

基于前沿热点案例的合成生物学教学模式的探索与实践

王琿, 何进, 韩文元, 周颐, 端木德强, 何璟, 樊秋玲, 吴淑可, 徐纬

华中农业大学 生命科学技术学院, 湖北 武汉 430070

王琿, 何进, 韩文元, 周颐, 端木德强, 何璟, 樊秋玲, 吴淑可, 徐纬. 基于前沿热点案例的合成生物学教学模式的探索与实践. 生物工程学报, 2022, 38(7): 2639-2648.

WANG X, HE J, HAN WY, ZHOU Y, DUANMU DQ, HE J, FAN QL, WU SK, XU W. Exploration and practice of synthetic biology teaching mode based on research frontiers and hotspots. Chin J Biotech, 2022, 38(7): 2639-2648.

摘要: 作为一门理论性与应用性都很强的课程,“合成生物学”对生物工程领域创新性人才培养发挥着至关重要的作用。为此,华中农业大学开设了“合成生物学”课程。首先,以“重基础知识、抓创新实践、追前沿进展”为理念,通过组建高水平的“合成生物学”教学团队,并不断调整优化课程内容,形成了新颖合理的课程体系。其次,在教学过程中,及时将高水平学术期刊及时事热点新闻报道中有关合成生物学的案例引入课堂教学中,丰富了教学内容,提高了学生的学习兴趣。再次,以前沿热点案例为切入点,通过以“学”为中心的授课模式,引导学生深入探讨,提高了学生的思辨思维与创新能力。本课程取得了很好的教学效果,并有效促进了创新型人才培养,在此与同行交流,以期能为“合成生物学”及相关课程的教学改革提供一些新的启发与思考。

关键词: 合成生物学; 课程体系; 授课模式; 案例教学

Exploration and practice of synthetic biology teaching mode based on research frontiers and hotspots

WANG Xun, HE Jin, HAN Wenyuan, ZHOU Yi, DUANMU Deqiang, HE Jing, FAN Qiuling, WU Shuke, XU Wei

College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China

Abstract: Synthetic biology, a course with a sound theoretical system and a wide application range, plays a

Received: December 23, 2021; **Accepted:** March 22, 2022; **Published online:** March 28, 2022

Supported by: National New Engineering Research and Practice Project (E-SWYY20202512); Postgraduate Training Conditions Construction Project in Huazhong Agricultural University (2021AL14, 2021JG22, 2021JC24)

Corresponding author: HE Jin. Tel/Fax: +86-27-872802101; E-mail: hejin@mail.hzau.edu.cn

基金项目: 国家级新工科研究与实践项目 (E-SWYY20202512); 华中农业大学研究生培养条件建设项目 (2021AL14, 2021JG22, 2021JC24)

role in the cultivation of innovative talents in the field of bioengineering. To this end, we have set up a synthetic biology course in our university. First, according to the concept of imparting basic knowledge, highlighting innovative practice, and keeping up with cutting-edge progress, we assembled a high-level teaching team for synthetic biology. The team constantly adjusted and optimized the course contents and achieved a novel and reasonable course system. Second, we introduced frontier cases of synthetic biology reported in high-level journals, as well as breaking news in this field in classroom teaching, which enriched the teaching contents and aroused students' interest. Third, taking these cases as the breakthrough point, we guided students to in-depth discussions through the learning-centered teaching mode to improve students' abilities of critical thinking and theoretical innovation. In summary, the course has achieved good teaching outcomes and improved the cultivation of innovative talents. Therefore, we share our work with peer teachers, aiming to give new insights into the teaching reform of synthetic biology and other related courses.

Keywords: synthetic biology; course system; teaching mode; case-based teaching

合成生物学是生命科学与众多学科交叉的前沿科学领域,为生命科学开创了新的研究模式,并正在催生新一代生物技术的发展。合成生物学旨在以系统化设计及工程化构建为理念,通过基因工程手段设计与构建标准化的元件、模块和系统,从而改造乃至创建全新的具有特定生理功能的生物系统^[1]。目前,合成生物学已在疫苗制备、新药研发、绿色制造、能源生产、环境治理和生物传感等方面展现出了巨大的应用价值^[2-3]。合成生物学的核心内容之一是构建高效的微生物细胞工厂,将生物基原料转化为各种终端产品,实现绿色生物制造和可持续发展,为我国 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和助力^[4]。2018 年和 2021 年,习近平总书记在两院院士大会上指出:“以合成生物学、基因编辑、脑科学、再生医学等为代表的生命科学领域孕育新的变革”“从认识生命、改造生命走向合成生命、设计生命”。因此,合成生物学的研究与应用已经提升至国家战略层面。近年来,合成生物学飞速发展,新技术层出不穷,新产品备受瞩目,合成生物学初创公司如雨后春笋般纷纷出现,其产业发展势不

