

合成生物学与国际遗传工程机器大赛对培养大学生双创思维与能力的影响

简甜甜, 李遂焰, 廖海, 周嘉裕, 朱乾坤, 黄新河

西南交通大学 生命科学与工程学院, 四川 成都 610041

简甜甜, 李遂焰, 廖海, 周嘉裕, 朱乾坤, 黄新河. 合成生物学与国际遗传工程机器大赛对培养大学生双创思维与能力的影响. 生物工程学报, 2022, 38(4): 1619-1630.

JIAN TT, LI SY, LIAO H, ZHOU JY, ZHU QK, HUANG XH. Cultivation of college students' innovative and entrepreneurial thinking and ability based on Synthetic Biology and iGEM. Chin J Biotech, 2022, 38(4): 1619-1630.

摘 要: 合成生物学是 21 世纪前沿交叉学科, 是现代生物学最具发展空间的领域之一。随着合成生物学的迅速发展, 国际基因工程机器大赛 (International Genetically Engineered Machine, iGEM) 应运而生。iGEM 竞赛项目基于合成生物学学科基础, 应用现代生物学技术手段, 立足解决社区和身边的实际生物相关问题。近年来, 随着参赛团队的不断增加, iGEM 竞赛得到了广泛的关注与发展。本文基于合成生物学发展概况, 通过对 iGEM 竞赛 2018–2020 年获奖项目情况进行分析, 并结合西南交通大学 iGEM 团队的参赛经历, 剖析 iGEM 竞赛在培养大学生双创思维和能力中的重要意义和实现途径。

关键词: 合成生物学; iGEM 竞赛; 学科交叉; 创新创业

Cultivation of college students' innovative and entrepreneurial thinking and ability based on Synthetic Biology and iGEM

JIAN Tiantian, LI Suiyan, LIAO Hai, ZHOU Jiayu, ZHU Qiankun, HUANG Xinhe

School of Life Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610041, Sichuan, China

Abstract: Synthetic Biology is one of the most promising fields of modern Biology and a frontier

Received: September 11, 2021; **Accepted:** December 22, 2021; **Published online:** January 4, 2022

Supported by: Key Project of Southwest Jiaotong University Education Teaching Reform (20201031); Sichuan Province Education Reform Project, China (JG2018-149)

Corresponding author: HUANG Xinhe. E-mail: Xinhehuang@swjtu.edu.cn

基金项目: 西南交通大学教育教学改革重点项目 (20201031); 四川省教改项目 (JG2018-149)

interdisciplinary subject in the 21st century. With the rapid development of synthetic biology, the International Genetically Engineered Machine (iGEM) competition has emerged. The iGEM competition, based on the subject foundation of Synthetic Biology, intends to solve the biological problems in our daily life by applying modern biological technology. In recent years, with the continuous increase of participating teams, the iGEM competition has received extensive attention and achieved great progress. On the basis of the development of Synthetic Biology, we analyzed the 2018–2020 award-winning projects of the iGEM competition and illustrated the role and significance of the iGEM competition in cultivating college students' innovative thinking and ability with the participation experience of the iGEM team of Southwest Jiaotong University as an example.

Keywords: Synthetic Biology; iGEM; interdisciplinary; innovation and entrepreneurship

生命科学研究正处于从外到内、从静到动、从定性到定量的过渡时期，越来越多的生物学家、物理学家、化学家们积极尝试将各种科学技术的成果予以标准化和模块化，因此一个多学科交叉的新兴学科诞生了——合成生物学^[1]。合成生物学是推动创新突破、学科之间交叉融合的前沿代表。目前我国合成生物学的青年学者力量成倍增长，凸显了合成生物学在我国的迅猛发展。

iGEM 竞赛有效促进了中国高校教育人才培养与科学研究朝有机融合交叉的方向发展。参加 iGEM 竞赛，可以使学生受到全方位的训练，开拓视野、增强自信心^[2]，还可以发挥青年人的双创思维，因此这样一种新型的教育训练模式在我国得到迅速推广^[3]。大学生群体是实现科技创新的重要力量，如何培养并提高大学生的双创思维和能力是各大高校需要重视的问题。

本文对 iGEM 竞赛近 3 年获奖情况进行分析，并结合我校生物工程中美班 iGEM 团队的参赛经历，探讨 iGEM 竞赛的重要意义和作用，以期利用学科交叉融合的“催化剂”，为培养复合型创新人才和深化高校教学改革提供有益的经验借鉴。

1 合成生物学

1.1 合成生物学最新定义

目前合成生物学已从“声明”阶段进入研究和快速发展阶段。然而由于合成生物学领域正处于多种生物学研究领域的交叉口，学界对于“合成生物学”的定义还处于开放、探索阶段^[4]。

Eric T. Koo 教授将“合成生物学”定义为：利用有机和生物化学的合成能力来设计在生物系统中起作用的非天然合成分子，并通过仔细调整这些合成分子的性质，可以使研究人员了解正在研究的系统中发生的化学反应^[5]。中国科学家对其做了概括：合成生物学采用“自下而上”的理念，不断推进到“建物致知，建物致用”的新高度^[6-8]。虽然各种定义在科学范畴内有不同的认识，但目前大多数学者赞同合成生物学应包括^[9]：①新的生物元件、组件和系统的设计与建造；②对现有的、天然生物系统的重新设计。

1.2 合成生物学发展历程

“合成生物学”这一术语的出现可追溯到 100 年前——由法国化学家 Stéphane Leduc 在 1911 年发表的《生命的机理》一书中首次提出^[10]。20 世纪 90 年代，随着基因组学和系统生物学

的兴起,生物信息学等新兴交叉学科的发展,合成生物学应运而生。合成生物学是本世纪最受关注的研究主题之一,有望成为21世纪引领生命科学技术发展的带头学科,引领“第三次生物科技革命”^[11]。

