



高校教改纵横

多措并举扎实推进微生物学实验课建设与改革

陈文峰 文莹* 王磊 王颖 陈芝 宋渊 李宝珍 李颖

中国农业大学生物学院 生物学院教学中心 生命科学国家级实验教学示范中心 北京 100193

摘要: 自2017年起, 中国农业大学将微生物学实验课程列为本科生的核心课程之一, 从财力上和人力上重点支持其建设与改革, 以促进其教学质量的提高。本文介绍了我们在微生物学实验课程教学中所采取的一系列改革措施, 包括分阶段式教学模式和“弗鲁姆期望理论”的运用、“无菌操作”概念的灌输和相关技术的强化、细化操作步骤和“一对一”考核的实施、生物统计作图和信息传播平台的应用、鼓励与辅导学生参与实验竞赛等, 取得了良好的效果。此外, 我们还对未来实验课教学工作提出了具体建议, 以推动其不断发展完善。

关键词: 微生物学实验, 核心课程, 课程建设

Promoting the construction and reform of Experimental Course of Microbiology by multiple measures

CHEN Wen-Feng WEN Ying* WANG Lei WANG Ying CHEN Zhi SONG Yuan
LI Bao-Zhen LI Ying

National Demonstration Center for Experimental Life Science Education, Teaching Center of College of Biological Science, College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: Since 2017, the Experimental Course of Microbiology, has been designed as one of the key courses for undergraduates in China Agricultural University, and was emphatically provided with financial and human support to promote its development and reformation and the improvement of quality of teaching/studying. This article introduced a series of reform measures we have taken in the teaching of Experimental Course of Microbiology, including application of staged teaching mode and “Fromm’s Expectation Theory”, instillation the concept of “aseptic operation” and enhancement its related technologies, refining the operation steps and implementation of “person-to-person” assessment, application of biostatistical mapping and information dissemination platforms, encouragement and tutoring undergraduates to participate in experimental competitions, etc. Our reform measures have achieved good results. In addition, we also put forward some specific suggestions for future class teaching of experimental teaching to promote its continuous development and improvement.

Keywords: Experimental Course of Microbiology, Key course, Course construction

Foundation item: Project of Construction of Key Courses for Undergraduate in China Agricultural University (25302001)

***Corresponding author:** Tel: 86-10-62732715; E-mail: dwyt2756@cau.edu.cn

Received: 16-04-2019; **Accepted:** 05-07-2019; **Published online:** 09-09-2019

基金项目: 中国农业大学本科核心课程建设项目(25302001)

*通信作者: Tel: 010-62732715; E-mail: dwyt2756@cau.edu.cn

收稿日期: 2019-04-16; 接受日期: 2019-07-05; 网络首发日期: 2019-09-09

高等学校生命科学领域的微生物学课程是生物科学、生物技术和生物工程等专业本科生的必修基础课程之一。当今世界正处于前所未有之变革中,新技术、新仪器的应用,网络与智能的迭加,多学科的融合与交叉,使得微生物学科的发展日新月异。高等学校微生物学授课教师必须与时俱进,主动求变,勇于探索,不断改进教学方法,提高教学质量,以激发学生的学习兴趣和潜能,促进学生全面发展。

为适应新时代发展的要求,自2017年起,中国农业大学将一系列课程列为核心课程,重点支持,以推进其全面发展。微生物学课程作为核心课程之一,其建设包括理论课建设和实验课建设两部分。在微生物学实验课程建设中,我们中国农业大学生物学院最早提出的本科生科研训练计划(undergraduate research program, URP)^[1],深受本科生和指导教师们的喜欢,目前已在全校各个学院大学生科研实践中推广应用;将科研中的成果用到教学实践中,也显著促进了实验教学的发展^[2]。为紧跟时代步伐,我们多措并举以推进微生物学实验核心课程的建设,包括实验顺序调整、增加激励措施、严格实验操作、细化考核方式、提升分析能力和扩大信息传播、课外辅导微生物学实验等。同时,我们对未来的实验课教学工作提出了具体建议,以期将微生物学科发展中最先进的技术方法融入到教学实践中,推动微生物学实验核心课程建设向更高层次迈进。

