

• 高校生物学教学 •

国际基因工程机器大赛高中赛道发展概况

唐悦, 李裕康, 朱旭东, 杨冬, 郝晓冉

北京师范大学 生命科学学院, 北京 100875

唐悦, 李裕康, 朱旭东, 杨冬, 郝晓冉. 国际基因工程机器大赛高中赛道发展概况. 生物工程学报, 2022, 38(12): 4816-4826.

TANG Y, LI YK, ZHU XD, YANG D, HAO XR. Development of the iGEM high school track. Chin J Biotech, 2022, 38(12): 4816-4826.

摘 要: 国际基因工程机器大赛 (international genetically engineered machine competition, 简称 iGEM 竞赛) 是合成生物学国际顶级大学生学术竞赛。iGEM 竞赛赛况及项目成果受到 *Science*、*Nature*、*Scientific American*、*The Economist*、英国广播公司 (BBC) 等顶级学术期刊或国际媒体的关注, 具有广泛的国际影响力。吸引了来自世界 40 多个国家和地区的队伍参赛。2011 年起开始有高中队参赛, 参赛队伍数量逐年增加, 高中生日益成为推动 iGEM 竞赛及合成生物学发展的重要力量之一, iGEM 竞赛也成为培养中学生核心素养的重要平台。基于 2017–2021 年全球高中队参赛情况, 本文总结了高中队赛道规则、选题倾向及获奖情况, 进一步分析 iGEM 竞赛对高中生核心素养培养的意义, 探究全球高中参赛队伍的发展趋势, 为未来高中参赛队伍建设提供理论参考。

关键词: iGEM 竞赛; 高中赛道; 参赛规则; 选题; 核心素养

Development of the iGEM high school track

TANG Yue, LI Yukang, ZHU Xudong, YANG Dong, HAO Xiaoran

College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The international genetically engineered machine (iGEM) competition is a global top college academic competition in synthetic biology. The iGEM competition has exhibited extensive international influence and attracted teams from more than 40 countries and regions around the world to participate in. The annual iGEM outputs have attracted the attention of top academic journals or international media such as *Science*, *Nature*, *Scientific American*, *The Economist*, *British Broadcasting Corporation* (BBC), etc. High school teams participated in iGEM since 2011, and the number of high school teams has

Received: June 7, 2022; **Accepted:** August 17, 2022; **Published online:** September 2, 2022

Supported by: Research Project of the Top-Notch Students Training Program of Basic Disciplines of the Ministry of Education

Corresponding author: HAO Xiaoran. E-mail: 2015xrhao@bnu.edu.cn

基金项目: 教育部基础学科拔尖学生培养试验计划研究课题

increased year by year. High school participants are increasingly becoming one of the most important forces to promote the development of iGEM and synthetic biology. iGEM competition has also become an important platform to foster the core literacy of high school students. This paper summarized the track rules, topic selection tendency and awards of high school teams based on data of 2017 to 2021 iGEM competition. In addition, we analyzed the significance of iGEM competition on fostering of high school students' core literacy and discussed the development trend of global high school teams, with the aim to provide a reference for high school team building in the future.

Keywords: iGEM competition; high school track; competition rules; topic selection; core literacy

国际基因工程机器大赛 (international genetically engineered machine competition) 简称“iGEM 竞赛”,是由麻省理工学院创办的合成生物学国际顶级大学生学术竞赛,运用以合成生物学为核心的综合手段去解决科研和生产、生活中的实际问题^[1],推动合成生物学理论与应用的共同发展。iGEM 竞赛项目涉及生物学、物理学、化学、数学、计算机科学与技术、材料科学与工程、设计学、社会学等多种学科^[2],极大地促进了多学科的交叉融合。根据项目主题方向,每届 iGEM 竞赛设有生物能源 (energy)、环境 (environment)、诊断 (diagnostics)、基础进展 (foundational advance)、工业 (manufacturing)、食品与营养 (food and nutrition) 等多个赛道。iGEM 竞赛自 2005 年正式发展为国际赛事后,参赛队伍规模不断壮大,吸引了包括牛津大学、斯坦福大学、剑桥大学、哈佛大学、帝国理工学院、耶鲁大学等多所国际名校参赛。截至目前,累计超过 3 000 支队伍和 50 000 名队员参赛^[3]。2021 年,有来自 46 个国家和地区,共 356 支队伍,超过 7 300 名队员参赛。我国大学生于 2008 年首次参赛,参赛队伍分别来自于北京大学、清华大学、中国科学技术大学、北京师范大学、天津大学、中国医科大学,仅占队伍总数的 6.8%。随着我国经济的持续快速发展,教育投入力度不断加大,为大学生参与国际学

