中国科学: 地球科学 2023 年 第 53 卷 第 8 期: 1927 ~ 1929
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

点 评

发现珊瑚病原菌操纵“木马病毒”的侵染机制

焦念志*

福建省海洋碳汇重点实验室, 厦门大学碳中和创新研究中心, 厦门大学海洋与地球学院, 厦门 361102
* 通讯作者, E-mail: jiao@xmu.edu.cn

收稿日期: 2023-06-07; 收修改稿日期: 2023-07-14; 接受日期: 2023-07-17; 网络版发表日期: 2023-07-20

珊瑚礁是造礁石珊瑚的碳酸钙遗骸沉积数千年后积累而成的复杂三维空间结构, 具有典型的有机碳代谢 (光合作用/呼吸作用) 和无机碳代谢 (钙化/溶解)遗留的双重特征, 在全球碳循环中具有重要作用(Kinsey和Hopley, 1991). 珊瑚礁虽只占全球海床洋底约0.5%的面积, 却集生态资源、环境调节、海岸保护和自然历史记录等多功能于一体, 是热带海洋中至关重要的生态系统, 对地球表面地形、生物的地理分布及全球生物地球化学循环过程都具有重要影响(Albright等, 2015; Hughes等, 2017).

海洋暖化正威胁着珊瑚礁的健康. 除了珊瑚白化, 由珊瑚病原体引起的石珊瑚组织损失病也在热带海洋肆虐. 2020年, 由联合国环境规划署资助的全球珊瑚礁监测网络发布了第六版《世界珊瑚礁现状报告》. 该报告收集了来自73个国家的300多名科学家的数据, 时间跨度40年且包括约200万次独立观测, 揭示了珊瑚覆盖率的急剧下降与全球变化(例如海表温度的快速上升)存在不可割裂的关系. 报告还指出, 维护珊瑚礁生态系统的完整性和复原力对全世界热带沿海社区的福祉至关重要, 也是实现联合国2030年可持续发展目标解决方案的重要组成部分. 因此, 当前全球气候变化影响下珊瑚礁的维持与复原备受关注.

珊瑚拥有丰富的微生物, 栖息在珊瑚组织、骨骼、黏液层等不同的部位(van Oppen和Blackall, 2019). 珊瑚及其内部共生的虫黄藻、细菌、病毒等共同组成珊瑚共生总体(图1)(Mohamed等, 2023). 微生物对珊瑚共生总体的健康和复原力至关重要(Reshef等, 2006). 近年来, 国内外多个研究小组对健康和非健康状态的珊瑚微生物组进行了大规模的测序分析, 但对驱动珊瑚共附生微生物群落动态变化的内在动力认知甚少.

Wang等 (2022)在*Nature Ecology & Evolution*上发表研究论文, 通过对南海典型造礁石珊瑚丛生盔形珊瑚“组织脱落病”的致病机制进行了深入研究, 发现了珊瑚条件致病菌——溶珊瑚弧菌(*Vibrio coralliilyticus*)在珊瑚体内通过“木马病毒”——原噬菌体诱导的方式清除其他竞争细菌, 从而获得优势并快速爆发, 这是一种新发现的导致珊瑚疾病的机制.

噬菌体是以细菌为宿主的病毒, 根据其是否裂解宿主可分为烈性噬菌体和温和噬菌体两种. 温和噬菌体在侵染细菌后不直接裂解宿主, 而是通过将自身遗传物质整合到细菌基因组上, 并随细菌基因组复制而复制, 在一定条件下又可以从细菌基因组上脱离而引起宿主裂解(Chen等, 2021). 噬菌体对于调节珊瑚共附生菌群的群落结构, 避免细菌过度繁殖有着重要的调控作用. 温和噬菌体介导的共附生细菌互作直接影响珊瑚健康, 珊瑚共生体中的原噬菌体扮演着 “木马病毒”的角色. Wang等(2022)的研究中发现了一种珊瑚病原菌与土著菌之间新的相互作用, 这种竞争性作用的结果决定了珊瑚的健康(图2). 珊瑚病原菌编码了*L*-赖