可挡。近年来,合成生物学相关企业越来越多地受到风投公司的青睐,增长势头迅猛^[5]。随之而来的合成生物学研究进展与产业发展也逐渐成为社会热点。越来越多的新闻报道聚焦于“合成生物学”这一明星词汇。

1 “合成生物学”课程开设的背景

合成生物学已展现出巨大的发展潜力,相应的研究与产业已掀起热潮,随之而来的是研究机构及企业对相关人才的庞大需求。生物工程类本科生和研究生将成为我国合成生物学发展的创新主体和中坚力量,大力培养合成生物学领域的专业人才,满足社会的需求是重中之重。经过半个多世纪的发展,我校的生物工程专业已形成了 4 个特色鲜明的研究方向,即发酵与酶工程、合成生物生物技术与系统生物工程、生物资源与环境工程以及作物基因组工程。我校的生物工程专业更是在 2021 年软科世界排名中跻身世界第 46 位^[6],显示了不俗的实力。在此背景下,依托国家重点学科微生物学的浓厚底蕴^[7]以及首批博士点与博士后流动站一级学科生物工程的雄厚实力^[8-9],我校于 2019 年

适时开设了“合成生物学”课程,其在生物工程、生物技术、生物科学、生物制药与生物信息学等相关专业的课程设置中必将处于桥梁和纽带地位。

在师资队伍建设方面,我们首先组建了由多位教师组成的教学团队,其中大部分人为近年来引进的青年才俊。教学团队充分发挥中年教师经验丰富、视野开阔的优势,突出青年教师思维敏锐、勇于探索的特点,坚持老中青结合,发扬传帮带风尚,积极推动教学团队内涵建设与可持续发展。其次,我们采取小班(32人左右的行政班或自然班)教学,每个小班由一位教师独立授课。同时,教学团队定期进行教学研讨,将学术前沿及研究热点快速转化为教学资源,以突出课程的先进性和专业性。

“合成生物学”的先修课程为“生物化学”“微生物学”“分子生物学”“基因工程”等。授课时长为32学时,面向三年级本科生与一年级研究生2个层次分别授课,授课内容基本一致,但研究生的课堂讨论比例更大。“合成生物学”为生物工程专业本科生的专业核心课程,生物技术专业本科生的特色课程及生物科学专业本科生的选修课程;也是生物工程专业(学术型)研究生的学科核心课及生物与医药(专业型)硕士研究生的专业基础课;同时还作为全校其他各专业研究生的选修课。每年春季与秋季分别为本科生与研究生开课,到目前为止,累计授课4轮,修读人数达880人。课程实施后,极大提升了学生的创新能力,增加了学生参与国际、国家及省级各类创新创业竞赛中的参与度,并助力学生在竞赛中获得好成绩。如华中农业大学iGEM团队连续3年(2019–2021年)均获得金奖,2021年更是跻身全球Top 10,在含金量更高的单项奖部分获得了6项提名,并斩获“Best Model”奖项^[10]。

2 “合成生物学”课程体系的构建

2.1 合成生物学核心授课内容的确立

我们以“重基础知识、抓创新实践、追前沿进展”为理念,对“合成生物学”的课程内容体系进行了构建。通过4轮教学,我们不断调整、优化课程体系,形成了目前的主体框架,即将“合成生物学”的授课内容分为9个章节,系统地阐述了合成生物学概念、原理、方法及工程应用(表1)。在每一章节中,均分别确定了核心授课内容(教学重点)以及授课时长(学时数)。我们根据合成生物学的发展动态,围绕每一章节的核心内容,将前沿领域最新的研究成果融入课堂(表1)。授课前,教师充分利用网络资源,从高水平杂志、新闻网站、微信公众号以及社交媒体中及时获取合成生物学的研究热点,以文字、图片、漫画、动画、音视频、校园剧、辩论和评论等多种手段汇入教学环节,提升案例的吸引力和感染力。

2.2 基于核心内容的前沿案例的挖掘

我们精心挖掘前沿进展与热点新闻,并应用于教学,让“合成生物学”课堂充满活力。作为一门蓬勃发展的学科,合成生物学涵盖了许多全球性的热点问题,为学生提供了大量既具备理论意义又富有应用价值的学习资料。我们在课程中引入高水平杂志与时事热点新闻中报道的合成生物学案例,以案例为切入点,引出教学内容,以提问的形式引导学生大胆探讨。同时借助“长江雨课堂”平台,增加课外扩展内容和实施在线测试。这些教学方式不仅充分调动了学生学习的主动性,还加强了师生交流,极大地激发了学生的学习兴趣。