1 分阶段式实验教学模式的应用

当前我院为本科生开设的微生物学实验课程共计48学时,分12次实验,每次实验4个学时。实验内容包括细菌、放线菌、真菌形态结构的观察;噬菌体效价的测定;微生物对大分子化合物的水解及对糖的利用;微生物的紫外诱变;微生物对抗生素的抗性检测;培养基制备与灭菌;土壤微生物的分离等,所用教材为本教学团队王颖老师主编的《微生物生物学实验教程》(2014年,科学出版

社)^[3]。在本次核心课程建设中,我们采用了分阶段教学模式^[4],即第一阶段为验证性和摹仿性阶段,第二阶段为过渡性训练阶段,第三阶段是应用和创新阶段。具体实践中,要求学生先掌握前两个阶段的微生物学实验基本理论知识和基本实验技能,特别是掌握无菌操作、菌落辨识和纯培养接种技术以后再进入第三阶段的学习。在第三阶段,要求学生自己从土壤中分离细菌、真菌和放线菌,然后在固体培养基平板上纯化出一株菌落形态或颜色独特的未知细菌,并将此未知细菌与老师提供的已知细菌一起开展创新式探究实验,包括测定其对淀粉、卵磷脂和多种糖的利用能力,分析其产硫化氢的能力,对其进行革兰氏染色、芽孢染色等,通过与已知的参比菌株比较,可初步判断并推测该未知细菌与已知细菌的关系。分阶段式实验教学模式的应用,提高了学生探究未知微生物的兴趣,学生不仅关心应该掌握的实验技能,还特别关心未知微生物的实验结果及与已知微生物的区别。目前这一分阶段式实验教学模式不仅在我们的微生物学实验课程教学中得到了应用,在我院微生物学与免疫学系的其他课程,如原核生物进化与系统分类学实验和真菌生物学实验中也得到了推广应用,取得了良好的教学效果。

2 运用“弗鲁姆期望理论”激励学生的学习积极性

“弗鲁姆期望理论”(Fromm's expectation theory)指出“激励力量=期望×目标效价”,这一理论在日常工作中被广泛使用,以激发员工的积极性,达到更高的期望值和实现更宏伟的目标^[5]。我们在微生物学实验课程教学过程中也使用了“弗鲁姆期望理论”,以鼓励学生积极参与到课程学习中,取得更好的学习效果。在这里,“期望”是指教师希望学生能积极学习并掌握良好的微生物学实验知识与技能,而“目标效价”则是针对某一名学生进行评价,检测其掌握微生物学实验技能的好坏,得到的结果正确与否或结果好坏。为得到高的期望值和目

标效价值,则需要给予学生一定的激励。所给的激励力量越高,则收获到的期望值和目标效价可能会越高。

为推进“弗鲁姆期望理论”的实施,我们利用核心课程建设专项经费,购买了一些学习用具作为奖品,对实验做的好的学生进行奖励。我们为此还特别设立了“最佳制片奖”“最佳操作奖”“最爱思考奖”等奖项,对学生及时进行鼓励。为了获得这些奖励,学生们认真学习,积极思考,严格操作,取得了良好的实验结果,每节课上都会有几位学生获奖。我们所给予的奖品虽然只是一支笔、一支胶棒或一个实验记录本等“微不足道”的小物件,却激发了学生的学习兴趣和热情,也促使学生更加认真地操作,最终学生自身和教师都收获了更高的期望值和目标效价。实验课的最终成绩包括了平时成绩和实验报告成绩,对于获得奖励的学生,其相应的平时成绩和实验报告成绩也会高于其他学生。奖励措施的实施是激发和提升高校大学生创新能力的重要措施之一^[6],非常值得在教学实践中大力推广使用。