Cameron 等^[12]将合成生物学的发展分为以下几个时期,起源期(1961–1999年),可追溯到1961年,操纵子模型被提出;奠基期(2000–2003年),主要为合成生物学的创建和发展时期;发展中期(2004–2007年),合成生物学的范围和规模开始急剧增加和扩大,但工程进展滞后;创新加速和实践转化期(2008–2013年),新技术和新方法不断涌现,向着生物技术和医学方面的实际应用迈进;新阶段(2014年之后),合成生物学蓬勃发展,实现相关技术的重要突破,获得全面提升。结合赵国屏^[8]、Cameron 等^[12]、张柳燕等^[13]、张先恩^[14]的文献,本文总结描绘了合成生物学各时期的里程碑进展(图1)。

1.3 合成生物学与 iGEM

合成生物学是一门新兴的交叉学科,包含

多项颠覆性前沿技术,为吸引并培养后备人才,iGEM 竞赛应时而生^[15]。iGEM 竞赛是合成生物学领域的顶尖赛事,要求参与者能运用合成生物学理论和技术^[16],并通过竞赛形式,回答合成生物学中的核心问题——能否在活细胞中使用可互换的标准化组件构建简单的生物系统,并加以操控。iGEM 竞赛是合成生物学发展的主要载体,其不仅是学习平台,还是合成生物学的展览橱窗。

2 iGEM 竞赛

2.1 iGEM 简介

国际遗传工程机器大赛(International Genetically Engineered Machine, iGEM)是合成生物学领域顶尖国际学术竞赛盛会,致力于合成生物学的发展,使学生有机会通过解决世界各地所面临的日常问题来突破合成生物学领域的界限。iGEM 涉及到生物、信息、数学和艺术设计等多学科交叉,旨在通过利用标准的可替换生物元件(standard biological parts, BioBricks)和分子生物学技术来构建基因回

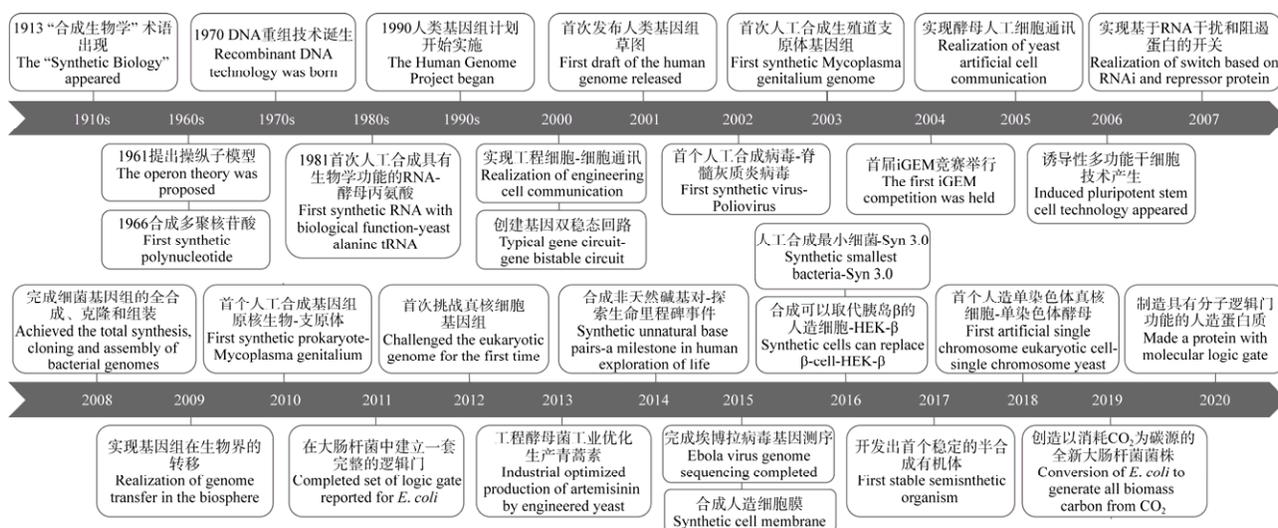


图1 合成生物学标志性进展(1913–2020年)

Figure 1 Significant progress in Synthetic Biology (1913–2020).

路和人工生物组件或系统, 建立有效的数学模型, 实现对复杂人工生物系统 (artificial biosystem) 的预测、操纵和测量, 以解决现实生活中所遇到的挑战和难题, 为世界做出积极的贡献^[17]。

2003年1月, iGEM首次在美国麻省理工学院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 作为一门独立学习课程出现; 2005年发展成真正的国际赛事^[18]; 随着竞赛规模发展壮大, 时至2020年, iGEM参赛团队已扩展到五大洲40多个国家或地区 (iGEM官网将亚洲和大洋洲的队伍统一算为亚洲), 350多支队伍, 超过6500名参赛者。

2.1.1 iGEM 竞赛流程与内容

每年iGEM竞赛的时间表稍有不同, 但都主要分为3个阶段: 设计和选题 (12–4月)、实验准备和实施 (5–8月)、备赛和参赛 (9–12月)^[19]。根据iGEM官方网站 (http://igem.org/Main_Page) 公布内容, 以2020年竞赛流程为参考, 竞赛具体为: 12–1月开始组建队伍, 进行头脑风暴并设计题目; 2–3月, 团队注册开始; 注册成功后, 4月iGEM官方邮寄DNA distribution Kit; 5–8月为项目主要开展时间, 在此期间, 团队自主设计、测试、优化和完善项目并在官网上进行各项内容注册; 9月总结项目结果, 完成维基 (Wiki)、海报制作并寄送新的DNA元件; 10月测试项目并冻结材料; 11月, 队伍参加Giant Jamboree, 展示项目成果; 12月竞赛结束。

iGEM项目内容由4个模块组成: 生物学实验、社会实践 (human practice, HP)、数据建模、美工和Wiki, 不仅涉及生物工程学内容, 还需要计算机、化学、数学、社会科学等多个学科多角度交叉协同完成^[20]。

