

DOI:10.13350/j.cjpb.251131

• 综述 •

以科研实践为导向的病原生物学基础研究与拔尖人才培养体系^{*}张倩雯¹, 崔茜茹², 张超^{1**}

(1. 南方医科大学基础医学院, 广东广州 510515; 2. 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院病理科)

【摘要】 本研究立足科研实践导向,系统探讨病原生物学基础学科研究及拔尖人才培养体系。通过剖析病原生物致病机理、检测干预技术创新、宿主-环境互作体系等核心研究领域,揭示“临床问题-实验验证-应用转化”的循环式研究模式;同时围绕课程体系重构、实践教学平台搭建、学生创新能力培育等维度,构建病原生物学领域科研实践导向、思政元素浸润的拔尖人才培养框架,为学科建设与人才培育提供理论参考。

【关键词】 病原生物学;科研实践;拔尖人才培养;综述

【文献标识码】 A

【文章编号】 1673-5234(2025)11-1526-04

[*Journal of Pathogen Biology*. 2025 Nov.;20(11):1526–1528, inside back cover.]

Research-oriented basic research and elite talent cultivation in Pathogen Biology

ZHANG Qianwen¹, CUI Qianru², ZHANG Chao¹ (1. *School of Basic Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China*; 2. *Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Shenzhen Center*)

【Abstract】 This study is based on a research-oriented approach to systematically explore basic research in Pathogen Biology and elite talent cultivation systems. By analyzing core research areas such as pathogenic mechanisms of pathogenic organisms, innovative detection and intervention technologies, and host-environment interaction systems, it reveals a cyclic research model of “clinical problem-experimental verification-application transformation”. Meanwhile, focusing on curriculum reconstruction, practical teaching platform construction, and students’ innovative capability cultivation, it constructs a research-oriented and ideologically-nurtured elite talent cultivation framework in Pathogen Biology, providing theoretical references for disciplinary development and talent cultivation.

【Keywords】 Pathogen Biology; research practice; elite talent cultivation; review

病原生物学作为医学与生命科学的交叉学科,承载着守护人民健康的重大使命,在推动健康中国建设进程中发挥着至关重要的作用,其发展始终与人类应对感染性疾病的实践需求紧密相连。随着 COVID-19、猴痘等新发突发传染病和碳青霉烯类耐药革兰阴性肠杆菌(CRE)、耐甲氧西林表皮葡萄球菌等耐药细菌感染的不涌现,生态变化导致病原微生物传播规律的变化,这些对人类健康带来了威胁,感染性疾病的现实问题已经促使学术界转向关注问题、通过问题转化来解决困难以及推进人类对感染性疾病防御手段的发展。以科研实践为基础的研究问题导向,指的是“问题从实践中来,研究成果回到实践中去,回归于临床、回到社会,根据及时的问题信息,发现与解决基础研究的关键科学问题”。近年来,我国病原生物学领域学科建设和人才培养亟待构建以问题导向的实践教学培养体系,培养既具备研究能力又能具备科研实践能力的复合型人才^[1]。本研究系统阐述科研实践导向的病原生物学基础研究体系,并探索与之匹配的拔尖人才培养模式,为学科建设与人才培育提供理论参考。^{**}

1 科研实践导向的病原生物学基础研究的关键领域

1.1 病原生物致病机制的深度解析 致病机理是病原生物学基础研究的重要内容之一,了解细菌、病毒、寄生虫三种病原生物的致病机制对于了解病原致病机制及发病规律、实现有效诊断和治疗具有重要意义。

1.1.1 细菌致病分子机制 细菌致病是复杂的分子生物学过程,毒素分泌是其主要致病方式之一^[2]。细菌毒素分为外毒素及内毒素,外毒素是指细菌在繁殖过程中释放于菌体外的蛋白质,对机体有极大的毒力和很强的抗原性,如破伤风梭菌可产生破伤风外毒素,抑制神经递质释放而导致肌肉发生痉挛和强直;内毒素是指革兰氏阴性菌细胞壁中的脂多糖,当细菌死亡裂解释放出后可导致机体发热、休克等毒性反应。同时,细菌可通过黏附和侵袭细菌与宿主细胞相互作用,干扰宿主组织的正常生理功能^[3-4]。部分细菌产生黏附素,可黏附宿主细胞表面,进而侵入细胞中,如大肠杆菌通过菌毛蛋白上的黏附素黏附于肠道黏膜上皮细胞表面受体,引起肠道感染。

