启发学生思考和讨论:如何突破传统新药开发的局限性,寻找新药? 学生经过调研和小组讨论,发表观点,比如可通过筛选含生物合成基因簇(biosynthetic gene clusters, BGCs)的真菌、黏细菌、放线菌和共生菌等;激活沉默基因;基于化学合成/半合成法合成或改造抗生素等方法寻找或合成新药等。进一步地,教师讲解麻省理工学院如何通过机器学习构建预测抗生素的筛选模型,筛选到新型广谱抗生素^[22]。启迪学生解决问题的方法并非单一,多学科交叉和人工智能的融入为 新药研发带来曙光,要具有创新的科学精神,保持开放的科学思维,用科技造福人类。

要特别说明的是,“提升”方案不是一成不变的,而是随着时代的进步和知识的更新不断调整方案、更新内容,具有开放性、时效性和柔性。这就要求教师不仅要具有扎实广泛的专业知识基础,还要能够根据学科发展和专业需求,不断加深对微生物学知识点的认识、理解

和提炼,持续关注社会发展和科学前沿,发现问题、提出问题;也要求学生在课堂中保持创新、创造的活力,敏锐地发现问题,敢于质疑权威、挑战经典,实现“教”“学”相长。

在该教学模式的实施过程中,通过学生的反馈和课堂表现可以了解到,学生的批判性思维方式、自学能力、专业英语能力、小组合作能力都有相应的提高。其核心在于教师能够激发学生对未来、对科研工作的热爱和向往,能够调动学生的主观能动性,培养其终身学习的意识,获得超越教科书知识之上的个人发展。

4 教学效果

“七步法”课堂教学能够充分及时地反映学生的成长成才情况,反映课程中知识传授与价值引领的结合程度,提升学生的科学素养和情感价值。校督导组对本课程教学督导评教成绩为优秀。学生在评教评学中对本课程主要任课教师都给予了很高的评价。课程也通过“观摩课”的方式在全校范围内对“微生物学”教学课堂活动进行了展示。通过实施教学改革创新,主要取得了以下成果:

(1) 学生兴趣得到提高。学生到课率、课堂参与度、评教满意度、作业数量质量、微生物学研究生报考率等量化指标提高。

(2) 学生高阶能力得到提升。学生的综合能力得到锻炼,团结合作和交流意识得到加强,拓展了视野,提升了探索学科前沿、分析和解决复杂问题的能力。学生以微生物分类鉴定、生理生化、分子生物学和微生物资源应用等相关问题为课题开展研究,如:“促生抗病防板结微生物土壤修复剂的创制”和“锰氧化细菌解孔雀石绿的功能和机制研究”等。教师指导本科生立项全国大学生创新创业项目 6 项;获得全国竞赛奖 12 项、省级竞赛奖 20 余项;获得省级优秀毕业论文 1 项

表 2 微生物学教学内容提升方案与对应原则(部分示例)

Table 2 The promotion programs and design principles of Microbiology class (partial samples)

所属章节	对应知识点	提升方案	主要设计原则	参考文献
Chapters	Knowledges	Promotion programs	Design principles	References
绪论	人类对微生物世界的认识	研讨: 科赫法则在当代是否已过时	构建知识体系: 科赫法则的基本原则适用于基因组时代, 但需要修订	[4]
Introduction	Our knowledge of the microbial world	讲解: 基因组时代的科赫法则 Talk: Are the classical Koch postulates outdated? Explanation: Koch's law in the genome era	Building knowledge systems: The basic principles of Koch's law are applicable to the genome era, but need to be revised	
第一章 原核微生物的形态和构造	细菌的形态构造	研讨: 以厌氧氨氧化体为例, 谈论“细菌是否真的不具有膜包围的细胞器?”	构建知识体系: 传统的关于“原核微生物”的概念有待于更新	[5-6]
Chapter 1 Prokaryotic cell structure and function	Morphological structure of bacteria	Talk: Taking anammox as an example, talk about “do bacteria really not have membrane-surrounded organelles?” 讲解: 蛋白相变与无膜细胞器的形成过程 Explanation: Liquid-liquid phase separation in the formation of membrane-less organelles	Building knowledge systems: The traditional concept of “prokaryotes” needs to be updated 课堂思政教育: 我们对事物的认识是发展变化的 Ideological political education: Our understanding of things is developing and changing 提升知识纵深: 无膜细胞器的生物合成及功能是一个新兴研究领域, 有待于深入研究 Enhance knowledge depth: The biosynthesis and function of membrane-less organelles is a new research field that needs further study 课堂思政教育: 介绍我国科学家的工作, 鼓励学生保持好奇心, 勇于探索 Ideological political education: Introduce the work of Chinese scientists and encourage students to remain curious and explore bravely	[7-10]
第二章 真核微生物的形态和构造	真菌的形态构造	研讨: 内共生学说与细胞器的形成策略(以异养宿主对蓝细菌的吸收为例)	提升知识纵深: 如何评价内共生学说的争议性	[11-12]
Chapter 2 Eukaryotic cell structure and function	Morphological structure of fungi	Talk: The endosymbiotic hypothesis of organelle origin, taking the green algal endosymbionts and diverse heterotrophic hosts as an example	Enhance knowledge depth: How to evaluate the controversy of endosymbiosis theory 课堂思政教育: 提升批判性科学思维和质疑精神 Ideological political education: Enhance critical scientific thinking and questioning spirit	

