

序

DOI: 10.12211/2096-8280.2025-097

以合成生物学创新，赋能未来农业发展

武志强¹, 戴俊彪¹, 林敏², 黄三文¹¹ 中国农业科学院农业基因组研究所, 广东 深圳 518120; ² 河南大学农学院, 河南 开封 475004)

中图分类号: Q81 文献标志码: A

Innovating with synthetic biology to empower the future of agriculture

WU Zhiqiang¹, DAI Junbiao¹, LIN Min², HUANG Sanwen¹¹Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, Guangdong, China; ²College of Agriculture, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

随着人口增长、资源短缺和环境恶化等问题的不断加剧, 传统农业的可持续发展面临着前所未有的严峻挑战。人类迫切需要创新的解决方案, 来提高农业生产力并确保食品安全、生态安全和国民健康。美国《2016—2045年新兴科技趋势报告》预测, 到2045年, 全球气候变化将导致地球表面的温度升高1~3°C, 全球气候变暖将导致作物的平均产量下降3%~7%, 全球40%的人口将会面临水源严重缺乏的问题, 全球25%的农地将会由于干旱和污染等原因严重退化^[1]。同时, 报告展望了未来科技发展前景, 包括大数据和量子计算机的广泛应用、机器人和智能化系统的普及、再生医学和精准医疗对健康的保障, 特别是未来合成生物农业将突破自然制约, 开创人工设计和从头合成农业生物品种的新纪元^[1]。

习近平总书记在2021年两院院士大会中指出^[2]: “科技创新精度显著加强, 对生物大分子和基因的研究进入精准调控阶段, 从认识生命、改造生命走向合成生命、设计生命。” 21世纪兴起的合成生物技术被誉为影响世界未来的颠覆性技术之一, 引发了继DNA双螺旋结构发现和基因组测序之后的第三次生物科技革命, 已成为世界各国增强核心竞争力、抢占未来发展制高点的重大国家战略^[3]。合成生物技术通过生物、工程、物理、化学、计算机等学科交叉融合, 旨在设计、改造和构建新的生物系统, 以实现特定的生物学功能。其在农业中的应用, 将为世界性农业生产难题提供革命性的解决方案, 培育农业碳经济和氨经济等生物经济新形态, 引发细胞农业、低碳农业和智能农业等新动能与新业态革命, 是国际农业科技战略必争的前沿领域^[4]。

当前, 合成生物技术在农业领域已显示出巨大应用潜力, 受到农业科技界和产业界的广泛关注。为此, 本期《合成生物学》推出“农业合成生物学”专辑, 展示合成生物学在农业领域的多维应用, 并汇集该方向的重要学术论文。

合成生物学领域的理论研究和技術发展要想快速推广应用到农业领域, 实现农业合成生物学的快速发展, 离不开相关政策和法规的支持。只有政策规划和农业产业需求整体性适配, 才能最大限度发挥其作用。本专辑中, 中国科学院上海生命科学信息中心的陈大明研究员和熊燕研究员团队梳理了世界发达国家通过顶层设计和配套政策措施支持基因编辑、代谢工程等关键技术在农业领域的研发与应用的情况,

收稿日期: 2025-10-24 修回日期: 2025-10-27

引用本文: 武志强, 戴俊彪, 林敏, 黄三文. 以合成生物学创新, 赋能未来农业发展[J]. 合成生物学, 2025, 6(5): 987-991

Citation: WU Zhiqiang, DAI Junbiao, LIN Min, HUANG Sanwen. Innovating with synthetic biology to empower the future of agriculture[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5): 987-991

并在此基础上提出,我国需要构建特有的产学研一体化的生态体系,以加速农业合成生物技术的创新与产业化进程^[5]。只有在政策与产业的持续协同下,农业合成生物学的发展才能助推全球农业向高效、绿色、可持续方向转型。此外,湖北大学生命科学学院何玉池教授团队探讨了植物合成生物学领域研究如何在国际基因工程机器大赛(iGEM)中提升占比和增加脱颖而出的研究设计和实践。文章全面分析了iGEM赛事中主题偏好,从策略、底盘、元件、建模和技术五个方面,详细分析了植物合成生物学项目设计的具体方法和路径,为植物合成生物学项目在iGEM中的提升提供方法论的指导和技术参考^[6]。这些政策的融合与方法的提出,将为我国农业合成生物学的发展和实际产业应用提供系统性的支持,为加速我国在该领域的完善发展提供指导。