3 “无菌操作”概念与相关技能贯穿于微生物学实验教学始终

微生物学实验课程要求学生建立“无菌操作”概念,并掌握严格的“无菌操作”技能。对微生物学实验而言,“无菌操作”无论怎么强调都不过分^[7]。只有熟练地掌握了“无菌操作”技术,才能为第三个阶段,即应用与创新阶段所涉及到的综合性、探究性、设计性实验打下坚实的基础。针对这一要求,我们在实验教学过程中,先讲解无菌操作相关实验的基本原理和要领,强调关键动作,然后教师亲自示范和动作演示。在学生实验过程中,教师则在班级里巡视,及时发现并纠正学生不正确的操作。举一个典型的例子,在稀释平板法分离土壤微生物的实验中,要用到移液管吸取土壤悬液,学生们已经根深蒂固地接受了化学分析实验中要将液体凹液面与眼睛平齐,以准确判定液体量的思

想,而将“无菌操作”忘在脑后,完全注意不到应在火焰口的无菌区进行操作了^[7],最终导致所分离到的微生物很可能并非来自土壤,而是来自周围的空气或其他环境。通过不断地强化“无菌操作”概念与技术,学生们已将这一概念深入脑海中,多数学生在期末操作考试中因无菌操作技术规范而取得了良好的成绩。

强调“无菌操作”和后面提到的“细化操作步骤”考核学生,实际上都属于“细节教育”的范畴,它要求学生在微生物学实验过程中养成良好的操作习惯。“细节教育”除了应该贯穿于实验教学过程中外,还应该贯穿于涉及到的安全、环保、节约等操作中,以及落实到大学生培养、教育和管理的各个阶段和过程中^[8]。

4 细化操作步骤,实施“一对一”的实验考核评价

实验考核是检查学生掌握实验操作和理论知识情况的重要一环。为更全面地对学生进行考核,我们细化了实验考核操作步骤,使每一步都有相应的评分点,而且一名教师考核一名学生(即“一对一”方式),在规定的时间内让学生完成两个实验(每个实验5分)。例如,“无菌操作法制备一套平板”实验的考核点及评分标准包括:(1)用手握住三角瓶底部,瓶口在火焰上方灼烧1-2次,保证瓶口无菌,操作过程中手不能接触到瓶口(2分);(2)培养皿应朝向酒精灯火焰周围开口,每个皿内倾倒15 mL左右培养基,混匀,静置,凝固,瓶口不能碰到培养皿盖,盖子上不能粘上培养基(2分);(3)检测培养基平板是否平整及培养皿盖上是否有冷凝水(1分)。这一过程既考察了学生“火焰灭菌”和“无菌操作”倒平板的实验技能,也关注学生所制备的平板是否符合要求,是否可用于进一步的实验。我们所采用的这种考核评价方式,在山东大学动物医学院开设的兽医微生物学实验课程考核中也有采用^[9]。

除了严格考核学生对实验技能的掌握情况外,

为了使学生更好地掌握实验内容,我们还采用“一对一”的方式,让学生口头回答1个与实验相关的问题(满分10分)。学生从100余道题库中,随机抽取1题,稍做思考后作答。学生有3次抽题作答的机会,如果第1、2次抽到的题都回答不上来,可以再次抽取第3题。但第2次抽题会被直接扣除1分,第3次抽题则先扣除2分。如果第3次题仍不会回答,则给0分。

实验课的最终成绩除了包括上述实验操作考核成绩和口试考核成绩外,还包括课前预习成绩、平时成绩、实验报告成绩等,从而形成了对学生的全方位考核,以检查学生对微生物学实验各项操作和相关知识的掌握情况^[7]。

5 生物统计作图应用于实验结果分析

生物统计是数理统计原理和概率论在生命科学领域中的具体应用,是应用数学的一个分支,也是生物学专业学生分析能力培养的一门专业基础课。将生物统计应用于微生物学实验结果的分析并作图,有助于强化并巩固生物统计课程的学习效果,培养学生的综合素质^[10],同时也有助于将微生物学实验结果分析从描述性分析上升到数理统计分析角度,提高学生对实验结果的分析能力。