2.1.2 iGEM 竞赛获奖条件

iGEM的评审多元化, 每年的奖项评判规则会有一些的变化, 但组委会要在官网上发布最新的评审手册 (judging handbook), 以方便项目团队的自我评估, 这也是评委进行评审奖项的基础。官方的奖项主要分3个部分: 侧重于项目完成度的金、银、铜奖, 单方面最佳的单项奖和赛道总冠军奖 (grand prize)。根据iGEM官方网站 (http://igem.org/Main_Page) 公布的内容, 以2020年竞赛为例, 团队需要完成下列内容方可获奖 (表1)。

2.2 2018–2020年获奖情况分析

近年来, iGEM影响力不断扩大, 吸引了全球各地的高校学生积极参赛, 其中包括斯坦福大学、哈佛大学、牛津大学、剑桥大学、清华大学、北京大学等多所世界著名高校。根据iGEM官方网站公布的数据, 本文对2018–2020年总决赛获奖项目进行了统计分析。

2.2.1 队伍分布与获奖情况

iGEM竞赛规模不断扩大, 2018年共有来自40个国家的340支队伍参赛, 2019年有来自45个国家的353支队伍参赛, 2020年虽然受新冠疫情的影响, 但仍有来自35个国家的249支队伍参加。

从图2可看出, 每年参赛团队都取得了优异的成绩, 3年的获奖总数分别为354、356、317个, 其中以金奖和单项奖为主要获奖类型, 2020年受新冠病毒的影响, 获奖总数相较前两年有所下降。从图3看出, 3年来参赛队伍地理分布集中在亚洲、欧洲、北美洲, 获奖队伍最多的来自亚洲 (3年总获奖数为491个), 其次是欧洲 (270个)、北美洲 (207个)、拉丁美洲 (33个) 和非洲 (6个)。

表 1 获奖评审条件

Table 1 Award judging criteria

奖项 Medals	获奖条件 Conditions	备注 Remark
铜奖 Bronze	可交付成果 Competition deliverables 项目贡献 Contribution 工作内容阐述 Attributions 项目说明 Project description	必须满足铜奖的 4 个标准 All criteria must be met
银奖 Silver	项目的完成 Engineering success 团队间合作 Collaboration 社会实践 Human practices 项目的实现 Proposed implementation	在铜奖的基础上满足银奖的 4 个标准 All Bronze criteria must be met, plus all Silver criteria below must be met
金奖 Gold	具有完整的社会实践 Integrated human practices 零件改进 Improvement of an existing part 项目模型 Project modeling 概念证明 Proof of concept 合作关系 Partnership 科学交流 Science communication 另一个领域也具有成就 Excellence in another area	在银奖的基础上满足 7 个金奖标准中的 2 个 All Bronze and Silver criteria must be met, plus at least two Gold criteria below must be met
最佳单项奖 Best awards	赛道奖: 最佳环境、基础进展、治疗、诊断、新应用、制造、食品与营养、软件、开放、能源、信息处理 Track awards: best environment, foundational advance, therapeutics, diagnostic, new application, manufacturing, food & nutrition, software, open, energy, information processing 单项奖: 最佳综合人力实践、教育、建模、测量、创业精神、软件工具、硬件、植物合成生物学、新基础生物砖、复合生物砖、生物砖收集、维基、演讲、海报、可持续发展、包容性奖 Special prizes: best integrated human practices, education, model, measurement, supporting entrepreneurship, software tool, hardware, plant synthetic biology, new basic part, new composite part, part collection, Wiki, presentation, poster, sustainable development impact, inclusivity award	
总冠军奖 Grand	最佳单项奖+最佳 Wiki、最佳演讲、最佳海报奖 Best awards+best Wiki, best presentation, best poster	

iGEM 参赛队伍来自世界各地, 从各国参赛队伍获奖情况可知 (图 4), 获奖队伍最多的前 5 个国家依次为中国 (385 个, 含台湾、香港和澳门地区)、美国 (159 个)、德国 (60 个)、英国 (45 个)、加拿大 (39 个), 中国是参赛队伍数最多的国家, 也是获得各项奖项数最多的国家, 尤其是金奖和单项奖。目前 iGEM 竞赛主要针对高中生、大学生和研究生, 选取国家排名前 3 的国家进行统计可知 (图 5), 本科生为参赛主力军, 其次是高中生。2020 年德国参赛队伍情况相反, 其研究生团队为主要的参赛力量。从图中可看出我国高中生参赛队伍迅速

增长, 2020 年中国高中生队伍最多, 这可能与高中生出国接受本科教育意愿有关^[20]。

从图 4、图 5 和表 2 可看出, 中国团队在 iGEM 竞赛中表现优异, 其中来自深圳大湾区的 GreatBay 团队在 2018 年通过微生物相互分工合成生产荆芥内酯 (猫薄荷中的有效成分), 用于富有同情心地控制流浪猫和野猫的数量; 该团队在 2019 年创建了“蜘蛛侠战衣” (带有色蛋白和天然染料的蜘蛛丝), 用于彩色蜘蛛丝的生物合成; 2020 年厦门大学 XMU-China 团队基于合成生物学思路构建了茶叶中农药残留物草甘膦检测与降解方法; GreatBay SCIE 团

