

## 微生物学模块式自设计研究性实验的构建与教学实践

崔战利<sup>1\*</sup> 刘永春<sup>1</sup> 张鸿雁<sup>1</sup> 孙冬梅<sup>1</sup> 晏磊<sup>1</sup> 王欣<sup>2</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院 黑龙江 大庆 163319)

(2. 黑龙江八一农垦大学食品学院 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 为了以低成本、低课时、高个性化方式让低年级学生既能学习基本实验技术,又都有机会参与研究性实验,构思了以基本实验技术为依托的微生物学模块式自设计研究性实验,即教师以模块式专题形式提出系列实验项目,学生自主选择题目、思考和设计、实施操作、分析结果而教师恰当指导的实验教学方式,并将其在3年4轮的微生物学实验教学中应用。详细叙述了模块式自设计研究性实验设计思路和实施方法及实施中学生和教师的行为与表现,并分析了从3个班级收回的包含34个问题的实验教学效果调查问卷,深入探讨了该方法存在的不足和改进方法。教学实践表明,这种教学方法不会导致教师数量、实验成本、学时数的显著增加,对于较大规模学生的研究性实验具有较强的实用性和可行性;144份学生反馈问卷中每个问题平均得分均在4分以上(满分5分),表明有利于提高学生的多方面素质,使学生受到基本的科学研究素质和能力的初步训练;88%–96%的学生认为它是有效的教学方式;研究性实验的形式、学生主动性、实验方案设计的科学性、实验结果分析和讨论等方面还有待完善。

**关键词:** 微生物学, 研究性实验, 模块, 自主设计, 教学实践, 效果, 完善措施

## Construction and teaching practice of the modular independent-designed research experiments in Microbiology

CUI Zhan-Li<sup>1\*</sup> LIU Yong-Chun<sup>1</sup> ZHANG Hong-Yan<sup>1</sup> SUN Dong-Mei<sup>1</sup>  
YAN Lei<sup>1</sup> WANG Xin<sup>2</sup>

(1. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

(2. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** In order to let the lower classman to have the opportunity to learn the basic experimental

**Foundation item:** 2016 Planning Project of Higher Education Society of Heilongjiang Province (No. 16G191); 2013 and 2016 Teaching Research Project of Heilongjiang Bayi Agricultural University (No. NDJY1634); Higher Education Reform Project of Heilongjiang Province (No. JG2014010915); Heilongjiang Province Education Science Planning Project (No. GBC1213093-163)

**\*Corresponding author:** Tel: 86-459-6819299-807; E-mail: zhanlic@aliyun.com

**Received:** March 29, 2016; **Accepted:** May 27, 2016; **Published online** (www.cnki.net): June 07, 2016

**基金项目:** 2016 年黑龙江省高等教育学会规划课题项目(No. 16G191); 2013 和 2016 黑龙江八一农垦大学教研课题项目(No. NDJY1634); 黑龙江省高等学校教改工程项目(No. JG2014010915); 黑龙江省教育科学规划项目(No. GBC1213093-163)

**\*通讯作者:** Tel: 86-459-6819299-807; E-mail: zhanlic@aliyun.com

**收稿日期:** 2016-03-29; **接受日期:** 2016-05-27; **优先数字出版日期**(www.cnki.net): 2016-06-07

techniques and participate in research experiments in the way of low-cost, less class hours and high individuality, the modular independent-designed research experiment based on basic experimental techniques in Microbiology was conceived. The main task for teachers is to propose a series of thematic modular experimental subjects, while student's role is to choose topics independently, and to think, design, operate their experiment and analyze experiment results on their own. The work was performed with four cycles in three years. The design ideas, implementation approach and the behavior and performance of teachers and students in the research experiments were described in detail. Meanwhile, questionnaires containing 34 questions related to the experimental teaching from three classes were analyzed, and the deficiencies and improvements related to the experimental teaching also were discussed deeply. The teaching practice shows that the experiments approach does not lead to the obvious increase in the number of teachers, experimental costs and class hours. These make it easy to practice and operate in large-scale teaching. Average score for each question from 144 student feedback questionnaires was 4 points or more (out of 5), which indicated that this way could help to improve the students quality and make students to receive initial training of basic capacity and quality in scientific research. Most of students (88%–96%) suggested that it is an effective approach. The form in the research experiment, student initiative, scientificity of the experimental design, discussions and analysis about experimental results and other aspects need to be improved.