图1为我们利用开放语言R软件中的ggplot2、plyr和Rmisc包(其中的summarySE函数用于统计分析),根据微生物学实验课程中“环境中微生物的检测”结果所作的统计分析图。常言道,“一图胜千言”。从图1中,可以直观地比较出不同来源的微生物菌落总数和菌落类型数的平均值(分别用▲和●代表)、数据标准误(平均值上下的带末端平行线的垂直棒,或称为误差棒),可见来自手上的微生物菌落总数最多,其次是来自手机上的,再次是来自空气中和衣服上的。手上的微生物总数最多的原因在于我们的手指经常触摸到不同的环境和物品,这些地方的微生物很容易转移到手上。此外,手上的汗渍分泌物等也适合多种微生物的生长。从图1中还可以看出,来自手上、空气中和衣服上的微生物

菌落类型数多于来自于手机上的,这可能与手机的特殊材质限定了某些微生物吸附在其表面有关。此项作图分析要比简单的菌落计数和列表记录结果更直观、形象。该图中还加入了标准误分析,让读者可以直观地看到某一来源内的微生物菌落数据变化范围。由于所用的数据是全班学生的实验结果,因此同一来源的微生物菌落总数和菌落类型数的标准误有些偏大。另外,图中的平均值和误差棒位置可通过修改ggplot函数中的参数为position=position_dodge(width=0.4)(width的默认值为0),使得同一来源的菌落总数据线和菌落类型数据分开摆放,而不是放在一个横坐标的正上方,导致数据线的重叠。这种灵活的可调整的处理方式,以及将统计分析整合到图形中也是R语言的优势所在。

微生物学实验中,还有许多实验结果可以借助统计作图的方式更直观地展示出来。如细胞的大小、酵母细胞长轴与短轴的比例、生长曲线、某个稀释度的菌落或噬菌斑计数统计等,均可以用适当的作图方式展示出来。将生物统计运用到微生物学实验课中,要比单纯地学习生物统计理论课更有实践意义。学生们反映,通过统计作图实践,使他们更好地掌握了生物统计作图及数据分析这一工具,提升了数据分析能力。

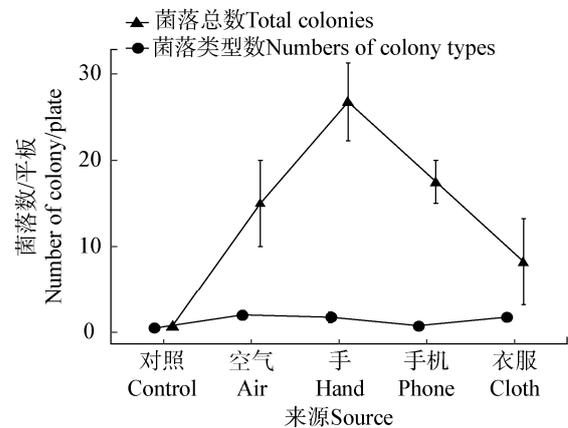


图1 不同来源的微生物菌落数量统计分析
Figure 1 Statistical analysis of the number of microbial colony from different sources

6 借助网络信息平台传播微生物学实验知识和操作技能

随着微信公众号的普及,其在信息传播中扮演着越来越重要的角色,我们尝试了通过微信公众号平台来宣传微生物学实验理论知识、实验技能和实验结果,并取得了良好的示范带动效果。在此过程中,我们充分发挥新一代大学生“网上原住民”的特点,鼓励学生用其特有的网络语言撰写文案,教师加以审订、修改和补充。目前已有两届学生借助微信公众号平台将每次实验的结果发布到网上,供大家学习参考和交流。其中“中农大生物 171 小天地”微信公众号平台目前仍然能够访问,感兴趣的读者可以在关注该公众号后,阅读历史记录中每个微生物学实验课程的结果。朋友圈的网友在阅读了该公众号发布的文案后,纷纷点赞或转发。有网友评论说:“诗一样的教学”“你带的学生真好”“现在的教学都必须结合互联网了,和以前比真是巨大变化啊”。

