



高校教改纵横

研究生课程“酶工程”多元化教学改革探索与思考

朱本伟* 熊强 姚忠 倪芳 孙芸

南京工业大学食品与轻工学院 江苏 南京 211816

摘要: 酶工程作为一门理论与实践相结合的专业课程,在生物工程专业研究生的课程设置中处于桥梁和纽带地位,对专业型人才的培养发挥着重要的作用。为了适应我国研究生专业学位教育发展的客观需求,提升酶工程课程的实践教学效果,并进一步提高学生的学习兴趣 and 积极性,培养研究生的应用型创新能力,我们通过在课程教学中引入虚拟仿真技术,开展案例式教学模式探索,并利用“互联网+”技术等多种方式对该课程的教学模式、方法和手段进行尝试改革和探索,取得了一定的教学效果。本文就此进行了一些探讨,以期能为相关课程的教学改革提供一些思路和启示。

关键词: 酶工程, 研究生课程, 虚拟仿真技术, 案例式教学, 教学改革

Exploration of diversified teaching innovation for postgraduate professional course of Molecular Enzyme Engineering

ZHU Benwei* XIONG Qiang YAO Zhong NI Fang SUN Yun

College of Food Science and Light Industry, Nanjing Tech University, Nanjing, Jiangsu 211816, China

Abstract: The Molecular Enzyme Engineering course is a professional discipline combining the theory and practice. It locates the core position in curriculum provision of bioengineering major postgraduate students and plays an important role in cultivation of professional talents. In order to cater the objective command of professional postgraduate degree development, enhance the innovation of case teaching pattern, promote the practical teaching effect and further improve the postgraduate students' enthusiasm towards the course as well as cultivate the practical innovation capability, our teaching team investigated the innovation and exploration on the teaching pattern, teaching method as well as teaching technologies for this course by introducing the virtual simulate technology, carrying on the case teaching pattern attempts and utilizing the “Internet plus” technology. In addition, we have obtained some preliminary results and experience for other peers' reference.

Keywords: enzyme engineering, postgraduate professional course, virtual simulate technology, case teaching pattern, teaching innovation

Foundation item: Postgraduate Education and Teaching Reform Project for Nanjing Tech University (YJG2020013)

*Corresponding author: Tel: 86-25-58139419; E-mail: zhubenwei@njtech.edu.cn

Received: 08-06-2020; **Accepted:** 06-08-2020; **Published online:** 25-09-2020

基金项目: 南京工业大学研究生教育教学改革课题(YJG2020013)

*通信作者: Tel: 025-58139419; E-mail: zhubenwei@njtech.edu.cn

收稿日期: 2020-06-08; **接受日期:** 2020-08-06; **网络首发日期:** 2020-09-25

生物技术正在成为最近十余年发展最快、应用最广、潜力最大及竞争最为激烈的领域之一^[1]。近几年已有超过 30% 的化工工艺被生物技术所替代。目前以生物技术为工艺基础发展起来的生命产业已扎根于世界经济之中, 并呈现出快速增长的态势^[2]。如图 1 所示, 我国生物技术产业自 2000 年以来进入快速发展阶段, 2010–2016 年工业产品销售收入年均增长达 15%, 2017–2019 年的增长率更是接近 20%。据统计, 2019 年我国生物技术产业总产值达到近 15 236 亿元^[3-4]。

作为生物工程重要组成部分的酶工程技术同样也在迅猛发展, 酶制剂的研究与生产技术也在不断进步, 各种各样的技术也在酶制剂的研究与生产中应用。相关数据显示(图 2), 2019 年中国的酶制剂产量已达 167 万 t, 年复合增长率为 9.6%, 酶制剂产业的产值已达 23.2 亿元, 而且其未来发展空间十分广阔^[5]。随着酶工程技术的飞速发展, 越来越多的酶制剂被广泛应用于农业、医药、食品、轻工、化工、环保等领域, 并且发挥着重大作用^[6-7]。

