

高水平国际学术竞赛在大学生创新能力培养中的作用

洪洞^(✉)¹, 罗昭峰¹, 梁志¹, 吴家睿^{1,2}, 刘海燕¹

¹ 中国科学技术大学生命科学学院, 合肥, 230027

² 中国科学院上海生命科学院, 上海, 200031

摘要: 国际遗传工程机器竞赛(International Genetically Engineered Machine Competition, iGEM)是一项合成生物学领域的国际性比赛, 这项比赛通过以本科生为主的队伍, 在各自的学校独立完成自主设计的课题后, 到美国麻省理工学院进行成果展示, 并对成果进行评定。这项比赛对本科生的创新能力、独立研究能力及团队协作能力的培养都有很大帮助。本文以中国科学技术大学的iGEM为例, 介绍了iGEM、中国科学技术大学iGEM的组织 and 成绩, 以及iGEM在本科生创新教学中的作用和启示。

关键词: iGEM, 合成生物学, 教学改革, 自主学习

Function of International Competition in the Innovative Ability Development of Undergraduate Students

HONG Jiong^(✉)¹, LUO Zhao-feng¹, LIANG Zhi¹, WU Jia-ru^{1,2}, LIU Hai-yan¹

¹ School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China

² Shanghai Institutes for Biological Sciences of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China

如何提高大学生的创新能力, 提高大学生在学习及研究中的独立性和创造性, 从教育部到高校等不同层次的部门采取了许多不同的措施。例如国家大学生创新性实验计划、大学生研究计划、大学生自然科学基金项目等, 这些计划和项目倡导以本科学生为主体, 通过教学与科研相结合, 调动学生的主动性、积极性和创造性, 激发学生的创新思维和创新意识, 逐渐掌握思考问题、解决问题的方法, 提高其创新实践的能力^[1]。但是这些项目往往对导师实验室条件及课题依赖很重, 老师也担心学生因设计缺陷导致项目不能完成, 浪费资源。鉴于这两方面因素, “课题立项”在实际操作中多由老师代为, 最终常常成为为导

师完成小课题, 而学生又成了为教师干活的技术员而已。虽然在这个过程中, 学生也受到了很多科研及学习方法的训练, 但常常受到限制, 学生始终处在被动的状态, 不利于激发学生的活力。iGEM竞赛反映了美国研究型大学多年以来重视本科生科研训练的传统, 以及给予学生越来越多主体性的趋势, 代表了以学生为中心的研究性学习的先进培养模式。iGEM竞赛受指导教师研究领域干扰小, 而且iGEM队伍是独立的, 目标是找到自己感兴趣、有可行性的研究课题, 并独立完成。这与很多传统的培养方式有很大不同, iGEM能够对本科生进行完整科研周期的各个环节的训练, 提高本科生关注科研前沿的能力, 运作科研机构所需的社会事务方面的能力并获得团队协作上的经验^[2,3]。下文结合中国科学技术大学参加iGEM比赛经验, 探讨iGEM这种研究型学习模式对大学生创新教学的作用。

1 iGEM简介

iGEM全称为International Genetically Engineered Machine Competition（国际遗传工程机器竞赛），是合成生物学（synthetic biology）领域顶尖水平的国际性大学生学术竞赛（http://igem.org/Main_Page）。作为近年来生命科学领域的新兴方向，合成生物学试图通过工程学的研究方式，重新设计并实现自然界现有的天然生物系统或是构建新的人工生物组件和系统。为了达到这一目的，需要不同学科领域之间交流合作，通过工程学上标准化、模块化、抽象化等思想的指导来设计和制造人们所需的生物系统。

iGEM期望通过竞赛的形式，搭建学科间交流的平台，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且加以操纵。比赛每年一届，每支报名的代表队由来自生物、工程、化学、计算机、数学、物理等多学科的学生组成。每队自行选定课题，通过使用已有的生物学零件或制作新的零件，采用标准化的基因工程方法构建出所设计的生物系统，使其在活细胞中工作，并进行操纵和测量。每年11月初，来自世界各地的代表队汇集在美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）展示和交流所做的工作并评奖（从2011年开始，在各大洲先进行地区预赛，优秀者晋级在MIT举行的决赛）。