1.1.2 病毒致病分子机制 病毒致病的机制主要包括病毒免疫逃逸和病毒复制。病毒感染宿主细胞之后,自身可利用宿主细胞中的代谢系统进行复制与增殖^[5]。为了逃避宿主的免疫应答,病毒会进化出多种免疫逃逸机制,如流感病毒可进行抗

^{*} **【基金项目】** 南方医科大学 2022 年度高等教育教学改革项目(No. ZL2022087)、2024 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(高等教育教学改革 No. G625280343)。

^{**} **【通信作者】** 张超, E-mail: super1998@smu.edu.cn

【作者简介】 张倩雯(1992-),女,湖北黄冈人,硕士,讲师,研究方向:医学思政教育。E-mail: 784391014@qq.com

原漂移及抗原转变,导致其表面抗原发生改变,宿主免疫系统不能有效识别并杀死该病毒^[6]。病毒还可以干扰宿主细胞免疫信号转导通路,抑制宿主的抗病毒免疫反应。如乙肝病毒能够抑制宿主细胞内的干扰素信号通路,从而降低宿主细胞的抗病毒能力^[7-8]。病毒感染还可以导致宿主细胞的凋亡坏死,损害组织器官。

1.1.3 寄生虫致病分子机制 寄生虫与宿主的相互作用涵盖侵袭、营养摄取、免疫逃避等多个环节。寄生虫与宿主相互作用感染后,可通过一些特殊的结构、分泌物等,与宿主细胞相互作用,破坏宿主的组织和器官,如疟原虫进入红细胞后进行发育和繁殖,导致红细胞破裂引起疟疾的发作^[9-10]。寄生虫可以分泌一些免疫调节因子调节宿主的免疫反应,实现免疫逃逸,如血吸虫分泌的一些免疫调节因子,可以抑制宿主的免疫反应,使其在宿主体内存活。此外,寄生虫感染也可引发宿主的营养不良及代谢紊乱,进而影响宿主的健康。三类病原核心致病特征对比见表1。

表 1 三类病原核心致病特征对比 Table 1 Comparison of core pathogenic characteristics of three categories of pathogens			
病原类型	作用靶点	免疫逃逸策略	致病特点
细菌	细胞表面受体、细胞内信号通路等	产生免疫抑制物质、改变表面抗原等	可引起局部感染和全身感染,症状多样
病毒	宿主细胞的代谢系统、免疫信号传导通路等	抗原变异、干扰免疫信号传导等	感染具有特异性,可导致急性或慢性疾病
寄生虫	宿主的组织和器官、免疫系统等	调节宿主免疫反应、改变表面抗原等	感染过程较长,可引起慢性疾病和营养不良

1.2 病原生物检测与干预技术的创新实践 准确、快速地检测病原生物并采取合理的病原干预是研究病原生物学的重要环节,随着技术的持续进步,以分子生物学、免疫学和组学为基础的检测方法相继出现,并且传统技术与新型技术的交叉应用也给病原生物的检测与干预提供了新的机遇。

1.2.1 基于分子生物学的检测方法开发 分子生物学技术在病原生物的检测中发挥着重要作用。目前应用较为广泛的分子生物学技术包括 PCR 技术和基因测序技术。PCR(聚合酶链式反应)技术,是通过将目的 DNA 进行体外扩增的方法,通过高温状态下分离双链 DNA,然后低温时引物与模板 DNA 进行配对结合,DNA 聚合酶进行 DNA 合成,以此为一个循环,在短短的短时间内进行多个循环,从而达到目的 DNA 扩增的目的^[11]。在临床医疗工作中,PCR 技术已经成为许多病原生物检测的常规手段,其灵敏度高、特异性好等优点让 PCR 技术在临床病原生物检测的领域获得广阔的应用前景^[12-13]。基因测序技术可以对病原生物基因组进行检测,全基因组测序可以获取病原生物的完整遗传信息,有助深入研究病原生物的进化、致病机制等。此外,二代测序技术的出现,可以大大提升测序的效率和测序的准确性,也降低了测序的成本,使其在病原生物的检测应用方面更加广泛。

1.2.2 基于免疫学的检测方法开发 免疫学检测方法主要基于抗原与抗体的特异性结合反应。ELISA(酶联免疫吸附试验)、免疫荧光技术是开展免疫学检验的常见方式。ELISA 技

