

# 国际基因工程机器大赛对本科生综合能力培养模式的探索

王启要, 李鹏飞, 高淑红, 李友元, 吴辉, 谭高翼, 范建华, 周勉, 张立新, 庄英萍

华东理工大学 生物工程学院, 上海 200237

王启要, 李鹏飞, 高淑红, 等. 国际基因工程机器大赛对本科生综合能力培养模式的探索. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1457-1463.

Wang QY, Li PF, Gao SH, et al. Exploration of an integrated competency development model for undergraduates training by participating the international Genetic Engineering Machine Competition. Chin J Biotech, 2021, 37(4): 1457-1463.

**摘要:** 华东理工大学生物工程学院从高水平专业比赛出发, 以学生的兴趣为切入点, 依托强大的科研和教学基地, 构建具有“生物创客”精神的人才培养体系和创新实践能力培养体系。充分发挥学生主观能动性, 提升了生物工程类相关专业本科生的科研素养和综合能力。对传统的高校教育模式进行了有效探索, 满足了生命科学飞速发展时期对创新型人才的迫切需求。

**关键词:** 国际基因工程机器比赛, 生物创客, 创新能力培养体系, 合成生物学

## Exploration of an integrated competency development model for undergraduates training by participating the international Genetic Engineering Machine Competition

Qiyao Wang, Pengfei Li, Shuhong Gao, Youyuan Li, Hui Wu, Gaoyi Tan, Jianhua Fan, Mian Zhou, Lixin Zhang, and Yingping Zhuang

School of Biotechnology, East China University of Science & Technology, Shanghai 200237, China

**Abstract:** Starting from participating the high-level professional competition, our school has built a talent training system with the spirit of “biomaker” and an innovative practical ability training system. Such system takes the interest of student as the starting point, and relies on the strong scientific research and teaching infrastructure. The programme gives full play to students’ initiatives and enhances the scientific research literacy and comprehensive ability of undergraduates majoring in biotechnology. It is an effective exploration of the traditional university education model and meets the urgent demand for innovative talents training in the era of rapid development of life sciences.

**Keywords:** international Genetically Engineered Machine Competition, biomaker, innovation ability training system, synthetic biology

**Received:** July 14, 2020; **Accepted:** October 12, 2020

**Corresponding author:** Yingping Zhuang. Tel: +86-21-64251257; E-mail: ypzhuang@ecust.edu.cn

网络出版时间: 2020-11-25

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1998.Q.20201124.1723.002.html>

自 2015 年 6 月我国国务院印发《关于大力推进大众创业万众创新若干政策的意见》以来,国内高校加大力度推进创新创业教育,积极支持学生创新创业<sup>[1]</sup>。“大众创业、万众创新”已成为经济增长的新动力和源泉,它为我国加快建设创新型国家,推进经济转型升级,抢占国际竞争战略制高点提出了新的发展思路,也为实现《中国教育现代化 2035》总体目标,为我国全面迈入教育强国行列打下良好基础。另外,创新创业教育也是高等学校的重要任务,是建设一流大学、一流学科的重要组成部分。如何结合目前高等教育体系,大量培养具有“酷爱科技、知行合一、追求卓越”创客精神的各类创新、创业人才已成为在新形势下教学改革的重要任务。

我校生物工程专业被誉为中国抗生素制造人才培养的摇篮,是在 1955 年“抗菌素制造工学”专业的基础上发展成长起来的,在国内外生物化工、生物医药、生物工程、抗生素和食品发酵等领域具有重要的影响力<sup>[2]</sup>。然而进入新世纪以来,生命科学领域发生了翻天覆地的变化,也对我校现有的生物工程类专业人才培养模式提出新的要求和挑战。因此我校在教学过程中积极探索新模式,完善人才培养机制,尤其注重培养学生的创新能力,强化创新创业实践,健全创新创业教育体系,严格遵循“兴趣驱动、自主实践、重在过程”的原则,积极调动学生的兴趣,充分发挥学生的主观能动性<sup>[3]</sup>。众所周知,智能革命极大地改变了生物工程的内涵和外延,我校也将传统的以微生物发酵过程为特色的生物工程逐渐转变为融合了细胞和 DNA 工程化设计的合成生物学新模式,以满足人类对生物产品多样化的需求。

“合成生物学”是在遗传工程概念的基础上提出的,是 21 世纪初期兴起的一门交叉学科,为了满足人们对生物制品的需求而设计自然界中不存在的生物系统,它强调对生物系统进行有目的的工程设计<sup>[4]</sup>。合成生物学与传统的生命科学有着