术活动提供了充足的经费保障^[4],我国高校大学生参与 iGEM 竞赛的规模不断发展壮大,超过 30 所“985”高校参与其中,iGEM 竞赛成为高校创新人才培养的重要途径之一。2021 年,我国有来自 68 所高校的 79 支大学生团队参加了 iGEM 竞赛,占该年参赛队伍总数的 22.4%。

iGEM 竞赛的项目成果为合成生物学的发展注入了新的活力和灵感^[3],颇受学术界的重视。*Synthetic and Systems Biotechnology* 杂志与 iGEM 组委会合作设置专刊,收录了 2019–2020 年 iGEM 竞赛产出的科研文章,高度评价了年轻的研究人员通过 iGEM 竞赛对生物传感、生物修复和新型生物材料开发等研究领域的推动作用^[5]。基于 iGEM 竞赛,参赛者不断更新标准化生物学元件,上传序列并注释信息,为合成生物学的发展提供了丰富的可用的序列库^[6]。截至 2021 年,iGEM 竞赛的标准化生物学元件已近 40 000 个,基于 iGEM 竞赛构建的 DNA 序列库已成为世界三大可用的商业 DNA 存储库之一^[7],极大地促进了生物学工具的开源化、透明化发展,有利于构建安全、有效的生物工程技术体系^[8]。此外,iGEM 竞赛还大大推动了合成生物学科科研成果转化。例如,北京大学和清华大学 iGEM 团队骨干成员创办的北京蓝晶微生物科技有限公司,致力于开发可快速降解的生物塑料,入选《2022 年全球清洁技术 100 强

企业》榜单^[9]。中国台北美国学校 TAS_Taipei 团队 2020 年 iGEM 竞赛项目, 改良设计新型的病毒检验方法, 制作家庭自检试剂盒, 可检测新型冠状病毒、甲型流感病毒和乙型流感病毒 3 种病毒, 与美国食品药品监督管理局已授权的 8 种家用检测试剂盒相比, 具有更高的特异性和更快的检测速度, 具有一定的市场竞争力。

iGEM 竞赛注重多学科融合、关注社会热点和学术前沿、实践性强、注重过程性评价、强调团队协作、强调交流展示^[10], 有助于激发学生的学科兴趣, 发展学生创新意识和科学思维, 培养学生发现问题和解决问题的能力^[11-13]。iGEM 竞赛秉承努力 (effort)、颂扬 (celebration)、诚信 (integrity)、诚实 (honesty)、尊重 (respect)、良好的竞技精神 (good sportsmanship)、优秀 (excellence) 和协作 (cooperation) 的价值理念^[12], 与我国《普通高中课程方案 (2017 年版 2020 年修订)》(以下简称“新课程标准”) 中强调的“要进一步提升高中生综合素质, 着力发展核心素养, 使学生成为具有理想信念和社会责任感、具有科学文化素养和终身学习能力、具有自主发展能力和沟通合作能力的时代新人”的高中生培养目标完美契合^[14], 是培养创新型人才的重要平台^[15]。2011 年, 高中队首次参加 iGEM 竞赛, 当时的比赛规则将高中队与大学生队伍区分开来, 独立设赛。随着参赛高中队数量逐年增长, 2015 年开始增设高中赛道 (high school)。2016 年起, 大赛组委会考虑到学生能力水平差异和实验条件限制, 为使更多团队参与奖项评定、肯定团队的付出、激发团队的参赛热情、促进竞赛规模的发展壮大, 将参赛团队划分为高中生、本科生、研究生 3 个团队模块 (team section), 并将高中生模块统一划归高中赛道, 遵循相同的评价标准, 达标即可获得相应的奖

牌。这为高中队参与 iGEM 竞赛创造了更客观的评价体系和更多的获奖机会, 也为我国从基础教育到高等教育的科技创新人才贯通式培养模式探索, 提供了有效渠道。目前, 基于 iGEM 竞赛, 高中与高校开展了广泛深入的交流合作。高校可为高中队提供实验材料和实验设备、搭建或验证部分模块、进行建模和网页搭建指导。在备赛过程中, 大部分高中队也需要向来自高校的专家咨询专业意见, 或前往高校参观学习。例如, 2017 年, 全球 44 支参赛高中队中有超过 30 支队伍在 wiki 中对提供帮助的高校表达了谢意。另一方面, 高中队也帮助有相似模块功能需求的大学队进行功能验证, 并基于彼此项目设计共享菌种或信息。此外, 在项目主题相关的社会实践、教育宣传和社会调研等方面, 高中队与大学队也进行了紧密互动。这种方式更有利于高校宣传学校文化、在中学开展跨学科人才贯通培养项目、打造优质生源基地和吸纳优秀人才。目前, 高中队已发展成为 iGEM 竞赛的重要部分。本文就 2017–2021 年全球高中队参赛情况、比赛规则、获奖情况、高中生参加 iGEM 竞赛的意义进行总结, 旨在为今后高中队参赛提供经验参考。

1 高中队参赛情况

近年来, 随着合成生物学的不断发展以及 iGEM 竞赛在世界范围内影响力的不断扩大, iGEM 竞赛的参赛规模也逐年增长, 吸引了来自全球超过 40 个国家与地区的团队参赛。除了 2020 年因受新冠疫情影响, 参赛队伍数量出现短暂下降, 近 5 年参赛高中队数量整体呈现上升趋势 (图 1), 在总参赛队伍中占比逐年增加 (图 2)。例如, 2017 年有 44 支高中队参赛, 占总参赛队伍数的 14.10%; 2018 年有 66 支队伍参赛, 占总参赛队伍数的 1/5; 2020 年参赛高