术将抗原或抗体固定在固相载体上,以酶标记抗体或抗原与目的物质结合,以酶催化底物显色检测目的物质^[14]。ELISA 技术具有方便、灵敏度高等特点,常用于临床诊断、疾病筛查等。免疫荧光技术是将荧光标记抗体与抗原结合,通过荧光镜观察荧光信号检测目的物质。该技术具有直观、特异性高等特点,在病毒感染诊断中具有重要应用,例如在疱疹病毒感染检测中,免疫荧光技术可以直接观察到病毒抗原在细胞中分布情况,有助于早期诊断病情^[15-16]。

1.2.3 基于组学技术的检测方法开发 组学技术如基因组学、蛋白质组学等为病原生物检测及研究提供新思路。基因组学技术可对病原生物的基因组进行全基因组分析,除了全基因组测序之外,转录组学技术能分析病原生物在不同条件下基因表达状况,蛋白质组学技术能对病原生物的蛋白质进行分析。蛋白质组学技术可鉴定病原生物的蛋白组成、蛋白表达水平等,为发现新诊断标志物、治疗靶标等提供帮助。例如,蛋白质组学技术可用于肿瘤相关病毒的研究,可通过分析病毒感染细胞后蛋白质表达变化寻找治疗肿瘤的新思路^[17]。

1.3 病原生物-宿主-环境互作的系统研究 病原生物的传播与流行并非孤立事件,而是与宿主及环境因素密切相关。充分认识病原生物在宿主体内的动态传播过程、环境因素对病原生物流行的作用等,都是理解病原生物本质、实现防治病原的重要举措。“One Health”理念强调人类健康、动物健康与环境健康的相互关联,为构建多维度互作模型提供了理论指导^[18-19]。

1.3.1 病原生物在宿主内的动态传播 呼吸系统感染途径:呼吸系统是众多病原生物入侵宿主的一个重要途径,病毒、细菌等病原生物均可以经空气飞沫进入人体呼吸道,然后黏附于呼吸道黏膜表面。如流感病毒通过其表面的血凝素蛋白与呼吸道上皮细胞表面的唾液酸受体结合从而进入呼吸道上皮细胞,当病原生物进入宿主细胞后,可利用宿主细胞的代谢系统来复制和增殖,由此会引起呼吸道上皮细胞损伤,继而产生炎症反应,炎症反应又促使呼吸道黏膜分泌黏液,产生咳嗽、咳痰症状,这也会造成病原生物的进一步传播^[20]。

消化道感染途径:消化道感染多是由食物、水受到病原生物污染后经口而引起的。细菌、病毒、寄生虫等病原生物进入消化道后,需要突破胃酸、消化酶等多种防御屏障才能生存和感染宿主。如霍乱弧菌经产生毒素调节肠道细胞离子转运,造成大量水电解质丢失,出现严重腹泻、脱水。寄生虫如蛔虫在肠道中寄生,吸取宿主营养,妨碍宿主消化吸收。

1.3.2 环境因素对病原流行的影响 气候因素:气候条件影响病原生物的生存、繁殖、传播。温度、湿度、光照等气候条件可直接导致病原生物的生长及存活。如高温高湿的环境有利于细菌和真菌的生长繁殖,寒冷干燥的环境可以抑制某些病毒的传播。此外,气候因素可通过影响媒介生物的分布及活动,间接影响病原生物的传播,如蚊子是众多病毒的传播媒介,气温升高可加快蚊子的繁殖及活动范围,增加病毒传播风险。

卫生条件:卫生条件的好坏直接影响病原生物的传播与流行。良好的卫生条件可避免病原生物的滋生与蔓延,从而降低感染几率。例如,饮用水卫生条件与消化道传染病的发生密切相关。如果饮用水受到污染后带有大量病原生物,则容易导致霍乱、伤寒等肠道传染病暴发流行。同时环境卫生亦应引起重视,垃圾堆放、污水排放等会给病原生物提供滋生的温床,而提