本质的区别,传统的生命科学强调“发现式的科学研究”,而合成生物学则是从应用目的出发,对以生物为基础的元件、器件和系统以及对现有的天然生物系统的重新设计和工程化。随着生命科学和计算机科学等学科的发展,尤其是 2012 年以来基因编辑技术的发展,科学家们把化学、工程学和计算机科学等不同学科成果引入到生物学中,做出了大量杰出的工作,对合成生物学的发展产生了深远的影响。合成生物学的飞速发展带动人类沿着“格物致知-建物致知-建物致用”的轨道快速认知和改造生物系统,推动生物工程学科进入“智能生物制造”新时代<sup>[5-9]</sup>。学院近年来搭建生物创客(Biomaker)创新创业平台,构筑并实践生物工程相关学科理工结合、交叉创新的人才培养体系。

国际基因工程机器大赛(全称 international Genetically Engineered Machine Competition,简称 iGEM)是美国麻省理工学院于 2005 年发起,旨在推动合成生物学的发展并且培养合成生物学方向的跨学科人才,给各国大学生提供一个良好的学习和交流的平台。学生在各自学校通过自己构建或者利用组委会提供的生物元器件在生物系统中构建出基因回路,建立有效的数学模型,以实现复杂人工生物系统的预测和操纵。每年 11 月来自五大洲的研究生、大学生甚至是高中生都齐聚美国麻省理工学院参与比赛角逐,各参赛队伍展示自己的工作,评选出各类奖项,大赛总冠军将荣获“最终唯一大奖”(The Only Grand Prize)<sup>[10]</sup>。

## 1 国际基因工程机器比赛实施基础

我校依托生物反应器工程国家重点实验室、国家生化工程技术研究中心和上海市发酵工程实验教学示范中心等科研和教学基地,成功建成了开放共享的“生物创客”LCS (Lab+Club+Shop) 创新创业基地,指导学生设计产品、生产产品、推介产品,实现从实验室(Lab)模型到俱乐部(Club)再到成果转化(Shop)的最终环节,打通

从想法和理念,到实施验证,再到成品上市的完整生态链,促进科技成果转化。建设形成了生物工程特色的本科创新项目库(平均约65项/年)、创新创业课程群(含11门课程)、专业品牌学科竞赛(4个)和创新创业学生社团(5个)等,具体如图1所示,全方位、渐进式的创新能力培养体系为iGEM比赛奠定了良好的基础。

(1) 成立了“生物创客”创新俱乐部,建设创新教育师资队伍,组建了以专业责任教授和知名教授组成的本科创新咨询顾问委员会,建立了创新活动组织机制。聘任了40名院内外的教师以及企业导师成立大学生创新创业指导教师小组,为iGEM、挑战杯和全国大学生生命科学竞赛等创新活动提供师资保障,促进教师教研融合和产学研融合。导师在进行创新活动时也加强了老师间的交流和互动,为学生们树立了“酷爱科技、知行合一、追求卓越”的榜样,真正做到言传身教。

(2) 以国家级研究基地作为双创活动科研支撑,实现产学研互动和创新文化传承。依托生物反应器工程国家重点实验室和国家生化工程技术研究中心等基地形成了良好的研究基础和创新氛围,组织通海讲堂、俞俊棠论坛以及生工讲坛系列讲座,传承创新文化历史,培育学生创新精神。“格物致知、建物致知和建物致用”既是生物工科学科发展的规律,也符合生物工程类学生对生物系统过程认识的规律:从对生物系统的观察开始,改造并对其进行进一步认知,最终创造新的有用系统。“生物创客”创新实践体系找准学科的发展脉搏,紧扣生物工程创新人才成长规律,建设了具有较强内在驱动力和自主适应性的创新型人才培养体系。

(3) 搭建了“生物创客”本科创新创业实验室依托上海市发酵工程实验教学示范中心教学基地,在奉贤校区成立“生物创客”本科创新实验室:

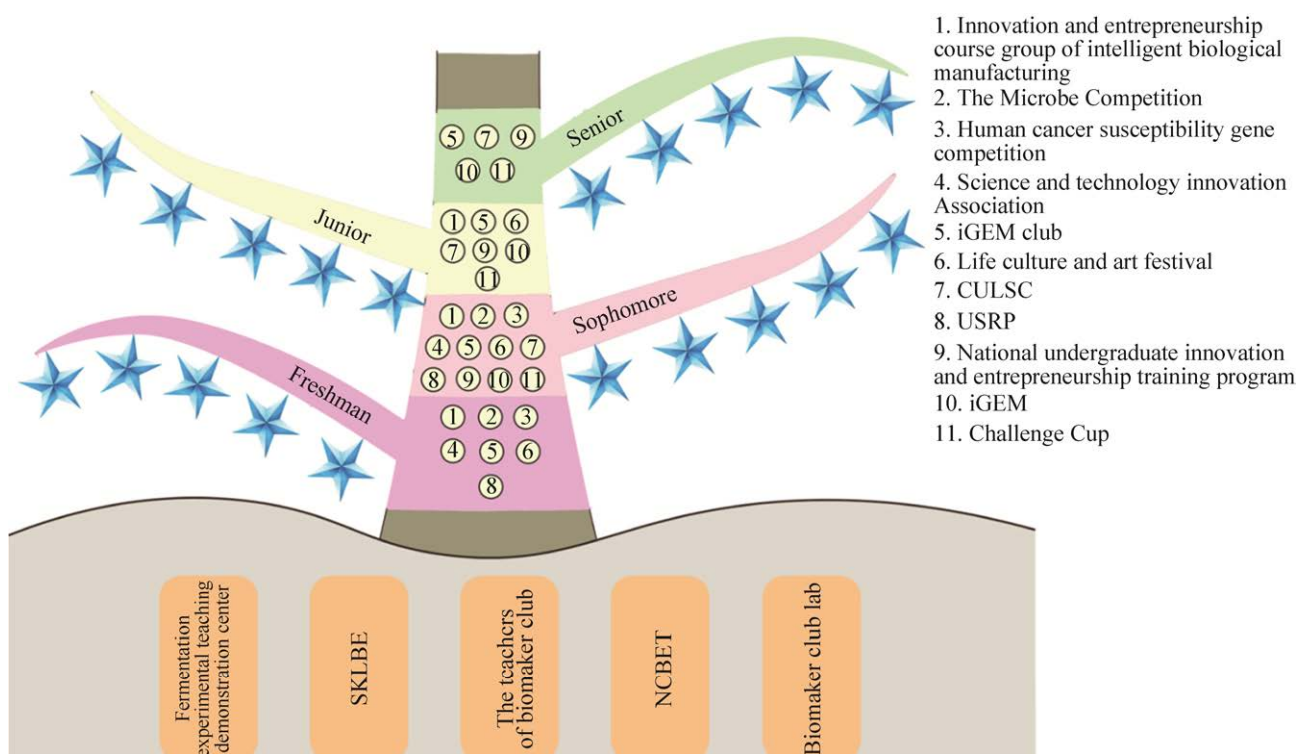


图1 全方位、渐进式的创新能力培养体系

Fig. 1 An all-round and progressive cultivation system of innovation ability.

① 5M 实验模块：基因挖掘 (Mine)、分子模拟 (Model)、基因改造 (Manipulate)、生产制造 (Manufacture) 和过程监测 (Monitor) 等智能生物制造模块；② LCS 功能：包括实验室、俱乐部到创新成果展示 (Lab+Club+Shop) 等区域；③ 安全开放：开发预约与仪器智能管理系统，实现安全管理和充分开放，鼓励本科生自由探索，通过 DIY 实现创新想法。

(4) 建立了具有“生物创客”精神的人才培养体系。制定了培养目标、培养方案、课程体系、科创训练、教师梯队、持续改进等教学管理制度，将“生物创客”教育理念贯穿于整个培养体系，构筑生物工程类学生的双创教育生态系统，强化学生工程能力和创新能力培养。分层次、凸特色的课程体系、科创项目以及“生物创客”创新实践平台对全校所有专业完全开放，形成学科间的交叉碰撞，尤其是与化学、机械工程、计算机科学、艺术设计和商学等学科学生的交流，进一步实践多学科结合和交叉创新教育理念，形成“生物创客”创新实践体系，有利于跨学科创新人才的培养。

(5) 建设了智能生物制造创新创业课程群和品牌竞赛活动。建设了包括专业核心课“生物产业与工程经济学”“智能生物制造”“生物信息学”和公选课“iGEM 与合成生物技术”“遗传之神奇 DNA”“微流控：创新与应用”“生物学论文撰写 ABC”等共 11 门课程的智能生物制造双创课程群，形成了专业特色品牌竞赛活动，如趣味微生物学竞赛和人类癌症易感基因大赛等，推动了各级大创立项。