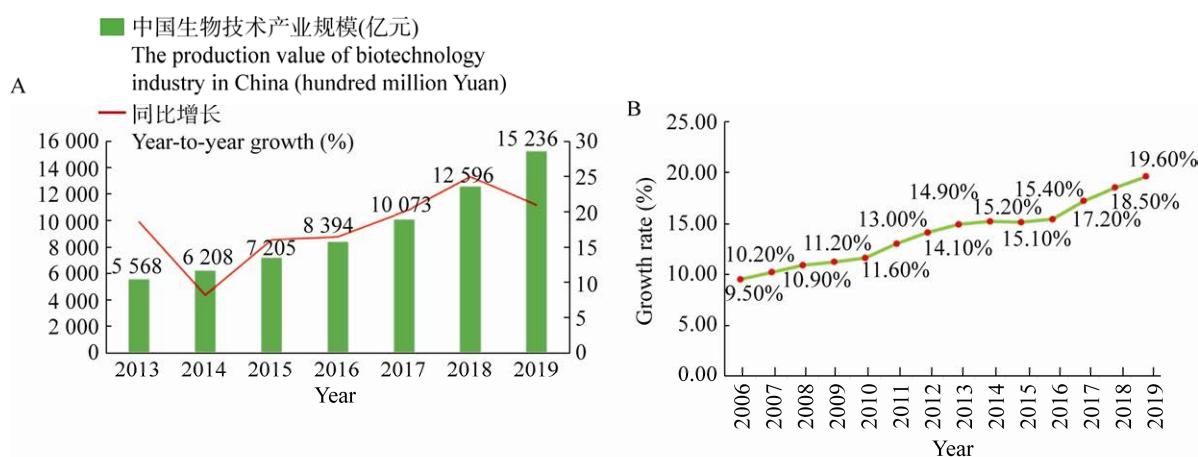


图 1 我国生物技术产业产值发展情况

Figure 1 The production value of biotechnology industry in China

注: A: 我国生物产业 2010–2019 年产值发展情况; B: 我国生物产业 2006–2019 年在全球变化情况

Note: A: The production value of biotechnology industry in China during 2010–2019; B: The variation of biotechnology industry in global industry during 2006–2019

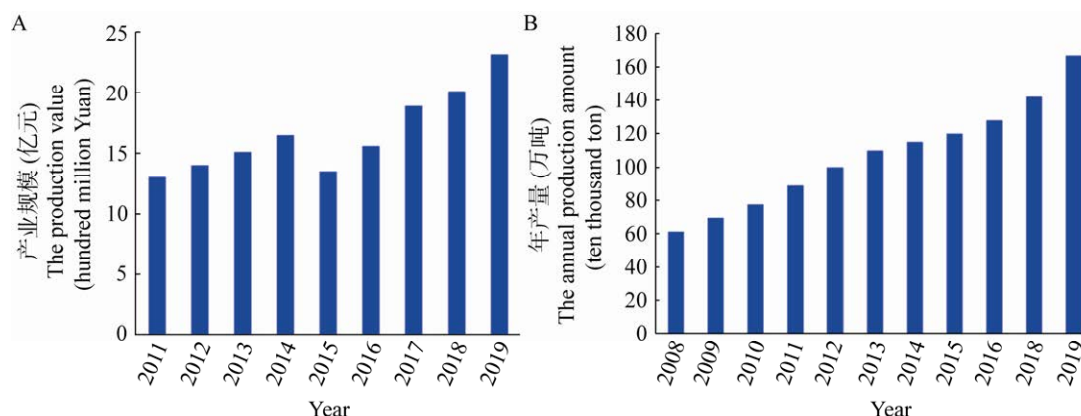


图 2 我国酶制剂产业发展情况

Figure 2 The development situation of enzyme products in China

注: A: 2011–2019 年我国酶制剂产值规模发展情况; B: 2008–2019 年我国酶制剂年产量情况

Note: A: The production value of enzyme industry in China during 2011–2019; B: The annual output of enzyme products during 2008–2019