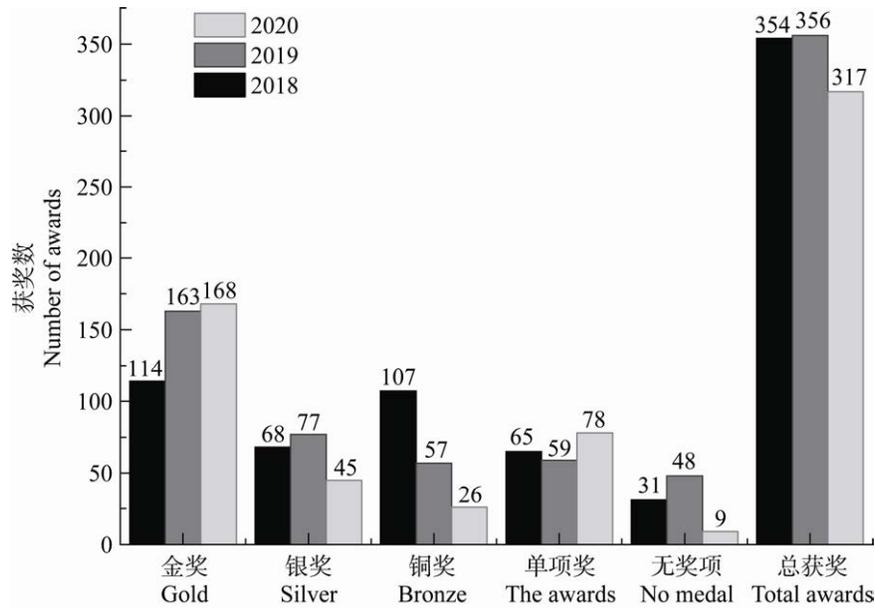


图 2 2018–2020 年金、银、铜、单项奖、无奖项及总奖项情况
Figure 2 Awards of iGEM teams from 2018 to 2020.

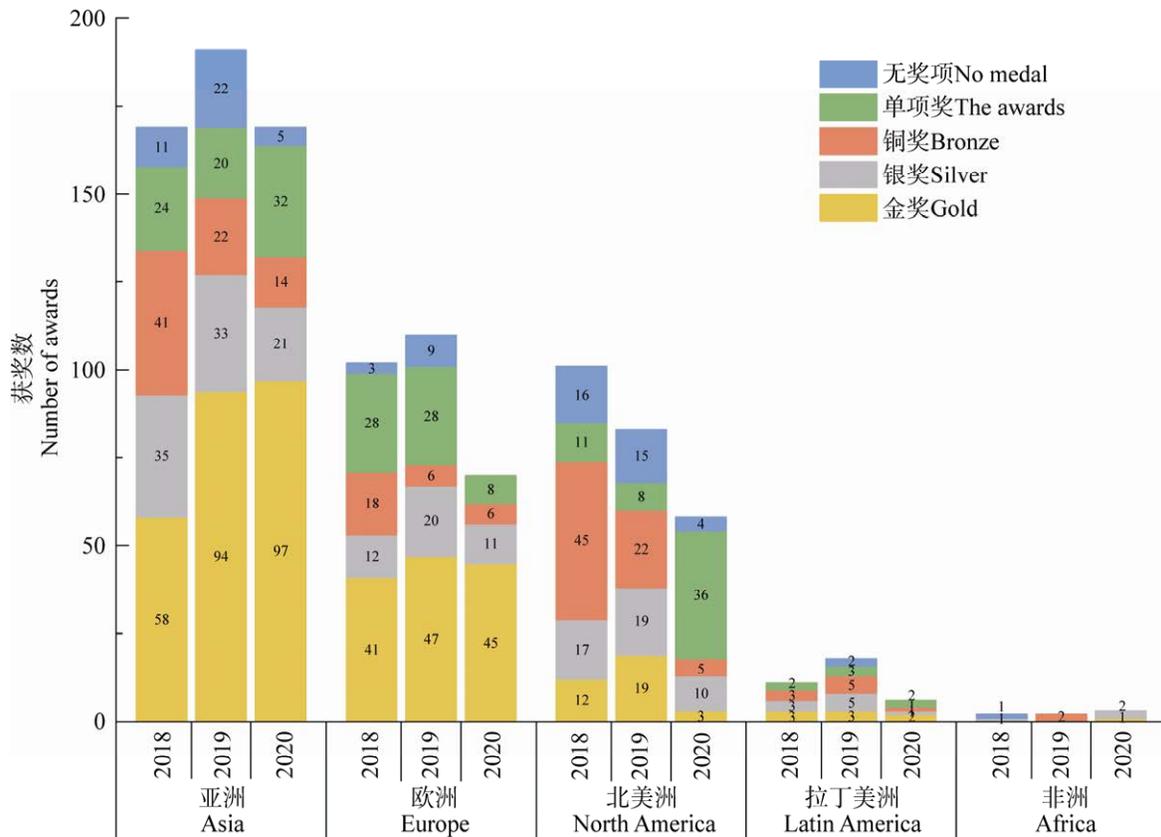


图 3 2018–2020 年五大洲金、银、铜、单项奖、无奖项 3 年排名
Figure 3 Awards of the iGEM teams in five continents from 2018 to 2020.