在第一章绪论中,我们引入多部著名的科幻影视作品,如《侏罗纪公园》系列电影,从1993年的第一部《侏罗纪公园》,到2022年的

表 1 课程章节及核心授课内容

Table 1 Course chapters and teaching contents

章节名称 Chapters	核心授课内容 Contents	学时数 Class hours	前沿进展与时事热点新闻 Corresponding current affairs and breaking news
第一章 合成生物学导论 Chapter 1. Introduction to synthetic biology	合成生物学的基本概念、主要内容与发展历程 The basic concept, main contents, and short history of synthetic biology	2 学时 2 hours	视频资源《侏罗纪公园》《生物黑客》; “复活猛犸象”; 可供人体移植的猪器官等 ^[11] Video resources: Jurassic Park, Biohackers; resurrecting mammoths; pig organs for human transplantation ^[11]
第二章 合成生物学的原理及工程化特质 Chapter 2. Basic principles and engineering qualities of synthetic biology	合成生物学的解析思路; 生物模块的标准化、模块化、兼容性、可控性特质 Decoupling and extraction of synthetic biology; standardization, modularity, compatibility, and controllability qualities of biobricks	2 学时 2 hours	知乎网站视频“合成生物学: 细胞的工程化改造” Videos on Zhihu website “synthetic biology: engineering of cells”
第三章 合成生物学元件及途径的挖掘 Chapter 3. Mining synthetic biological parts and manipulating biosynthetic pathways	基因组、转录组、蛋白组、代谢组等组学数据分析及功能基因挖掘、计算机辅助设计与分析 Genomic, transcriptomic, proteomic and metabolomic data analysis and functional gene mining, computer-aided design and analysis	2 学时 2 hours	纳米孔测序技术 ^[12] ; 基于合成生物学策略的酶蛋白元件规模化挖掘 ^[13] Nanopore sequencing technology ^[12] ; scalable mining of proteins for biocatalysis via synthetic biology ^[13]
第四章 合成生物系统的层级化结构 Chapter 4. Hierarchical structure of synthetic biological systems	合成生物系统的元件、装置及系统 Biological parts, devices, and systems for synthetic biological systems	4 学时 4 hours	合成生物学装置的设计与构建 ^[14] ; 人工基因元件的合成生理学研究进展 ^[15] Design and construction of synthetic device ^[14] ; advances in synthetic physiology of artificial genetic parts ^[15]
第五章 合成生物系统的基因线路 Chapter 5. Synthetic genetic circuits	合成生物系统的逻辑拓扑结构; 基因线路的设计思路 Topology of synthetic biological system; genetic circuit design	4 学时 4 hours	iGEM 竞赛作品中有关基因线路设计的案例 ^[16-18] Examples of genetic circuit design in iGEM ^[16-18]
第六章 合成生物学中的使能技术 Chapter 6. Enabling techniques in synthetic biology	高效基因编辑、DNA 合成与组装、体外体内定向进化等技术 High efficiency gene editing, DNA synthesis, directed evolution	6 学时 6 hours	酶的定向进化技术 ^[19] ; 基于 CRISPR/Cas9 的基因编辑技术 ^[20] ; 文特尔的人造生命 ^[21] , “复活猛犸象”计划等 Directed evolution ^[19] ; CRISPR/Cas9 gene editing technique ^[20] ; creation of artificial life ^[21] , resurrecting mammoths plan
第七章 合成生物系统的调控与优化 Chapter 7. Design and optimizing of biosynthetic pathway	代谢网络的优化、代谢途径的动态调控、人工生物支架系统 Optimization of metabolic pathway, dynamic regulation, artificial biological scaffold system	6 学时 6 hours	David Liu (刘如谦) PACE 系统相关的视频与新闻等 ^[22] Videos and news related to phage-assisted continuous evolution (PACE) system which was created by David Liu ^[22]

(待续)

(续表 1)