除通过微信公众号宣传微生物学实验结果外,我们还将与实验教学相关的内容,如课程介绍、教学要求、教学大纲、教学日历、课件、实验演示视频、优秀作业等上传到了中国农业大学网络教学平台,方便学生在课外及时预习和时时复习,进一步巩固所学的知识。据统计,学生每年度进入微生物学网络教学平台的次数共计 4 949 次,阅读课程资源共计 21 184 次,在线时长总计 87 451 min,显示出网络教学资源对学生的吸引力。

7 鼓励并辅导学生参加学科竞赛

自 2015 年起,由北京市教委主办的北京市大学生生物学竞赛(以下简称“竞赛”)已连续举办了 4 届,总参赛人数超过了 2 800 人。竞赛旨在推动高等学校生物学相关专业人才培养模式改革,促进大学生生物学基础知识的学习、实践及创新能力的培养,加强院校间的交流与合作,加快创新型人才的培养。竞赛由 3 项独立的子项目组成:“基础知识竞赛”“奇思妙想竞赛”和“实验设计竞赛”,其中

后两项与微生物学实验教学和实验密切相关。

“生物学奇思妙想竞赛”涉及到微生物实验相关的主题包括:疾病早知道、北京雾霾的生物治理、微生物发电防治雾霾、新型生物膜防治雾霾、防治流感病毒之我见、如何利用微生物手段扩大人类生存空间定居外星球等。“生物学实验设计竞赛”涉及到基本的实验技能竞赛,其中与微生物学实验技能相关的竞赛包括“微生物无菌操作、细菌的革兰氏染色与油镜下观察、显微镜下微生物计数等”。对竞赛有兴趣的学生将联系相关的微生物学课程指导教师,由指导教师对他们进行辅导,以帮助他们更好地完成竞赛项目。2015 年至今,我们学院的楼慧强、袁红莉、曹勤红、王颖、陈文峰等老师指导的多名本科生获得了北京市大学生生物学竞赛一、二、三等奖,其中梁掌潜、赵梦涵、赵曜东、郝芳池四名同学还获得了 2018 年全国大学生生命科学竞赛二等奖。

除了参加北京市的竞赛外,有个别学生还经指导教师辅导后参与了国际基因工程机器大赛(International genetically engineered machine competition, iGEM),并于 2019 年度获得金牌。iGEM 是合成生物学领域的最高国际性学术竞赛,它以合成生物学为核心,综合利用微生物学、分子生物学、遗传工程操作技术解决科研和应用中的实际问题。参加该大赛可充分发挥本科生的学习自主性和能动性,提升创新能力、综合素质和团队合作能力,使专业知识和实验技能得到进一步提高^[11]。

8 未来的发展建议

在微生物学实验核心课程建设过程中,我们始终坚持基础理论与前沿知识、先进技术的有效衔接,以及理论与实践的高度统一,同时不断改进教学方法与手段、丰富教学内容。在未来的发展中,我们谨提出几点建议,更好地推进微生物学实验课程向纵深层次发展。

8.1 分阶段式实验教学模式的提升

如前所述,我们在教学过程中实施了分阶段教

学模式,在第三个阶段才开始创新式探究实验。如果在实验教学开始时就融入创新探究式实验,可能会更加激发学生的探究和创新意识。具体做法可以是:在第一次实验中即让学生从环境中分离到的各种微生物中挑选出一种菌株,然后将其与已知菌株一起开展后续实验。这样,学生从一开始实验时就会抱有极高的求知欲望,想探明该菌株究竟是一株什么样的菌、有什么样的特征等,促使学生在后续实验中努力学习、认真思考,提高分析问题、解决问题的能力。