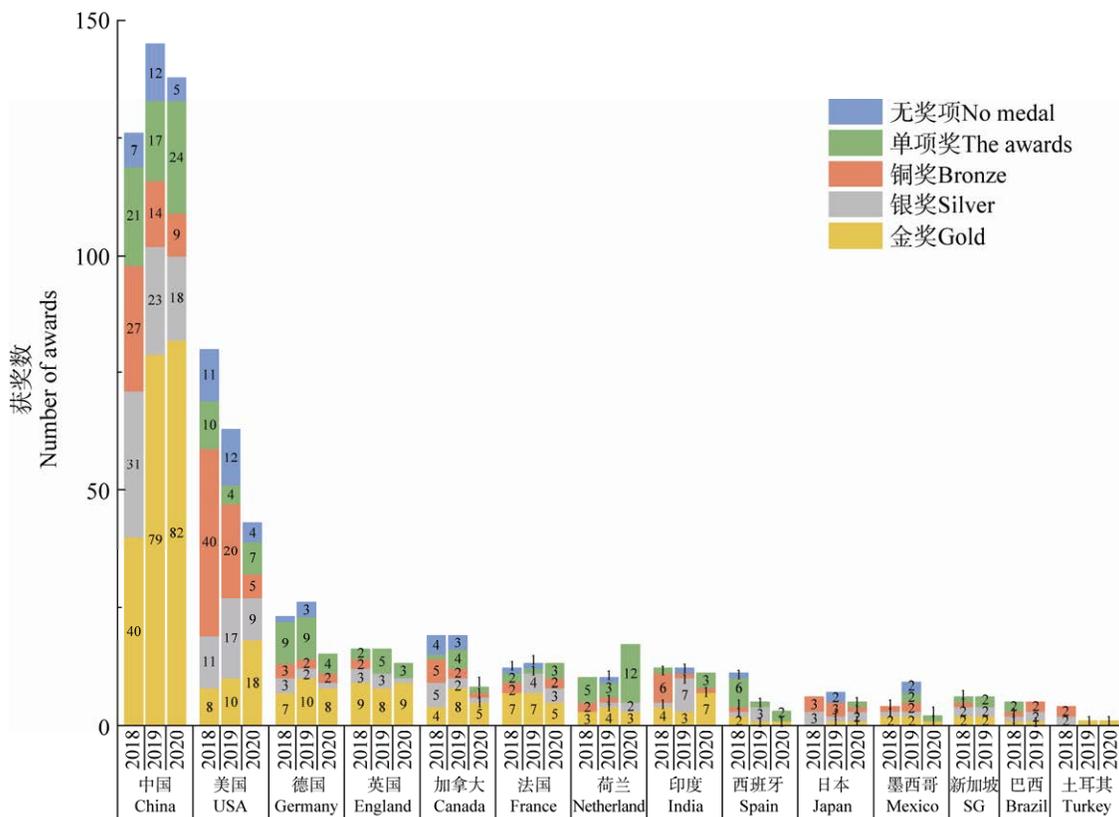


图 4 2018–2020 年参赛国家金、银、铜、单项奖、无奖项 3 年排名

Figure 4 Awards of the iGEM teams in top-ranking countries from 2018 to 2020.

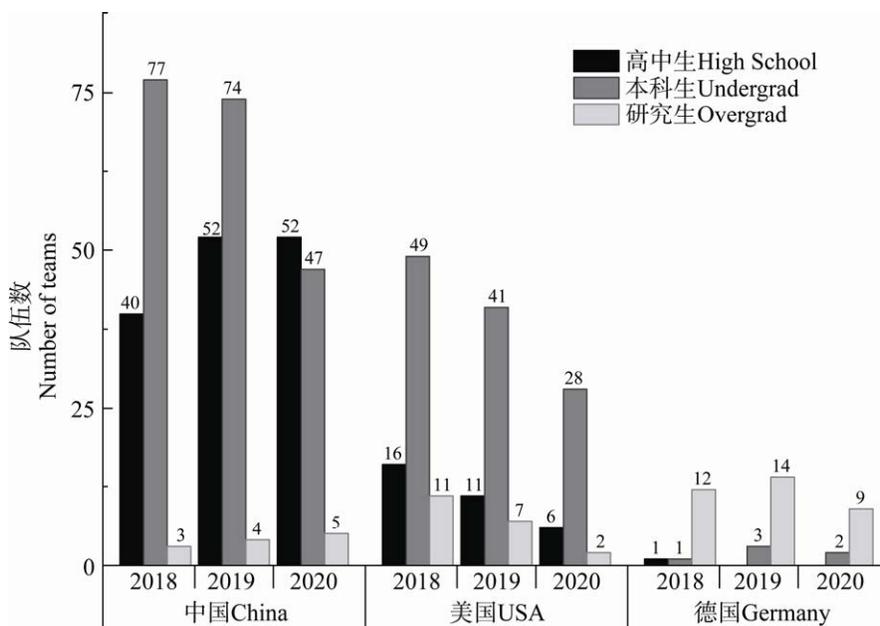


图 5 前 3 名国家的高中、本科、研究生队伍 3 年参赛队伍数

Figure 5 Teams of high school students, undergraduates and postgraduates from the top 3 countries.

表 2 我国内地学生在 iGEM 竞赛中所取得的成绩

Table 2 Achievements of Chinese students in the iGEM competition

年份 Year	金奖 Gold	银奖 Silver	铜奖 Bronze	单项奖 The awards	总冠军 Grand
2018	30/114	30/68	24/107	18/320	GreatBay SZ
2019	67/163	15/77	11/57	10/345	GreatBay SZ
2020	71/168	17/45	5/26	14/248	GreatBay SCIE XMU-China

队基于 RPA 结合的适体流向流动测定 (ALFA) 和 scFv 改进的测流免疫测量 (LFIA) 技术, 来检测蘑菇中的毒素。这些团队从各国高校参赛队伍中脱颖而出, 提名 Grand 奖。这些参赛团队主要来自不同的高中和综合性大学, 这也体现了 iGEM 竞赛的团队协作和学科交叉的精神。

现在中国参赛团队已经成为 iGEM 竞赛的一支重要力量, 这与团队的努力和不断沉淀、中国国家发展、科技进步, 以及国家对科学教育的重视密不可分。

2.2.2 选题情况 (3 年总排名前 5 的选题方向)

选题指 iGEM 竞赛各队伍选定的赛道方向。获奖项目的选题非常广泛, 包括高中组 (high school)、环境 (environment)、基础进展 (foundational advance)、治疗 (therapeutics)、诊断 (diagnostic)、新应用 (new application)、制造 (manufacturing)、食品与营养 (food & nutrition)、软件 (software)、开放 (open)、能源 (energy)、信息处理 (information processing) 12 个赛道 (高中团队被视为 iGEM 的一个独立的部分, 不选择赛道区分, 因此, 将其算为单独的一个赛道), 这些选题也普遍具有实用性和创新性。通过对比所有选题情况 (图 6), 来反映近 3 年来 iGEM 热门选题在合成生物学领域研究的方向。

图 6 显示 2018–2020 年选题前 5 名分别为高中组、环境、基础进展、治疗和诊断, 这说明 iGEM 参赛团队的选题越来越聚焦现实生活和当今社会发展的实际问题, 项目结合相关研