中文引用格式: 焦念志. 2023. 发现珊瑚病原菌操纵“木马病毒”的侵染机制. 中国科学: 地球科学, 53(8): 1927–1929, doi: 10.1360/SSTe-2023-0111
英文引用格式: Jian N. 2023. Removal of competing bacteria in coral microbiome through “trojan virus”: A newly discovered mechanism of coral pathogenicity. Science China Earth Sciences, 66(8): 1906–1908, https://doi.org/10.1007/s11430-023-1146-y

© 2023 《中国科学》杂志社

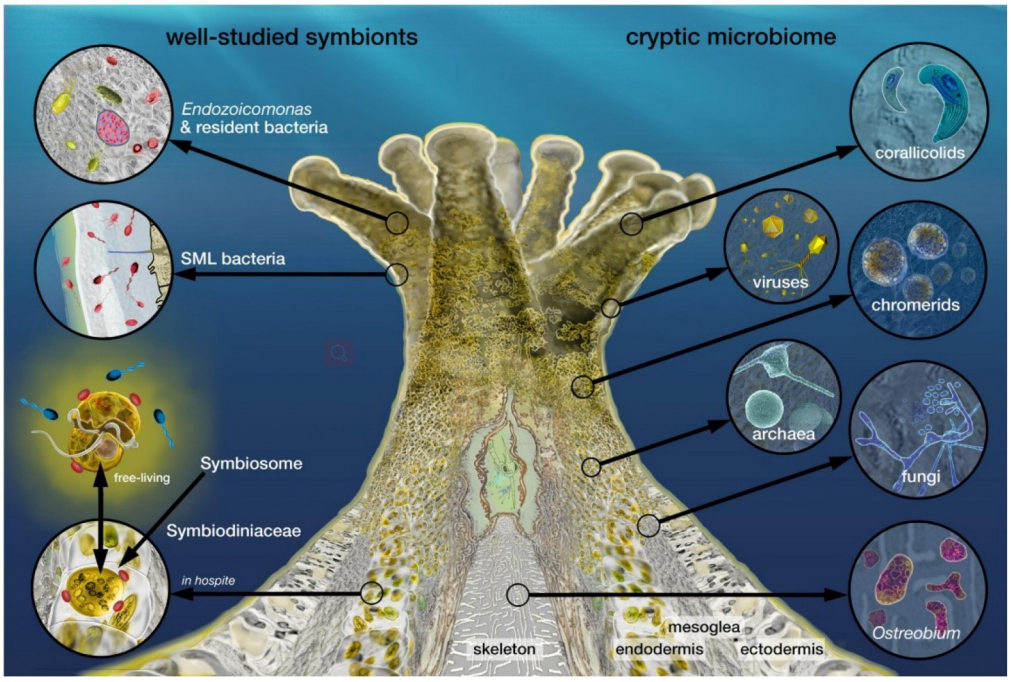

图 1　(网络版彩图)珊瑚表面黏液和内部组织中栖居的微生物示意图

引自Mohamed等(2023), Copyright © The Authors

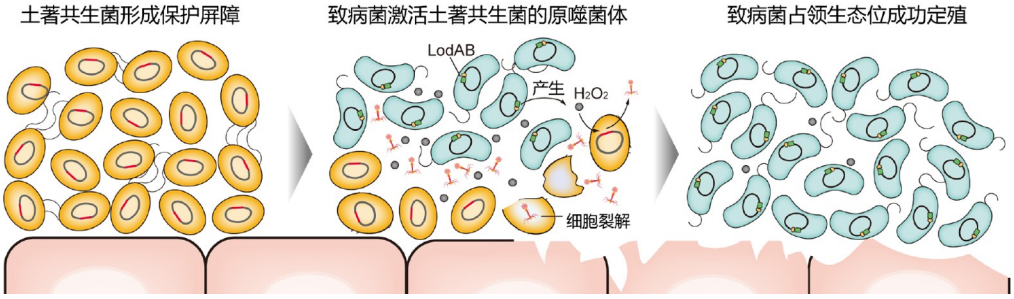

图 2　(网络版彩图)珊瑚病原菌与珊瑚共生细菌相互作用的模式图

氨酸-ε-氧化酶(*LodA*), 可以氧化*L*-赖氨酸并产生过氧化氢. 珊瑚病原菌利用*LodA*激活内生菌*Endozoicomonas* sp.和非致病弧菌等珊瑚共附生细菌的原噬菌体, 从而清除重要的珊瑚共生菌.