高感染几率。

1.3.3 “One Health”理念下多维度互作模型的构建 宿主免疫应答:当病原生物入侵宿主后,免疫系统会识别并启动免疫应答反应。先天性免疫是宿主抵御病原生物感染的第一道防线,适应性免疫则可以针对特定的病原生物产生特异性的免疫反应。然而,病原生物也会进化出各种免疫逃逸策略,以逃避宿主的免疫攻击。环境媒介:病原生物的环境媒介,除上述蚊子等昆虫媒介以外,还可通过土壤、水、空气等环境介质来传播病原生物。如土源性病原细菌和真菌可以通过空气传播进入人体呼吸道感染,还有许多肠道传染性疾病可通过污染的水传播。控制环境媒介传播是预防病原生物侵染的重要措施之一。社会因素:由于人口密度、城市化进程、交通运输条件等因素对病原生物传播流行有着一定的影响。人口密集的区域易发生病原生物快速传播,城市化加快推进可增加人口流动,其间接扩展了病原生物的传播。交通工具更加便利使得人们的出行更频繁,易加大病原生物在不同地区传播。此外,由于社会经济条件、风俗习惯的影响导致人们的卫生习惯、健康意识等改变,从而间接地对病原生物的传播、流行也有一定影响。在“*One Health*”理念基础上构建多要素互动模型,还需要考察宿主免疫、环境媒介、社会因素等多要素多向性互动关系,以便更好掌握病原生物的流行规律,更有效地落实防控措施,保障人类、动物及环境的健康。

2 科研实践导向下拔尖人才培养的核心要素与模式构建

2.1 科研实践导向下拔尖人才培养的核心要素 拔尖人才的培养目标具有鲜明的指向性,培养目标是为国家医学事业和生物安全事业服务,主要培养能担当医学大任、解决国家大问题的高层次生物医学科学后备人才,核心培养目标是培养具有医学家潜质及解决重大医学科学问题能力人才^[21-22]。

2.1.1 课程体系的实践导向重构 科研实践导向的课程体系需打破传统学科壁垒,构建理论与实践深度融合、思政教育贯穿始终的模块化课程群。如在病原生物学课程中引入“病原生物临床样本分析”“传染病疫情应急预案”等实践类课程,将临床微生物检验、流行病学调查等实践内容前置在本科阶段,并融入“健康中国战略”“科学家精神”等思政元素,如利用标准病人(SP)模仿感染性疾病诊疗,学生参与问诊、送检、病原分析、药敏检测、抗感染治疗全过程,体验临床思维和科研发现问题,培养分析和提出问题的能力。增加课程内容的跨学科性,如“生物信息学在病原基因组分析中的运用”“纳米技术在靶向药物递送上的运用”等,使学生学习和掌握不同学科的工具来解决问题,渗透学科交叉融合对科技创新的重要意义。开设“科研项目实践”代替传统性实验课,由导师带领学生参与真实科研项目的样本处理、数据采集及撰写全过程,以提高学生的科研能力与创新精神,同时融入学术诚信教育,培养学生严谨求实的科研态度。

2.1.2 科研实践平台的立体化搭建 依托国家重点实验室和生物安全实验室,融入“科技报国”理念,鼓励学生参与高致病性病原研究的科学研究培训以及规范的生物安全实践。将专业技能掌握与生物安全风险认识相互融合,强化“总体国家安全观”教育,拓宽校内校外生物安全合作,与大型医院共建“病原生物学临床研究中心”,支持学生参与病原体临床标本分离鉴定、病原检测、抗药监测等任务的实践,将实验学习向临床实

践有效延伸^[23]。将野外地疫病学探索作为学生校外实践实习课堂,将疟疾病区、虫媒疾病疫区等作为野外实地操作基地,让学生亲自参与实地流行病学调查、媒介物调查研究,对病原生物传播途径等有深刻认识,对学生综合素质的锻炼提升具有重要意义。

2.1.3 创新能力与国际视野的融合培育 构建以科研全过程为导向的创新能力培养体系,如大学生创新训练计划、学科竞赛等。根据拟开展科研的主题,学生提出和展开自己的研究方案,重点培养学生进行创新实践并取得实际科研成果的动手能力。高校通过建立联合培养中心,选派学生赴WHO合作单位及世界领先的科研机构的学习和工作,培养具有国际视野和家国情怀的国际化人才。以全球健康重大问题的实际调查、解决和技术创新为主导,积极引导学生参与到解决国际重大健康问题实践创新活动中,培养出一批具有创新能力的拔尖人才。