**Keywords:** Microbiology, Research experiment, Modular, Independent design, Teaching practice, Result, Improving measures

实验室教育在培养学生的兴趣和科学探究的技能,发展学生的自主性,学习应用科学概念和表达、沟通等方面可以发挥至关重要的作用<sup>[1]</sup>。但由于实验教学经费、教师业务水平、经验和工作量等方面的限制,以及保证实验产生高度可预测结果的预期,“菜谱”式的实验教学方法被广泛应用,导致学生只是经过一系列“菜谱”式的活动来完成实验课,学生的自主性、好奇心和积极性减少,学生在其中主要获得的是技术技能和基础原则,这种传统的“菜谱”式实验室的教育效果经常受到质疑<sup>[2]</sup>。国家教育部在《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》(教高[2005]1号)中指出:“引导大学生了解多种学术观点并开展讨论、追踪本学科领域最新进展,提高自主学习和独立研究的能力”。Biggs 也认为在学生应该做什么的基础上调整做法很可能会比只注重教师和管理人员做什么更有成效<sup>[3]</sup>。给予学生自主性能增加学生的积极性和参与行为,已被广泛接受<sup>[4]</sup>,并且自主性教学在深层次思考方面推动了一个更持久的心理投资<sup>[5]</sup>;而在实验设计中的实际动手经验已被广泛认可为实验教学的有效手段,并成为大学生科普教育的重要组成

部分<sup>[6]</sup>。本科阶段实施研究性教学是一个国际化的趋势。Dasgupta 等认为必须教学生实验设计,这有助于他们更深入地理解大多数生物知识如何形成的,同时给他们工具来实现他们自己的探究,以满足更严格的学术标准,同时获得毕业后就业的竞争优势<sup>[7]</sup>。因此,如何让广大低年级学生都有机会自主设计实验方案,并亲自动手实践,使广大学生从研究性实验教学中获益,具有更大、更普遍和更深远的意义。“微生物学”兼具理论性又具应用性,对于生物相关专业,既是重要的专业基础课,又是进一步学好其它专业基础课和专业课的的必要条件和基础。微生物学技术和方法已渗透到了现代生命科学的各分支领域<sup>[8]</sup>,微生物学实验课是将微生物学理论与实践联系起来的重要环节。微生物生长快,试验周期短,传统研究方法成本低。因此,微生物学实验适合较大规模学生进行自主设计的研究性实验,对低年级学生综合素质的提高和创新能力的培养具有独特的作用。

针对微生物学实验开展研究性教学依然不普遍,或存在题目单一、要求和/或目的不够具体、学生工作量偏大、实验成本偏大和教师指导和反馈不

足等问题,我们构思了模块式自设计研究性实验。我们将整个微生物学实验课程分为两部分:基本技术和方法实验部分(也包括将基本实验技术融入综合性实验)和模块式自设计研究性实验部分(将基本实验技术融入到研究性实验)。模块式自设计研究性实验是教师以专题模块形式提出系列实验项目,学生自主选择或自行拟定题目、自主思考、讨论和设计实验方案,自主实践操作、自主分析结果,期间教师进行恰当指导的研究性实验。本文对我们连续3年在生物技术专业4个班级开展的实验教学进行了总结和分析,以期对相关课程自设计研究性实验教学提供一些参考。

## 1 微生物学模块式自设计研究性实验教学的设计

### 1.1 设计总思路和要求

学生在完成基本实验技术学习后,将进入模块式自设计研究性实验(以下简称研究性实验)的学习。根据微生物学理论知识和实验技术类型将研究性实验分成两个专题模块,即:“某种因素对某种微生物生长(曲线)的影响”模块(以下称模块1)和“具有特定生理功能的细菌的分离纯化及特征”模块(以下称模块2)<sup>[8-11]</sup>。两个模块均涉及基本实验技术的学习,模块1包括液体培养基配制、接种、培养及液体培养物生长量测定等基本技术学习,模块2包括选择和鉴别培养基设计与配制、各种分离纯化方法的学习等。每个模块下有一系列子题目,每个子题目难度和工作量基本相当。如:模块1中的影响因素可以是不同葡萄糖浓度、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度、pH、某防腐剂、某消毒剂、某有毒物质、某抗生素、温度、供氧量等;模块2的具有特定生理功能的微生物可以是抗某种药物、有毒物质、消毒剂的微生物,也可以是产脂肪酶、淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶、几丁质酶和多聚磷酸盐等微生物,或是自生固氮菌、自生固氮芽孢杆菌、自生固氮光合细菌、硝化细菌、厌氧细菌、嗜冷菌、嗜碱菌、嗜酸菌、嗜盐菌等<sup>[8-11]</sup>。为了保证学生实验方案的科学性、可行性和周密性,并针对在不同模块的实验设计中需要

