

微生物——地球生命的先驱者， 生态环境的维护者

金城

(真菌学国家重点实验室 中国科学院微生物研究所 北京 100101)

尽管对地球生命起源的时间和早期生命形式还有很大争议，但大部分科学家认为在距今约 38-40 亿年前，地球上就出现了最低等的原始生命，距今约 24-6 亿年前的元古代产生了早期的原核微生物。早期的地球虽然已形成了原始的岩石圈、水圈和大气圈，但地壳很不稳定，火山活动频繁；距今 7 000 万年前，地球环境才变得与今天的状况基本相似，约 6 300 万年前才出现了灵长类动物的共同祖先，并最终在 240 万年前出现人类。现代科学研究揭示，地球从一个没有生命的荒芜星球演变成一个充满微生物、植物、动物的蓝色星球，不仅经历了生命的出现与数十亿年的进化，而且也经历了生物对地球环境的改变，今天的地球环境实际上是地质、气候、生物共同作用的结果，而早在人类出现前就在地球上生活了数十亿年的微生物对地球环境的演变更是做出了巨大的贡献。

在漫长的地球生命进化过程中，由于火山喷发、气候变化等引起的生态环境改变，曾导致几次主要的生物大灭绝事件：4.4 亿年前的寒武纪末期，3.6 亿年前的冰河时期，2.5 亿年前在二叠纪与三叠纪交界时期，以及 6 500 万年前的恐龙灭绝。地球生命如何适应环境？如何在与环境互作的过程中进化？经历生物大灭绝后地球环境又

是如何再次变得适于生物生存？地球生物如何影响地球环境？人类活动又如何深刻影响地球环境？人类将如何在我们赖以生存的地球上和谐发展？这些问题是现代科学研究所关注的重大科学问题，尤其在地球环境危机、资源危机、健康危机日益严重的今天，对这些问题的解答更是生命科学的核心任务。

微生物是地球所有生命的奠基者，并逐渐改变着地球的环境，因而认知微生物与地球环境的相互作用机制不仅是回答上述问题的关键，也是环境微生物学研究本身的核心科学问题。人类早在几千年前就能利用微生物进行发酵酿酒，但真正对微生物的认识始于 17 世纪列文虎克的显微镜观察，后来人们发明了用琼脂分离培养并富集微生物的方法，并依靠微生物纯培养的方法分离研究了许多微生物，不仅极大地推动了生命科学的研究，而且将微生物广泛应用于工农业生产、环境治理、人类健康等各个领域。然而土壤中用显微镜观察到的微生物只有不到 1% 可用传统培养方法培养^[1]，超过 90% 的细菌用现有方法是不能培养的，培养方法的缺陷使得巨大的微生物世界依然不为科学之眼所见^[2]。因此，过去的 100 年中人类对培养微生物的研究，仅仅让我们看到了地球微生物的“冰山一角”。

微生物可以出现在地球的每一个角落,从人的皮肤表面到雨林土壤到海底热液口,可以说我们的地球是一个微生物无处不在的微生物星球,但我们对地球上多数环境中的微生物构成及它们在环境中发挥的功能知之甚少。过去用培养富集的方法开展环境微生物学研究的问题在于:首先,培养方法通常不适于确定微生物的群落结构和动态变化,并且常分离到干扰菌,这些微生物往往更适应实验室培养条件,但在环境中并不是必需的;其次,研究者不可能确定微生物在实验室条件下的行为是否能反映其在环境中的行为。近20年来,随着研究方法的进步,尤其是PCR技术与高通量测序技术的发展,使人们有可能研究生态环境中不能培养的微生物,通过对环境样品中微生物的DNA、RNA以及蛋白质的组学分析,可以进行复杂微生物群落整体代谢途径的研究,从而使我们有可能回答在特定环境中有哪些微生物以及起什么作用的问题,进而深入理解微生物与环境的相互作用及其驱动的生物地球化学循环机制。

为总结近年来在环境微生物学研究方面的研究进展及发展趋势,本刊邀请了我国微生物学研究领域的部分专家学者撰写论文16篇,汇集成《微生物地球专刊》。专刊作者从不同的角度,讨论和阐释了海洋、湖泊、土壤环境中微生物的群落结构、适应机制及其在地球元素循环中的作用等方面的最新研究进展,如环境微生物培养新技术^[3]、组学技术在环境微生物研究中的应用^[4]、环境微生物群落结构的分析^[5]、近海微生物在海洋氮循环中的作用^[6]、深海微生物适应性及其对元素循环的贡献^[7]、海洋微型生物对碳循环的影响^[8]、湖泊微生物结构及其对碳循环的影响^[9]、土壤微生物驱动的氮循环^[10]、稻田微生物代谢与温室气体^[11]、高寒生态系统微生物群落及其对环境变化的响应^[12]、低温湿地甲烷古菌介导的甲烷

产生^[13]、积雪和冻结土壤中微生物对碳排放的影响^[14]、植物菌根对植物生长和碳氮循环的影响^[15]、粘细菌的生态功能^[16]、微生物诱导碳酸盐类矿物沉淀的机理和代谢过程^[17]及非光合微生物利用太阳能的新机制^[18]。