究进展, 着眼当下, 寻找创新点和突破点。3 年来, iGEM 参赛队伍致力于解决现实生活中所面临的挑战和难题, 如环境问题: 中国台北 TAS 团队的 NANOTRAP 项目致力于废水系统中纳米颗粒的去除; 疾病治疗和诊断问题: 英国 KCL 团队设计并建模了 3D 打印的聚内酯聚己内酯支架, 实现脊椎损伤 (SCI) 新疗法; 基础设施建设问题: 加拿大 OLS 团队通过研究残疾人问题并使实验室空间更具包容性获得主席奖; 新应用的开发: TUDelft 团队开发了一种设备, 使农民能够现场测试一头牛是否具有抗性抗生素细菌引起的感染。所以合成生物学可以提供有效、快捷、经济的解决方法, 有助于人类应对社会发展中面临的严峻挑战, 从而促进社会的稳定、和谐发展。

3 西南交通大学 iGEM 团队

3.1 西南交通大学 iGEM 团队组织

2019 年, 西南交通大学首次组队参加 iGEM 大赛, 本校 iGEM 团队的组织过程充分借助了学校生物工程中外合作办学项目 (即西南交通大学 (SWJTU)-美国乔治亚州立大学 (GSU) 生物工程双学位中外合作办学项目), 并采取了联合组队的模式。1 月双方完成队员的招募, 2019 年 iGEM 队员以本校 2018 级生物工程中美班学生为主, 寒假期间完成合成生物学和 iGEM 相关的资料研习任务。3 月前, 队员开始接受各种理论和实验操作培训, 大量

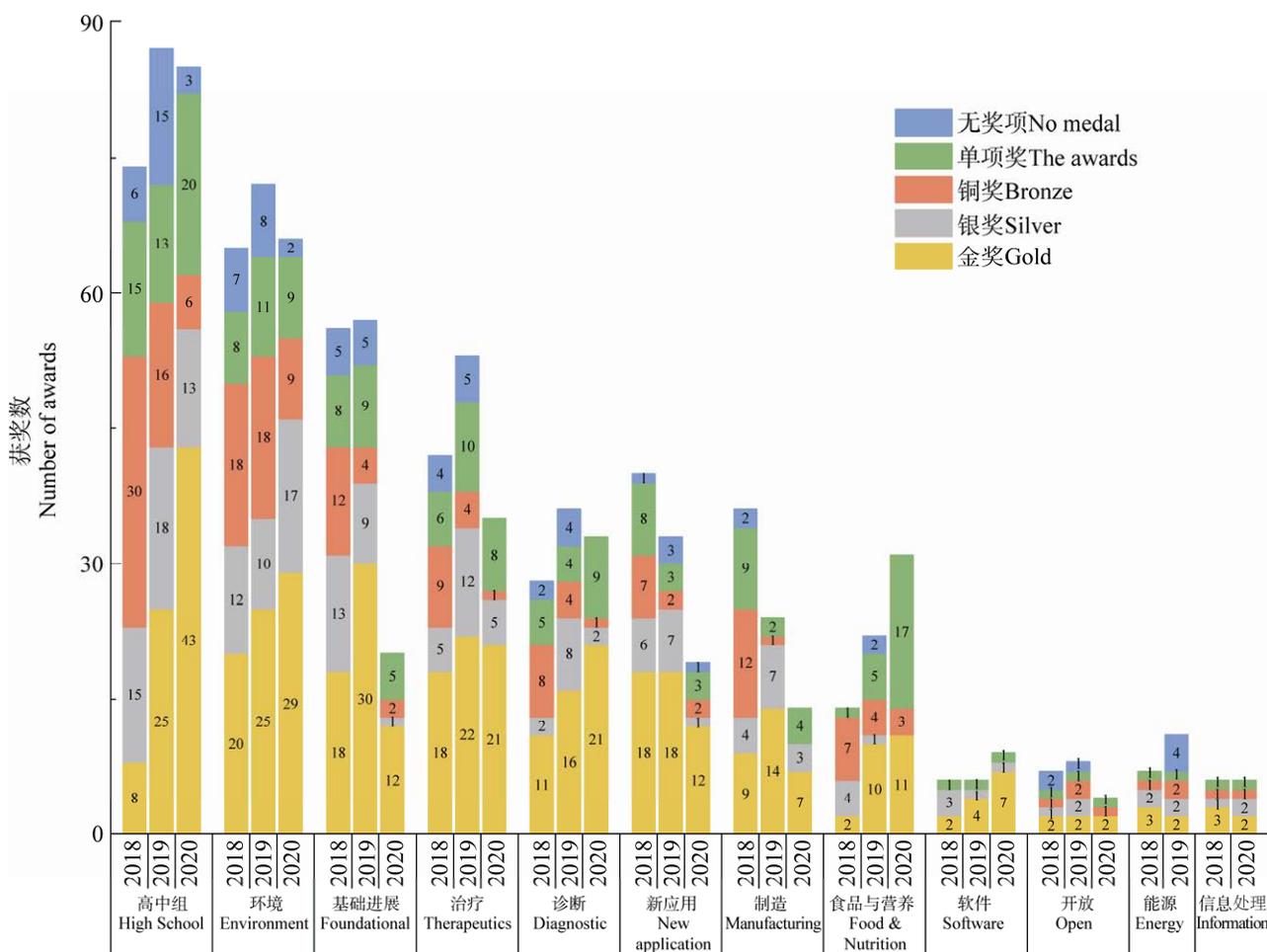


图 6 2018–2020 iGEM 队伍每年选题情况

Figure 6 Topic selection of the iGEM teams from 2018 to 2020.