酶工程是生物工程等相关专业研究生的基础课程,通过本课程的学习,可以开阔学生的思维视野,促进理论与实践的结合与转化,提高学生分析和解决实践问题的能力,培养学生的应用型创新能力和科研素养,为参加科研实验及将来从事生物工程或生物技术相关研究工作奠定理论基础^[8]。因此,“酶工程”在生物工程专业研究生的课程设置中处于桥梁和纽带地位,对专业型人才的培养发挥着重要的作用^[9]。然而,当前“酶工程”的教学实践中仍存在一些问題,这极大地限制了研究生创新能力的培养。首先是酶学理论与生物技术发展迅速,不断有新的知识得到更新和修正,而教科书的更新速度相对滞后,难以满足提升教学效果的需要。加之本课程中涉及的知识点多,学生缺乏直观的认知体验,对一些复杂的原理难以理解。这无疑会让酶工程课程变得枯燥乏味,导致学生学习的积极性和主动性差,课堂教学效果不理想^[10]。因此,为了提高“酶工程”课程的教学质量、充分调动学生学习的积极性和主动性,我们通过在课程教学中引入虚拟仿真技术、开展案例式教学模式探索并利用“互联网+”等技术相结合等多元化方式对该课程的教学模式、方法和手段进行改革和探索,取得了一定的教学效果。本文就此进行一些探讨,以期能为相关课程的教学改革提供一些思路和启示。

1 虚拟仿真技术提供直观可视化教学平台,提高课程教学效果

酶工程课程中涉及较多的抽象理论知识,例如酶的结构、酶催化反应的机制、催化反应动力学、酶的合成调控等,学生对这些复杂的过程缺乏直观的认知体验,因此对这些复杂的过程难以理解,造成学习兴趣不高和教学效果低下等问题。针对上述问题,可以借助虚拟仿真技术(Virtual Simulate Technology)的可视化、直观性等特点,利用“互联网+”技术将虚拟仿真过程融入到真实的“酶工程”教学过程中,最大程度地还原真实的酶反应或者催化过程^[11]。虚拟仿真技术借助于多媒体技术和虚拟现实等技术,将授课内容、模拟情景和认知对象融合在一起,为学生营造一个真实直观的认知环境和学习场景,学生可以在仿真环境中完成对抽象知识的学习^[12]。该技术有利于直观教学资源的共享,可以真实直观地展示“酶工程”课程中的微观复杂过程,有助于激发学生的学习兴趣,加深学生对知识的理解,从而达到提升课程教学质量的效果^[13]。基于此,我们教学团队结合课程知识开发了酶的合成调控、酶反应动力学等仿真软件,通过计算机模拟让学生直观地体验整个反应过程和详细作用机制(图 3)。这一措施不仅消除了学生对

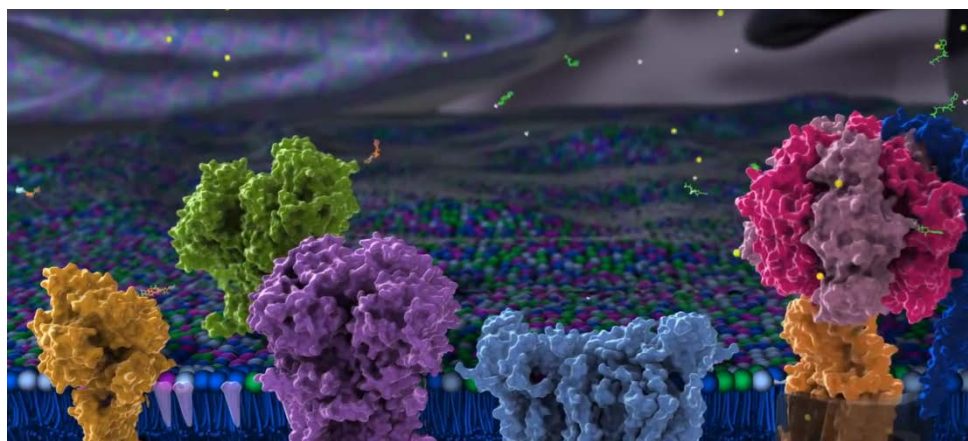


图 3 酶的合成调控知识点虚拟仿真示意图

Figure 3 The virtual simulate diagram of regulatory mechanism of enzyme synthesis

抽象理论知识的陌生感和恐惧感,也使其对酶催化反应过程中的具体机制有了更为直观的认识,加深了学生对课程知识的理解,取得了良好的教学效果。

在开展虚拟仿真技术开发的同时,我们邀请有计算机技术背景的学生参与到开发过程中来,利用他们的技术优势和积极性,将趣味性、获得感等有机地融入到教学中,深受广大学生的好评。