(待续)

(续表 2)

第三章 病毒和亚病毒 Chapter 3 Virus and subvirus	病毒的复制过程 Replication process of virus	讲解：新型冠状病毒肺炎防控和疫苗开发及中国的贡献 Explanation: COVID-19 vaccines: speedy development and China's strategy	提升知识纵深：如何运用基础知识解决复杂的现实问题 Enhance knowledge depth: Using fundamental knowledge to solve complex practical problems 课堂思政教育：理解人类命运共同体，提升政治认同、爱国热情和无私奉献精神	[13-14]
第四章 微生物的营养和培养基 Chapter 4 Microbial nutrition and media	选用和设计培养基的原则和方法 The selection and design of medium: Principles and practices	研讨：为什么 99% 的微生物难以培养？ Discussion: Why is it challenging to cultivate 99% of microorganisms? 讲解：宏基因组和单细胞测序在“暗微生物”研究中的应用 Explanation: Application of metagenomic sequencing and single-cell sequencing in researching “dark microorganisms”	提升知识纵深：“99% 难培养”缺乏严格的实验证据；新技术在难培养微生物研究中的应用 Enhance knowledge depth: “99% difficult to cultivate” lacks strict experimental evidence; Application of new technology in the study of difficult-to-culture microbes	[15]
	营养物质进入细胞的方式 Transport of nutrients into cells	讲解：2013 年诺贝尔生理学或医学奖：囊泡运输的发现及调控机制研究 Explanation: 2013 Nobel Prize-discovery and regulation mechanism of vesicle trafficking pathway	提升知识纵深：微生物细胞的物质运输方式存在多种类型 Enhance knowledge depth: There are multiple types of material transport in microbial cells 课堂思政教育：体会重大科学发现背后的坚持、探索及合作精神	[16-18]
第五章 微生物的代谢和发酵 Chapter 5 Microbial metabolism	自养微生物的生物氧化反应 The biological oxidation reactions in chemolithoautotrophic microbes	研讨：微生物中特殊的代谢途径(以蓝细菌中新型三羧酸循环途径为例) Talk: Specialized metabolic pathways in microbes (taking the novel tricarboxylic acid cycle in cyanobacteria as an example)	课堂思政教育：特殊性和普遍性的对立与统一 Ideological political education: Universal and particular: unity and opposites	[19]

(待续)

(续表 2)