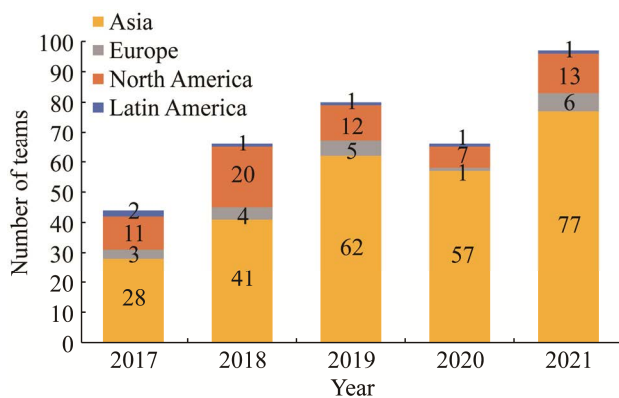


图 1 2017–2021 年 iGEM 竞赛参赛高中队数量及大洲分布

Figure 1 The number and continental distribution of high school teams in iGEM competition from 2017 to 2021.

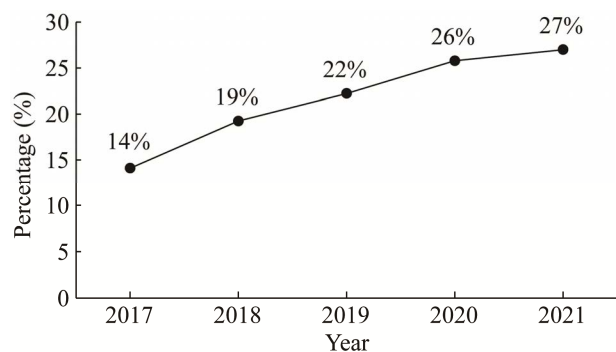


图 2 2017–2021 年 iGEM 竞赛参赛高中队占比

Figure 2 The proportion of high school teams participated in iGEM competition from 2017 to 2021.

中队已达到总参赛队伍数的 1/4; 2021 年有近百支高中队参赛, 占总参赛队伍数的 26.99%。

从全球参赛高中队地域分布来看, 亚洲地区参赛队伍数量最多, 占当年高中赛道总参赛队伍数的 60%以上 (图 1)。其中, 来自我国的参赛队伍数量最多, 占当年亚洲参赛高中队总数的 90%以上 (图 3), 其他的参赛国家还包括韩国、日本等。来自我国的高中队已成为 iGEM 竞赛高中赛道的主力军。

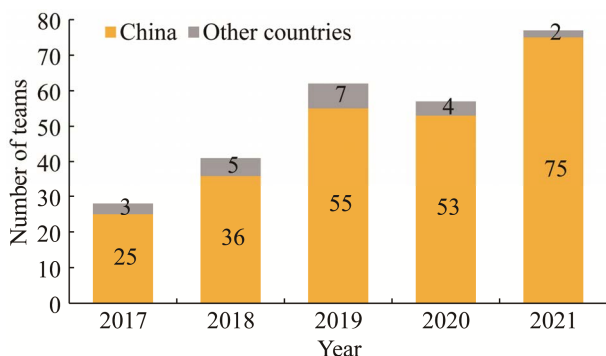


图 3 2017–2021 年亚洲 iGEM 竞赛参赛高中队数量及国家分布

Figure 3 The number and national distribution of Asian high school teams in iGEM competition from 2017 to 2021.

我国 iGEM 竞赛高中队地域分布显著不平衡, 集中分布于经济发达地区 (图 4)。例如, 北京、上海、广州和深圳等一线城市参赛高中队数量每年稳居第一, 约占我国 iGEM 竞赛高中队总数的 1/2, 且参赛队伍数量呈逐年上升趋势。成都、重庆、杭州、武汉、南京等新一线城市次之, 且与一线城市参赛队伍数量差距逐年拉大。2021 年, 一线城市参赛高中队数量为 46 支, 比上述新一线城市参赛高中队数量多 26 支。港澳台地区、二线城市及其他地区年均参赛高中队数量低于 8 支。可见, 我国各地 iGEM 竞赛高中队数量与地区经济水平存在相关性, 目前 iGEM 竞赛并不适用于所有高中。

2 比赛规则

2.1 参赛流程

每届 iGEM 竞赛为期一年, 参赛流程基本相同, 主要包括组建团队、确定研究题目、项目设计、湿实验、维基网页 (wiki) 搭建、交流展示、团队合作及最终的 Giant Jamboree。这个过程中, 建模、社会实践 (human practice, HP) 和美工贯穿始终^[16]。为使参赛团队更好地把握