合成生物学的快速发展,将对农业生产的基础底盘研究带来无限的潜力。本专辑系统总结和阐述农业合成生物学技术对作物底盘生理生化网络通路的改造及其对作物不同性状的提升。云南师范大学尚轶研究员团队全面系统地回顾了农业合成生物学发展的历史关键事件,总结了当前在农业应用的各种场景下,合成生物学技术对作物性状、产量、抗性改造和提升的机遇与挑战,指出当前和未来的合成生物学技术不仅可提高作物产量、优化营养品质,还可利用生物质副产物产生健康的肥料和土壤,实现废弃物资源化循环利用的新模式,是未来农业生产的战略制高点^[7]。河南大学张立新教授团队则针对合成生物学技术对植物光合作用的效率提升进行了总结,提到构建和改造未来新型植物的光能转化模型、定向和定性改造Rubisco以及优化光呼吸支路和碳同化途径等的策略,旨在全面提升作物的光合途径和效率及抗逆等性状,从而提高作物的产量和关键育种性状^[8]。在农作物合成固氮领域,中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所王二涛研究员团队详细总结了未来在改造固氮菌、解析根瘤共生机制及实现植物自主固氮等领域的应用潜力和面临的困难^[9]。南京农业大学张瑞福教授团队的文章则深入探讨了微生物群落的合成改造及对植物养分吸收利用和对环境的影响,从根际微生物组对作物养分利用以及根际合成微生物组的构建两个角度进行了阐述,总结了利用基因编辑技术构建高效养分活化菌株和复合菌群的方法以及根际复合的微生物菌群对促进作物养分吸收利用的细节^[10]。北京大学生命科学学院的焦雨铃教授团队和中国农业科学院农业基因组研究所戴俊彪研究员团队的两篇文章同时提到利用和改造植物人工染色体(PAC)的底盘应用技术,介绍了自上而下和自下而上两种PAC的构建策略,包括从PAC的序列组成特征角度完善染色体的整体性设计和大片段染色体的递送技术开发等,为将来直接操作多基因聚合的产物反应链条和优化组装设计提出系列建议^[11-12]。这六篇文章从合成生物学设计的底层应用技术出发,系统梳理了农业合成生物学未来面临的挑战,并提出了许多有益建议和策略来探索解决途径。

植物合成生物学是开创绿色低碳生物制造新范式的核心引擎,它以植物为底盘,通过工程化的光合作用体系,将太阳能与二氧化碳等可再生资源直接转化为高价值的化学品与功能分子。这一颠覆性的技术路线为摆脱对化石资源的依赖、重塑未来物质生产格局提供了无限可能。这一宏伟蓝图的技术基石,在于对植物细胞进行精准的工程化改造与大规模培养。中国科学院上海植物生理生态研究所的王勇团队,全面系统地总结了在植物细胞大规模培养这一前沿领域,回顾了植物细胞培养(PCC)的发展历程及其在生产重组蛋白与次生代谢产物中的应用现状,重点综述了合成生物学在建立优质细胞系和赋予细胞合成全新化合物能力等方面的最新研究进展,强调了合成生物学的核心理念与技术在突破当前技术瓶颈中的关键作用,为推动植物细胞大规模培养技术的工业化应用提供了极具参考价值的战略性指导^[13]。江南大学的刘龙教授团队则全面系统地综述了利用植物合成生物学进行母乳低聚糖(HMOs)生物制造这一新兴领域的机遇与挑战,指出利用植物作为“光合作用细胞工厂”直接将二氧化碳转化为高价值营养品,代表了合成生物学应用的一个前沿方向,是未来绿色低碳生物制造模式的战略制高点^[14]。文章不仅综述了该技术的关键策略和最新进展,还指出了产量和品质提升以及法规审批等核心瓶颈问题,为这项新兴技术从“实验室”走向“市场化”提供了极具现实意义的路线图^[14]。

面对保障国家粮食安全、推动现代畜牧业绿色转型的重大战略需求,合成生物学正以其强大的设计与创造能力,为动物营养领域带来一场深刻的产业革命。它不再局限于传统营养要素的补充,而是通过