iGEM竞赛起源于2003年MIT校内的合成生物学课外竞赛，于2005年发展为国际竞赛并更名为iGEM。此后快速壮大，从2005年的13支队伍开始，去年达到了128支队伍，今年更是达到了160支队伍，包括哈佛大学、麻省理工学院、剑桥大学、苏黎世理工大学等世界一流大学的代表队。各队的参赛项目既充满了奇思妙想又展现出巨大的应用前景，包括产生香味的细菌、检测和清除污染物的细菌、人造血液、细菌计算机、生物胶卷、细菌太阳能电池、细菌分子克隆机器等。作为合成生物学领域的顶级赛事，iGEM被广泛宣传。*Nature*、*Science*、*Scientific American*、*Economists*等杂志，以及BBC这样的传统媒体，都对其做过专题报道。竞赛中同时产生大量有重要科学价值的工作，例如，iGEM 2005中UT Austin队的结果最终以“Synthetic biology: engineering *Escherichia coli* to see light”为题在2005年11月24日的*Nature*杂志发表^[4]。*Nature Biotechnology* 2009年27卷12期封面采用了iGEM



图1 *Nature Biotechnology* 2009年27卷12期封面封面采用了iGEM比赛选手的涂鸦板，可以看到中国科学技术大学、北京大学、清华大学等大陆高校的涂鸦

比赛选手的涂鸦板。

2 中国科学技术大学iGEM队伍的组织

中国科学技术大学自2007年开始参赛，2009年开始组织实验和软件两支队伍参赛，一共获得了六金一银一铜八枚奖牌，并获得最佳基础技术奖（2007）和最佳软件工具奖（2010）。我校2007年iGEM的工作发表在Nature Publishing Group 出版的杂志*Molecular System Biology*^[5]。

2.1 参赛组织架构

中国科学技术大学iGEM的参赛工作由吴家睿教授和刘海燕教授领头。项目的技术指导为洪洞老师和梁治老师，日常组织管理由罗昭锋老师负责。另外，前一届的骨干队员和队长也积极参与具体的实验及比赛指导中。从2009年开始，中国科学技术大学组织了实验队和软件队两支队伍。每支队伍在经过面试、培训的程序后选出队长，队长对各自的iGEM队进行具体管理，直接负责队伍的选题、实验设计和实施以及最终

的参赛。

2.2 队员招募

高素质的队员和领队是竞赛活动的关键。为了鼓励不同学科不同专业的同学参与，促进交流，队员选拔采用全校海选方式，通过BBS及海报等途径面向全校进行宣传。全校所有学生都可以通过网络报名，然后根据报名表格初筛，确定面试人选。

初筛确定后队员需要进一步通过面试。面试采取谈话的形式，参与面试的有指导老师和上届的骨干队员，但以上一届骨干队员为主。参加面试的同学被分成五人一组，一起进行面试。面试时，首先由候选者做自我介绍，谈谈自己参赛的动机和想法、对参赛的认识以及个人的优势。通过这种开放性的问答，了解应试者的反应能力、表达水平以及与人相处等方面的表现。每位面试官会根据自己的印象给面试者打分。最后，通过综合面试官的评判确定入选者。如果对某些候选人存在争议，则通过协商来最终决定。确定队员时，尽可能保留较多的同学，让更多的同学在iGEM工作早期有个实际的感觉，再决定自己是否适合及喜欢这个比赛。

中国科学技术大学iGEM的队伍的管理基本是由指导老师协助组队和培训，队伍主要是自主管理，进行课题设计、验证及参加比赛的，指导老师基本不进行干预，只对课题设计及完成过程提供建议。队员来自学校的不同院系，共同在生命科学学院创新实验室完成比赛的课题（表1）。

2.3 队长的选拔

队长是一个队的核心人物，既要有理论和实验方面的经验，又要有激情，还能够提出一些新的创意，

并具备一定的组织才能。队长的选拔是一个队伍成败的关键。队长是通过每次交流培训，在逐渐凸显出来的成员中选拔的，很难事先来确定。在培训过程中有很强的自学能力，而且能全身心地投入到iGEM工作中，逐渐成为公认的核心人物的队员最终会成为队长。