(6) 组织成立了本科生创新活动社团，提升学生创新实践能力。通过“雏鹰计划”，成立了本科学创部、生工科创团和 iGEM 俱乐部等社团活动，参加一系列国内外学科竞赛，举办生命文化艺术节展示创新创业成果，营造创新氛围，培养学生的创新能力。

## 2 国际基因工程机器比赛实施模式

基于我校良好的项目实施条件，团队根据自身的特点，构建了我校 iGEM 的实施模式，具体分为 3 个阶段：“创意海选阶段”“创意 PK 阶段”以及“项目孵育阶段”。

### 2.1 创意海选阶段

每届 iGEM 赛事于 11 月份结束后，学院创新俱乐部都会安排老师和队员一起进行比赛总结暨新一届 iGEM 的比赛宣讲。往届参赛队员首先会进行比赛总结，找出项目执行过程中出现的问题，总结经验教训且形成文字稿，并以“传-帮-带”的形式参与到下一届项目中，正如我国古语所云：扶上马，送一程，以保证我校 iGEM 活动顺利过渡到下一届，此阶段通常是从上一年的 11 月底至次年新学期伊始，学生可根据各自兴趣组成小分队，在老队员的带领下充分利用寒假时间进行头脑风暴，每周进行线上会议完善各小分队项目，并确定初步的项目方案。

### 2.2 创意对决阶段

春季学期开始后，“生物创客”创新俱乐部的指导老师会组织学生进行项目汇报，老师从项目的创新性、必要性和可行性等方面进行打分，挑选出 3-4 个相对比较成熟的项目，队员根据自己的兴趣和特长在几个比较成熟的项目中挑选一个项目加入，然后进行新一轮的人员调整，对项目进行完善，4 月底进行项目的第二轮答辩，根据答辩结果，导师团挑选出 1-2 个项目确立为新一轮的 iGEM 参赛项目，并基本确定本年度的参赛队员名单。

### 2.3 项目孵育阶段

队员们根据自己的兴趣和特长分成实验组、建模组、HP 组和 wiki 组，且每位同学不限于一组，指导老师每周召集队员们讨论项目进展和遇到的问题，完成项目前期设计和实验前的案头工作。同时队员利用课余时间往届队员、研究生

和指导老师的指导下完成实验室安全培训和实验基本技能培训,并且在此时间段完成项目预实验。暑假开始后,学生会开展连续性实验,队员们每周汇报实验结果,指导老师及时针对分析实验阶段出现的问题,分析原因讨论出解决方案,从而保证项目顺利地推进。所有队员的暑期基本都在实验室度过,埋头苦干地做实验,尝试科研工作者的生活模式,这对队员们来说是一个极大的考验,同时也是一次很好的锻炼。

### 3 国际基因工程机器比赛取得的成效

自 2016 年以来,在学科发展新时代的背景下,针对创新型人才培养和学生创新素养培养的需求,我校生物工程相关专业追求卓越,积极开展系统的教学研讨、改革和实践活动,鼓励同学积极参加 iGEM、全国大学生生命科学竞赛和全国大学生生命科学创新创业大赛等生物类竞赛,以期达到以赛促学、以赛促练、以赛促教的效果。自 2017 年以来,我校连续 3 年参加 iGEM 大赛,分别为“Light Harvester”(光捕获者)、“Iron Guardian”(铁卫士)、“Paper Transformer”(纸变形金刚)队伍连续 3 年蝉联金奖,并于 2019 年获得生物制造赛道单项最佳的大奖,受到了国内外合成生物学领域专家的广泛关注<sup>[1]</sup>。

项目从创意开始就完全由学生自主设计,整个实验过程、结果讨论和成果发布等完全由学生全程主导,自主探索,自主实践,实现了自我管理,充分体现了“生物创客”精神。学生在此过程中积极参与比赛,充分享受比赛带来的乐趣,得到了科研给自己带来的成就感。培养了队员们对生命科学的热爱,3 年来我校参加 iGEM 项目的 27 名同学无一例外全部选择继续深造,其中部分同学选择留校继续攻读研究生,还有 2 人选择了出国深造,4 人选择了中国科学院系统,其他同学均选择了如清华大学、复旦大学、上海交通大学和西湖大学等国内一流大学继续深造。