	生物固氮 Biological nitrogen fixation	讲解: 海洋氮循环机制及微生物固氮群体类型 Explanation: Various biological nitrogen fixation types in the marine nitrogen cycle	提升知识纵深: 了解除藻类外其他微生物在海洋固氮中的重要作用 Enhance knowledge depth: Understand the critical role of microorganisms other than algae in marine nitrogen fixation 课堂思政教育: 突破固定性思维, 探索未知 Ideological political education: Breakthrough fixed thinking and explore the unknown	[20]
第六章 微生物的生长及其控制 Chapter 6 Microbial growth and controlling	测定生长繁殖的方法 Measuring growth and reproduction	讲解: 流式细胞术、实时荧光显微镜、微流控等技术在微生物生长研究中的应用 Explanation: The application of flow cytometry, real-time fluorescence microscopy, and microfluidic technologies	提升知识纵深: 体会新技术和交叉学科在微生物学发展中的促进作用 Enhance knowledge depth: Contributing role of new techniques and interscience in the development of microbiology	[21]
	有害微生物的控制 Control harmful microorganisms	研讨: 细菌耐药性与新型抗生素药物研发的困境 Talk: The development of novel antibiotics cannot keep up with the evolution of the antimicrobial resistance of bacteria	提升知识纵深: 突破传统新药开发的局限性, 结合人工智能, 寻找新药 Enhance knowledge depth: Breakthrough traditional new drug development limitations and find new drugs combined with artificial intelligence 课堂思政教育: 体会在新药研发过程中的人文精神 Ideological political education: To experience the humanistic spirit in new drug research and development	[22-25]
第七章 微生物的遗传变异和育种 Chapter 7 Microbial genetics	基因重组 Gene recombination	讲解: 基因组重排在微生物菌种选育中的应用 Explanation: The application of DNA rearrangements in microbial strain breeding	提升知识纵深: 基因组重排突破微生物种属间的限制, 实现微生物菌种改良及代谢产物开发 Enhance the depth of knowledge: Genome rearrangement breaks through the restrictions between microbial species and genera and realizes the improvement of microbial strains and the development of metabolites	[26-27]
	遗传物质在细胞内的存在部位和方式 The site and storage way of genetic material in the cell	讲解: 我国科学家王军引领的国际大型人体微生物组研究计划“MiBioGen” Explanation: Worldwide open microbial consortium (MiBioGen) carried out by Chinese scientists	课堂思政教育: 鼓励学生追求理想, 积极合作, 提高民族自信 Ideological political education: Encourage students to pursue ideals, actively cooperate and improve national self-confidence	[28]

(待续)

(续表 2)

第八章 微生物生态 Chapter 8 Microbial ecology	微生物与生物环境间的相互关系 Microbes and their interrelationship with the impact of environment	讲解：从枝菌根共生与根瘤共生的协同进化机制的研究进展 Explanation: Concerted evolution-molecular mechanism and biological implications of root nodule and arbuscular mycorrhizal symbiosis	提升知识纵深：认识微生物及其他生物相互作用的复杂网络 Enhance knowledge depth: Understand the complex network of microbial and other biological interactions 课堂思政教育：鼓励学生敢于质疑、勇攀科研高峰 Ideological political education: Encourage students to dare to question and climb the peak of scientific research	[29]
	微生物在自然界物质循环中的作用 Microorganisms play an important role in the cycling of substances in nature	讲解：病毒回路在海洋元素循环中的重要作用 Explanation: Virus shunt plays an essential role in biogeochemical cycles in the marine ecosystem	提升知识纵深：认识病毒在食物网中的重要作用 Enhance knowledge depth: It is important to augment understanding the role of viruses in the food web relationships	[30-31]
第九章 传染与免疫 Chapter 9 Infection and immunity	抗原与抗体 Antigen and antibody	研讨：COVID-19 进入人体细胞的特异性受体 ACE2 讲解：我国西湖大学研究者周强、郭天南等发表在 <i>Science</i> 和 <i>Cell</i> 上的相关研究 Talk: The COVID-19 virus uses ACE2 as the main cellular receptor to enter the cell Explanation: The papers published by Chinese scientists Zhou and Guo	提升知识纵深：了解新型冠状病毒进入靶细胞的结构基础和功能特征，为疾病控制奠定基础 Enhance knowledge depth: Understanding the structural basis and functional characteristics of COVID-19 entering target cells, which lay a foundation for disease control 课堂思政教育：在危机下，提升学生的时代责任心和历史使命感 Ideological political education: In the face of the crisis, improve students' sense of responsibility and historical mission	[32-34]

和校级优秀论文多项。同时，指导学生发表文章多篇。如：在“第一章 原核微生物的形态和构造”授课过程中，本科生对提升方案“蛋白相变与无膜细胞器的形成过程”(表 2)非常感兴趣，在教师指导下继续深入调研，将调研成果以“微生物的亚细胞结构与相变机制”为主题，在 *Frontiers in Microbiology* 发表了一篇综述类文章^[36]。

(3) 教师教学能力得到提升。“微生物学”获批国家级一流课程、省级一流课程、省级课程

思政示范课程和校级“金课”；团队教师获省级教学成果奖 3 项和校级教学成果奖 4 项。

5 总结

“七步法”课堂教学模式是山东师范大学在建设“微生物学”国家一流课程过程中的一项探索。该创新教学模式充分体现了“研究导向型”教学的内涵与特色，以学生发展的需要出发，以科学前沿问题为导向，将研究的过程、思路和方法不断融入教学过程中，补充教科书中的知识，

