



大健康时代下的微生物群系

邓子新^{1*}, 焦念志^{2*}, 岳建民^{3*}

1. 上海交通大学生命科学技术学院, 微生物代谢国家重点实验室, 上海 200030;

2. 厦门大学海洋与地球学院, 近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361102;

3. 中国科学院上海药物研究所, 新药研究国家重点实验室, 上海 201203

* 联系人, E-mail: zxdeng@sjtu.edu.cn; jiao@xmu.edu.cn; jmyue@simm.ac.cn

收稿日期: 2023-05-05; 接受日期: 2023-05-12; 网络版发表日期: 2023-05-16

21世纪以来, 随着思想理念的突破和技术创新的支撑, 人类对微生物的探索越来越深入、越来越迫切。“Microbiome”正是在这样一个科学蓬勃发展、技术迅速进步的背景下提出的具有历史意义、并持续推动科技发展的新概念。而它中文被译为“微生物组”距今也已超过15年。随着Microbiome研究在国内外的蓬勃发展, “微生物组”也几乎成为家喻户晓的新科技名词。

作为整个地球生态系统的“基石”之一, 微生物组从人和动物的肠道到植物、土壤、海洋, 几乎无处不在。微生物组推动着地球上的物质循环, 影响着人体乃至整个地球生物圈的健康, 一旦出现结构失衡或功能失调, 其所在的人体等复杂生命体系, 乃至地球圈层等宏大的环境便会出现“病态”现象。因此, 目前人类面临的疾病流行、粮食安全、森林退化、能源短缺、环境污染、气候变暖等问题的背后, 都有微生物组的身影。微生物组研究将在人体健康、生态环境、工业制造、农业生产等领域产生革命性概念和变革性技术, 在人类进步和国家发展中发挥重要作用。

微生物组研究作为全球科技战略竞争高地, 已成为美国、欧洲等世界强国高度重视和争相支持的重要科学和技术领域。在前沿技术国际竞争不断加剧的大环境下, 全球多个国家陆续发起了国家级微生物组研究计划。2001年, 美国率先提出人类微生物组计划(Hu-

man Microbiome Project, HMP), 并于2007年正式启动; 加拿大同年也启动了微生物组研究计划; 欧盟紧随其后, 于2008年推出人类肠道宏基因组计划(Metagenomics of the Human Intestinal Tract, MetaHIT), 专注于肠道微生物组的研究。2012~2014年, 各国掀起了新一轮微生物组研究计划热潮, 美国人类微生物组整合计划(Integrative HMP, iHMP/HMP2)启动第二轮, 并增加了微生物组质量控制计划(The Microbiome Quality Control project, MBQC); 欧盟的MetaGenoPolis(MGP)计划则将研究重点从肠道微生物群组成与疾病健康的相关性拓展到揭示人体微生物组与特定疾病的因果机制。随着微生物组研究范围日趋广泛, 近年来, 全球科研人员开始综合考虑微生物组与健康、能源、农业、环境等方向的关联。除了与人类健康相关的微生物组项目外, 国际上陆续启动了地球微生物组计划(Earth Microbiome Project, EMP)、海洋微生物B3计划(Marine Microbial Biodiversity, Bioinformatics and Biotechnology, Micro B3)等多个环境微生物组研究计划。美国在这方面尤为重视, 比如联合微生物组研究计划(2015年)强调, 需要同时注重微生物组在健康、农业、环境、生态等方面的应用潜力; 白宫科技政策办公室(The White House Office of Science and Technology, OSTP)启动的国家微生物组计划(National Microbiome Initia-

引用格式: 邓子新, 焦念志, 岳建民. 大健康时代下的微生物群系. 中国科学: 生命科学, 2023, 53: 553-555

Deng Z X, Jiao N Z, Yue J M. Microbiome in the era of One Health (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2023, 53: 553-555, doi: [10.1360/SSV-2023-0071](https://doi.org/10.1360/SSV-2023-0071)

tive, NMI)旨在深入揭示微生物组的组成、结构及功能,以促进对健康微生物组功能的保护和恢复;2020年,美国工程生物学研究联盟(The Engineering Biology Research Consortium, EBRC)发布了《微生物组工程:下一代生物经济研究路线图》,对微生物组工程学的发展现状及未来20年的研究与开发领域进行评估。