2.2 科研实践导向下拔尖人才培养的模式构建

2.2.1 培养体系的实践导向设计:从理论教学到科研实训 病原生物学人才的培养需突破传统“课堂讲授+实验室操作”的模式,构建“临床问题-科研实践-创新研究”的闭环培养体系^[24]。实践课程体系:设置“临床病原微生物检测实训”“传染病疫情应急模拟”等课程,通过标准化病人(SP)、虚拟仿真平台(如微生物鉴定虚拟实验室)提升学生的实践操作能力。科研导师制:实行“双导师”制度(基础研究导师+临床实践导师),学生在导师指导下参与真实科研项目(如临床样本的病原体分离与鉴定),培养从实践中提炼科学问题的能力。国际联合培养:与WHO合作单位、国际知名研究机构(如美国NIH、英国Wellcome Trust)建立联合培养项目,学生可参与全球传染病防控的实践项目(如非洲疟疾防控现场调研),拓宽国际视野,树立“构建人类卫生健康共同体”的全球健康理念。

2.2.2 实践平台的多元化建设:从实验室到现场场景 病原生物学人才的实践能力塑造需要多维度平台体系支撑。国家战略科研平台:依托国家生物安全三级实验室(BSL-3)、国家病原微生物资源库等国家实验室完成高致病性病原菌研究和生物安全培训等。医研协同创新平台:合作优质医院组建“致病菌临床试验基地”,学生可以在致病菌研究的临床样本采集、致病机理分析、新疗法研发验证全过程中参与学习实践^[25],培养“医研交叉、服务临床”的协同创新理念。疫区实践教学网络:在云南疟疾流行带、新疆布病高发区等重点防控区域设立驻点观测站,通过疫源地勘测、传播媒介追踪等实战训练,强化病原体研究的现场应对能力,为攻克公共卫生难题贡献智慧与力量。

2.2.3 创新能力的培养路径:从技术掌握到问题解决 科研实践导向的拔尖人才培养核心是创新思维与问题解决能力的塑造。科研项目驱动:开设“大学生创新训练计划”,支持学生结合科研项目研发(如“某地区临床分离菌耐药基因分析”)独立设计课题及完成包括从实验研究直至论文撰写发表全过程的指导,强化“追求卓越、敢为人先”的科研攻坚精神。学科交叉融合:讲授“病原生物学+生物信息学”“微生物学+免疫学”等交叉式选修课,训练学生运用多种学科交叉解决重大问题的能力(如综合基因组学与流行病学研究病原体传播途径),渗透“协同创新、服务国家需求”的学科发展理念。成果转化引导:增设专利申请、创业孵化等实践内容,指导学生转化基础研究

成果为应用技术(基于 CRISPR 的病原体检测试纸条开发),增强创新结果应用,厚植“把论文写在祖国大地上”的成果转化情怀。

3 结语

科研实践为病原生物研究注入动力,科研工作者秉持以人民健康为中心的理念,以临床样本动态更新传统的致病机制理论,促进“One Health”的宿主-病原-环境交互模型研究构建,提出通过模块化课程和立体化平台实现交叉融合的课程和科研平台创新,培育跨学科思维。未来还需以科技自立自强为引领,加强基于多组学和 AI 构建智能化疾病预测模型、基础研究与公共卫生实践跨学科联动及本土培养与国际监测网络协作,人才培养要锚定“大健康”战略,鼓励学子投身国际项目,在实践锤炼中铸就疾病溯源、风险研判的过硬本领,成长为复合型基础学科拔尖创新人才。