精准合成功能分子、系统性调控动物健康，为解决我国饲料蛋白资源短缺、养殖成本高及“减抗限抗”等核心产业痛点，提供了系统性的解决方案。中国农业大学的江正强教授团队全面系统地总结了当前在中性核心母乳寡糖（ncHMO）生物制造这一关键领域的研究进展与发展趋势，指出合成生物学技术正推动ncHMO的生产方式从可能走向现实^[15]。文章系统回顾了ncHMO的两种主流生物合成路线，深度综述了各类关键酶的挖掘、改造与应用，详细阐述了多种底盘细胞在代谢网络重构、动态调控和发酵工艺优化等方面的最新研究进展与应用场景，强调了必须采用“酶元件-底盘细胞-发酵工艺”三位一体的系统性思维协同攻关的重要性^[15]。中国农业科学院北京畜牧兽医研究所的涂涛研究员团队则全面系统地总结了农业合成生物学在动物营养领域的最新进展与未来方向，深入阐述了合成生物学技术在饲料原料优化、饲料添加剂绿色制造及动物胃肠道微生态调控等方面的创新应用，展现了其在推动畜牧业绿色低碳转型中的战略意义，并展望了AI驱动的智能设计、动态调控系统与工程化微生物组在未来动物营养中的应用前景^[16]。

在应对我国油脂、饲料蛋白等关键生物资源高度依赖外部市场的战略挑战中，合成生物学通过对微生物的深度改造与精准驾驭，将其转化为了高效、可控的“细胞工厂”，能够利用可再生的非粮生物质原料，颠覆性地替代传统农业生产模式，为保障国家重要物资供给安全开辟了全新的赛道。中国科学院青岛生物能源与过程研究所的李福利研究员团队全面且系统地总结了利用合成生物学技术制造微生物油脂与植物油脂的现状、机遇与挑战，指出应大力发展“不与人争粮、不与粮争地”的生物制造新模式^[17]。文章系统性地回顾了从大宗油脂到高附加值油脂的生物制造技术，梳理了油脂分离、提取与检测等关键的下游技术，强调了利用非粮原料实现大宗油脂的微生物替代生产的发展策略^[17]。江南大学生物工程学院的刘立明教授团队全面且系统地总结了创制饲用氨基酸高产细胞工厂的策略与进展。文章深刻指出，发展高效、低碳的微生物制造氨基酸技术，是保障国家饲料安全、推动养殖业可持续发展的必然要求^[18]。文章系统性地剖析了天冬氨酸族氨基酸的生物合成机制，梳理了提升产量的成功案例，并前瞻性地强调了提升工业菌株的发酵环境抗逆性、拓展非粮生物质原料利用以及优化动态调控系统三大发展方向，从而最终实现饲用氨基酸微生物制造体系的高效、稳定与可持续发展^[18]。

在保障了油脂、氨基酸等关键物资的生物制造能力的同时，合成生物学的应用范畴也从产品创新向过程优化与体系构建拓展。这不仅要求我们开发出如小分子生物农药等环境友好的农业投入品，以实现生产过程的绿色化，还要求厘清全球市场准入的法规路径，为整个生物制造产业的安全、健康发展提供顶层设计与制度保障。中国农业科学院生物技术研究所徐玉泉研究员团队系统综述了当前小分子生物农药在农业应用中保障农作物安全生产和环境友好的机遇与挑战，指出合成生物学技术是实现新型生物农药高效生产的战略制高点，为克服传统生产方式对环境的污染和资源的高消耗，提供了颠覆性的解决方案^[19]。文章系统回顾了我国新登记的多种生物农药及半合成农药的化学结构、作用机制与靶标对象，重点综述了代表性小分子化合物的生物合成途径解析，以及利用合成生物学技术构建和优化细胞工厂的最新研究进展和应用场景^[19]。所有技术突破要转化为产业优势和市场产品，都离不开政策法规的支持。中国科学院天津工业生物技术研究所与国家合成生物技术创新中心的李德茂研究员团队全面系统地梳理了全球范围内生物制造饲料蛋白原料及添加剂的市场准入与监管现状。文章深刻指出，发展非传统资源为核心的生物制造技术，是保障国家饲料安全、推动养殖业可持续发展的必然要求^[20]。文章比较了欧盟、美国、日本和中国四大经济体的法规政策、审批流程与监管机制，不仅剖析了各国对于传统生物制造产品的管理框架，更重点阐述了针对遗传改造微生物（GMM）产品的分类监管策略，并对其中的科学依据与实操差异进行了深入分析。文章明确强调了“分类施策”的监管思路，以加速创新产品的市场化进程，助力我国在全球生物制造饲料领域实现从“跟随”到“领跑”的战略跨越^[20]。

