

序

DOI: 10.12211/2096-8280.2022-046

生物材料创造可持续未来

陈国强¹, 钟超²

(¹ 清华大学生命科学学院, 化学工程系, 合成与系统生物学中心, 北京 100084; ² 中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究所, 材料合成生物学研究中心, 广东 深圳 518055)

中图分类号: Q81 文献标志码: A

人类社会进入20世纪以来, 科技进步日新月异, 先进材料的发展和应用进入一个全新的阶段。然而很多高性能材料的研制在给人类带来福利的同时, 也在某种程度上反噬人类。荷兰的研究人员于2022年发表研究论文, 首次揭示微塑料存在于人类志愿者血液中, 而这些材料对人类造成的长期后果目前仍不明确。回望历史, 蕾切尔·卡逊在20世纪60年代出版了《寂静的春天》, 该书描述并预言过度使用废料和农药将对环境造成破坏, 并最终反作用于人类本身, 给地球带来不堪重负的灾难。以史为鉴, 未来人类在新材料的开发方面一定是建立在自身可持续发展的基础之上。道法自然, 人类利用天然材料的历史源远流长, 从丝绸和布匹的使用到中草药的煎服, 大自然为人类的可持续发展指明了方向。随着现代生物技术的进步, 人类可通过改造自然发展绿色环保和功能多样的材料, 从而为人类的可持续发展做出贡献。一方面, 利用合成生物技术对大自然中的生物系统进行改造, 开发功能定制的生物材料; 另一方面, 通过对现有的天然生物成分进行筛选, 挖掘对人类有益的成分, 最后通过菌株发酵, 大规模生产可替代传统材料的生物基材料, 最终满足人类日益增长的物质和能源需求。

本专辑围绕“生物材料”的多样性和应用展开了较为全面的综述: 在《抗菌肽的生物合成及医学应用》一文中, 西北大学的魏岱旭团队^[1]描述了天然抗菌肽因具有广谱抗菌性和低耐药性, 成为潜在的抗生素替代品之一, 并有望解决长期困扰人类的耐药菌感染问题。抗菌肽还具备抗癌、抗病毒、抗寄生虫、调节免疫等诸多作用, 具有很好的医学应用前景。针对抗菌肽生物合成含量低、分离提取困难、生产成本低、稳定性差、生物安全等问题, 提出了潜在的解决方案。在《基于表面涂层益生菌的肿瘤抗原口服递送系统》中, 上海交通大学的刘尽尧团队^[2]介绍了一种肿瘤疫苗口服递送系统, 利用酵母细胞膜包覆益生菌, 酵母细胞膜发挥了抗原保护以及肠道淋巴系统靶向的作用; 益生菌发挥了搭载抗原和免疫佐剂的作用。与裸菌相比, 酵母细胞膜包覆能提高益生菌的生物利用度, 增强其在派氏结的富集, 促进树突状细胞的活化和抗原递呈以及提高小鼠血浆中OVA-IgG水平, 能够保护益生菌和抗原免受胃肠道环境刺激并进一步向肠道淋巴系统递送抗原, 激活抗肿瘤免疫。

中国科学院遗传与发育生物学研究所戴建武团队^[3]在《细胞培养肉用生物材料的设计》中, 展示了细胞培养肉的优势和前景, 描述了细胞培养肉生产流程。重点总结了用于细胞培养肉生物材料的要求及分类、用于细胞培养肉的高分子材料、细胞培养肉用生物支架的工程化制备, 并展望了细

胞培养肉的未来发展方向与挑战。该综述为细胞培养肉领域的技术发展提供了参考。

南京大学曹毅团队^[4]揭示了力学信号在干细胞命运决定过程中的影响,介绍了力学信号对干细胞行为的影响效果和作用机理,同时指出了各种合成材料在干细胞分化研究领域内的重要应用。并对研究前景进行了展望:力学信号和细胞行为更加量化的调控和表征将会是这一领域深入发展的关键。

上海交通大学夏小霞团队^[5]提出了无细胞合成策略在生物材料研究中的应用,介绍了无细胞表达系统的独特优势,并列举了其用于生物材料可持续生产的策略、与材料结合后的创新设计、赋予材料功能化和智能化的方法,以及通过加速设计—构建—测试(DBT)循环来促进新型生物材料开发的各项应用。随着合成生物学的发展及多学科交叉研究的深入,无细胞表达系统将为新型生物材料研发及产业化提供强大的助力。香港科技大学孙飞团队^[6]提出了可基因编码点击化学在材料合成生物学中的应用,简要介绍了可基因编码点击化学在近年的应用,包括以多种非线性蛋白质分子为代表的蛋白质拓扑工程产物、多种具有不同功能的全蛋白质水凝胶材料、重组疫苗及工程活体材料等,并总结了其发展潜力。