虚拟仿真技术还可用于酶工程的实验教学中,例如在酶反应器的构建与优化中,借助虚拟仿真技术可逼真地还原酶反应器内部的构造及整个反应工艺的流程,课程采用虚拟连续酶膜耦合反应器,学生可以在各个角度查看反应器的结构与组成,可以模拟实际反应过程来设定酶反应器的参数。虚拟仿真实验操作采用学生单人单机操作的方式,避免实体实验中学生分组造成的部分学生积极性不高、全程只观看不动手的情况,提高了学生实验投入度与教学效果。

2 开展案例式教学在教学实践中的应用,培养学生的应用型创新能力

酶工程是一门应用性很强的课程,与生产实践关系密切。通过这门课的学习,学生能够系统地掌握产酶菌株的筛选、分离及酶的获取、生产、分离纯化、固定化和酶反应器构建等知识,从而针对特定的生产需求设计合理的酶制剂的生产制备及应用工艺,进而培养学生“学以致用”的创新能力和创新素养,以迎合新工科教育背景下经济与社会发展对复合型创新人才的需求^[14]。

为了实现这一培养目标,我们尝试在教学实践中引入案例式教学。案例式教学是指在教学中通过引入真实案例并引导学生对其进行问题分析,锻炼学生运用所学知识解决实际问题的综合能力^[15]。此外,案例教学通过真实案例的情景再现,将抽象的课堂理论知识与直观的实践操作结合,可加深学生对知识体系及知识点等细节的认识和理解,使学

生能够系统、连贯地掌握课程知识并应用到生产实践中去,对于培养学生理论联系实际和“学以致用”的应用型创新能力具有重要作用;目前,案例式或类似的教学方法在酶工程实验教学方面已有报道,但在课堂教学中的应用较少^[16]。主要原因是实验型案例教学容易通过实际操作来实施,而课堂教学中的理论知识则较难通过案例进行模拟。鉴于此,我们尝试以研究生课题、创新研究计划项目以及商品化酶制剂的生产过程构建素材建设课程案例库,通过开展案例式教学,让学生结合自身的科研经历来实现理论与实践的结合,从而加深对课程知识的理解,达到学以致用。例如,鼓励研究课题为“新型底物专一性的褐藻胶裂解酶的分离、纯化及性质研究”的学生,以自己的课题为案例,将实验操作中涉及到的酶的生产、分离和纯化等知识运用到实践中去,让学生体会到理论知识指导实践操作的重要性,不仅促进了理论知识的应用,还培养了学生积极探索的科研精神。目前,本门课程的案例库包含了15项研究生科技项目和5个商品化酶制剂生产过程,涵盖了本课程体系中的所有重要知识点,为酶工程课程的案例式教学提供了丰富的素材。

同时,我们还鼓励论文内容为酶工程相关研究的学生,积极总结酶工程应用的具体实例,让学生认识到酶工程知识的实践价值,从而提高对本课程学习的积极性和主动性。此外,在理论知识的讲授过程中,还可以选择性地穿插相关的产业化案例,让学生了解酶制剂产品的开发过程、产业化规模及增长趋势等相关内容,激发学生的学习动力。例如,我们以商品化淀粉酶制剂的生产作为产业化案例,从产酶菌株的筛选、诱变、发酵体系的构建、酶的生产、酶的分离与纯化、酶的应用等生产流程出发,将过程中涉及到的酶学知识进行逐个剖析,同时联系具体生产环节,目的是让学生学会利用酶工程原理指导实践并应用于实践,而且意识到酶工程知识在生产实践中的重要作用。此外,在讲授课程知识

的同时,应把“应用”放在首要位置,利用实际案例加深学生对重点知识的理解,丰富和外延教学内容,扩展学生的认知视野。同时,结合启发式案例教学,教师给予学生问题关键点的提示,学生根据提示进行解答和总结,以此培养锻炼学生的自主探索能力和创新意识。例如酶在应用过程中的主要技术问题是稳定性,那么如何提高酶的稳定性已成为酶工程领域研究的热点,以此为契机让学生查阅相关的文献资料,并总结提高酶稳定性的方法等。通过上述的案例式教学,学生对酶制剂的生产过程有了较好的理性认识。此外,对目标酶纯化方法的选择、酶稳定性问题的改进等与生产实践密切相关的知识细节介绍,可以培养学生应用型的创新能力和科研思维,收到了很好的教学效果^[16]。