本专辑收录的前沿研究成果，既涵盖政策导向与技术攻关等核心议题，也深入产业落地的关键环节，构建了从顶层设计到底层支撑、再到实践应用的完整逻辑链条。通过系统梳理该领域的研究进展与核心挑战，本专辑旨在为农业合成生物学的创新发展提供有益参考，推动新技术与国家粮食安全、农业绿色

低碳转型等重大战略紧密结合, 为行业高质量发展贡献新思路、注入新动力。

参 考 文 献

- [1] Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology). Emerging science and technology trends: 2016-2045: a synthesis of leading forecasts[R]. 2016.
- [2] 新华社. 习近平: 在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上的讲话[EB/OL]. (2021-05-28)[2025-10-27]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2021-05/28/c_1127504936.htm?appid=832686.
The Xinhua News Agency. President Xi Jinping: speech at the 20th Academician Conference of the Chinese Academy of Sciences, the 15th Academician Conference of the Chinese Academy of Engineering, and the 10th National Congress of the Chinese Association for Science and Technology[EB/OL]. (2021-05-28)[2025-10-27]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2021-05/28/c_1127504936.htm?appid=832686.
- [3] 熊燕, 刘晓, 赵国屏. 合成生物学的发展: 我国面临的机遇与挑战[J]. 科学与社会, 2015, 5(1): 1-8.
XIONG Y, LIU X, ZHAO G P. The development of synthetic biology in China: opportunities and challenges[J]. Science and Society, 2015, 5(1): 1-8.
- [4] 林敏, 姚斌. 加强合成生物技术创新, 引领现代农业跨越发展[J]. 生物技术进展, 2022, 12(3): 321-324.
LIN M, YAO B. Strengthening innovation in synthetic biotechnology and leading the leapfrog development of modern agriculture[J]. Current Biotechnology, 2022, 12(3): 321-324.
- [5] 张学博, 朱成妹, 陈睿云, 等. 农业合成生物学: 政策规划与产业发展协同推进 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1224-1242.
ZHANG Xuebo, ZHU Chengshu, CHEN Ruiyun, et al. Policy planning and industrial development of agricultural synthetic biology[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1224-1242.
- [6] 何杨昱, 杨凯, 王玮琳, 等. 国际基因工程机器大赛中植物合成生物学主题的设计与实践 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1243-1254.
HE Yangyu, YANG Kai, WANG Weilin, et al. Design and practice of plant synthetic biology theme in the International Genetically Engineered Machine Competition[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1243-1254.
- [7] 刘婕, 郜钰, 马永硕, 等. 合成生物学在农业中的进展及挑战 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):998-1024.
LIU Jie, GAO Yu, MA Yongshuo, et al. Progress and challenges of synthetic biology in agriculture[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5): 998-1024.
- [8] 孙扬, 陈立超, 石艳云, 等. 作物光合作用合成生物学的策略与展望 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1025-1040.
SUN Yang, CHEN Lichao, SHI Yanyun, et al. Strategies and prospects of synthetic biology in crop photosynthesis[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1025-1040.
- [9] 李超, 张焕, 杨军, 等. 固氮合成生物学研究进展 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1041-1057.
LI Chao, ZHANG Huan, YANG Jun, et al. Research advances in nitrogen fixation synthetic biology[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5): 1041-1057.
- [10] 郑雷, 郑棋腾, 张天骄, 等. 构建根际合成微生物菌群促进作物养分高效吸收利用 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1058-1071.
ZHENG Lei, ZHENG Qiteng, ZHANG Tianjiao, et al. Engineering rhizosphere synthetic microbial communities to enhance crop nutrient use efficiency[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1058-1071.
- [11] 蒲娅, 焦雨铃. 植物人工染色体的研究现状与应用前景 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1072-1092.
PU Ya, JIAO Yuling. Plant artificial chromosomes: current research progress and future application perspectives[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1072-1092.
- [12] 魏家秀, 嵇佩云, 节庆雨, 等. 植物人工染色体的构建与应用 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1093-1106.
WEI Jiaxiu, JI Peiyun, JIE Qingyu, et al. Construction and application of plant artificial chromosomes[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1093-1106.
- [13] 颜钊涛, 周鹏飞, 汪阳忠, 等. 植物合成生物学: 植物细胞大规模培养的新机遇 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1107-1125.
YAN Zhaotao, ZHOU Pengfei, WANG Yangzhong, et al. Plant synthetic biology: new opportunities for large-scale culture of plant cells[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1107-1125.
- [14] 于文文, 吕雪芹, 李兆丰, 等. 植物合成生物学与母乳低聚糖生物制造 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):992-997.
YU Wenwen, LV Xueqin, LI Zhaofeng, et al. Plant synthetic biology and bioproduction of human milk oligosaccharides[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):992-997.
- [15] 刘丹, 王建宇, 江正强. 中性核心母乳寡糖生物合成的研究进展和发展趋势 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1126-1144.
LIU Dan, WANG Jianyu, JIANG Zhengqiang. Research progress and development trends in the biosynthesis of neutral core human milk oligosaccharides[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1126-1144.