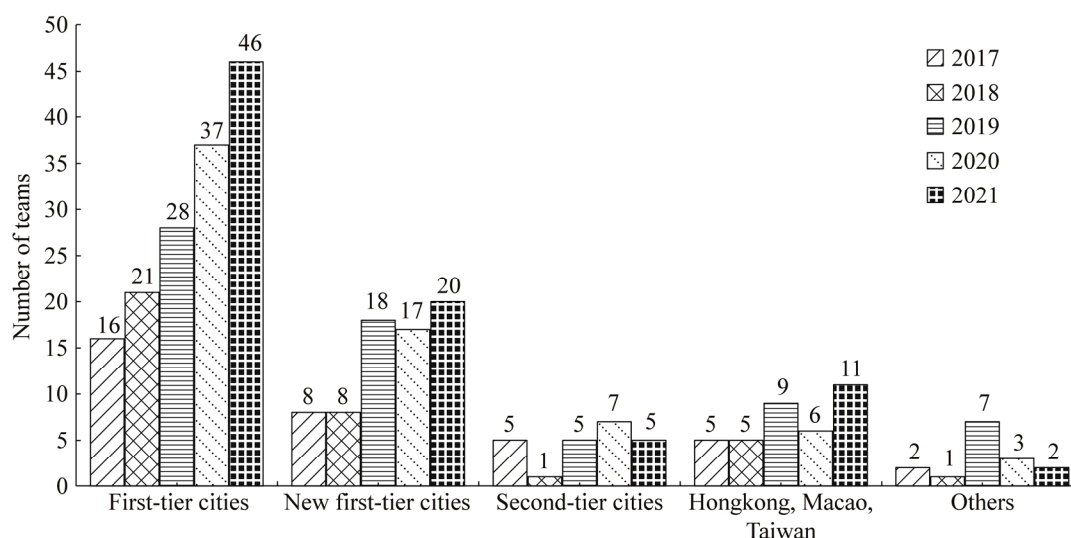


图4 2017–2021年中国iGEM竞赛高中队地区分布情况

Figure 4 Regional distribution of Chinese high school teams in iGEM competition from 2017 to 2021. Cities are divided according to 2017–2021 *Ranking of Cities' Business Attractiveness in China* (<https://www.datayicai.com>) and some teams are joint teams, involving multiple cities.

赛程,按部就班地完成项目,iGEM官网每年提供一份比赛日历(calendar),包含赛程所有时间节点,供参赛队查阅参考。

2.2 赛道类型及选择规则

赛道划分旨在帮助参赛团队将项目聚焦在合成生物学特定主题领域。随着参赛团队日益增多,赛道划分经历诸多变化,日趋完善。2015年,开始设置高中赛道。在此之前,高中队和大学队独立设赛。从2016年开始,高中队和大学队同台竞技。2016–2019年,赛道固定为标准赛道(standard tracks)和特殊赛道(special tracks)。2016–2017年,标准赛道包含10个赛道:高中(high school)、诊断(diagnostics)、生物能源(energy)、环境(environment)、食品与营养(food and nutrition)、基础进展(foundational advance)、信息处理(information processing)、工业(manufacturing)、新应用(new application)、治疗(therapeutics);特殊赛道包含艺术与设计(art and design)、硬件(hardware)、测量(measurement)、软件(software)。2018和2019年,在特殊赛道

中,撤销艺术与设计、硬件、测量赛道,增设开放性赛道(open),适用于无法在实验室开展实验的团队,以及项目主题不契合其他任何赛道主题的团队。2020年和2021年,受新冠肺炎疫情影响,许多参赛队无法顺利开展实验,iGEM组委会再次调整赛道,取消大类划分,重设硬件赛道,赛道种类固定为13种。

赛道选择规则也日渐规范、成熟。2015年之前,参赛团队可根据项目主题自主选择赛道。自2015年起,高中队被自动划分至高中赛道,其他参赛团队仍遵循自主选择赛道规则。2016年,大赛进一步细化赛道选择规则,对除高中队外的其他参赛团队提出新的要求,要求参赛团队根据团队成员学历、身份选择团队类型(team kind),团队类型包含高中(high school)、大学(collegiate)、社区实验室(communitiy lab),iGEM竞赛官网根据团队类型和队员年龄自动将参赛团队划分至相应的团队模块。2021年,团队类型增加商业类型(commercial),适用于由公司运营的团队(表1–3)。

表 1 团队类型划分

Table 1 Team kinds of 2021 iGEM competition

Team kinds	Illustration	PI (principle investigator)
High school	Student team members are only high school students and students who will graduate high school in 2021	A principal or teacher
Collegiate	Student team members are usually collegiate students. Postgraduate students and/or high school students can also be in the team	A professor
Community lab	Student team members are members of a community lab. This can include anyone	The director of the community lab
Commercial	Teams run by companies, including companies contracting to run teams for high schools, colleges, universities, as well as companies recruiting individual members	Be authorized to make binding commitments for the company and be able to authorize the necessary payments

表 2 2021 年团队模块划分

Table 2 Team sections of 2021 iGEM competition

Team sections	Requirements	Applicable team kind
High school	All student team members are high school students by March 31, 2021, including students who will graduate from high school before July of 2021	High school, commercial
Undergraduate	All student team members are age 23 or younger by March 31, 2021	Collegiate, community lab, commercial
Overgraduate	One or more student team members are older than 23 by March 31, 2021, or not fill the age before the deadline of this part.	Collegiate, community lab, commercial

It is divided by student members age, applicable to different team kinds and set the awards in each one.