从本专刊的文章不难看出,方法学上的进展使微生物学家能够用微生物群落的观念,而不是单纯依赖微生物的分离和纯培养,研究环境中的微生物群落及其在自然栖息地中的生理学。目前的研究进展表明,微生物是自然界中生命基本元素碳、氮、磷、硫循环的驱动者,使地球生命得以生生不息;微生物代谢对主要的温室气体(二氧化碳、甲烷和一氧化二氮)的全球通量有重要作用,并且对气候变化的响应迅速^[19]。这些研究进展不仅初步揭示了微生物是地球环境的塑造者和生态平衡的维护者,更预示了环境微生物学研究的光明前景及其在修复人类活动对生态环境的损害方面的巨大潜能,比如我们将有可能通过微生物调节温室气体,用海洋产氧光合细菌产生更多氧气,或用厌氧甲烷氧化菌消耗大气中越来越多的甲烷等。然而,我们对环境中微生物群落结构的构成及其与环境相互作用机制的了解依然是支离破碎的,即便应用现代的科学知识和技术水平,要在最简单的群落中获得强大、准确、高分辨的群落结构数据依然是个挑战;对微生物参与的生物地球化学循环过程的理解则是我们面临的更大挑战,比如我们还不清楚气候变化将如何影响微生物驱动的碳循环,尽管这是预测未来大气中二氧化碳浓度的重要因子。但毫无疑问,环境微生物学研究的未来是令人振奋的,涉及的研究包括对未培养微生物生命大致轮廓的描绘、在实验室精确的重建与拆解微生物群落、对干扰微生物群落后的效应与后果的预测、发现未知微生物基因的功能、空间尺度的群落互作、微生物种的共进化、基因组学在微生物学研

究中的作用、群体生物学与进化概念在微生物学中的应用等。

值得一提的是, 本期鲁安怀等的文章^[18]介绍了一种新的、尚未被认知的微生物能量利用途径: 非光合微生物通过半导体矿物光催化作用利用太阳光能, 揭示了一种新发现却极有可能长期存在的微生物能量利用方式, 即光能营养与化能营养外的第三种方式: 光电能营养。这一进展不仅对微生物能量代谢传统理论的普适性提出了新的挑战, 而且可能为揭示微生物与自然环境相互影响及其在生命进化与地球环境演变中的作用提供了一种新的机制。

研究手段的进步及其在环境微生物学研究中的应用, 已经向我们展示了微生物对生态环境的巨大贡献。可以预见, 在未来如果能实现微生物单细胞的基因组测序, 我们将有可能真正描绘出微生物地球的全景。环境微生物学的发展趋势将是现代分子生物学技术与传统的培养富集、微生物生理学、酶学和生物化学的结合, 以及与地球化学、地质学等学科的交叉研究; 对环境微生物的研究是人类可持续发展和建设生态文明的重要科学基础, 将为环境保护、工农业生产、医药、珍贵资源的再生提供保障。

参 考 文 献

- [1] Torsvik V, Øvreås L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems[J]. *Current Opinion in Microbiology*, 2002, 5: 240–245.
- [2] Staley JT, Konopka A. Measurement of in situ activities of nonphotosynthetic microorganisms in aquatic and terrestrial habitats[J]. *Annual Review of Microbiology*, 1985, 39: 321–346.
- [3] 王保军, 刘双江. 环境微生物培养新技术的研究进展[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 6–17.
- [4] 杨云锋. 环境微生物学的组学技术应用和突破[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 18–33.
- [5] 全哲学. 追寻被“遗漏”的微生物[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 34–43.
- [6] 龚骏, 张晓黎. 微生物在近海氮循环过程的贡献与驱动机制[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 44–58.
- [7] 李学恭, 徐俊, 肖湘. 深海微生物高压适应与生物地球化学循环[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 59–70.
- [8] 焦念志, 汤凯, 张瑶, 等. 海洋微生物储碳过程与机制概论[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 71–86.
- [9] 吴庆龙, 邢鹏, 李化炳, 等. 草藻型稳态转换对湖泊微生物结构及其碳循环功能的影响[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 87–97.
- [10] 贺纪正, 张丽梅. 土壤氮素转化的关键微生物过程及机制[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 98–108.
- [11] 刘鹏飞, 陆雅海. 水稻土中脂肪酸互营氧化的研究进展[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 109–122.
- [12] 褚海燕. 高寒生态系统微生物群落研究进展[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 123–136.
- [13] 蒋娜, 陈紫娟, 曹轶, 等. 低温湿地甲烷古菌及其介导的甲烷产生途径[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 137–145.
- [14] 陶娜, 张馨月, 曾辉, 等. 积雪和冻结土壤系统中的微生物碳排放和碳氮循环的季节性特征[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 146–157.
- [15] 郭良栋, 田春杰. 菌根真菌的碳氮循环功能研究进展[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 158–171.
- [16] 李曙光, 周秀文, 吴志红, 等. 粘细菌的种群生态及其生存策略[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 172–179.
- [17] 王红梅, 吴晓萍, 邱轩, 等. 微生物成因的碳酸盐矿物研究进展[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 180–189.
- [18] 鲁安怀, 李艳, 王鑫, 等. 半导体矿物介导非光合微生物利用光电子新途径[J]. *微生物学通报*, 2013, 40(1): 190–202.
- [19] Singh BK, Bardgett RD, Smith P, et al. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8(11): 779–790.