北京大学张文彬团队^[7]回顾了生物活体功能材料研究进展,指出:合成生物学可以实现对生物体的重新编辑,材料科学则提供了材料构建的基本思想及对构效关系的全面理解。随着合成生物学和材料科学的不断发展、交叉和融合,各种响应性、程序化的生物活体功能材料不断涌现。借鉴高分子科学中互穿网络的概念,通过基因回路设计控制细胞的程序性凋亡,实现胞内反应性功能蛋白质的可控释放,促进原位的蛋白质聚合和固定反应,形成具有蛋白质与壳聚糖半互穿网络结构的微凝胶,既可保护固定于其中的微生物不受环境侵害,又可运用微生物应对环境扰动并影响环境,从而提供了一个模块化的生物活体功能材料平台,在生物医药等领域展现出广阔的应用前景。中国科学院深圳先进技术研究院戴卓君和钟超团队^[8]综述了细菌生物被膜的软物质特性及其工程化应用,从生物被膜的软物质特性以及Curli生物起源及调控的研究开始挖掘,从高分子物理及合成生物学的观点解读工程化生物被膜从体系选择、去粗取精、工程化设计、系统构建、性能推广及优化,由繁至简、再由简至繁的全过程。期待这些思考将对未来活体材料研究的新体系与新范式带来启示、借鉴以及推动。

山东大学王倩和祁庆生^[9]采用合成生物学方法,创建合成聚羟基脂肪酸酯(PHA)的微生物细胞工厂,将廉价碳源以及可再生原料高效转化为种类繁多和性能多样的PHA是解决所面临问题的重要途径。通过总结各种PHA单体的生物合成途径并分析了各途径的理论碳转化率,提出了提高共聚物单体产量的重要策略,即优先选择高碳转化率PHA单体的合成,为可降解塑料的低碳生物合成提供有效方法。北京大学高卫平团队^[10]在《类弹性蛋白多肽的生物合成及其药物递送应用》中简要介绍了类弹性蛋白多肽(Elastin-like polypeptides, ELPs)的设计原理、理化特性和生物合成方法,并列举了一些ELPs应用于药物递送系统中有代表性的工作,最后总结了该研究领域面临的挑战和问题。

天津科技大学秦慧民团队^[11]以广泛使用的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)的生物降解为切入点,分析了PET的生物降解研究现状,以宏基因组学、蛋白质组学为基础,重点总结了微生物和新酶基因的挖掘方法,追溯不同来源的PET降解酶特性,利用定向改造和智能计算策略提高了酶特性以及PET的降解效率。在改造降解酶的同时,探索对PET原材料的可降解性改良。团队提出了“双向改造”的思路。塑料降解酶新酶挖掘与工程改造、多酶催化体系开发以及塑料的可持续性能的改良等领域将成为塑料绿色降解的主流趋势,其为探索PET高效生物降解提供了新思路。

苏州大学张克勤和西安交通大学王晶及其团队^[12]针对基于丝素蛋白(SF)生物材料构建3D多孔支架的研究进展进行了总结和讨论。概述了自然骨组织的多层次多孔结构特征,总结了SF材料的组成和结构特征,及其卓越的生物相容性、力学性能和生物可降解性能等特性。着重讨论了SF基3D骨组织修复多孔支架典型的制备技术,包括冷冻干燥法、粒子沥滤法、生物3D打印法以及复合制造技术对3D支架多孔结构的控制能力,以及多孔结构对细胞生长行为和骨组织再生的影响。最后作者对SF构建的骨组织修复支架所面临的挑战和发展前景进行了展望,强调了合成生物技术为解决SF基多孔支架应用于骨组织工程领域所存在的问题提供了有力的工具。

清华大学的刘凯和长春应用化学研究所李敬敬^[13]综述了利用合成生物学方法设计合成高性能蛋白材料的研究进展,强调了合成生物学技术在人工蛋白定向优化、结构改造和可编程材料组装等方面的作用,并突出了高性能蛋白及组装体在构建高强蛋白纤维和黏合材料领域的应用。最后,面向高性能蛋白材料理性设计和规模化制备的重大需求,对具有发展潜力的新型蛋白分子和技术平台进行了总结和展望,为今后该领域的应用基础研究提供了可借鉴的思路。