章节名称 Chapters	核心授课内容 Contents	学时数 Class hours	前沿进展与时事热点新闻 Corresponding current affairs and breaking news
第八章 合成生物学的应用 Chapter 8. Application of synthetic biology	在人类健康、工业生产、生物制药、环境治理等方面合成生物系统的应用 Applications in healthcare, industrial processes, biopharmaceuticals and environment protection	4 学时 4 hours	人工合成淀粉 ^[23] ; mRNA 疫苗 ^[24] ; 合成生物学在医药领域的应用 ^[25-28] Conversion of CO ₂ into starch ^[23] ; mRNA vaccine ^[24] ; synthetic biology in medicine ^[25-28]
第九章 合成生物学的战略地位与发展前景 Chapter 9. Prospects of synthetic biology	合成生物学的全球投资布局、经济效益、研究热点以及安全与伦理问题 Global investment layout, economic benefits, research breakthrough, safety and ethics of synthetic biology	2 学时 2 hours	合成生物学相关的产业项目、技术突破及前景预测 ^[29] ; 人类胚胎基因编辑婴儿事件引发的伦理问题 ^[30] Industrial projects, technology breakthroughs and prospect prediction of synthetic biology ^[29] ; ethical problems caused by human embryo gene-editing infants ^[30]

《侏罗纪世界 3》前后共拍摄了 6 部, 描述的是科学家利用凝结在琥珀中的史前蚊子体内的恐龙血液提取出恐龙的基因组, 复活了恐龙; 然而, 由于管理漏洞或人为破坏, 恐龙失去控制侵袭人类, 造成巨大损失的系列恐怖事件。2020 年出品的德国电视剧《生物黑客第一季》则展现了很多被工程化改造的有趣生物: 可以产生音乐的植物、发荧光的大麻、被基因编辑的蚊子等。2020 年, 哈佛大学科学家成功开发了可供人体移植的猪器官^[11]; 2021 年, 哈佛大学研究人员又宣布了一项新的冒险计划“复活猛犸象”^[31]。这些曾经被认为是天方夜谭的科学幻想, 现在似乎都有了变为现实的可能性, 正是因为一门新兴学科——合成生物学的出现。这些视觉与听觉的冲击以及作品中展示出的丰富的想象力充分地激发了学生的课堂参与热情。

在第五章合成生物学元件与途径的挖掘中, 我们讲到了多种测序技术用于元件与目的途径的挖掘。在授课过程中, 2021 年 11 月 4 日 *Science* 杂志在线发表了荷兰代尔夫特工业大学

Cees Dekker 教授首次使用纳米孔测序技术 (nanopore sequencing), 以单氨基酸的分辨率, 对蛋白质序列进行了直接读取^[32]。我们在课前通过 QQ 群将该新闻推送给学生, 引导学生课前阅读相关资料; 在课堂中及时更新课件, 对纳米孔测序技术进行了介绍, 并与学生共同探讨了纳米孔测序技术的优缺点及其发展趋势, 引导学生进行自主探究式学习。

在第六章合成生物学中的使能技术中则重点介绍了基于 CRISPR/Cas9 的基因编辑技术 (2020 年诺贝尔化学奖)^[20], 弗朗西丝·阿诺德 (Frances H. Arnold) 实验室推出的酶的体外定向进化技术 (2018 年诺贝尔化学奖)^[19], 以及以刘如谦 (David Liu) 实验室发明的噬菌体辅助连续进化 (phage-assisted continuous evolution, PACE) 为代表的体内定向进化技术^[22]。这些发现极大地推动了整个生物学科的发展, 也改变了人类生活。我们将获奖的内容及其幕后故事通过课前推送、课中探讨和课后作业的方式进行强化, 不仅使学生掌握了学科前沿知识, 还

激发了他们对科研的兴趣。

3 “合成生物学”授课模式的革新

3.1 以“学”为中心授课模式的探索

在“合成生物学”课堂上，我们尝试了教学方式的革新，探索了以“学”为中心的授课模式。传统的“灌输式”教学方法，不利于调动学生的学习积极性。如何充分调动学生学习的积极性，是我们一直在探索的问题。在教学实施过程中，我们力争弱化教师“教”的主体地位，突出学生“学”的中心地位，这样更能调动学生“学”的主动性。

我们针对课程的教学方法进行了设计，突出以“学”为中心的教学模式。我们选取了“长江雨课堂”作为教学辅助工具，其网络授课、在线测试、弹幕公告等功能方便了课前预习、课堂教学、课堂练习、课后巩固等环节。虽然本课程教学资源十分丰富，鉴于学时所限，课堂上不能详细讲述案例所涉及到的背景知识。因此，教师选取案例相关的新闻报道、视频、音频、图片等资源以预习资料的形式上传至课件库。通过“长江雨课堂”的互动功能，能够及时检查学生预习的情况，并通过投票或者学生在线留言的方式选取学生感兴趣的案例进行深入讲解。在教学的过程中，充分利用“长江雨课堂”弹幕功能让学生提问并实现师生互动。课后，教师利用“长江雨课堂”的@功能、留言板功能、群发公告功能对学生课堂讨论进行推送式点评，学生将疑难问题、学习心得进行反馈，最后教师通过在线批阅、思维导图、点评归纳等方式帮助学生解惑。