8.2 将 Biolog 板引入到实验教学中

我们的实验课有一项内容是“测定不同细菌对不同碳源(糖)的利用情况”,该实验涉及到的糖的种类多,要检测的微生物种类多,4个班级的学生(100人左右)需要近千只装有液体培养基的试管,每只试管内还要放置小的杜兰管,因此工作量巨大,学生做起来也很繁琐,还容易出错。Biolog板(通常为96孔板)设有多种类型,可检测供试菌株在不同的碳氮源、pH梯度、渗透压处理等条件下的生长情况。使用多点接种器可以快速完成多种微生物的接种,再用读取仪定期读取供试菌株在不同处理下的吸光值,这对于高通量分析微生物的代谢情况和借助数据库对微生物进行快速鉴定很有帮助,同时还节约了实验准备和学生操作时间。如果能再结合生长曲线测定仪,则还能动态地获得细菌在某种液体培养基内的生长情况。在大数据时代,应让学生掌握新的技术和仪器,跟上时代的发展。

8.3 将基因序列分析融入到实验教学中

微生物基因和基因组序列的测定已成为当前常规的研究方法,测序成本和所需时间上都大大降低。为此,建议在教学中引入基因序列分析或基因组学分析的内容,使大学生跟上微生物基因组学学科的发展。我院实验教学中心已为本科生配备了先进的光学显微镜及拍照系统,并连接了计算机网络。在此基础上,依托校内外网络数据库,可以将基因序列分析融入到实验教学的适当环节中,实现基因

型和表型数据的有机结合,让学生逐渐掌握微生物最深层、最本质的东西,即核酸序列特征。具体做法举例:某节课做芽孢染色,那么,哪类菌可产生芽孢?在基因组上有没有与芽孢合成相关的基因?我们可以为学生提供产芽孢菌和不产芽孢菌的16S rRNA基因序列,通过比对分析找到相应的属种,然后根据此属种的描述就可知道该属菌种是否产生芽孢。另外,也可以让学生在NCBI(national center for biotechnology information)数据库上搜索芽孢形成的关键基因如*spoOA*基因,查看哪些菌有此基因,从而将产芽孢菌的基因型与该菌能产生芽孢的表型特征结合起来。这项工作既可以在实验课上完成,也可以在课下完成,其目的就是要让学生熟练掌握基因序列的查找、比对与分析方法,建立起基因序列与表型特征之间的联系,学会从序列获得表型特征信息,或者知道表型特征再去获知相关基因的序列。

8.4 带领学生参观微生物发酵生产车间或研发工作室

在之前的微生物学实验教学过程中,我们曾组织学生参观过北京燕京啤酒厂、北京王致和豆腐乳厂等,以使学生对微生物在生产实践中的应用有一个感性认识。但后期由于各种原因而未能坚持下来。为了让学生更好地接触生产实践,参观小型的微生物发酵生产研发工作室也是可供选择的方法之一。我校根瘤菌研究中心业已建成“根瘤菌研发工作室”,在洁净间内实现了根瘤菌的发酵、生产、包装一体化的中试生产线。如果此生产线允许对学生开放,也将对学生的生产实践有一定的教育意义。

9 结束语

随着科技的进步、教育的信息化、“5G网络传输技术”的快速发展与应用,微生物学实验课程的教学内容、教学目标、教学手段等也将不断更新。现代化的辅助教学手段,如多媒体技术、慕课、微课、小规模限制性在线课程(small private online course, SPOC)、“DOU知计划全民短视频科普行

动”等,也需要逐步地与微生物学实验课程教学有机结合起来。2018年起,教育部提出建设五大类型“金课”,包括线下、线上、线上线下混合式、虚拟仿真和社会实践“金课”。中国农业大学已于2019年启动本科“金课”建设项目。微生物学核心课程建设将根据“金课”建设的要求,进一步推进和提升,并打造出带有“MiCAU”(含义为中国农业大学开设的提倡创新性思维的微生物学课程)标签和“6E”(Exploration、Evolution、Experiment、Education、Example、Earnestness)理念的微生物学“金课”。

致谢:感谢中国农业大学本科生院和生物学院教学中心对微生物学核心课程建设的经费支持。感谢生物学院教学中心苏俊老师提供的本科生参加生物学竞赛的信息。感谢汪恩涛教授和李茂寅博士对论文英文摘要的润色。