我国微生物组研究一直紧跟国际前沿,一方面积极参与了EMP等国际微生物组重大研究计划,同时也开展了一些以国内力量为主导的微生物组研究计划。早在21世纪初,中国科学院微生物研究所有关专家便开始推动“微生物地球”研究计划;2014年,中国科学院组织并启动了土壤微生物相关的战略性先导科技专项;2017年,中国科学院启动了微生物组计划,联手攻关“人体与环境健康的微生物组共性技术研究”;2021年,国家重点研发计划“生物大分子与微生物组”重点专项启动,推动微生物组领域的健康发展,促使我国在微生物组研究技术体系和微生物组资源库建设方面立足国际前沿。随着科学技术的迅猛发展,依托环境资源的无限潜力,我国微生物组研究将迎来前所未有的重大机遇。

我国在人体微生物组、人体肠道微生物组基因资源及生物信息学、动物微生物组学、培养组学及植物微生物组学研究方面都取得了国际领先的突出成绩。在人体微生物组与疾病关系研究领域,我国科学家不仅在肝病、癌症、自身免疫性疾病和抑郁症等与微生物组相关关系分析方面取得进展,而且在肥胖和糖尿病研究中获得了对引发和加重疾病有因果关系的微生物种类,并深入研究了其分子机制;在动物、植物及环境微生物组研究领域,我国科学家对植物根际微生物组研究、水环境微生物组以及养殖环境和动物体微生物组的研究均取得了重要成果。

为深入探讨我国微生物组研究领域的发展现状,把握前所未有的机遇,应对极其艰难的挑战,汇聚各方专家学者,发出中国科学家的声音,2021年6月19~20日,中国科学院学部举办了以“微生物组与大健康”为主题的“科学与技术前沿论坛”。上海交通大学邓子新院士作主旨报告,厦门大学焦念志院士、广东省科学院微生物研究所吴清平院士分别围绕“微生物驱动的海洋碳汇与生态健康”和“中国食品微生物安全科学大数据库构建及其创新应用”作特邀报告。24位高校和科研单位代表分别围绕“微生物组与人体健康”“微生物

组与动植物健康”“微生物组共性技术”和“微生物组与环境生态”四大议题作中心议题报告。相关科研机构、高校科研工作者和企业界代表近百人线上线下参加了论坛。与会专家全面分析了微生物组的结构与功能,交流了最新研究成果,深入探讨了微生物组研究的发展现状与未来趋势。

特别是,本次论坛参会专家达成了将“Microbiome”中文译名由“微生物组”更改为“微生物群系”这一共识,明确了该领域研究的科学内涵及未来方向。Microbiome是特定环境或者生态系统中群居的所有微生物成员的遗传信息和代谢能力的集合,其本意不仅指该生境中的全部微生物,同时还囊括它们所有的活性,词根是“-biome”,而非“-ome”。因此,从词源学和其定义内涵角度考虑,译为“微生物组”并不准确。Microbiome是一个生态学概念,并非“组学”的概念,若只从基因组学的观念和思路出发,限制了人们对Microbiome更深入的认识,也延迟了Microbiome成果进入临床应用的进程。为了正本清源、恢复Microbiome作为生态学概念的地位,寻求Microbiome领域超越基因组研究的进一步突破,在领域内多位专家的共同呼吁下,将Microbiome中文译名更改为“微生物群系”,以凸显微生物群体与生态系统相互关系的学科内涵。这样的更名,有利于将“微生物群系学”发展成为一门将微生物生态系统自身丰富的遗传及代谢功能,与特定环境中的其他生命体或环境因子发生互利或相克作用作为研究对象的新兴前沿学科。将Microbiome视为生态系统将完全改变人们用大规模测序和多组学分析手段研究该复杂体系的策略,一系列的理论进展和技术突破也必将如雨后春笋般出现在人们的视野中。