表 3 2021 年赛道划分

Table 3 Team tracks of 2021 iGEM competition

Team tracks	Illustration	Applicable team section
High school	All teams of high school section are automatically assigned to the high school track	High school
Food & nutrition	Tackling issues related to food and nutrition	Undergraduate and overgraduate
Environment	Tackling environmental issues	Undergraduate and overgraduate
Diagnostics	Focused on detecting illness and disease	Undergraduate and overgraduate
Therapeutics	Focused on treating illness and disease	Undergraduate and overgraduate
Manufacturing	Related to manufacturing	Undergraduate and overgraduate
Foundational advance	Coming up with novel solution to technical problems surrounding core synbio technologies	Undergraduate and overgraduate
Software	Build a software tool	Undergraduate and overgraduate
Energy	Related to energy availability and use	Undergraduate and overgraduate
Hardware	Design hardware systems	Undergraduate and overgraduate
Information processing	Attempting projects such as building elements of a biological computer, creating a game using biology or working on a signal processing challenges	Undergraduate and overgraduate
New application	Don't fit into conventional paradigms	Undergraduate and overgraduate
Open	Don't fit in any of the other track topics	Undergraduate and overgraduate

2.3 奖牌设置

基于项目完成度的不同, iGEM 竞赛参赛团队可获评金、银、铜奖牌, 无数量限制。奖牌评审标准随大赛发展变化较大。2015 年之前, 高中队不设奖牌; 2015 年, 允许高中队参与奖牌争夺, 固定赛道遵循同一奖牌标准, 新增赛道分别设置各自的奖牌标准; 2016–2019 年, 标准赛道和特殊赛道各设一套奖牌评审标准; 2020 年起, 受新冠肺炎疫情影响, 所有赛道奖牌标准相同, 奖牌标准更开放, 并增加各项标准对应指导意见 (guidance)。奖牌标准具体细节因年而异, 本文不再赘述。

2017–2021 年, 高中队获得奖牌的数量呈现增长趋势, 获得高级别奖项的数量也稳步提升。高中队获得奖牌的总数由 2017 年的 28 枚稳步增长到 2021 年的 85 枚, 2017–2018 年高中团队获得奖牌中数量最多的为铜牌, 而 2019–2021 年高中团队获得奖牌中数量最多的为金牌 (图 5)。

2.4 单项奖

单项奖主要包括赛道奖 (track awards) 和特殊奖项 (special prizes), 具体奖项数量、名称、标准每年各有不同。除高中赛道外, 每年各赛道均设置赛道奖, 表彰在各主题领域表现卓越

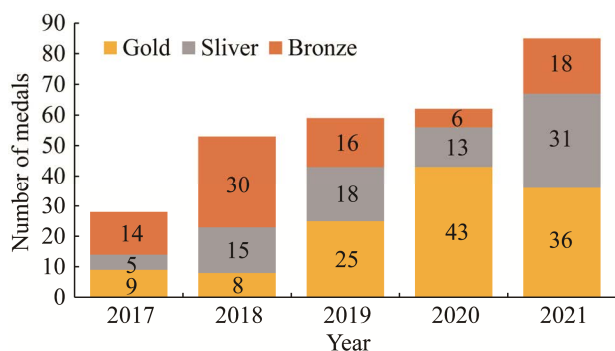


图 5 2017–2021 年 iGEM 竞赛高中队获奖情况
Figure 5 Medals of iGEM high school teams obtained from 2017 to 2021.

的团队。若参加同一个赛道的本科生队和研究生队均超过 10 支, 将针对本科生队和研究生队分别设置 1 个赛道奖。特殊奖项用以表彰在各方面对 iGEM 做出创新性和独特性贡献的团队, 灵活性最强, 包括但不限于最佳教育 (best education)、最佳包容性 (best inclusivity)、最佳综合人类实践 (best integrated human practices) 等。

2017–2021 年, 高中队获得单项奖提名次数稳步增长, 同时获奖数也保持在比较稳定的水平。单项奖提名总数从 2017 年的 43 次稳步增长到 2021 年的 82 次, 单项奖获奖次数则稳定在 15–20 次之间 (图 6)。

2.5 最终大奖

最终大奖 (finalist) 是 iGEM 竞赛最高级别奖项, 用以表彰各团队模块中表现最突出的队伍, 综合评估参赛队伍各项内容完成情况, 例如, 维基网页、项目展示 (presentation)、项目推广视频 (project promotion video) 等。最终大奖包括赛道总冠军 (grand prize)、亚军 (1st runner up)、季军 (2nd runner up), 其中赛道总冠军是最高级别奖项, 亚军和季军根据每年参赛情况选择性颁发。

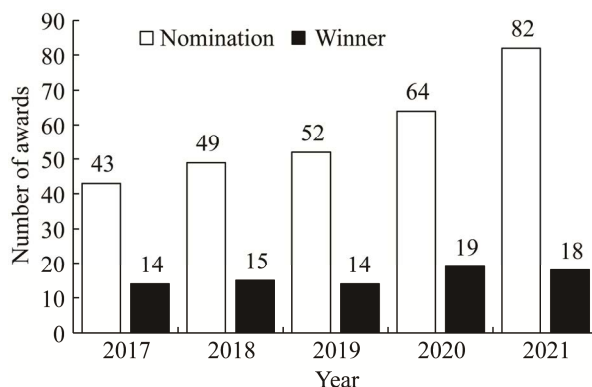


图 6 2017–2021 年 iGEM 竞赛高中队单项奖提名及获奖情况

Figure 6 Special awards nominations and winners of iGEM high school teams obtained from 2017 to 2021.

