

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.827>



# 如何定量评价大灭绝时期生态系统的坍塌与重建过程?

陈中强, 黄元耕

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430078

生物大灭绝是指在相对短的时间内生物集群灭亡的一种生态大危机事件, 地球生命自显生宙以来遭受了至少 5 次大灭绝的洗礼 (Sepkoski, 1981). 近代自工业革命以来, 人类活动对环境的影响极大, 加速了地球生物的灭绝速率, 许多证据表明当今地球上的生物正处于一次新的大灭绝之中, 即第 6 次大灭绝事件 (Barnosky *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2021). 因此, 解剖地质历史时期的大灭绝事件, 来评估当今地球生态系统危机就成为了当务之急. 随着地质学与计算机技术的深度融合, 地球生物学已大步迈入大数据时代, 研究方法也变得更加丰富, 经历了第一阶段“古生物多样性数据库”和第二阶段“古生态学数据库”两次大发展之后, 正快速迈进第三阶段“生态系统大数据计算模拟”的研究和应用上. 至此, 无论是通过重建生物多样性演化趋势, 还是通过古生态学数据反演生态特征演变过程都可以

作为定量评价大灭绝时期生态系统坍塌与重建的手段, 也取得了令人振奋的成就 (Erwin, 2006; Fan *et al.*, 2020). 不过, 这些方法往往反映了生物多样性或者个体生态在大灾难前后的变化, 而不同门类生物在生态系统食物链中扮演不同的角色, 因而在生态大危机中的表现往往差异很大 (Chen and Benton, 2012; Feng *et al.*, 2022). 因此, 我们需要定量评价整个生态系统, 而不是生物个体生态, 在大灭绝时期的崩塌与复苏模式和过程 (图 1). 最近研究表明, 一些以生物功能群和食物链网络为基础的生态系统数值模型是来定量评价生态系统稳定性的最佳工具, 并且成功地应用到生态大危机事件的研究之中 (Roopnarine and Angielczyk, 2015; Huang *et al.*, 2021), 以一个更为宏观的研究视角, 全面推动地球生物学在大数据时代的新发展.

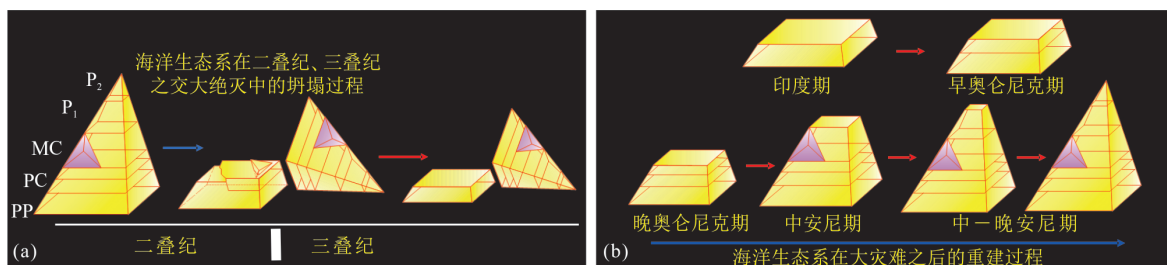


图 1 食物链金字塔卡通图显示二叠纪—三叠纪之交海洋生态系统的坍塌与重建过程 (Chen and Benton, 2012)

a. 在大灭绝中生态系统经历两次崩塌过程; b. 大灾难后, 生态系统按食物链营养级别从底层至顶层, 阶梯式的重建, 其过程跨越早—中—三叠世, 最终需要约 800 万年才完成复苏与重建

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 41821001, 41930322, 41902315).

作者简介: 陈中强 (1968—), 男, 博士, 教授, 教育部长江学者, 长期从事深时极端生物和环境事件以及地球生物学研究. E-mail: zhong.qiang.chen@cug.edu.cn

引用格式: 陈中强, 黄元耕, 2022. 如何定量评价大灭绝时期生态系统的坍塌与重建过程? 地球科学, 47(10): 3827—3829.

Citation: Chen Zhongqiang, Huang Yuangeng, 2022. How to Evaluate Quantitatively Collapse and Recovery Processes of Ecosystems During and After Mass Extinctions? *Earth Science*, 47(10): 3827—3829.

## 1 核心思想

目前古生物学应用最多的定量评价手段要么以生物多样性为数据,要么以多种古生态指标(如功能、形态、延限等)为基础来定量评价生物在生态大危机中的灭绝以及其后的复苏模式和时间.然而,生物并非孤立地存在于生态系统中,生物与生物之间存在着复杂的捕食、竞争、共生或寄生关系,生命无时无刻不在与其他生命或环境进行着物质与能量的交换(Roopnarine *et al.*, 2019).多种生物之间的捕食关系组成了生态系统中复杂的食物链网络.因此,我们可以收集化石记录中与生物捕食相关的证据和线索,或者利用它们的现代类群的食性特征,恢复生物与生物彼此之间的捕食关系,将生态系统中底层的自养微生物、初级消费者、种级消费者乃至高级或巨型捕食者信息综合起来,建立生态系统完整的食物链网(图2),然后,利用生态模型对古食物网中每一个生态节点进行数千次的环境波动打击与坍塌(或者二次灭绝)模拟,计算出生态系统的坍塌阈值,阈值越大说明生态系统抗外部环境冲击的能力越强,即生态系统的稳定性越高(Roopnarine and Angielczyk, 2015; Roopnarine *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2021).以此为抓手,定量评价生态系统在生态大危机中的抗灾/恢复能力(resilience).