重点考虑的问题以一系列思考题的形式给出提示,供学生在实验设计时参考。教师针对实验题目的拟定、实验设计的限制性条件(根据时间、工作台空间、用品和教师等实验室条件提出的)、实验方案应包括的内容、预期目标、效果、完成期限和验收方式等提出具体要求。

### 1.2 实验题目的选择

研究性实验开始前3周,教师将实验设计任务和要求布置给学生,要求学生在2周内自主查找相关资料,完成实验方案设计。每个小组自愿选择来自不同模块的感兴趣的2个子题目,也可以按照研究性实验设计任务和要求自行拟定题目。要求选题要有自己的特点和独到之处,具有一定创新性,并举例给学生就此加以重点说明和引导。

### 1.3 实验方案初稿的撰写

学生的实验方案要包括以下内容:实验目的(假设),实验原理,实验设计依据,预计达到实验目的需采用的实验方法[包括用来测试假设或实验目的的实验方法,明确自变量和因变量,设置对照组(包括阴性和阳性对照)和处理组,设置足够的独立重复等],实验所需器材种类、型号、数量以及具体准备方法(如实验所需的培养基:具体培养基配方、体积,如何配制、调pH,灭菌;如何接种、培养等),实验具体操作步骤,收集实验数据的方法(包括影像资料),如何进行实验结果分析(包括如何用实验结果做出证实或驳斥假说的评判,或者如何分析达到预期的程度),对实验有哪些预期、需要注意的事项、主要参考文献等。学生要通过在理论和实验课中所学知识和受到的训练并结合自己的兴趣、想法及文献资料进行自主设计规划实验方案。教师举例引导学生创造性地运用所学知识,不允许全盘照搬文献的实验设计或抄袭其他同学的实验设计。每个小组自己决定何时、如何讨论自己的设计方案,每个成员自己确定自己在研究性实验中的角色,如承担文献资料查找、实验方案撰写、实验材料罗列、设计材料上传、与指导教师交流、数据收集等工作中的一项或几项。

#### 1.4 实验方案修改

在实验开始实施的前一周,即教师所规定的最后期限前每个小组将自主设计方案以 Word 电子文件形式通过 QQ、邮箱等方式上传给指导教师。指导教师利用 4-7 d 时间审阅每个小组的实验方案,并进行认真修订和批注,提出意见和建议。指导教师在审阅和指导设计的研究性实验题目时,要帮助学生准确把握所设计的实验是能够用传统研究方法和微生物基本实验技术来完成的简单实验,力求在使用的实验设备简单易得、最节省开支和时间的前提下达到研究性实验教学目的。防止实验涉及知识领域过多、难度过大,或耗时过多、工作量过大,或实验过于简单的现象。在实验实施前 2-3 d 将审阅后的实验方案返回给每个小组。学生根据教师的意见和建议修改实验方案,必要时再与教师沟通和讨论,以便确定最终实验方案。

#### 1.5 实验方案实施

学生进实验室前,指导教师将在实验方案审阅时列出的每份方案可能需要的器材和药品等清单汇总后交给准备实验的教师,实验指导教师与准备实验教师密切配合,按照学生对实验材料和设备用具的个性化需求准备到位。

将一个自然班分成两个大组,每个大组人数基本相同,30 人左右。学生自愿组成小组,每小组 3-4 人。指导教师统一安排一个大组在同一个时间实施研究性实验。研究性实验课上,首先教师指定学生或学生主动宣讲自己的实验方案,指导教师和学生提问题,全体学生讨论。之后指导教师用短时间概述重要概念、展示该模块的主要技术技能、解释实验的基本关键原则。学生针对实验方案自主操作和收集数据。教师负责对整个班级的实验过程组织、协调和全面监管。