我国的高中队包揽了 2017–2021 年高中生团队模块总冠军奖。获奖项目选题内容广泛, 主要涉及环境治理、基础医疗、工业生产等领域。表现突出的有中国台北美国学校 TAS_Taipei 队、深圳国际交流学院 GreatBay_China 队和 GreatBay_SZ 队。

中国台北美国学校 TAS_Taipei 队针对废水处理系统纳米粒子污染问题, 设计了 2 种纳米粒子捕获方法, 一种是用膜蛋白视紫红质结合柠檬酸盐覆盖的纳米粒子, 另一种是用过表达调节因子刺激下大肠杆菌产生的生物膜捕获纳米粒子。经过测量视紫红质可结合 60 nm 柠檬酸盐封端的银纳米粒子, 大肠杆菌受诱导产生相对于对照组 8 倍的生物膜, 可捕获 15–60 nm 范围内的金和银纳米颗粒。该项目获得 2017 年 iGEM 竞赛金牌和最佳网页 (best wiki) 单项奖, 并获得另外 4 项最佳单项奖提名。2020 年, TAS_Taipei 队针对目前病毒检测方法在速度、准确性等方面局限性, 改良设计滚环扩增开发病毒检验方法, 以新型冠状病毒、甲型流感和乙型流感为研究对象。使用合成病毒 DNA 和 RNA 序列进行灵敏度和特异性检测, 结果证明团队设计的方法需要约 1 h, 可检测微摩尔浓度的 RNA 链, 并区分病毒株。再次获得 iGEM 竞赛金牌, 获得最佳教育、最佳测量 (best measurement)、最佳新复合生物砖 (best new composite part)、最佳生物砖收集 (best part collection)、最佳新基础生物砖 (best new basic part)、最佳海报、最佳项目展示、最佳软件工具 (best software tool), 并获得另外 5 个单项奖提名。

深圳国际交流学院 GreatBay_China 队尝试通过生物合成猫薄荷吸猫有效成分荆芥内酯, 用于流浪猫数量控制。构建大肠杆菌工程菌株合成香叶醇, 借助共培养体系, 利用酵母菌将

香叶醇转化为荆芥内酯, 产量可达 1.267 mg/L。该项目获得 2018 年 iGEM 竞赛金牌、最佳网页、最佳海报 (best poster)、最佳建模 (best model)、最佳产品设计 (best product design)、最佳新复合生物砖、最佳新基础生物砖、最佳生物砖收集, 并获得另外 3 项最佳单项奖提名。2019 年, 深圳国际交流学院联合深圳贝赛思国际学校、深圳实验学校、厚德书院、深圳市高级中学等 5 所学校组建 GreatBay_SZ 队为解决纺织原料生产过程中的污染问题, 尝试生产一种新型环保纺织原料, 利用大肠杆菌生产重组蜘蛛丝, 并尝试将微生物天然色素脱氧紫精和靛蓝融合蛛丝蛋白, 拓展蛛丝染色工艺, 用于服装业。项目成功获得 4 种产率相对理想的蛛丝蛋白; 超量生产脱氧紫色杆菌素和靛蓝两种天然染料, 其中脱氧紫色杆菌素对蜘蛛丝染色性能稳定; 获得 3 种色蛋白纺丝原液, 不同比例混合生产了 6 种不同颜色的蜘蛛丝。再次获得 iGEM 竞赛金牌, 获得最佳硬件 (best hardware)、最佳新基础生物砖、最佳生物砖收集、最佳项目展示 (best presentation)、最佳网页、最受欢迎参赛队伍 (iGEMers' prize), 并获得另外 6 项最佳单项奖提名。2021 年, 由灵蛛科技旗下的教育品牌灵蛛实验室指导的 LINKS_China 队基于 GreatBay_China (2018 年) 和 GreatBay_SZ (2019 年) 的比赛项目, 尝试利用工程微生物合成皮革, 构建工程酵母, 诱导表达与纤维素结合基质 (cellulose-binding matrixes, CBMs) 融合的人工蜘蛛丝蛋白, 改造驹形氏杆菌 (*Komagataeibacter intermedius*) 合成细菌纤维素膜 (bacterial cellulose membrane, 简称 BCM), 两种工程菌株共培养, 获得性质优良的蜘蛛丝和 BCM 复合材料。最后利用工程大肠杆菌生产天然染料靛蓝、6,6'-二溴靛蓝 (tyrian purple) 和 6,6'-二氯靛蓝 (tyrian red) 对复合材

料染色, 创建一种可持续且人性化的皮革替代品。该项目获得金牌、最佳新复合生物砖、最佳新基础生物砖、最佳生物砖收集、最佳网页、最佳创业精神 (best supporting entrepreneurship), 并获得另外 6 项最佳单项奖提名。综上所述, 获奖的高中队的选题基于与人类生产、生活密切相关的现实问题, 具有很强的社会价值和应用意义, 可以促进人与自然的和谐发展。