阅读文献，进行头脑风暴。同时，将队员分成若干组，分工合作，开始学校、医院、企业和社区走访和调研，收集身边的实际问题，并讨论哪些是可以利用合成生物学技术解决的。6月前，对收集的项目进行评估，最后确定一个有意义且可行性较高的选题。6月前，中方学生主要在中国接受培训，6月后中方学生赴美，与GSU学生一起联合执行项目。团队联合备战过程中，中美双方师生定期线上充分交流并探讨项目进展，直至完成比赛。

以本校2020年比赛项目为例，前期GSU队员调研时注意到，由于全球气象变化、水资

源污染等因素，全球的珊瑚种群正在遭受着巨大的危机，出现了大量珊瑚白化现象，海洋生态多样性正逐渐丧失。这激发了iGEM队员的创新思维：能否用合成生物学方法来对珊瑚进行遗传改造，增强其应对恶劣环境的抗性，进而改善或阻止珊瑚白化呢？为此，双方队员将该年度的课题聚焦于建立珊瑚遗传改造体系建立并筛选有效抗性基因，遗传改造珊瑚，为珊瑚白化这一严重环境问题作出贡献。

珊瑚遗传改造体系在业界尚无完全建立好，给课题增加不少阻力，而时间又非常紧迫，这是对队员智力、毅力、耐力和团队协作能力

的多重考验。在长达一年的比赛周期中，团队克服了新冠疫情的不利因素，圆满地完成了课题设计、研究工作、社会实践、网页制作、海报展示及答辩陈述等各环节，获得评委一致好评，斩获银奖。

3.2 iGEM 竞赛的困难、挑战及心得体会

据本校联合组队的体会，参加 iGEM 大赛面临的最大困难和挑战有两点：一是团队的管理和沟通，二是项目的选择和推进。

因是国内外联合组队，沟通和分工是项目执行中最关键的两个要素。要管理好 iGEM 这个跨国大团队，首当其冲就是要选择一个善于管理的队长（中美双队长制），队长要监督整个项目的实施进展情况，管理队员并进行分工协作。另一个很重要的角色就是指导老师。因 iGEM 队员多是本科二、三年级的学生，缺乏实验和管理经验。因此，指导老师具有引导和教育的双重作用。二是 iGEM 项目的选择，iGEM 项目选题在很大程度上决定了竞赛的成败。因此，每个 iGEM 团队必须慎重选题。为了帮助参赛队选题，首先，要对 iGEM 历年的参赛项目进行梳理，了解 iGEM 每个方向的研究进展，寻找值得继续深入研究的问题。其次，要开展广泛的社会调研，选题立足社区，从解决身边实际问题出发。最后，参考指导老师的建议，指导老师经验丰富，对选题的新颖性和可行性都有更充分的认识，可为项目把脉，利于项目执行和完成。

经过一年左右赛程，学生们一般可形成必备的科研素养并可独立参与到科研项目中。同时，全英文演讲使学生们能在国际舞台展示自己的项目，拓宽国际视野；在与世界各地队伍交流中，同学们相互学习、共同提高，培养了双创思维，锻炼了双创能力。

4 iGEM 的意义

4.1 促进合成生物学学科发展及学科交叉融合

在全球知识交融的浪潮中，交叉学科迎合了学科发展的新趋势。iGEM 竞赛以合成生物学为主题，以交叉学科为辅，为当今生物科研领域的年轻人提供了最具影响力和活力的舞台^[21]，也为新工科背景下的创新教育实践提供平台。iGEM 不仅是生物竞赛，还涉及数学建模、计算机科学、艺术设计等方面，甚至还将人文社会科学作为单独的一大模块，这种模式不仅培养学生成为复合型人才^[22]，还能使学生体验多学科交叉碰撞的精彩。合成生物学的飞速发展很大程度上是其跨学科性质的结果^[23]，即将合成生物学和其他工程学的基础研究相结合从而促进生物学领域取得进展。

4.2 培养学生科学思维和双创能力

科学技术是一个国家先进生产力的直接体现，创新是科技前进的源动力。科技创新推进生物、信息、医疗、环境等研究领域快速融合。iGEM 竞赛重视双创思维和能力的培养，通过竞赛学生不仅学习了新的、具有挑战性的科学技术，还使学生体验头脑风暴、数学建模、网页设计、团队管理协作等其他组织技能，这些技能基本上超出了本科课程的范围，还要求项目具有一定创新性。使得学生在追求自己目标的同时，接触到工程挑战和现代研究环境^[24]，促进大学生创新能力的提升。iGEM 竞赛更强调以学生为中心的研究性学习，它反映了一种新的教育理念，在培养大学生科学研究和创新能力的过程中发挥重要作用。iGEM 竞赛作为培养大学生科研创新能力的重要载体，不仅是培养科创人才的重要平台，也促进了合成生物学这一学科的发展。

4.3 培养团队精神和合作能力

团队精神是一个成功团队建设的血脉, 不仅能激发个人能力, 还能激励团队中的所有成员发挥潜力去探索和创新。iGEM 竞赛需要完成海报展示、现场答辩等 8 个环节才能参加最后的评比^[16], 而每一个环节的实施都离不开团队的合作, 项目的完成是一个综合过程, 是对学生个人能力和团队协作能力的考验。因此, 充分利用好每一个环节, 确立共同目标, 调动团队成员的热情, 做到多沟通和多协调, 形成命运共同体, 这是每一个 iGEM 团队精神和团队合作能力的综合体现。

5 展望

尽管合成生物学仍处于发展阶段, 但它已在蓬勃发展。在我们看来, 合成生物学的重要性与日俱增, 它在解决环境、能源、医疗等相关全球突出问题的潜力是毋庸置疑的。合成生物学可能会为新一代以生物为基础的产业提供动力, 具有非常光明的未来。

iGEM 竞赛作为合成生物学领域顶尖水平学术竞赛, 是一种宝贵的教育工具, 激励了来自众多学科的年轻学者继续在合成生物学方面进行研究。现已在医疗、能源等领域展现出巨大的应用价值, 有望用于合成生物学研究的各项技术, 其独特定位使学生处于一个具有巨大潜力的研究领域的前沿内。在过去近 20 年中, 它为合成生物学的发展和繁荣做出了巨大贡献, 随着科技的发展和不断的深入研究, iGEM 竞赛有望带领新一轮科技发展, 解决问题, 改善生活, 建立一个更美好的世界。