3 利用“互联网+”等技术,拓宽学生获取知识的渠道

传统的教学方式是以教师为主体,教师在课堂上结合课件与板书单向地向学生灌输知识,而学生被动地接收知识,缺少师生之间的互动,而且学生积极性较差,由此造成学生所学的知识仅局限于教师的传授范围,缺乏创新精神和钻研精神,难以满足我国经济与社会发展对于应用型创新人才的需求^[17]。此外,教师也因为在教学中得不到学生的互动与回应而逐渐丧失教学热情,最终成为“培训式”和“填鸭式”教学,教师的教学积极性被极大地挫伤。随着“互联网+”时代的到来,多媒体尤其是自媒体技术已广泛渗透到生活中的各个方面,上网查阅资料、网课等网络学习方式已成为课堂教学外获取知识的重要途径。因此,教师在教学中应该积极利用多媒体和自媒体等多种教学平台进行尝试和改革,利用学生易于接受新鲜事物、学习和适应能力强等特点,充分调动学生参与教学的积极性,提高学生的学习兴趣和主动性,从而达到提高教学效率的目的^[18]。在实际教学中,利用“抖音”和“快手”等多元化的自媒体技术手段,同

时鼓励学生积极举办多种酶工程主题的校园文化活动,通过增加教学过程的趣味性来提高学生的参与主动性。我们尝试通过自主申报的方式选取出表达能力强的学生,在教师的指导下化身自媒体“主播大咖”,利用“抖音”和“快手”等手机自媒体手段拍摄酶工程知识在生活中的应用小片段,并发布在微博、微信等自媒体平台上,并进行网络投票和评分,评分高的团队还将获得额外的加分,该举措利用现代大学生思维活跃、接受能力强等特点,取得了很好的教学效果。与此同时,积极鼓励学生将酶工程课堂知识融入到校园文化活动中,通过举办多种多样酶工程主题的活动来普及酶工程知识。例如与学院研究生会等社团联合举办“酶好生活”等校园文化活动,如酵素的历史、混合酶洗衣液、比黄金还贵重的酶等一系列紧贴酶工程教学内容的趣味校园文化活动,让学生自己感受酶工程知识对于生活和专业研究的必要性。除此之外,为了普及酶工程知识,我们还专门建立了“海洋酶工程”微信公众号,由每位学生轮流维护并发布信息,分享自己阅读的酶工程领域最新文献,这样有效地推动了学生关注学术前沿、追踪最新的研究进展,培养了学生的科研思维,并让学生体验自己参与建设和维护公众号的乐趣,提高了学生的学习积极性与合作能力。

除上述举措之外,本课程还将在后续教学实践中积极响应教育部在今年五月份印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》等文件精神,在讲授课程知识的同时,还以酶工程领域前辈科学家紧密围绕国家发展需求、克服物质条件缺乏等重重困难的事例,激发学生科技报国的家国情怀和使命担当,培养学生精益求精、迎难而上的大国“工匠”精神,坚定学生的理想信念,切实提升“立德树人”的成效。

4 结语

酶工程是一门理论与实践密切结合的课程,对创新型专业人才的培养发挥着重要的作用,尤其在新工科教育背景下,通过教学模式改革等手

段来培养和提升学生的创新能力和科研素养, 满足经济与社会发展的需要成为工科专业教学要求的重要目标。我们教学团队总结了近几年的教学实践经验, 对本门课程的教学方式、手段和方法进行了一些有益的探索与尝试, 取得了一定的教学效果。希望在以后的教学实践中不断总结经验与教训, 遵循学生的认知规律, 加强对学生动手能力和创新能力的定向培养, 突出应用型创新型人才需求, 强化技能培养和提倡“工匠”精神, 为相关课程的教学改革和探索提供一些思路和启示。