所有学生自参加 iGEM 以来,队员们的学习

兴趣和学习积极性大为提高。具体情况如图 2 所示,所有队员自从进入三年级以来,成绩都得到了明显的提高,所有 27 名同学平均分提高了约 2.761 分,其中部分同学的平均分甚至提高了 5.38 分。尤其是大三学年里如分子生物学、细胞生物学和现代生化技术等与 iGEM 密切相关的专业课程,所有队员的绩点均为 4.0。由此可见,iGEM 在明显提高队员科研能力的情况下,也可以提升学生对课业学习的动力,增加学生的学习激情。

项目执行的过程中锻炼了队员们的综合能力。在暑假的高强度连续实验阶段,不仅考验着学生对科研生活的适应能力,还培养了队员们吃苦耐劳的精神和团队协作能力,锻炼了队员们不畏困难的意志。队员们自参加 iGEM 以来,改变了自己的学习状态,由被动学习变为主动学习,而且会以主人翁的状态积极参与到班级建设上来,主动帮助身边同学,我院学生考试不及格率显著下降。近两年我院学生平均深造率达 46%,部分专业甚至达到了 64%,实现了班级的攀升计划。

相较于我国其他生命科学竞赛,iGEM 比赛包括实验组、建模组、社会实践组和 wiki 组,工作量大,同时需要设计出崭新的基因电路,且需要在一年内完成所有的工作。比赛具有工作难度大、强度高和学科交叉性强,这些困难很容易让学生产生挫败感,需要建立一定的评价机制,及时对队员进行引导、激励和鼓励。培养学生直面困难的精神,快乐地享受比赛。

综上所述,我校自参加 iGEM 以来,解决了传统教学模式中出现的学生专业兴趣不高、学习专注力和耐力不够及学习效果差等问题,同时还增加了学生彼此之间交流的机会,尤其提供了与外专业学生协作交流的平台。这是新形势下生命科学相关专业学生培养模式的一种有效探索,以期满足新时期生命科学的飞速发展对创新型复合人才的迫切需求,为社会和用人单位培养了具有创新实践能力的新型生命科学专业人才。