REFERENCES

- [1] Li Y, Guan GH, Wang Y, et al. Undergraduate research program, an important auxiliary link in teaching of Microbiology[J]. *Microbiology China*, 2004, 31(5): 129-131 (in Chinese)
李颖, 关国华, 王颖, 等. 微生物学教学中一个重要的辅助环节——本科生科研训练[J]. *微生物学通报*, 2004, 31(5): 129-131
- [2] Liu ZX, Chen WF. Identification of *Paenibacillus lautus* ZL506, an alternative strain for the flagellum staining in teaching of microbiological experiment[J]. *Bulletin of Biology*, 2007, 42(6): 48-50 (in Chinese)
刘忠霞, 陈文峰. 微生物学实验教学用鞭毛染色的良好菌种——灿烂类芽孢杆菌的鉴定[J]. *生物学通报*, 2007, 42(6): 48-50
- [3] Wang Y. *Experimental Course of Biology of Microorganisms*[M]. 1st ed. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese)
王颖. *微生物生物学实验教程*[M]. 第一版. 北京: 科学出版社, 2014
- [4] Cao FZ. Preliminary exploration on the reform of microbiology experiment teaching[J]. *Journal of Biology*, 1987(5): 39-40 (in Chinese)
曹凤枝. 微生物学实验教学改革初步探索[J]. *生物学杂志*, 1987(5): 39-40
- [5] Zhan CY. The study on the motivation of undergraduate autonomous learning by Froome's expectancy theory[J]. *Comparative Study of Cultural Innovation*, 2017, 1(30): 11-12 (in Chinese)
战春雨. 弗鲁姆期望理论对大学生自主学习的激励研究[J]. *文化创新比较研究*, 2017, 1(30): 11-12
- [6] Liu ZW, Wang Y, Yu F, et al. Analysis of measures to stimulate and improve college students' innovative activity ability[J]. *Educational and Teaching Forum*, 2016(37): 90-91 (in Chinese)
刘志文, 王英, 于放, 等. 激发和提升高校大学生创新活动能力的措施分析[J]. *教育教学论坛*, 2016(37): 90-91
- [7] Song Y, Wang SW, Chen Z, et al. Exploration and practice on the reform of Microbiology teaching[J]. *Microbiology China*, 2018, 45(3): 616-621 (in Chinese)
宋渊, 王世伟, 陈芝, 等. 微生物学教学改革的几点思考[J]. *微生物学通报*, 2018, 45(3): 616-621
- [8] Pan Z. The classroom is excellent because of details — a brief talk on details education in Labor Technology teaching[J]. *Popular Science*, 2015(9): 40 (in Chinese)
潘贞. 课堂因细节而精彩——浅谈劳技教学中的细节教育[J]. *科学大众·科学教育*, 2015(9): 40
- [9] Liu HJ. Reformation of experimental courses examination for veterinary microbiology specialty[J]. *Laboratory Science*, 2017, 20(3): 102-104 (in Chinese)
柳洪洁. 兽医微生物学实验课程考核改革[J]. *实验室科学*, 2017, 20(3): 102-104
- [10] Li LH, Zhou RY, Li XL. Reinforcing the practice teaching of Biostatistics and cultivating husbandry professionals with comprehensive quality[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei (Agriculture & Forestry Education)*, 2013, 15(2): 45-48 (in Chinese)
李兰会, 周荣艳, 李祥龙. 强化生物统计课程实践教学, 培养综合素质畜牧人才[J]. *河北农业大学学报: 农林教育版*, 2013, 15(2): 45-48
- [11] Le S, Hu QW, Xiong K, et al. Training the innovation ability of college students through International Genetic Engineering Machine (iGEM) Competition[J]. *Chemistry of Life*, 2017, 37(3): 458-462 (in Chinese)
乐率, 胡启文, 熊坤, 等. 以国际遗传工程机器大赛(iGEM)为载体培养大学生的科研创新能力[J]. *生命的化学*, 2017, 37(3): 458-462