【参考文献】

- [1] 桂淑华. 病原生物学与免疫学教学中培养科研创新思维能力的实践研究[J]. 中国病原生物学杂志,2022,17(6):744-746.
- [2] 曾未良,周铁丽. 细菌致病性和致病机制研究进展[J]. 现代实用医学,2024,36(9):1121-1123.
- [3] Alaei SR, Park JH, Walker SG, et al. Peptide-based inhibitors of fimbrial biogenesis in *Porphyromonas gingivalis* [J]. Infect Immun, 2019, 87(3):750-818.
- [4] Rhodes KA, Rendon MA, Ma MC, et al. Type IV pilus retraction is required for *Neisseria muscili* colonization and persistence in a natural mouse model of infection[J]. mBio, 2024, 15(1):279-283.
- [5] Yoo JS, Kim S, Kim YJ, et al. SARS-CoV-2 inhibits induction of the MHC class I pathway by targeting the STAT1-IRF1-NLRC5 axis [J]. Nat Commun, 2021, 12(1):47-66.
- [6] Christen V, Duong F, Berns MC, et al. Inhibition of alpha interferon signaling by hepatitis B virus [J]. J Virol, 2016, 80(23):1743-1751.
- [7] Kuiper A, Gehring A J, Isogawa M. Mechanisms of HBV immune evasion [J]. Antivir Res, 2020, 178(11):1048-1056.
- [8] Miorin L, Garcia-Sastre A, Bouhaddou M, et al. ORF6 is a major SARS-CoV-2 innate immune antagonist targeting nucleocytoplasmic trafficking [J]. Cell Host Microbe, 2023, 31(6):877-891.
- [9] Lee SK, Nguyen TK, Mohring F, et al. Merozoite surface protein 1 paralog is involved in the human erythrocyte invasion of a zoonotic malaria, *Plasmodium knowlesi* [J]. Front Cell Infect Microbiol, 2023, 13(1):131-134.
- [10] Kumar S, Singh N, Kumar A, et al. Mechanisms of erythrocyte invasion by *Plasmodium falciparum* merozoites: insights from recent studies[J]. Malaria J, 2022, 21(4):452-458.
- [11] Ryan K, Ryan K. PCR technology: principles and applications for DNA amplification[J]. CRC Press, 2019, 10(2):123-145.
- [12] Clark TW, Lindsley K, Wigmosta TB, et al. Rapid multiplex PCR for respiratory viruses reduces time to result and improves clinical care: Results of a systematic review and meta-analysis [J]. J Infect, 2023, 86(5):462-475.
- [13] 陈善斌, 封硕林, 王穗源, 等. 多重 PCR 检测与传统培养在骨关节感染诊断中的比较研究[J]. 中国病原生物学杂志, 2025, 20(6):724-728.
- [14] Kim SH, Lee SY, Park JH, et al. Automated ELISA system with integrated magnetic bead-based sample preparation for point-of-care testing [J]. Biosens Bioelectron, 2022, 20(12):1139-1141.
- [15] Francis R, Rangaiah A. Laboratory diagnosis of herpes simplex virus in mucocutaneous lesions by light microscopy, ELISA and PCR[J]. North Am J Med Sci, 2024, 16(7):559-565.
- [16] Crawford KHD, Selke S, Pepper G, et al. Performance characteristics of highly automated HSV-1 and HSV-2 IgG testing[J]. medRxiv, 2024, 24(3):302-308.
- [17] Gandhi S, Razif MFM, Othman S, et al. Evaluation of the proteomic landscape of HPV E7-induced alterations in human keratinocytes reveal therapeutically relevant pathways for cervical cancer[J]. Mol Med Rep, 2023, 27(6):129-133.
- [18] Kahn LH. Developing a one health approach by using a multi-dimensional matrix[J]. One Health, 2021, 14(10):1002-1008.
- [19] Walker M, Lambert S, Neves M, et al. Modeling the effectiveness of One Health interventions against the zoonotic hookworm *Ancylostoma ceylanicum* [J]. Front Med, 2023, 10(11):1092-1098.
- [20] Li Y, Tang X X. Abnormal airway mucus secretion induced by virus infection[J]. Front Immunol, 2021, 12(7):701-704.
- [21] 向秋玲, 朱毅琼, 谢曼婷, 等. 基础医学拔尖创新人才培养模式的探索与改革[J]. 医学教育管理, 2022, 8(3):260-264.
- [22] 朱雪波, 蒋羽西. 我国高等教育国际化战略研究: 历程、热点和未来趋势[J]. 温州医科大学学报, 2022, 52(1):77-82.
- [23] Amandu CH, Mukasa A, Kabaka J, et al. Strengthening antimicrobial resistance surveillance through university-hospital partnerships in Uganda: A case study of the Fleming fund fellowship programme [J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2024, 13(1):1-12.
- [24] Borlee GI, Kinkel T, Broeckling B, et al. Upper-level interdisciplinary microbiology CUREs increase student's scientific self-efficacy, scientific identity, and self-assessed skills [J]. J Microbiol Biol Edu, 2023, 24(2):240-243.
- [25] Ma LJ, Li G, McWilliams M, et al. CUR(E)ating a new approach to study fungal effectors and enhance undergraduate education through authentic research[J]. Biochem Mol Biol Edu, 2023, 51(5):385-394.

【收稿日期】 2025-06-16 【修回日期】 2025-08-28