3 iGEM在生物学创新教学中的作用

3.1 提高学生的自主学习能力、发现问题的能力

虽然iGEM是合成生物学领域的一个比赛，但是它对学生能力的培养不仅仅局限在这个领域。与传统的竞赛方式不同，iGEM是开放的，要求学生自主选题，利用课余时间独立完成相应的实验工作，并将研究成果提交给麻省理工学院的竞赛组委会，供全球的科学家共享。从阅读文献、确定选题，到设计方案、做实验，直到最后答辩，都是学生独立自主完成，教练组指导老师主要对研究课题的大方向和相关理论与技术作宏观指导，学生才是真正的主角。在这个过程中，iGEM队员需要广泛查阅相关的文献资料，了解国内外研究现状，获取大量信息，在这个基础上发现问题、提出问题、分析问题。通过数轮文献报告和头脑风暴，最终确立既有创新性和科学性，又有可能在几个月时间内完成的课题。通过这个过程，队员们学习了大量课堂教学以外的知识，拓展了视野。而且，由于整个选题后方案设计完全在iGEM队员自己的研究兴趣驱动下进行，极大激发了大家的创造力和参与的积极性。

3.2 培养学生的科学思维和创新能力的

在大量的文献阅读的基础上，队员逐渐开始形成自己的想法，这时候队员们通常有很多的课题在脑

表1 中国科学技术大学历年参赛题目及队员组成

年份	题目	队员专业组成*
2007	Extensible Logic Circuit in Bacteria	生命学院，化学院（研4本3）
2008	Artificial Self-organized System	生命学院，化学院（研4本5）
2009	实验队: <i>E. coli</i> Automatic Directed Evolution Machine 软件队: Automatic Biological Circuit Design	数学、物理、化学、生命、电子信息、少年班、地球和空间科学学院、数学系（研6本11）
2010	实验队: An Integrated Platform Based on Bacterial Microcompartment for <i>de novo</i> Proteinaceous Artificial Organelles 软件队: iGaME: Synthetic Biology for Gamers	生命、化学、计算机、少年班学院、理学院、数学系、物理学院（研2本24）
2011	实验队: Self organizing Bacteria 软件队: Lachesis	生命、化学、计算机、信息、少年班、数学、管理、工程学院（研3本22）

* 研：研究生；本：本科生。

中，于是开始进入下一阶段，确定课题。这个阶段也是头脑风暴阶段，在这个阶段，队员必须将自己所感兴趣的课题，通过讲解的方式，使其他队员明白此课题的研究目的和意义、国内外研究现状、研究内容、拟解决的关键问题、实验方案、技术路线、研究的可行性分析、研究特色和创新性、预期结果等。然后全体队员就这个课题进行评价，确定课题是否合理，是否有可行性和创新性。在这个过程中，通过大量的思考和讨论，队员的科学思维能力、分析问题能力得到了极大的提升。

3.3 培养学生的实践能力

独立的查文献、选题、调查可行性、设计研究技术路线等目前是研究生，甚至是博士生培养的要求，但在iGEM的课题选择和方案设计这一过程中，队员们在科学信息的获取、分析和整理方面得到了很好的培训，为进一步发展打下了基础。

在完成课题过程中，按照实验设计方案和操作步骤认真实验，仔细记录各项实验的原始数据及结果，培养了队员们严谨和实事求是的科学作风。能否通过实验完成课题、解释提出的问题，实验结果是否为预期结果等都是对学生科学态度的检验和实践能力的锻炼。

完成实验工作以后，队员们还必须认真完成实验数据的整理、归纳和分析，并在iGEM比赛现场展示自己的研究。用英文准备幻灯片和海报，同时还要向评委和听众介绍自己的研究，在做好自己研究课题的基础上，队员们又学习了如何向别人介绍自己的成果，提高与其他研究人员的交流能力。

3.4 提高学生的社会交往能力、团队协作精神

iGEM还可以提高学生的社会交往能力、团队协作精神。科学技术的发展使科学研究已不可能仅靠个人去完成，现代社会的发展也要求人们彼此协作。同样，iGEM也不可能由1~2个未受过系统的科研训练的本科生完成。因此，在iGEM际赛过程中，队员们要相互配合、取长补短，在实验中既有分工，也有合作，通过与人协作，培养良好的团队精神。另外，涉及实验中特殊要求的试剂、仪器等，需与其他学科、公司等联系沟通；而不同的iGEM队之间的交流，比赛中与听众的交流都大大提高了学生的社会交往能力。对于这些非书本传授的知识，考试也不涉及的内容，学生