Tang等(2020)前期研发了一种无创石珊瑚取样和侵染技术, 在丛生盔形珊瑚的消化循环腔中分离鉴定了珊瑚病原菌——溶珊瑚弧菌, 并发现感染这种病原菌后, 丛生盔形珊瑚在升温条件下表现出严重的组织溃败引发“石珊瑚组织脱落病”, 为Wang等(2022)从机制层面研究石珊瑚病原菌的定殖和侵染过程提供了研究模型. 目前已在全球的多种造礁珊瑚中发现石珊瑚组织脱落病, 该病可在数周内杀死被感染的珊瑚, 致死率高达90%以上. 因此, 升温叠加病原菌感染加速了珊瑚消亡.

在最新版《世界珊瑚礁现状报告》和新一轮IPCC评估报告中, 均调研评估了珊瑚礁的现状及其在未来全球变化下的快速退化趋势, 再次重申保护珊瑚礁的重要意义. Wang等(2022)的研究揭示了珊瑚病原菌发挥致病性的新机制, 从共附生菌群的功能和互作方式的视角获得了对珊瑚共生总体健康的新认知, 为保护造礁珊瑚石的健康和维持珊瑚礁稳定提供了理论支撑. 在当前全球变化的严峻背景下, 该研究对恢复和

保护珊瑚具有重要意义, 激励后续工作从机制层面更加深入透彻地解析珊瑚微生物组的作用, 挖掘恢复和保护珊瑚的新思路和新途径. 此外, 珊瑚礁作为重要的浅海生态系统, 是碳循环的重要组成部分. 未来研究需要在做好珊瑚礁生态系统恢复和保护的同时, 深入揭示珊瑚礁的碳汇潜能(焦念志等, 2021), 致力于生态系统可持续发展和碳中和目标.

参考文献

焦念志, 刘纪化, 石拓, 张传伦, 张永雨, 郑强, 陈泉睿, 汤凯, 王誉泽, 董海良, 唐剑武, 叶思源, 董双林, 高坤山, 张继红, 薛强, 李琦, 贺志理, 屠奇超, 王法明, 黄小平, 白雁, 潘德炉. 2021. 实施海洋负排放 践行碳中和战略. 中国科学: 地球科学 51: 632–643

Albright R, Benthuysen J, Cantin N, Caldeira K, Anthony K. 2015. Coral reef metabolism and carbon chemistry dynamics of a coral reef flat. Geophys Res Lett, 42: 3980–3988

Chen X, Weinbauer M G, Jiao N, Zhang R. 2021. Revisiting marine lytic and lysogenic virus-host interactions: Kill-the-Winner and Piggyback-the-Winner. Sci Bull, 66: 871–874

Hughes T P, Barnes M L, Bellwood D R, Cinner J E, Cumming G S, Jackson J B C, Kleypas J, van de Leemput I A, Lough J M, Morrison T H, Palumbi S R, van Nes E H, Scheffer M. 2017. Coral reefs in the Anthropocene. Nature, 546: 82–90

Kinsey D W, Hopley D. 1991. The significance of coral reefs as global carbon sinks— response to Greenhouse. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 89: 363–377

Mohamed A R, Ochsenkühn M A, Kazlak A M, Moustafa A, Amin S A. 2023. The coral microbiome: Towards an understanding of the molecular mechanisms of coral-microbiota interactions. FEMS Microbiol Rev, 47: fuad005

Reshef L, Koren O, Loya Y, Zilber-Rosenberg I, Rosenberg E. 2006. The coral probiotic hypothesis. Environ Microbiol, 8: 2068–2073

Tang K, Zhan W, Zhou Y, Xu T, Chen X, Wang W, Zeng Z, Wang Y, Wang X. 2020. Antagonism between coral pathogen *Vibrio coralliilyticus* and other bacteria in the gastric cavity of scleractinian coral Galaxea fascicularis. Sci China Earth Sci, 63: 157–166

van Oppen M J H, Blackall L L. 2019. Coral microbiome dynamics, functions and design in a changing world. Nat Rev Microbiol, 17: 557–567

Wang W, Tang K, Wang P, Zeng Z, Xu T, Zhan W, Liu T, Wang Y, Wang X. 2022. The coral pathogen *Vibrio coralliilyticus* kills non-pathogenic holobiont competitors by triggering prophage induction. Nat Ecol Evol, 6: 1132–1144

(责任编委: 郑永飞)