让课堂教学更具有逻辑性和挑战性,实现科研“反哺”教学。不仅如此,通过具体事件和专业知识将思政教育内容融入教学“提升”环节,立德树人,在学生心中树立正确的世界观、人生观和价值观。这种教学方法也可以推广到同类课程的教学活动中。在创新教育道路上,希望起到抛砖引玉的作用,激发同行并肩建设微生物学课程,提高教学效率,促进创新人才培养。

REFERENCES

- [1] Wood WB. Innovations in teaching undergraduate biology and why we need them[J]. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 2009, 25: 93-112
- [2] 席酉民. “知道”时代需研究型学习[N]. *光明日报*, 2015.08.11 第13版:教育周刊·高等教育
- [3] Xi YM. The era of “knowing” calls for research-oriented learning[N]. *Guangming Daily*, 2015-08-11, 13: Education weekly · higher education (in Chinese)
- [4] Lavine JS, Bjornstad ON, Antia R. Immunological characteristics govern the transition of COVID-19 to endemicity[J]. *Science*, 2021, 371(6530): 741-745.
- [5] Vonaesch P, Anderson M, Sansonetti PJ. Pathogens, microbiome and the host: emergence of the ecological Koch’s postulates[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2018, 42(3): 273-292
- [6] Surovtsev IV, Jacobs-Wagner C. Subcellular organization: a critical feature of bacterial cell replication[J]. *Cell*, 2018, 172(6): 1271-1293
- [7] Kartal B, Keltjens JT. Anammox biochemistry: a tale of heme c proteins[J]. *Trends in Biochemical Sciences*, 2016, 41(12): 998-1011
- [8] Alberti S, Gladfelter A, Mittag T. Considerations and challenges in studying liquid-liquid phase separation and biomolecular condensates[J]. *Cell*, 2019, 176(3): 419-434
- [9] Zhang G, Wang Z, Du Z, Zhang H. mTOR regulates phase separation of PGL granules to modulate their autophagic degradation[J]. *Cell*, 2018, 174(6): 1492-1506.e22
- [10] Jiang H, Wang S, Huang Y, He X, Cui H, Zhu X, Zheng Y. Phase transition of spindle-associated protein regulate spindle apparatus assembly[J]. *Cell*, 2015, 163(1): 108-122
- [11] Li P, Banjade S, Cheng HC, Kim S, Chen B, Guo L, Llaguno M, Hollingsworth JV, King DS, Banani SF, et al. Phase transitions in the assembly of multivalent signalling proteins[J]. *Nature*, 2012, 483(7389): 336-340.
- [12] Hu M, Zheng X, Fan CM, Zheng Y. Lineage dynamics of the endosymbiotic cell type in the soft coral *Xenia*[J]. *Nature*, 2020, 582(7813): 534-53
- [13] Pittis AA, Gabaldón T. Late acquisition of mitochondria by a host with chimaeric prokaryotic ancestry[J]. *Nature*, 2016, 531(7592): 101-104
- [14] Collier DA, De Marco A, Ferreira IATM, Meng B, Datir RP, Walls AC, Kemp SA, Bassi J, Pinto D, Silacci-Fregni C, et al. Sensitivity of SARS-CoV-2 B.1.1.7 to mRNA vaccine-elicited antibodies[J]. *Nature*, 2021, 593(7857): 136-141
- [15] Combes AJ, Courau T, Kuhn NF, Hu KH, Ray A, Chen WS, Chew NW, Cleary SJ, Kushnoor D, Reeder GC, et al. Global absence and targeting of protective immune states in severe COVID-19[J]. *Nature*, 2021, 591(7848): 124-130
- [16] Pachiadaki MG, Sintès E, Bergauer K, Brown JM, Record NR, Swan BK, Mathyer ME, Hallam SJ, Lopez-Garcia P, Takaki Y, et al. Major role of nitrite-oxidizing bacteria in dark ocean carbon fixation[J]. *Science*, 2017, 358(6366): 1046-1051
- [17] Poste G, Papahadjopoulos D. The influence of vesicle membrane properties on the interaction of lipid vesicles with cultured cells[J]. *The Journal of Neuroscience*, 1978, 308: 164-184
- [18] Südhof TC. The synaptic vesicle cycle: a cascade of protein-protein interactions[J]. *Nature*, 1995, 375(6533): 645-653
- [19] Li F, Eriksen J, Finer-Moore J, Chang R, Nguyen P, Bowen A, Myasnikov A, Yu Z, Bulkley D, Cheng Y, et al. Ion transport and regulation in a synaptic vesicle glutamate transporter[J]. *Science*, 2020, 368(6493): 893-897
- [20] Zhang S, Bryant DA. The tricarboxylic acid cycle in cyanobacteria[J]. *Science*, 2011, 334(6062): 1551-1553
- [21] Zehr JP, Capone DG. Changing perspectives in marine nitrogen fixation[J]. *Science*, 2020, 368(6492): eaay9514
- [22] Ducret A, Quardokus EM, Brun YV. MicrobeJ, a tool for high throughput bacterial cell detection and quantitative analysis[J]. *Nature Microbiology*, 2016, 1(7): 16077
- [23] Stokes JM, Yang K, Swanson K, Jin W, Cubillos-Ruiz A, Donghia NM, MacNair CR, French S, Carfrae LA, Bloom-Ackermann Z, et al. A deep learning approach to antibiotic discovery[J]. *Cell*, 2020, 180(4): 688-702.e13
- [24] Luther A, Urfer M, Zahn M, Müller M, Wang SY, Mondal M, Vitale A, Hartmann JB, Sharpe T, Monte FL,