在实践中学习，并在实际运作中，解决了具体问题，提高了学生的综合素质。

3.5 跨学科交流

iGEM竞赛还有一个重要的作用，即促进多学科交流。从我们的队员组成上看（见表1），iGEM队员来自学校的不同院系和不同专业，iGEM竞赛的课题正是通过这些队员之间的协作共同完成的。同时，iGEM竞赛要求各个队伍在自己的网页（WIKI）上提交课题的设计、实验记录、建模分析以及human practice等部分的工作的结果。这不仅需要生物学知识，还需要使用计算机分析的能力，对于human practice更是要求大家对合成生物学、各队自己的课题等在生物安全、公众观点等方面进行社会调查。这些工作都需要队员之间取长补短，相互学习自己专业以外的知识才能完成。

3.6 对传统教育的有益补充

从2009年起，中国科学技术大学每年组建“干”队和“湿”队两支队伍参赛。团队成员来自不同的学科专业，不仅每人都能找到自己的位置，发挥作用，而且能够相互学习，共同提高。从报名到最后出国比赛，除了研究工作，还要建网站、做宣传、拉赞助、财务管理、办出国手续、演讲答辩等，对提升个人的综合能力有很大帮助。在麻省理工学院比赛时，还能与全世界顶尖大学的学生交流，收获很大。这些是老师讲、学生听、老师让学生做什么学生就做什么的传统教学方式难以做到的。

4 总结

iGEM这类以本科生为主体的比赛有以下特点：①在组织方式、工作形式等方面符合青年学生的性格特点，能充分激发学生的想象力和创造力；②以学术研究为主要内容，能够吸引真正对学术感兴趣的学生；③研究生往往需要指导来自生命科学、数理、信息等不同学科的优秀本科生，能够培养学生参与学科交叉所需的交流沟通能力，并学会综合利用不同学科知识和分析手段开展研究工作；④让研究生通过具体科研问题参与国际交流，提高眼界，开拓视野；⑤部分参与iGEM的优秀本科生会留校读研，有利于提高研究生素质。

虽然目前在大学生教学过程中正在逐渐改变过去

的满堂灌的方式，不断地增加实验教学及研究探索方面的教学，但是这些方式都是依赖于实验课及所在的研究室，常常受到教学课程设置以及所在研究室本身的课题任务的限制。与传统方式不同，iGEM要求学生自主选题，利用课余时间独立完成相应的实验工作，教练组的主要作用是对选题大方向的把握和相关理论及技术的指导，学生们才是真正的主角。iGEM是对传统教育的有益补充，为学生们提供了一个在课外进行自主探索性研究的平台，使得学生们不但可以将理论教学与实验教学中学到的知识运用到实际的科研问题中，而且对学生们在多学科交叉研究、团队合作、文献阅读、科研选题等方面都给予了全面的锻炼与培养，极大地激发了学生的想象力、创造力、独立性和参与科学研究的热情。iGEM及类似iGEM的团队可以作为创新人才培养计划的载体或者载体之一，逐步地开展以学生为中心的研究性学习的培养模式。

致谢

这么多年来，中国科学技术大学iGEM的队员来自学校的各个院系，也得到了各个院系的支持。在校教务处、研究生院、生命科学学院及新创基金提供的经费和场地支持之

外，外事处、少年班学院、数学系、物理学院、计算机学院、信息学院、化学学院、校团委（排名不分前后）等单位也先后为iGEM提供了经费的支持和方便。正是全校上下各个部门及单位的支持，使我们不同专业、不同学院的同学能够有机会一起学习并在iGEM比赛中展示我们中国科学技术大学学生的创造力，同时也是同学们克服困难，获得好成绩的动力，在此向他们表示诚挚的感谢。

参考文献

- [1] 毕建杰, 王启柏, 谭秀山, 等. 大学生创新能力培养——科研促教学 促进本科生创新能力的培养 [J]. 中国现代教育装备, 2011(127):135-137.
- [2] 杨保国. 国际遗传工程机器设计竞赛：让大学生提前体验“读博”. 科学时报, 2011. 2011-08-09:B4大学.
- [3] Mitchell R, Dori Y J and Kuldell N H. Experiential engineering through iGEM-An undergraduate summer competition in synthetic biology [J]. Journal of Science Education and Technology, 2011, 20(2):156-160.
- [4] Levskaia A, Chevalier A A, Tabor J J, et al. Synthetic biology: engineering *Escherichia coli* to see light [J]. Nature, 2005. 438 (7067):441-442.
- [5] Zhan J, Ding B, Ma R, et al. Develop reusable and combinable designs for transcriptional logic gates [J]. Molecular systems biology, 2010, 6:388.

(责编 高新景)