3.2 以“学”为中心实施过程中的典型案例

以第六章合成生物学中的使能技术中针对 DNA 的合成与组装专题为例。此章节中以人造生命为代表的 DNA 合成与组装技术为核心授

课内容之一。针对此内容，我们探索了核心内容主题讲授和课堂讨论相融合的教学模式。具体实施过程是将本课程分为 2 个部分：第一部分由教师讲授课程核心内容，第二部分就“复活猛犸象”热点事件进行讨论。

课程核心内容主要讲授 DNA 的合成技术、组装技术，以及以克莱格·文特尔 (John Craig Venter) 的人造生命体 (Synthia, 译成“辛西娅”) 为例，讲授合成生命的具体过程。课程结束后，教师根据核心内容确定研讨主题，以 2021 年 9 月的重磅新闻“基因编辑先驱疯狂计划：6 年内‘复活猛犸象’，用 CRISPR 给地球降温”作为研讨主题^[31]，学生课后准备，进行下一次课程的研讨。在研讨课中教师与学生共同探讨了哈佛大学医学院的著名科学家乔治·丘奇 (George Church) “复活猛犸象”的具体内容。

在研讨过程中，教师设置一系列问题，比如在众多已灭绝的物种中，为什么选择猛犸象来复原？如何获取猛犸象的 DNA？学生们通过查阅资料得知，早在 1997 年，科学家就在西伯利亚冻土中挖掘到了猛犸象冰冻的皮肤与肌肉组织。但是由于这些组织的细胞核多半被冰晶破坏，基因组不完整，无法直接利用。直到 2013 年，国际科研团队在俄罗斯萨哈共和国的永久冻土区发现一具已经冰冻了约 2.8 万年的完好的猛犸象遗骸，并获取到相对完整的基因组^[33-34]。2017 年 2 月，中国华大基因研究院宣布获得了猛犸象的全基因组^[35]。教师提问：“至此，猛犸象成功复活了吗？”显然并没有成功，教师继续提问：“获得猛犸象完整的基因组序列之后，还需要克服哪些困难才可以真正得到复活的猛犸象？”以此引导学生在课堂上开展激烈的讨论。结合课堂讨论以及查阅的资料，学生得知除了获得完整的基因组序列外，科学家们遇到的第二道坎是细胞核移植技术难题，即

需要把猛犸象的细胞核移植到血缘关系最近亲的亚洲象卵细胞中。除此之外,第三个难题是需要为猛犸象找到合适的代孕母亲,将猛犸象胚胎在代孕母亲子宫内着床、发育成熟直至顺利生产猛犸象。2019年,日本近畿大学入谷明(Akira Iritani)教授等组成的科研团队已来自于猛犸象遗骸中的细胞核成功植入小鼠的卵细胞中,然而相关卵细胞并没有进一步分裂,与真正实现猛犸象的复活还有千里之遥^[36]。针对2021年乔治·丘奇“复活猛犸象”的新闻,教师提问:“既然日本科学家没有实现‘复活猛犸象’,是什么促使投资者们选择乔治·丘奇来继续这个工作?他有什么绝招?”经过讨论,学生们得知,该公司的目标并不是从零开始复原猛犸象,而是以猛犸象的基因组为蓝图对亚洲象进行基因编辑。准确地说是制造出一头具有猛犸象特征的基因编辑的亚洲象。乔治·丘奇是基因编辑的先驱,曾对猪做过类似的基因操作,进行了42次基因编辑后,这些猪的部分器官能够用于人类器官移植^[37]。经过分析,科学家认为仅需要对亚洲象的60多个基因进行编辑就可以实现猛犸象的复活。因此,投资者认为乔治·丘奇能够胜任此工作。最后,教师进行课堂总结,通过比较人造生命“辛西娅”与“复活猛犸象”在技术流程上的异同点,以及日本与美国科学家为了达到“复活猛犸象”而采用的不同策略,鼓励同学们追求大胆猜想、小心求证的科学精神。

3.3 课程考核方式及教学效果

为了考查学生的学习情况,本课程采用平时考查与期末考试相结合的考核方式。平时考查由考勤(5%)、案例讲解及课堂讨论(30%)、课后作业(15%)组成。案例讲解及课堂讨论由3-4位学生组成学习小组,课前阅读教师推送的文献、新闻报道或视频,制作成PPT,在课