- et al. Chimeric peptidomimetic antibiotics against Gram-negative bacteria[J]. *Nature*, 2019, 576(7787): 452-458
- [24] Gerlach D, Guo Y, De Castro C, Kim SH, Schlatterer K, Xu FF, Pereira C, Seeberger PH, Ali S, Codée J, et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* alters cell wall glycosylation to evade immunity[J]. *Nature*, 2018, 563(7733): 705-709
- [25] Cao L, Gurevich A, Alexander KL, Naman CB, Leão T, Glukhov E, Luzzatto-Knaan T, Vargas F, Quinn R, Bouslimani A, et al. MetaMiner: a scalable peptidogenomics approach for discovery of ribosomal peptide natural products with blind modifications from microbial communities[J]. *Cell Systems*, 2019, 9(6): 600-608
- [26] Zhang YX, Perry K, Vinci VA, Powell K, Stemmer WP, Del Cardayré SB. Genome shuffling leads to rapid phenotypic improvement in bacteria[J]. *Nature*, 2002, 415(6872): 644-646
- [27] Wu Y, Zhu RY, Mitchell LA, Ma L, Liu R, Zhao M, Jia B, Xu H, Li YX, Yang ZM, et al. *In vitro* DNA SCRaMbLE[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 1935
- [28] Kurilshikov A, Medina-Gomez C, Bacigalupe R, Radjabzadeh D, Wang J, Demirkan A, Le Roy CI, Raygoza Garay JA, Finnicum CT, Liu X, et al. Large-scale association analyses identify host factors influencing human gut microbiome composition[J]. *PLoS One*, 2021, 53(2): 156-165
- [29] Wang X, Feng H, Wang Y, Wang M, Xie X, Chang H, Wang L, Qu J, Sun K, He W, et al. Mycorrhizal symbiosis modulates the rhizosphere microbiota to promote rhizobia-legume symbiosis[J]. *Molecular Plant*, 2021, 14(3): 503-516
- [30] Suttle CA. Marine viruses: major players in the global ecosystem[J]. *Nature Reviews microbiology*, 2007, 5(10): 801-812
- [31] Weynberg KD. Viruses in marine ecosystems: from open waters to coral reefs[J]. *Advances in Virus Research*, 2018, 101: 1-38
- [32] Yan R, Zhang Y, Li Y, Xia L, Guo Y, Zhou Q. Structural basis for the recognition of SARS-CoV-2 by full-length human ACE2[J]. *APMIS*, 2020, 367(6485): 1444-1448
- [33] Jiang RD, Liu MQ, Chen Y, Shan C, Zhou YW, Shen XR, Li Q, Zhang L, Zhu Y, Si HR, et al. Pathogenesis of SARS-CoV-2 in transgenic mice expressing human angiotensin-converting enzyme 2[J]. *Cell*, 2020, 182(1): 50-58.e8
- [34] Nie X, Qian L, Sun R, Huang B, Dong X, Xiao Q, Zhang Q, Lu T, Yue L, Chen S, et al. Multi-organ proteomic landscape of COVID-19 autopsies[J]. *Cell*, 2021, 184(3): 775-791.e14
- [35] Lewis K. The science of antibiotic discovery[J]. *Cell*, 2020, 181(1): 29-45
- [36] Gao Z, Zhang W, Chang R, Zhang S, Yang G, Zhao G. Liquid-liquid phase separation: unraveling the enigma of biomolecular condensates in microbial cells[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 751880