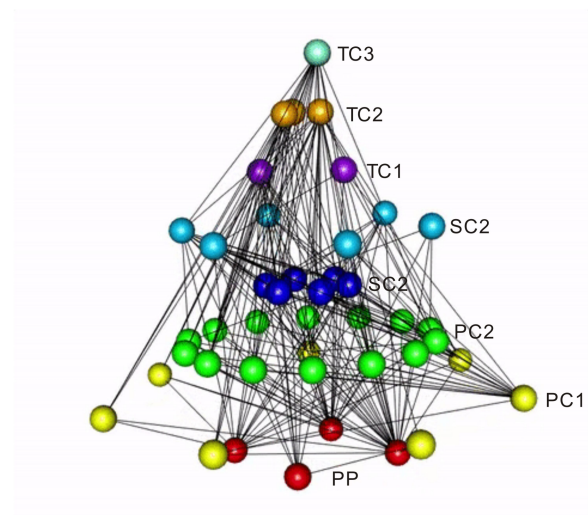


图2 中三叠世古食物网的典型结构

PP. 初级生产者; PC. 初级消费者; SC. 二级消费者; TC. 三级消费者

## 2 科学价值

新的生态数值模拟方法整合了化石记录中古生物和古生态的大数据,全面分析深时生态系统中生物及其抗灾恢复能力的演化过程以及它们面对重大危机事件时的响应机理.目前该数值模拟方法已经成功运用到若干重大地质历史突变期的生态系统演化的研究中.通过解剖生态系统的结构和模拟生态系统对外界环境波动的响应,计算生态系统的坍塌阈值,定量评价演化古生物学上“红皇后”和“宫廷小丑”两种驱动因子在生物演化中扮演的角色,同时根据模拟结果,定量评价不同生态系统的稳定性高低,以此为标准,定量评价生态系统崩塌与重建的时间和模式,为研究深时生态系统演化提供新思路和研究方法,同时丰富地球生物学的研究方法.

## 3 发展前景

目前发表越来越多的多元古生物学和古生态学数据库为开展定量地球生物学研究提供了坚实的基础,新的生态模拟方法和计算机手段不仅让数据库建设一日千里,而且在深时和当代生态系统计算模拟方面显示出了巨大的潜力,实现定量评价生态系统在重大地质历史转折期的演化过程,有助于攻关与深时生命、环境/气候协同演化的机制和驱动力相关的重要科学难题;同时,也为正确认识当代全球变化和生物多样性危机这两大列入联合国公约的全球共同关注的科学问题提供实证.生态系统的数值模拟方法也为探索地球生物学与计算机技术深度融合提出新范式、新方向.

### 参考文献

- Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., et al., 2011. Has the Earth's Sixth Mass Extinction already Arrived? *Nature*, 471(7336): 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Chen, Z. Q., Benton, M. J., 2012. The Timing and Pattern of Biotic Recovery Following the End-Permian Mass Extinction. *Nature Geoscience*, 5(6): 375–383. <https://doi.org/10.1038/ngeo1475>
- Erwin, D. H., 2006. *Extinction: How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Fan, J. X., Shen, S. Z., Erwin, D. H., et al., 2020. A High-

- Resolution Summary of Cambrian to Early Triassic Marine Invertebrate Biodiversity. *Science*, 367(6475): 272–277. <https://doi.org/10.1126/science.aax4953>
- Feng, X. Q., Chen, Z. Q., Benton, M. J., et al., 2022. Resilience of Infaunal Ecosystems during the Early Triassic Greenhouse Earth. *Science Advances*, 8(26): eabo0597. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abo0597>
- Huang, Y. G., Chen, Z. Q., Roopnarine, P. D., et al., 2021. Ecological Dynamics of Terrestrial and Freshwater Ecosystems across Three Mid-Phanerozoic Mass Extinctions from Northwest China. *Proceedings Biological Sciences*, 288(1947): 20210148. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0148>
- Li, Z. H., Guo, Z., Chen, Z. Q., et al., 2021. A Novel Carbon Cycle Turbulence Index Identifies Environmental and Ecological Perturbations. *Geochemical Perspectives Letters*, 11–15. <https://doi.org/10.7185/geochem-let.2137>
- Roopnarine, P. D., Angielczyk, K. D., 2015. Community Stability and Selective Extinction during the Permian-Triassic Mass Extinction. *Science*, 350(6256): 90–93. <https://doi.org/10.1126/science.aab1371>
- Roopnarine, P. D., Angielczyk, K. D., Weik, A., et al., 2019. Ecological Persistence, Incumbency and Reorganization in the Karoo Basin during the Permian-Triassic Transition. *Earth-Science Reviews*, 189: 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.014>
- Sepkoski, J. J. Jr., 1981. A Factor Analytic Description of the Phanerozoic Marine Fossil Record. *Paleobiology*, 7(1): 36–53. <https://doi.org/10.1017/s0094837300003778>