堂上准确讲述核心内容(10 min内),由授课教师与博士研究生助教进行点评、提问(10 min),并根据讲述与回答问题表现综合评分。在每一章节讲授结束后,教师与助教要批改点评学生纸质版的课后作业,这部分占总成绩的15%。期末考试为开卷考试(50%),全面考查学生的学习情况、综合能力及创新能力,题型包括填空、单选、多选、名词解释、简答题、论述题等。为了考查学生灵活运用知识的能力,在论述题中设置了探究性、设计性、综合性的考题。成绩结果显示(图1),68.4%的同学成绩在70-90分之间,12.1%的同学获得了高于90分的分数,大部分同学可以较好地掌握课程的内容。

同时,为了解同学们对课程的满意度,我们对生物工程专业三年级本科生以及生物与医药专业一年级硕士生进行了教学效果问卷调查。共回收有效问卷560份,高达94.5%的学生对教学效果的整体满意度较高,97.1%的同学明确表示案例教学很重要,培养了自己提出问题、分析问题与解决问题的能力。89.5%的学生认为本课程有利于提高自身对专业的兴趣。95.0%的

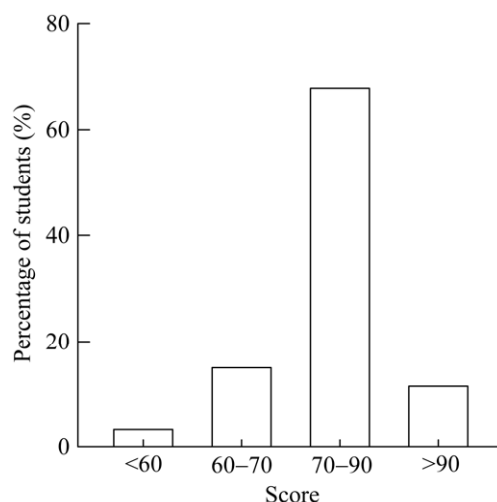


图1 课堂成绩分布

Figure 1 Distribution of students' grades.

同学认为本课程有助于培养自身的科研能力(表 2)。学生普遍认为通过本课程的学习,促进了科研思维,培养了创新能力。同学们通过留言板反馈认为,本课程的学习不仅提高了对专业前沿知识的理解,而且促进了自身主动探究学术问题、文献调研及实验设计的能力,极大地提高了其创新能力。

4 总结与展望

合成生物学属于新兴交叉类前沿学科,涉猎面广、内容丰富、专业性强。在生物工程、生物技术、生物科学、生物制药与生物信息等相关专业的培养方案中处于桥梁和纽带地位。合成生物学学科的特点对授课教师的教学也提出了新的要求,这既是挑战也是机遇。挑战在于要及时转变固有观念,学习新的知识,革新教学方式;机遇则在于课程的改革也能给教师带来更多的新思路与新观念。我们通过教学实践,不断调整优化课程内容,形成了新颖合理的内容体系。鉴于“合成生物学”课程资源十分丰富,在教学过程中,我们充分利用丰富的教学资源,将高水平杂志与时事热点新闻中报道的合成生物学案例引入课堂讲授中,不断更新教学内容,有效激发了学生的学习兴趣。在授

表 2 课堂教学满意度调查

Table 2 Satisfaction on classroom teaching effect

调查内容	百分比
Investigation content	Percentage (%)
课程教学整体效果满意度	94.5
Satisfaction on the overall effect	
对案例教学的满意度	97.1
Satisfaction on case teaching	
对专业性的满意度	89.5
Satisfaction on specialization	
对科研能力培养的满意度	95.0
Satisfaction with the cultivation of scientific research ability	

课模式方面,我们以案例为切入点,通过以“学”为中心,引导学生深入探讨,让“合成生物学”课堂充满了活力。从教学效果来看,学生的学习兴趣非常高,归纳总结、自主思考能力也得到了提升。综上所述,我们实施的基于前沿热点案例的合成生物学教学有效地促进了创新型人才的培养。

然而,合成生物学在促进医药发展,维护人类健康;保障粮食安全,促进经济发展;治理环境污染,维持生态平衡等方面带来巨大社会效益的同时,其风险也不容忽视,人类胚胎基因编辑婴儿事件带来的伦理风险和负面影响无法估量。因而要在课堂上加强伦理教育。同时,我们也要在课堂上强调我国合成生物学的重要贡献,比如,酵母人工染色体的合成、人造单染色体酵母、人类干细胞基因编辑以及二氧化碳到淀粉的从头合成等,以增强当代学生的文化自信和社会责任感,培养具有爱国情怀的高素质人才。因而,伦理教育与课程思政是合成生物学教学需要加强的两个重要方面。