REFERENCES

- [1] Li H. The exploration of current conditions and developing tendency for Chinese biotechnology industry[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2018, 29(24): 113,112 (in Chinese)
李何. 中国生物技术产业的现状与发展趋势探微[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(24): 113,112
- [2] Zhu LY. A brief discussion on the role of biotechnology industry and its future development trend[J]. Science & Technology Information, 2018, 16(25): 152-153 (in Chinese)
祝路原. 浅谈生物技术产业的作用及未来发展趋势[J]. 科技资讯, 2018, 16(25): 152-153
- [3] Han M. Vigorously develop China's biotechnology industry[J]. China Venture Capital and High Technology, 2004(11): 32-34 (in Chinese)
韩孟. 大力发展我国生物技术产业[J]. 中国创业投资与高科技, 2004(11): 32-34
- [4] Geng HR, Dong H, Chen JJ, Dong WL, Huang YM. Development approach review of industrial biotechnology research in China[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2019, 17(6): 551-555 (in Chinese)
耿红冉, 董华, 陈洁君, 董维亮, 黄英明. 我国工业生物技术科研发展路径分析[J]. 生物加工过程, 2019, 17(6): 551-555
- [5] Duan G. Development and application of enzyme preparation and related problems[J]. Biotechnology & Business, 2019(3): 1 (in Chinese)
段钢. 酶制剂发展应用及相关问题[J]. 生物产业技术, 2019(3): 1
- [6] Li ZC, Wei YT. The successful model for the development and application of industrial enzyme preparation and bioengineering innovation platform[J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(3): 229-232 (in Chinese)
黎贞崇, 韦宇拓. 工业酶制剂开发应用和生物工程创新平台的成功典范[J]. 广西科学, 2018, 25(3): 229-232
- [7] Sun WR. Review the development history of enzyme and enzyme technology as well as related industries in China[J]. Microbiology China, 2014, 41(3): 466-475 (in Chinese)
孙万儒. 我国酶与酶工程及其相关产业发展的回顾[J]. 微生物学通报, 2014, 41(3): 466-475
- [8] Jin LM, Quan CS, Liu BQ, Li CB. Exploration of teaching reform on Enzyme Engineering course[J]. Microbiology China, 2012, 39(1): 121-124 (in Chinese)
金黎明, 权春善, 刘宝全, 李春斌. 酶工程课程教学改革探索[J]. 微生物学通报, 2012, 39(1): 121-124
- [9] Zhang TT, Shi M. Research on teaching and construction of Enzyme Engineering course[J]. Journal of Biology, 2009, 26(3): 91-92 (in Chinese)
张庭廷, 施媚. 《酶工程》教学与课程建设的探讨[J]. 生物学杂志, 2009, 26(3): 91-92
- [10] Chang YN, Peng YK, Wei DZ, Hu XM. Application of virtual simulate technology on Enzyme Engineering experiment teaching[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2019, 38(2): 237-239,244 (in Chinese)
常雅宁, 彭钰珂, 魏东芝, 胡晓鸣. 虚拟仿真技术在酶工程实验教学上的应用[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(2): 237-239,244
- [11] Zhang BY, He SM, Chen XX, Xu JW, Long TC. Development and application of virtual simulation experiment in biology teaching of undergraduate course[J]. Laboratory Science, 2017, 20(1): 128-130 (in Chinese)
张碧鱼, 何素敏, 陈笑霞, 徐嘉雯, 龙天澄. 虚拟仿真实验在生物学本科教学中的开发应用[J]. 实验室科学, 2017, 20(1): 128-130
- [12] Liu CY. The application of virtual experiment in Biochemistry experiment teaching[J]. Science & Technology Vision, 2015(35): 163 (in Chinese)
刘春英. 虚拟实验在生物化学实验教学中的应用[J]. 科技视界, 2015(35): 163
- [13] Si HL, Wei FJ, Hou MY, Hou CY, Wang DM, Dou SJ. Thoughts on the practice of Enzyme Engineering and other biological engineering courses[J]. Education Modernization, 2015(12): 110-112 (in Chinese)
司贺龙, 魏凤菊, 侯名语, 侯春燕, 王冬梅, 窦世娟. 酶工程等生工课程实践过程中引发的思考[J]. 教育现代化, 2015(12): 110-112
- [14] Yan RL, Liao Y, Liu F, Chen XM, He FL. Construction of college-enterprise cooperation curriculum in engineering specialties of biology and pharmacy[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2017, 45(1): 136-137 (in Chinese)