#### 1.6 学生实验结果的呈现形式

每个小组成员可以共同比较、分析和讨论实验结果,但要求每个成员要单独处理数据,用自己的文字单独地完成数据分析过程,用自己的方法比较、分析、表达、解释和讨论数据与结果,重申基

本原理等,对意料之外的数据进行分析讨论,重新审视实验设计,形成一个支持假设的结论或凝练一个新假设,并结合文献采用传统实验报告格式独立形成自己的纸质实验报告,在规定时间内上交。各小组自愿做一个包含两个研究性实验的幻灯片,教师将其批注的幻灯片挂到 QQ 群或网盘上,供学生浏览。

#### 1.7 学生研究性实验的成绩评价

对实验方案的评价主要考虑科学性、创新性和自主性;对每个学生实验室表现的评价主要侧重于学生的参与、自觉性和认真程度;对实验报告的质量评价重点主要放在对学生实验报告的批判性思维和逻辑推理方面,不把更多的重点放在对实验结果本身的评价上。为了鼓励学生认真对待,每个小组可获得适当比例的奖励分数,对实验方案贡献最多的成员将获得奖励分数,哪个学生得到奖励分数由每个小组自己定。

以上内容一并编入实验指导书中。

实验实施的全过程,教师要肯奉献、有责任心,要有序和有效地组织,要采取措施调动学生积极参与各个环节,鼓励学生挑战困难。

### 2 微生物学模块式自设计研究性实验教学的实施与结果分析

#### 2.1 选题和实验方案设计

学生参与情况:4 个班级研究性实验教学结果表明,极大多数小组能按时上交实验方案初稿,个别是在教师催促下上交的。上交实验方案初稿前,极少有学生主动与教师商讨实验方案。在设计实验方案初稿时,50%以上小组的组长和最多 1-2 个成员积极参与了试验方案初稿的设计;约 30%的设计方案是经过小组全体成员讨论以后上交的;约 15%是组长一人设计完成的,约有 5%的学生要求自己独自完成实验。约有 10%的小组在教师批阅后更换题目并请教师重新审阅。教师批阅后的初稿返给学生后,30%-50%的小组没有再讨论和修改,而是到实验室后临时进行讨论后再实施实验;实验前对批阅的设计方案进行修改和讨论的小组,

一般都会以不同方式与教师沟通和讨论。可见,在态度上,近一半学生主动性不足或缺乏。

**实验方案设计质量:**在选题上,创造性和创新性不足,大多数题目缺乏思考和拟题的技巧,而直接用教师列出的题目。比如,一些小组直接用“pH 对大肠杆菌生长的影响”作为题目,教师通过与其中一个小组探讨,建议将题目修改为:“不同 pH 的天然和合成培养基对大肠杆菌生长的影响”,并建议学生除了在波长 600 nm 下测定大肠杆菌培养液吸光值外,最好测定两类培养基在灭菌前后和培养后的 pH 值。经这样一改,学生热情高涨。在内容上,多数小组脱离不了传统的“菜谱”式实验模式,设计实验的科学方法还没有真正掌握,有近 20%–30%的方案实验目的(或假设)不明确,处理和对照设置不合理,由表 1 可见一斑:多数实验方案没有独立重复或独立重复数量不足;在实验实施细节的设计上多数学生没有考虑或者考虑不周全,或者设计错误,而且有的错误是由于基本概念、基本技能和方法没有掌握造成的;所有实验方案初稿对实验数据的分析方法几乎没有说明。

## 2.2 实际操作、数据分析和实验报告

学生自主动手按计划协同完成实验方案。通常小组组长负责统筹安排整个实验进程,各小组亲自准备实验所需试剂和器材,参与实验布置。多数学生在实验的实施过程中是积极、主动和善于配合的,但约有 3%–5%的学生在实验中就像旁观者,只是观看而不动手。学生在进行浓度计算、pH 调

节、含微量化学物质溶液的配制等看似简单的工作时却不够明了和自如。在实验实施过程中近 50%的学生会遇到无法解决或不确定答案的问题而求助于老师。1/5 至 1/6 的学生在实验中出现这样或那样错误和失误,导致返工甚至实验失败。