3 总结

合成生物学的发展推动了工业生产、医疗建设、环境治理等领域的发展。随着我国学生核心素养的提出和新课程标准的颁布, 以学生为中心, 建立学习中心课堂, 开展情境式、问题驱动、项目驱动教学等成为教学改革的重点方向^[17]。iGEM 竞赛这一跨学科、探究性、参与式竞赛, 以现实问题为导向, 合作学习为基础, 挑战任务驱动性强, 充分培养学生创新创业思维和能力^[2,11-12], 开拓学生视野^[18]、提高学生实践能力^[13]、增强社会责任^[19], 是核心素养培养的重要载体^[20-22]。且国内众多高校依托 iGEM 竞赛建立了“竞”和“教”结合的人才培养平台, 有助于增强学生的合作意识, 帮助学生积累学习经验、掌握学习主动权, 培养学生独立探索、勇于开拓进取的学习能力^[19]。高中队自 2011 年参赛以来, 实现了参赛队数量和项目质量的飞跃, 呈现蓬勃发展的趋势, 成为 iGEM 竞赛的重要组成部分。自 2012 年我国首次有高中队参加 iGEM 竞赛以来, 高中队参赛队伍数量逐年增长, 由最初的 5 支发展至 2021 年的 75 支, 增长了 14 倍。我国高中队项目选题广泛, 密切联系工业生产、医疗诊断、生态环境和社会生活, 取得了可喜的研究进展, 获得的总奖牌数、总金牌数、总单项奖数和总单项奖提名次数已位居世界第一, 并多次包揽高中生

团队模块最终大奖。

但是, 我国 iGEM 竞赛高中队地区分布不平衡, 经济水平越高, 高中队参赛数量越多, 大奖得主所在学校均处于经济发达地区, 拥有更优质的教育资源, 更注重实践和学生创造性思维培养。例如, 中国台北美国学校、深圳国际交流学院、聚焦多交叉学科人才培养和科技前沿的教育品牌灵蛛实验室, 其经费投入、硬件设施和人才培养模式是普通高中难以企及的。而欠发达地区高中队参赛数量寥寥无几。究其原因, 与我国地区教育资源配置差异密切相关。发达地区资源配置指数显著高于其他地区, 公共教育投入最高可达全国财政教育经费支出的 7.12%, 而欠发达地区资源配置指数不及全国平均水平, 公共教育投入最低仅为 0.44%^[23-24]。欠发达地区高中教育明显处于劣势, 其教育经费投入、师资配备和硬件资源与 iGEM 竞赛的参赛费用和项目资源保障要求存在较大差距, 高中队参赛阻力较大。

为进一步提升欠发达地区教育水平, 充分利用 iGEM 跨学科人才培养平台, 将国内更多地区学生纳入 iGEM 竞赛, 可从以下 3 个方面进行改进: (1) 兼顾提升教育能力与发展教育理念双任务。教育资源影响教育能力, 教育理念影响教育行为^[25]。不仅要加大欠发达地区教育经费比例, 提升这些地区的教育资源质量, 还要积极发展欠发达地区的教育理念, 将“创新人才培养”置于“升学率”的上位。通过支教或教育实习等方式增加 iGEM 竞赛和合成生物学的宣传力度, 激发欠发达地区高中对于竞赛等人才培养平台的自主选择意愿, 提升平台使用能力, 增强人才培养效能感。(2) 构建多方联动的协同育人体系。iGEM 竞赛等人才培养平台需要高中具备成熟的指导团队、充足的经费支撑和完备硬件资源, 是现阶段欠发达地区高中难以独

立实现的。参赛高中可以与本地区或其他地区优质的高中、高校、教育或科研机构达成合作,寻求经验指导和硬件资源等支持。还可以与公益组织或平台委员会沟通,获取经费支持。(3) 拓宽学生个性化参与形式。伴随我国素质教育、教育信息化、课程改革和教师发展的政策推进,全面推进个性化教育已成为因材施教的主旋律^[26]。学生可通过校队参赛、跨校参赛、自主参赛等多种方式走进合成生物学。以期我国经济不发达地区的高中生能够跟上合成生物学的发展步伐。