- 闫荣玲, 廖阳, 刘芳, 陈小明, 何福林. 生物与制药类工科专业校企合作课程的建设与实践[J]. 广州化工, 2017, 45(1): 136-137
- [15] Wei SH, Tang B, Tao YG, Meng N. Application of case-teaching in the course of Enzyme Engineering[J]. Journal of Biology, 2011, 28(5): 103-104,110 (in Chinese)
- 魏胜华, 汤斌, 陶玉贵, 孟娜. 案例教学法在《酶工程》教学中的应用[J]. 生物学杂志, 2011, 28(5): 103-104,110
- [16] Cheng SW, Miao J. Exploration of industry cases assisted the theory teaching of Enzyme Engineering[J]. Microbiology China, 2011, 38(6): 942-945 (in Chinese)
- 程仕伟, 缪静. 产业化案例辅助“酶工程”理论教学的探讨[J]. 微生物学通报, 2011, 38(6): 942-945
- [17] Chen HM, Kan GS, Ma D. The application of brainstorm method in enzyme-engineering participatory classroom teaching[J]. Agriculture of Jilin, 2015(7): 119-120 (in Chinese)
- 陈红漫, 阚国仕, 马镒. “头脑风暴法”在酶工程参与式课堂教学中的应用[J]. 吉林农业, 2015(7): 119-120
- [18] Liang LQ, Wang ZF, Duan JY. Practice and thinking of diversified teaching reform in Enzyme Engineering under the background of “Internet+”[J]. Microbiology China, 2018, 45(10): 2285-2292 (in Chinese)
- 梁丽琴, 王振锋, 段江燕. “互联网+”背景下“酶工程”多元化教学改革的实践与思考[J]. 微生物学通报, 2018, 45(10): 2285-2292

征 稿 简 则

1 刊物简介与刊登内容

《微生物学通报》是由中国科学院微生物研究所和中国微生物学会主办, 以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。本刊为月刊, 被中文核心期刊、中国科技核心期刊、CSCD 核心期刊收编, 曾获国家优秀科技期刊三等奖, 中国科学院优秀科技期刊三等奖, 并在新闻出版署设立的“中国期刊方阵”中被列为“双效”期刊。从2012年至今, 本刊以国内“微生物、病毒学类期刊”综合评价总分第一而蝉联“百种中国杰出学术期刊奖”, 而且入选300种“中国精品科技期刊”, 成为“中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)”项目来源期刊。

本刊刊登内容包括: 工业、海洋、环境、基础、农业、食品、兽医、水生、药物、医学微生物学和微生物蛋白质组学、功能基因组、工程与药物等领域的最新研究成果、产业化新技术和新进展, 以及微生物学教学研究改革等。设置的栏目有: 研究报告、专论与综述、生物实验室、高校教改纵横、专栏等。

2 投稿方式

投稿时请登陆我刊主页 <http://journals.im.ac.cn/WSWXTBCN>, 点击作者投稿区, 第一次投稿请先注册, 获得用户名和密码, 然后依照提示提交稿件, 详见主页“投稿须知”。

3 写作要求

3.1 来稿要求论点明确, 数据可靠, 简明通顺, 重点突出。

3.2 英文摘要写作注意事项: (1) 建议使用第一人称, 以此可区分研究结果是引用文献还是作者所得; (2) 建议用主动语态, 被动语态表达拖拉模糊, 尽量不用, 这样可以避免长句, 以求简单清晰; (3) 建议使用过去时态, 要求语法正确, 句子通顺; (4) 英文摘要的内容应与中文摘要一致, 但可比中文摘要更详尽, 写完后务必请英文较好且专业知识强的专家审阅定稿后再投稿; (5) 摘要中不要使用缩写语, 除非是人人皆知的, 如: DNA、ATP等; (6) 在英文摘要中不要使用中文字体标点符号。

3.3 关键词: 应明确、具体, 一些模糊、笼统的词语最好不用, 如“基因”“表达”等。

3.4 脚注(正文首页下方):

Foundation items:

*Corresponding author: Tel: 86-; E-mail:

Received: 01-01-20xx; Accepted: 01-03-20xx; Published online: 31-03-20xx

基金项目: 基金项目(编号)

*通信作者: Tel: ; E-mail:

收稿日期: 20xx-01-01; 接受日期: 20xx-03-01; 网络首发日期: 20xx-03-31

(下转 p.335)