在实验结果观察和分析时,一半学生存在困难,尤其出现不确定的实验结果和未预料到的结果时,甚至束手无策。

可见,学生的基础知识、基本技能、解决问题的能力存在不足。

从实验报告的内容看,多数学生对结果的表述不明确,也不规范,对结果的分析和讨论欠缺或显肤浅。Linn 等研究也发现在大学研究经历的第一年,学生们经常在实验方案建立和进行实验方面花费更多的努力,而放在理解探究或解释结果方面的精力有限<sup>[12]</sup>。究其原因,有钻研习惯、知识积累和分析解决问题能力不足的原因,也有传统实验报告的形式限制学生对试验结果表达和分析讨论的原因。

## 2.3 研究性实验的延展

少数学生针对自己研究性实验内容开展了进一步的研究。比如,有的学生将自己分离的产淀粉酶细菌在微生物遗传育种实验课中采用紫外线进行了诱变;有的学生为了验证自己分离的自生固氮芽孢杆菌的营养类型是化能自养还是化能异养,将其用有氮有碳、无氮有碳、有氮无碳、无氮无碳固体、液体培养基进行培养加以判断。

表 1 关于“阿司匹林对大肠杆菌生长的影响”实验设计方案的科学性修改前后的变化  
Table 1 Changes on the scientific of experimental design scheme before and after modification about ‘Effect of aspirin on the growth of *E. coli*’

	假说 Hypothesis	独立变量 Independent variable	因变量 Dependent variable	阳性对照 Positive control	阴性对照 Negative control
修改前 Before modification	无	在加入某种浓度的阿司匹林溶液的培养基中接种大肠杆菌菌液,培养	培养液在波长 600 nm 处的吸光值	培养基 + 无大肠杆菌菌液	
修改后 After modification	某一浓度的阿司匹林对大肠杆菌生长可能有抑制作用	在加入不同浓度的阿司匹林稀释液(包括高、中、低至少 3 个浓度)的培养基中接种相同量的大肠杆菌菌液,培养	培养液在波长 600 nm 处的吸光值	培养基 + 大肠杆菌菌液	培养基 + 稀释液

### 3 微生物学模块式自设计研究性实验教学的效果及需要完善之处

#### 3.1 研究性实验教学效果的调查

我们设计了研究性实验教学效果的5点李克特量表调查表(Likert scale questionnaire),包括34个调查题目,每个题目设置完全同意(5分)、同意(4分)、既不同意也不反对(3分)、不同意(2分)、强烈反对(1分)5个选项。2015年12月对实施研究性实验的生物技术2012-2014级3个班级开展了教学效果调查。发放180份问卷,共收回问卷144份,采用Excel数据分析功能的中直方图法分析数据。每个问题的平均得分为总和得分[总和得分= $\sum(NL \times L)$ ],其中L为李克特等级(1-5),NL是被调查者在相应李克特等级数量]除以回收的调查问卷总数<sup>[13]</sup>。调查结果表明,所有问题平均得分均在4分以上,其中“在如何提出一个科学的问题,写一个科学的假说方面有所训练”得分最低,“自主控制实验进程”、“实验项目有趣”、“实验学时设计合理,学生花费的时间适当”、“能很好地利用和组织参考文献”得分也较低。88%-96%以上学生认为:实验项目的设计符合研究性和个性化培养要求;要花更多的时间去熟悉自己的实验;在科学设计实验方面也得到了一定锻炼;学生可以合理规划、组织自己的实验;培养了学生的能力,增加了知识;这种实验教学方式有效的教学方式。

#### 3.2 研究性实验教学的效果

模块式自设计研究性实验教学是教师通过帮助和指导大批学生根据自己的意愿从专题模块中选择感兴趣的子题目进行研究,学生在实验课前,花更多的时间理解、讨论实验,也起到了实验前的预习作用;使学生在独立地主动观察和探索、主动思考和分析、主动实践的研究过程中,吸收知识、应用知识、解决问题、获取新颖的经验和表现具有个性特征的行为,激发学生对知识应用、求解的主动性和热情;学生不但受到实验基本技能的训练,也可受到基本的科学研究素质和能力的初步训练;

学生在研究自己题目的同时,能寻求更多、更广泛的信息,对于其他同学题目的关注及其实验结果的了解、探讨和交流也使学生拓宽了知识面和视野。经过3年4轮的教学实践表明,模块式自设计研究性实验的实施不会产生教师数量、实验成本、学时数的显著增加,适合于较大规模学生的研究性实验教学,对提高学生的多方面素质是有利的。