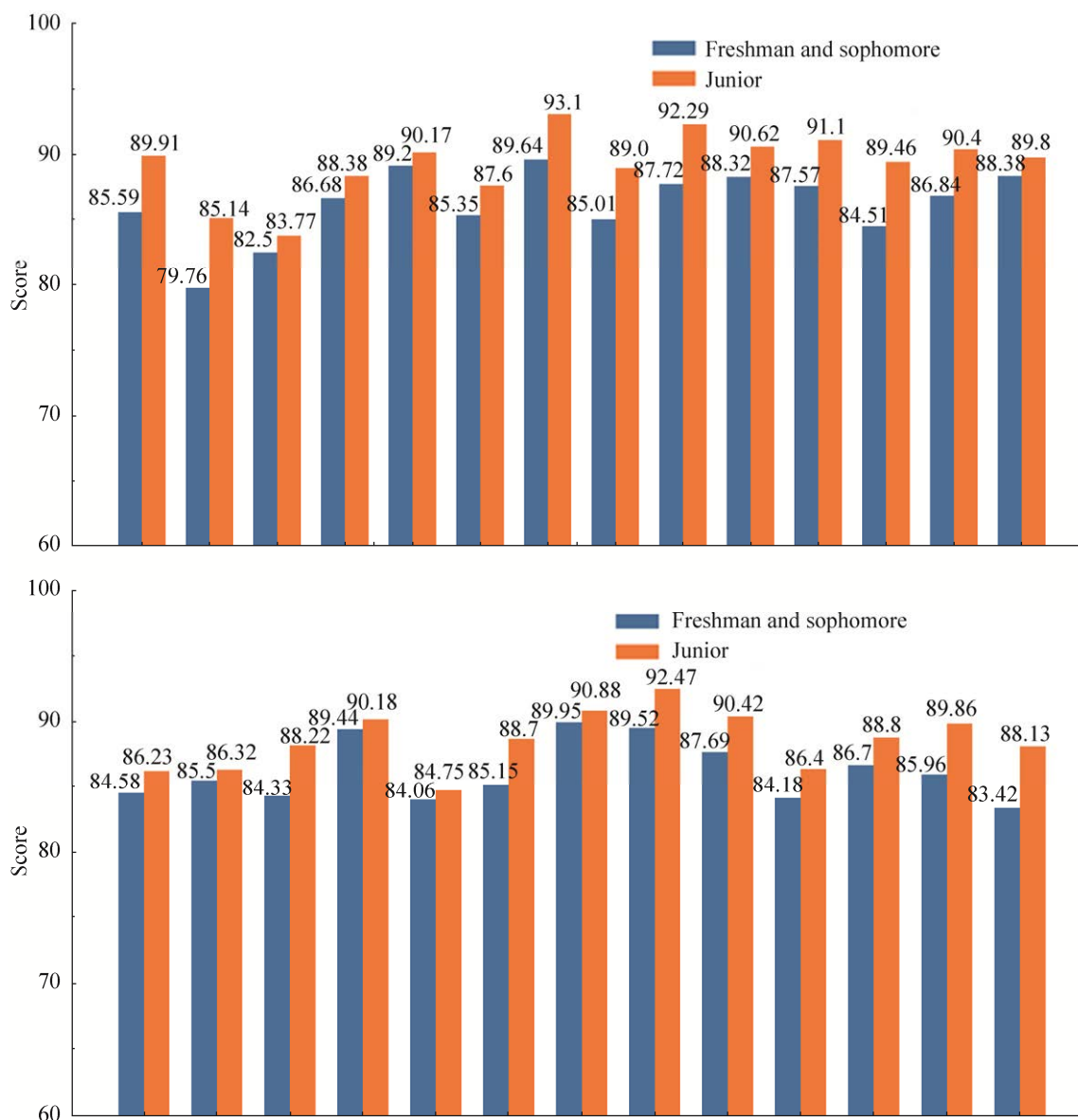


图 2 参赛学生成绩分析

Fig. 2 Analysis of students' scores.

## REFERENCES

- [1] 国务院关于大力推进大众创业万众创新若干政策措施的意见[EB/OL]. [2020-03-27]  
[http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-06/16/content\\_9855.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-06/16/content_9855.htm).
- [2] 叶江, 李鹏飞, 张惠展, 等. 基于布鲁姆教育目标体系构建分子生物学实验综合考评体系. 生命的化学, 2020, 40(3): 458-462.  
Ye J, Li PF, Zhang HZ, et al. Establishing a

comprehensive evaluation system for Molecular Biology Experiments based on Bloom's taxonomy of educational objectives. *Chemistry of Life*, 2020, 40(3): 458-462 (in Chinese).

- [3] 李鹏飞, 赵健, 范立强, 等. 基于创新平台的研究型人才培养模式探索. 化工高等教育, 2016, 148(2): 25-27, 52.  
Li PF, Zhao J, Fan LQ, et al. Exploration on the cultivation pattern of research-oriented talents based on innovation platform. *Higher Education in*

- Chemical Engineering, 2016, 148(2): 25-27, 52 (in Chinese).
- [4] Rawls, RL. 'Synthetic biology' makes its debut. *Chem Eng News*, 2000, 78: 49-53.
- [5] 刘立中, 白阳, 郑海, 等. 合成生物学在基础生命科学研究中的应用. *生物工程学报*, 2017, 33: 351-323.  
Liu LZ, Bai Y, Zheng H, et al. Fundamental aspects of synthetic biology. *Chin J Biotech*, 2017, 33(3): 315-323 (in Chinese).
- [6] Liu C, Fu X, Huang JD. Synthetic Biology: a new approach to study biological pattern formation. *Quantitative Biology*, 2013, 1: 246-252.
- [7] 赵国屏. 合成生物学: 开启生命科学“会聚”研究新时代. *中国科学院院刊*, 2018, 33: 1135-1149.  
Zhao GP. Synthetic biology: unsealing the convergence era of life science research. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33: 1135-1149 (in Chinese).
- [8] 张先恩. 2017合成生物学专刊序言. *生物工程学报*, 2017, 33(3): 311-314.
- Zhang XE. Preface for special issue on synthetic biology (2017). *Chin J Biotech*, 2017, 33(3): 311-314.
- [9] 邓子新. 合成生物学趁最好时代, 建物致知, 建物致用. *生命科学*, 2019, 31: 323-324.  
Deng ZX. Synthetic biology takes advantage of the golden age, building to know, building to use. *Life Sci*, 2019, 31: 323-324 (in Chinese).
- [10] 吕原野, 张益豪, 王博祥, 等. 国际基因工程机器大赛对本科生科研教育的启示. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1923-1930.  
Lü YY, Zhang YH, Wang BX, et al. Bringing scientific research education closer to undergraduates through international Genetically Engineered Machine Competition. *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1923-1930 (in Chinese).
- [11] 张先恩. 中国合成生物学发展回顾与展望. *中国科学: 生命科学*, 2019, 49: 1543-1572.  
Zhang XE. Synthetic biology in China: review and prospects. *Sci Sin Vitae*, 2019, 49: 1543-1572 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)