REFERENCES

- [1] 杨菊, 邓禹. 合成生物学的关键技术及应用. 生物技术通报, 2017, 33(1): 12-23.
Yang J, Deng Y. Key technologies and applications of synthetic biology. *Biotechnol Bull*, 2017, 33(1): 12-23 (in Chinese).
- [2] 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 (in Chinese).
- [3] Patra P, Das M, Kundu P, et al. Recent advances in systems and synthetic biology approaches for developing novel cell-factories in non-conventional yeasts. *Biotechnol Adv*, 2021, 47: 107695.
- [4] 史硕博, 孟琼宇, 乔玮博, 等. 塑造低碳经济的第三代固碳生物炼制. 合成生物学, 2020, 1(1): 44-59.
Shi SB, Meng QY, Qiao WB, et al. Establishing carbon dioxide-based third-generation biorefinery for a

- sustainable low-carbon economy. *Synth Biol J*, 2020, 1(1): 44-59 (in Chinese).
- [5] Global data analyses venture capital funding trends in synthetic biology startups[EB/OL]. [2021-12-01]. <https://www.globaldata.com/globaldata-analyses-venture-capital-funding-trends-synthetic-biology-startups/>.
- [6] 2021 Global ranking of academic subjects biotechnology [EB/OL]. [2021-04-26]. <https://www.shanghairanking.com/rankings/gras/2021/RS0220>.
- [7] 何进, 唐清, 陈雯莉, 等. 基于创新能力培养的“微生物学”研究型教学模式探索. *微生物学通报*, 2018, 45(3): 635-641.
He J, Tang Q, Chen WL, et al. Exploration of research-oriented Microbiology teaching model based on innovative creativity. *Microbiol China*, 2018, 45(3): 635-641 (in Chinese).
- [8] 王瑀, 何进, 郝勃, 等. “新工科”背景下“代谢工程”课程建设的思考. *微生物学通报*, 2020, 47(4): 1061-1067.
Wang X, He J, Hao B, et al. Reflections on the course construction of the Metabolic Engineering under the background of Emerging Engineering. *Microbiol China*, 2020, 47(4): 1061-1067 (in Chinese).
- [9] 吕叙杰, 金安江, 何进, 等. 乡村振兴背景下华中农业大学“三生”专业人才培养改革与实践. *微生物学通报*, 2022, 49(4): 1464-1471.
Lyu XJ, Jin AJ, He J, et al. Reform and practice of talent cultivation in Bioengineering, Biotechnology and Bioscience majors under the background of rural revitalization: taking Huazhong Agricultural University as an example. *Microbiol China*, 2022, 49(4): 1464-1471 (in Chinese).
- [10] 我校 iGEM 团队第八次斩获国际基因工程机器设计大赛全球金奖并跻身 TOP 10[EB/OL]. [2021-11-06]. <http://news.hzau.edu.cn/2021/1116/61962.shtml>.
The iGEM team of Huazhong Agricultural University won the golden meta in iGEM competition for the 8th time and ranked among the top 10[EB/OL]. [2021-11-06]. <http://news.hzau.edu.cn/2021/1116/61962.shtml> (in Chinese).
- [11] Pierson RN 3rd, Fishman JA, Lewis GD, et al. Progress toward cardiac xenotransplantation. *Circulation*, 2020, 142(14): 1389-1398.
- [12] Deamer D, Akeson M, Branton D. Three decades of nanopore sequencing. *Nat Biotechnol*, 2016, 34(5): 518-524.
- [13] Medema MH, De Rond T, Moore BS. Mining genomes to illuminate the specialized chemistry of life. *Nat Rev Genet*, 2021, 22(9): 553-571.
- [14] Kim T, Weinberg B, Wong W, Lu TK. Scalable recombinase-based gene expression cascades. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 2711.
- [15] Göpfrich K, Platzman I, Spatz JP. Mastering complexity: towards bottom-up construction of multifunctional eukaryotic synthetic cells. *Trends Biotechnol*, 2018, 36(9): 938-951.
- [16] 张嵩元, 邱建辉, 王宣, 等. 基于重组酶和终止子的状态调控开关设计. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1874-1885.
Zhang SY, Qiu JH, Wang X, et al. Design of recombinase and terminator-based genetic switches for cell state control. *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1874-1885 (in Chinese).
- [17] 郭炜航, 李帛轩, 周浩宇, 等. 炎症性肠病生物检测器的构建与调试. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1906-1914.
Guo WH, Li JX, Zhou HY, et al. Construction and characterization of a bio-detector for inflammatory bowel disease. *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1906-1914 (in Chinese).
- [18] 罗放, 俞易, 陈铭哲, 等. 外源基因表达造成的群体感应细菌生存压力的建模分析. *生物工程学报*, 2018, 34(12): 1895-1905.
Luo F, Yu Y, Chen MZ, et al. Model for fitness burden imposed by exogenous gene expression in quorum sensing bacteria. *Chin J Biotech*, 2018, 34(12): 1895-1905 (in Chinese).
- [19] Wang YJ, Xue P, Cao MF, et al. Directed evolution: methodologies and applications. *Chem Rev*, 2021, 121(20): 12384-12444.
- [20] Nakamura M, Gao YC, Dominguez AA, et al. CRISPR technologies for precise epigenome editing. *Nat Cell Biol*, 2021, 23(1): 11-22.
- [21] Gibson DG, Glass JI, Lartigue C, et al. Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science*, 2010, 329(5987): 52-56.
- [22] Esvelt KM, Carlson JC, Liu DR. A system for the continuous directed evolution of biomolecules. *Nature*, 2011, 472(7344): 499-503.
- [23] Cai T, Sun HB, Qiao J, et al. Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide. *Science*, 2021, 373(6562): 1523-1527.
- [24] Krienke C, Kolb L, Diken E, et al. A noninflammatory mRNA vaccine for treatment of experimental autoimmune encephalomyelitis. *Science*, 2021, 371(6525): 145-153.
- [25] 刘良叙, 李朝凤, 王嘉伟, 等. 芳香类天然产物的合