论坛研讨成果以“微生物群系与大健康”专辑的形式在《中国科学:生命科学》出版。专辑邀请了17位专家学者分别撰写综述、研究论文及点评文章,为读者依次介绍“微生物群系与人体健康”“微生物群系与动植物健康”“微生物群系共性技术”和“微生物群系与环境生态”四个方向的最新研究进展和趋势研判,并对Microbiome中文译名变更进行了点评,力求为读者展示微生物群系及其研究领域的总体面貌,展望发展方向和应用前景。需要说明的是,尽管每位撰写者力图尽可能详细地介绍各自领域的研究成果,但限于篇幅,难免挂一漏万,还望读者不吝指正。谨以此为契机,乘共创之风,携手绘制微生物群系学发展蓝图。

Microbiome in the era of One Health

DENG ZiXin¹, JIAO NianZhi² & YUE Jian-Min³

¹ State Key Laboratory of Microbial Metabolism, School of Life Sciences & Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

² State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China;

³ State Key Laboratory of Drug Research, Shanghai Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201203, China

doi: 10.1360/SSV-2023-0071



邓子新, 微生物学家, 中国科学院院士, 发展中国家科学院院士, 美国微生物科学院院士, 英国皇家化学学会会士. 中国微生物学会理事长, 中国农业生物技术学会副理事长, 全球工业微生物学会(The Globe Industrial Microbiology Society, GIM)主席. 上海交通大学教授, 生命科学技术学院名誉院长, 微生物代谢国家重点实验室主任. 国家杰出青年科学基金获得者, 教育部“长江学者奖励计划”特聘教授. 长期从事微生物代谢的分子生物学研究, 主攻放线菌遗传学及抗生素生物合成的化学生物学. 主要科学贡献: 发现DNA骨架硫修饰, 并系统研究了DNA硫修饰发生的生物化学机理和生物学意义, 在国际上开创了表观遗传学一个崭新的分支领域. 迄今为止发表学术论文400余篇. 荣获国家自然科学二等奖、上海市科技进步一等奖、农业部科技进步一等奖、教育部自然科学一等奖和二等奖等重大奖项.



焦念志, 生物海洋学家, 中国科学院院士, 发展中国家科学院院士, 美国微生物科学院院士. 国际海洋考察理事会(International Council for the Exploration of the Sea, ICES)和北太平洋海洋科学组织(North Pacific Marine Science Organization, PICES)“海洋负排放”(WG46)国际联合工作组主席, 第十四届全国政协委员. 厦门大学教授, 国家杰出青年科学基金获得者, 教育部“长江学者奖励计划”特聘教授. 主攻海洋生态过程及其资源环境效应. 主要科学贡献: 提出了海洋储碳新机制——“微型生物碳泵(Microbial Carbon Pump, MCP)”理论. *Science*评论MCP为“巨大碳库的幕后推手”, 并为MCP出版了*Science*增刊. 2019年, MCP纳入联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)特别报告; 2021年, MCP纳入联合国教科文组织政府间海洋学委员会(Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC)海洋碳报告. 迄今为止在*Nature*系列期刊, *Science*及其子刊, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *The ISME Journal*, *mBio*等期刊发表学术论文300余篇, 被引用万余次, 2014年起持续入选ESI中国高被引学者.



岳建民, 有机化学家, 中国科学院院士, 中国化学学会会士, 中国医学科学院学部委员. 中国科学院上海药物研究所研究员. 现任上海药物研究所学术委员会主任、学位委员会主任、民族药物与生物功能分子研究中心主任. 担任多个期刊的主编、副主编、编委或顾问编委. 国家杰出青年科学基金获得者, 中国科学院“百人计划”获得者. 长期从事新颖结构天然功能物质的发现和研究、结构优化和构效关系研究、生物功能分子的合成, 以及新药研发. 发现了多系列新骨架类型天然分子、重要生物活性分子、药物先导, 以及药物候选; 阐明了数百种药用植物的化学成分和多种重要药用植物的药效物质基础. 发表论文320多篇, 获得授权专利18项. 获国家自然科学二等奖、上海市自然科学一等奖、吴阶平-保罗·杨森医学药学奖以及“上海市科技精英”称号等.