REFERENCES

- [1] 宋娟, 朱梦梅, 钱珂文, 等. 中美大学生社会实践模式的比较研究——基于国际基因工程机器大赛(iGEM)的视角. 大学教育, 2022, 11(2): 1-3, 7.
Song J, Zhu MM, Qian KW, et al. Comparative study on the social practice modes of Chinese and American university students—from the perspective of iGEM competition. Univ Educ, 2022, 11(2): 1-3, 7 (in Chinese).
- [2] 简甜甜, 李遂焰, 廖海, 等. 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, et al. Cultivation of college students' innovative and entrepreneurial thinking and ability based on Synthetic Biology and iGEM. Chin J Biotech, 2022, 38(4): 1619-1630 (in Chinese).
- [3] Jainarayanan AK, Galanis A, Sreejith A, et al. iGEM comes of age: trends in its research output. Nat Biotechnol, 2021, 39(12): 1599-1601.
- [4] 高洁, 汪宏华. 教育经费投入对科研创新影响的实证研究. 科研管理, 2020, 41(7): 248-257.
Gao J, Wang HH. An empirical study of the impact of educational investment on scientific research innovation. Sci Res Mgt, 2020, 41(7): 248-257 (in Chinese).
- [5] Rubio-Sánchez R. Editorial for “special issue on the 2019 and 2020 iGEM proceedings”. Synth Syst Biotechnol, 2022, 7(3): 878-879.
- [6] Smolke CD. Building outside of the box: iGEM and the BioBricks Foundation. Nat Biotechnol, 2009, 27(12): 1099-1102.
- [7] Timmons JJ, Densmore D. Correction: repository-based plasmid design. PLoS One, 2020, 15(2): e0229981.
- [8] 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 XN. Synthetic biology in China: review and prospects. Sci Sin Vit, 2019, 49(12): 1543-1572 (in Chinese).
- [9] 2022 Global CLeantech 100[EB/OL]. [2022-08-14]. <https://www.cleantech.com/the-global-cleantech-100/>.
- [10] 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)—taking the College of Life Sciences of Beijing Normal University as an example. Univ Educ, 2020, 9(12): 111-113 (in Chinese).
- [11] 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.
Lv 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).
- [12] 郝晓冉, 邴杰, 陈金波, 等. 大学生自主创新能力培养——国际遗传工程机器大赛简介. 生物学通报, 2017, 52(7): 21-23.
Hao XR, Bing J, Chen JB, et al. Cultivation of college students' independent innovation ability—brief introduction of international genetic engineering machine competition. Bull Biol, 2017, 52(7): 21-23 (in Chinese).
- [13] 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 Instrum, 2020, 18(5): 46-51, 34 (in Chinese).
- [14] 教育部关于印发普通高中课程方案和语文等学科课程标准(2017年版 2020年修订)的通知[EB/OL]. [2022-08-14]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/202006/t20200603_462199.html.
- [15] 洪洞, 罗昭峰, 梁志, 等. 高水平国际学术竞赛在大

- 学生创新能力培养中的作用. 高校生物学教学研究(电子版), 2012, 2(2): 60-64.
- Hong J, Luo ZF, Liang Z, et al. Function of international competition in the innovative ability development of undergraduate students. *Biol Teach Univ (Electron Ed)*, 2012, 2(2): 60-64 (in Chinese).
- [16] 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).
- [17] 余文森, 龙安邦. 论义务教育新课程标准的教育学意义. *课程·教材·教法*, 2022, 42(6): 4-13.
- Yu WS, Long AB. On the pedagogical meaning of the new curriculum standards for compulsory education. *Curr Teach Mater Method*, 2022, 42(6): 4-13 (in Chinese).
- [18] 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.
- [19] Schmitt FJ, Frielingsdorf S, Friedrich T, et al. Courses based on iGEM/BIOMOD competitions are the ideal format for research-based learning of xenobiology. *Chembiochem*, 2021, 22(5): 818-825.
- [20] 朱梦梅, 李琨, 王梁华, 等. 依托生物化学与分子生物学课程构建合成生物学竞教平台. *广东化工*, 2022, 49(1): 233-234, 189.
- Zhu MM, Li K, Wang LH, et al. A synthetic biology competition and education platform based on biochemistry and molecular biology. *Guangdong Chem Ind*, 2022, 49(1): 233-234, 189 (in Chinese).
- [21] Diep P, Boucinha A, Kell B, et al. Advancing undergraduate synthetic biology education: insights from a Canadian iGEM student perspective. *Can J Microbiol*, 2021, 67(10): 749-770.
- [22] Materi W. Leading a successful iGEM team. *Methods Mol Biol*, 2012, 852: 251-272.
- [23] 张菡洺. 我国教育资源配置分析及政策选择——基于教育基尼系数的测算. *中国人民大学学报*, 2013, 27(4): 89-97.
- Zhang WM. An analysis of China's education resources allocation and its policy choice—measurement of education based on Gini coefficient. *J Renmin Univ China*, 2013, 27(4): 89-97 (in Chinese).
- [24] 于璇. 我国高中阶段教育资源配置的地区差异、动态演进与趋势预测. *教育与经济*, 2021, 37(3): 59-69.
- Yu X. Regional difference, dynamic evolution and trend forecast of the allocation of regular senior secondary school education resources in China. *Educ Econ*, 2021, 37(3): 59-69 (in Chinese).
- [25] 石绍宾. 城乡基础教育均等化供给研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- Shi SB. On the equalizational provision of urban-rural primary education[D]. Jinan: Shandong University, 2007 (in Chinese).
- [26] 周德青, 杨现民. 我国推进因材施教的政策分析、发展脉络及问题——以 2001-2021 年间提及因材施教的 72 份国家政策文件为研究样本. *现代教育技术*, 2022, 32(6): 15-24.
- Zhou DQ, Yang XM. Policy analysis, development process and problems of promoting teaching in accordance with aptitude in China—taking 72 national policy documents about teaching in accordance with aptitude from 2001 to 2021 as research samples. *Mod Educ Technol*, 2022, 32(6): 15-24 (in Chinese).

(本文责编 郝丽芳)