REFERENCES

- [1] (奥)M. 施密特(Markus Schmidt)编. 周延, 吴巧雯译. 合成生物学及应用. 北京: 化学工业出版社, 2014: 5.
- [2] Mitchell R, Dori YJ, Kuldell NH. Experiential engineering through iGEM—an undergraduate summer competition in Synthetic Biology. *J Sci Educ Technol*, 2011, 20(2): 156-160.
- [3] 徐德昌. 合成生物学与 iGEM. *生物信息学*, 2012, 10(2): 145, 147.
- Xu DC. Synthetic Biology and iGEM. *China J Bioinform*, 2012, 10(2): 145, 147 (in Chinese).
- [4] 张今, 施维, 李桂英, 等. 合成生物学与合成酶学. 北京: 科学出版社, 2012: 2.
- Zhang J, Shi W, Li GY, et al. Synthetic Biology and Synthetic Enzymology. Beijing: Science Press, 2012: 2 (in Chinese).
- [5] Rawis RL. 'Synthetic Biology' makes its debut. *Chem Eng News Archive*, 2000, 78(17): 49-53.
- [6] 冀朋. 合成生物学“建物致知”的新进路及其哲学分析——从建构的结构实在论的观点[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- Ji P. A new approach to synthetic biology: “build life to understand it” and its philosophical analysis—from the perspective of the constructive version of structural realism[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017 (in Chinese).
- [7] 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(4): 323-324.
- Deng ZX. Synthetic Biology takes advantage of the best era: build life to understand it and use it. *Chin Bull Life Sci*, 2019, 31(4): 323-324 (in Chinese).
- [8] 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(11): 1135-1149.
- Zhao GP. Synthetic Biology: unsealing the convergence era of life science research. *Bull Chin Acad Sci*, 2018, 33(11): 1135-1149 (in Chinese).
- [9] Rabinow P, Bennett G. Synthetic Biology: ethical ramifications 2009. *Syst Synth Biol*, 2009, 3(1/2/3/4): 99-108.
- [10] 赵国屏. 合成生物学——革命性的新兴交叉学科, “会聚”研究范式的典型. *中国科学: 生命科学*, 2015, 45(10): 905-908.
- Zhao GP. Synthetic Biology—revolutionary emerging interdisciplinary, typical of convergence research paradigm. *Sci Sin Vitae*, 2015, 45(10): 905-908 (in Chinese).
- [11] Betten AW, Rerimassie V, Broerse JEW, et al. Constructing future scenarios as a tool to foster

- responsible research and innovation among future Synthetic Biologists. *Life Sci Soc Policy*, 2018, 14(1): 21.
- [12] Cameron DE, Bashor CJ, Collins JJ. A brief history of Synthetic Biology. *Nat Rev Microbiol*, 2014, 12(5): 381-390.
- [13] 张柳燕, 常素华, 王晶. 从首个合成细胞看合成生物学的现状与发展. *科学通报*, 2010, 55(36): 3477-3488. Zhang LY, Chang SH, Wang J. Viewing the status quo and development of Synthetic Biology from the first synthetic cell. *Chin Sci Bull*, 2010, 55(36): 3477-3488 (in Chinese).
- [14] 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(12): 1543-1572. Zhang XE. Synthetic Biology in China: review and prospects. *Sci Sin Vitae*, 2019, 49(12): 1543-1572 (in Chinese).
- [15] 赵霞, 卢曙光, 王竞, 等. 国际基因工程机器大赛在中国. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1915-1922. Zhao X, Lu SG, Wang J, et al. Development of international genetically engineered machine competition in China. *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1915-1922 (in Chinese).
- [16] 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. *生命的化学*, 2017, 37(3): 458-462. Le S, Hu QW, Xiong K, et al. Training the innovation ability of college students through International Genetic Engineering Machine (iGEM) competition. *Chem Life*, 2017, 37(3): 458-462 (in Chinese).
- [17] 元英, 郝晓冉, 朱旭东, 等. 交叉学科拔尖创新人才培养实践. *实验室研究与探索*, 2020, 39(11): 186-189. Yuan Y, Hao XR, Zhu XD, et al. Practice of interdisciplinary top talents training. *Res Explor Lab*, 2020, 39(11): 186-189 (in Chinese).
- [18] 田六, 罗旭东, 张红雨, 等. iGEM 竞教结合提升学生科研创新能力及综合素质. *高校生物学教学研究(电子版)*, 2016, 6(2): 57-62. Tian L, Luo XD, Zhang HY, et al. Integration of iGEM competition and education promotes the scientific innovation ability and comprehensive quality of college students. *Biol Teach Univ (Electron Ed)*, 2016, 6(2): 57-62 (in Chinese).
- [19] 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).
- [20] 陈金波, 殷实, 刘芳南, 等. 基于国际遗传工程机器竞赛(iGEM)的大学生创新能力培养模式研究——以北京师范大学生命科学学院为例. *大学教育*, 2020, 9(12): 111-113. Chen JB, Yin S, Liu FN, et al. Research on the cultivation mode of college students' innovative ability based on the international genetic engineering machine competition (iGEM)—take the school of life sciences Beijing Normal University as an example. *Univ Educ*, 2020, 9(12): 111-113 (in Chinese).
- [21] 张浩千, 陈国强. 2018 iGEM 专栏序言. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1871-1873. Zhang HQ, Chen GQ. Preface for special column on iGEM (2018). *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1871-1873 (in Chinese).
- [22] 姜浩, 吕雪飞, 李堃杰, 等. 以 iGEM 竞赛为牵引的大学生创新能力培养. *生命科学仪器*, 2020, 18(5): 46-51, 34. Jiang H, Lv XF, Li KJ, et al. Investigation on the innovative ability training of the college students based on iGEM. *Life Sci Instruments*, 2020, 18(5): 46-51, 34 (in Chinese).
- [23] Slocum DL. The future of bioengineering. *Science*, 1998, 281(5374): 175-176.
- [24] Brown J. The iGEM competition: building with biology. *IET Synth Biol*, 2007, 1(1): 3-6.

(本文责编 郝丽芳)