- 成生物学研究进展. 生物工程学报, 2021, 37(6): 2010-2025.
- Liu LX, Li CF, Wang JW, et al. Synthetic biology for the synthesis of aromatic natural products: a review. *Chin J Biotech*, 2021, 37(6): 2010-2025 (in Chinese).
- [26] 高萍, 陈宇娟, 柯崇榕, 等. 新型靶向化合物——植物大麻素的生物合成途径及研究进展. 生物工程学报, 2021, 37(6): 1968-1985.
- Gao P, Chen YX, Ke CR, et al. New targeted compounds—biosynthesis of phytocannabinoids. *Chin J Biotech*, 2021, 37(6): 1968-1985 (in Chinese).
- [27] 刘蕊, 柳雨, 李巧峰, 等. 糖苷酶耐热性改造策略与应用. 生物工程学报, 2021, 37(6): 1919-1930.
- Liu R, Liu Y, Li QF, et al. Strategies for engineering the thermo-stability of glycosidase. *Chin J Biotech*, 2021, 37(6): 1919-1930 (in Chinese).
- [28] 王辰, 徐玉泉. 非核糖体肽合成酶工程改造研究进展. 生物工程学报, 2021, 37(6): 1845-1857.
- Wang C, Xu YQ. Advances in engineering non-ribosomal peptide synthetase. *Chin J Biotech*, 2021, 37(6): 1845-1857 (in Chinese).
- [29] What are the technologies that will reshape our world? Independent experts identify 100 of them[EB/OL]. [2019-06-13]. https://ec.europa.eu/info/news/what-are-technologies-will-reshape-our-world-independent-experts-identify-100-them-2019-jun-13_en.
- [30] Cyranoski D. CRISPR-baby scientist fails to satisfy critics. *Nature*, 2018, 564(7734): 13-14.
- [31] Scientists want to resurrect the woolly mammoth. They just got \$15 million to make it happen[EB/OL]. [2021-09-13]. <https://edition.cnn.com/2021/09/13/world/woolly-mammoth-resurrect-deextinction-scn/index.html>.
- [32] Brinkerhoff H, Kang ASW, Liu JQ, et al. Multiple rereads of single proteins at single-amino acid resolution using nanopores. *Science*, 2021, 374(6574): 1509-1513.
- [33] Mammoth carcass found in Siberia[EB/OL]. [2012-10-05]. <https://www.bbc.com/news/science-environment-19848109>.
- [34] Gansauge MT, Meyer M. Single-stranded DNA library preparation for the sequencing of ancient or damaged DNA. *Nat Protoc*, 2013, 8(4): 737-748.
- [35] 华大基因研究院院长: 让猛犸象复活只需三步[EB/OL]. [2021-02-20]. <https://www.163.com/tech/article/CDMQNJP00097U81.html>.
- President of BGI: it only takes three steps to resurrect mammoths[EB/OL]. [2021-02-20]. <https://www.163.com/tech/article/CDMQNJP00097U81.html> (in Chinese).
- [36] Yamagata K, Nagai KH, Miyamoto H, et al. Signs of biological activities of 28 000-year-old mammoth nuclei in mouse oocytes visualized by live-cell imaging. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 4050.
- [37] Yang LH, Güell M, Niu D, et al. Genome-wide inactivation of porcine endogenous retroviruses (PERVs). *Science*, 2015, 350(6264): 1101-1104.

(本文责编 陈宏宇)