这些工作,对我们未来在生物材料的发展和应用展示了一个缤纷多彩的前景。各种学科的交叉也进一步为生物材料的发展提供了动力。生物材料驱动人类社会可持续发展,未来可期。

参 考 文 献

- [1] 魏岱旭,龚海伦,张旭维. 抗菌肽的生物合成及医学应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 709-727.
WEI Daixu,GONG Hailun,ZHANG Xuwei. Biosynthesis of antimicrobial peptides and its medical application[J]. Synthetic Biology Journal, 2022,3(4): 709-727.
- [2] 林思思,潘超,张一帆,等. 基于表面涂层益生菌的肿瘤抗原口服递送系统[J]. 合成生物学,2022,3(4): 810-820.
LIN Sisi,PAN Chao,ZHANG Yifan,et al. Coated probiotic-based drug carriers for oral delivery of tumor antigens[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 810-820.
- [3] 张璨,施李杨,戴建武. 细胞培养肉用生物材料的设计[J]. 合成生物学,2022,3(4): 676-689.
ZHANG Can,SHI Liyang,DAI Jianwu. Cultured meat from biomaterials:challenges and prospects[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 676-689.
- [4] 宋成治,孙阳,曹毅. 力信号在干细胞命运决定过程中的影响[J]. 合成生物学,2022,3(4): 781-794.
SONG Chengzhi,SUN Yang,CAO Yi. Effects of mechanical signals on stem cell fate determination[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 781-794.
- [5] 吉博涛,钱志刚,夏小霞. 无细胞合成策略在生物材料研究中的应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 658-675.
JI Botao,QIAN Zhigang,XIA Xiaoxia. Application of cell-free synthesis strategy in biomaterial research[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 658-675.
- [6] 易琪昆,孙晨博,杨中光,等. 可基因编码点击化学在材料合成生物学中的应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 690-708.
YI Qikun,SUN Chenbo,YANG Zhongguang,et al. Genetically encoded click chemistry,an enabling tool for materials synthetic biology[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 690-708.
- [7] 王宇翔,吴夏玲,张文彬. 生物活体功能材料研究进展[J]. 合成生物学,2022,3(4): 621-625.
WANG Yuxiang,WU Xialing,ZHANG Wenbin. Current advance in engineered living materials[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(4): 621-625.
- [8] 朱润涛,钟超,戴卓君. 细菌生物被膜的软物质特性及其工程化应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 626-637.
ZHU Runtao,ZHONG Chao,DAI Zhuojun. Biofilm matrixes-from soft matters to engineered materials[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 626-637.
- [9] 王倩,祁庆生. 聚羟基脂肪酸酯的低碳生物制造:基于碳转化率的分析与应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 748-762.
WANG Qian,QI Qingsheng. Low-carbon biomanufacturing of polyhydroxyalkanoates:analysis and application based on carbon conversion rate[J]. Synthetic Biology Journal,2022,3(4): 748-762.
- [10] 杨兆颖,张帆,郭建文,等. 类弹性蛋白多肽的生物合成及其药物递送应用[J]. 合成生物学,2022,3(4): 728-747.

- YANG Zhaoying, ZHANG Fan, GUO Jianwen, et al. Biosynthesis of elastin-like polypeptides and their applications in drug delivery[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(4): 728-747.
- [11] 李磊, 高鑫, 齐宏斌, 等. 现代生物技术推动塑料中聚对苯二甲酸乙二酯绿色降解的研究进展[J]. 合成生物学, 2022, 3(4): 763-780.
LI Lei, GAO Xin, QI Hongbin, et al. Research progress of modern biotechnology-promoted green degradation of polyethylene terephthalate in plastics[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(4): 763-780.
- [12] 邵云菲, 王卉, 朱怡然, 等. 基于丝素蛋白材料构建骨组织修复支架的三维多孔结构体系的研究进展[J]. 合成生物学, 2022, 3(4): 795-809.
SHAO Yunfei, WANG Hui, ZHU Yiran, et al. Research progress on the construction of three-dimensional porous structure of bone tissue repair scaffolds based on silk fibroin materials[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(4): 795-809.
- [13] 李敬敬, 马超, 王帆, 等. 生物合成高性能蛋白及材料应用[J]. 合成生物学, 2022, 3(4): 638-657.
LI Jingjing, MA Chao, WANG Fan, et al. Biosynthesis of high-performance protein materials and their applications[J]. Synthetic Biology Journal, 2022, 3(4): 638-657.

钟超: 中国科学院深圳先进技术研究院, 合成生物学研究所研究员, 所长助理, 材料合成生物学中心主任。研究方向为材料合成生物学, 专注活体功能材料的开发和应用。
E-mail: chao.zhong@siat.ac.cn



陈国强: 清华大学合成与系统生物学中心主任、万华化学讲座教授、英国曼彻斯特大学兼职讲座教授。长期从事“生物合成PHA材料及其下一代工业生物技术”的研究。
E-mail: chengq@mail.tsinghua.edu.cn