#### 3.3 需要完善之处

今后,微生物学模块式自设计研究性实验还需要对下面几个方面进行完善:(1)丰富自设计研究性实验的形式:增设模块数量,通过增设改造性实验<sup>[13]</sup>、问题、情景或案例丰富各模块子题目的形式,以引导学生深入思考。(2)针对学生不会采用科学方法进行研究性实验方案设计的问题,在实验指导书中和教师布置实验时,要向学生重点交代在实验设计中需要考虑的基本要素,在上交实验设计初稿时,每个小组要建立和上交类似于表1的表格,并列可能影响结果的因素和控制措施。(3)采取有效的方法和措施关注、引导和督促学生主动、积极参与研究性实验各个过程。如:要求学生汇报确定的实验题目并加以引导;让两个不同小组间自愿组成对子交换审阅设计方案,再交给教师审阅;将传统的纸质实验报告形式调整为更全面、灵活的电子版实验报告形式<sup>[14]</sup>。(4)需要适当提高实行研究性教学教师的津贴,以使改革广泛、持续地进行下去。

从研究性实验实施和调查中均发现,学生的科学研究、批判性思维和创新甚至正确的做事态度不是一蹴而就的,需要多门课程、多个环节坚持不懈的努力。

### 参考文献

- [1] Hofstein A, Mamlok-Naaman R. The laboratory in science education: the state of the art[J]. Chemistry Education Research and Practice, 2007, 8(2): 105-107
- [2] Adams DJ. Current trends in laboratory class teaching in university bioscience programmes[J]. Bioscience Education, 2009, 13(1): 1-14
- [3] Biggs J. What the student does: teaching for enhanced learning[J]. Higher Education Research & Development, 1999, 18(1): 57-75
- [4] Sierens E, Vansteenkiste M, Goossens L, et al. The synergistic relationship of perceived autonomy support and structure in the prediction of self-regulated learning[J]. British Journal of

- Educational Psychology, 2009, 79(1): 57-68
- [5] Furtak EM, Kunter M. Effects of autonomy-supportive teaching on student learning and motivation[J]. Journal of Experimental Education, 2012, 80(3): 284-316
- [6] Deane T, Nomme K, Jeffery E, et al. Development of the biological experimental design concept inventory (BEDCI)[J]. CBE Life Sciences Education, 2014, 13(3): 540-551
- [7] Dasgupta AP, Anderson TR, Pelaez N. Development and validation of a rubric for diagnosing students' experimental design knowledge and difficulties[J]. CBE Life Sciences Education, 2014, 13(2): 265-284
- [8] Shen P, Fan XR, Li GW. Laboratory Exercises in Microbiology[M]. 3rd Edition. Beijing: Higher Education Press, 1999: 1,232 (in Chinese)  
沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 1999: 1,232
- [9] Zhou DQ. Laboratory Exercises Course in Microbiology[M]. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press, 2006: 3,13 (in Chinese)  
周德庆. 微生物学实验教程[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 3,13
- [10] Zhou DQ. Microbiology Course[M]. 3rd Edition. Beijing: Higher Education Press, 2011: 372 (in Chinese)  
周德庆. 微生物学教程[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 372
- [11] Madigan MT, Martinko JM. Brock Biology of Microorganism[M]. 11th Edition. New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 2006: 1
- [12] Linn MC, Palmer E, Baranger A, et al. Undergraduate research experiences: impacts and opportunities[J]. Science, 2015, 347(6222): 1261757
- [13] Wu JL. Mutation-based learning to improve student autonomy and scientific inquiry skills in a large genetics laboratory course[J]. CBE Life Sciences Education, 2013, 12(3): 460-470
- [14] Freeman S, Eddy SL, McDonough M, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(23): 8410-8415

## 稿件书写规范

### 论文中阿拉伯数字的使用

凡是可以使用阿拉伯数字且很得体的地方均应使用阿拉伯数字。世纪、年代、年、月、日、时刻必须使用阿拉伯数字，年份必须用全称。对科技期刊来说，凡处在计量单位和计数单位前面的数字，包括9以下的各位数字，除个别特例外，均应使用阿拉伯数字。不是表示科学计量和有统计意义数字的一位数可以用汉字，例如：一本教材、两种商品等。