- [16] 李一滕, 罗会颖, 姚斌, 等. 农业合成生物学驱动动物营养创新: 进展与展望 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1145-1166.
LI Yicheng, LUO Huiying, YAO Bin, et al. Agricultural synthetic biology driving innovation in animal nutrition: advances and prospects[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1145-1166.
- [17] 苏娟娟, 郑家文, 苗润泽, 等. 微生物油脂与植物油脂的合成生物制造 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1167-1183.
SU Juanjuan, ZHENG Jiawen, MIAO Runze, et al. Biosynthesis and manufacture of microbial oils and vegetable oils[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1167-1183.
- [18] 赵欣雨, 盛琦, 刘开放, 等. 天冬氨酸族饲用氨基酸微生物细胞工厂的创制 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1184-1202.
ZHAO Xinyu, SHENG Qi, LIU Kaifang, et al. Construction of microbial cell factories for aspartate-family feed amino acids[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(3):1184-1202.
- [19] 宋开南, 张礼文, 王超, 等. 小分子生物农药及其生物合成研究进展 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1203-1223.
SONG Kainan, ZHANG Liwen, WANG Chao, et al. Advances in small-molecule biopesticides and their biosynthesis[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1203-1223.
- [20] 陈吴西, 马龙雪, 杨洋, 等. 全球生物制造饲料蛋白原料及添加剂市场准入与监管研究 [J]. 合成生物学, 2025, 6(5):1255-1273.
CHEN Wuxi, MA Longxue, YANG Yang, et al. Research on market access and regulation of global bio-manufactured feed protein materials and additives[J]. Synthetic Biology Journal, 2025, 6(5):1255-1273.



武志强, 中国农业科学院农业基因组所研究员, 中国农业科学院青年英才。主要研究领域包括以植物细胞器为研究对象, 利用组学大数据探索细胞器基因组的变异和突变机理, 以及细胞核质互作的分子机制, 并挖掘以细胞器为基础的光合作用系统转化以提高作物产量。



戴俊彪, 中国农业科学院农业基因组所研究员, 欧洲人文和自然科学院外籍院士, 国家级领军人才, 英国皇家学院牛顿高级学者。研究领域包括基因及基因组合成使能技术的研发, 基因组理性设计与合成再造基本原理研究, 合成生物的改造及优化, 合成基因组技术在农业与食品领域的创新应用等。



林敏, 河南大学特聘教授、中原食品实验室食品合成生物技术团队首席科学家、中国农业生物技术学会副理事长。研究领域包括生物固氮, 生物抗逆和未来食品。



黄三文, 农业农村部党组成员, 中国农业科学院院长, 中国农业科学院农业基因组所研究员, 中国科学院院士, 英国皇家学会外籍院士。长期致力于植物基因组学和遗传育种研究, 研究方向涵盖马铃薯繁殖体系改良、黄瓜抗性与品质育种、番茄风味育种等作物定向改良研究等。