

# 盐度胁迫下失稳的微生物生态网络： 丰富与稀有物种在维持生态网络中的差异化表现

李长超，金灵，张超，厉舒祯，周通，华中一，汪李飞，季舒平，王燕飞，甘延东，刘建\*

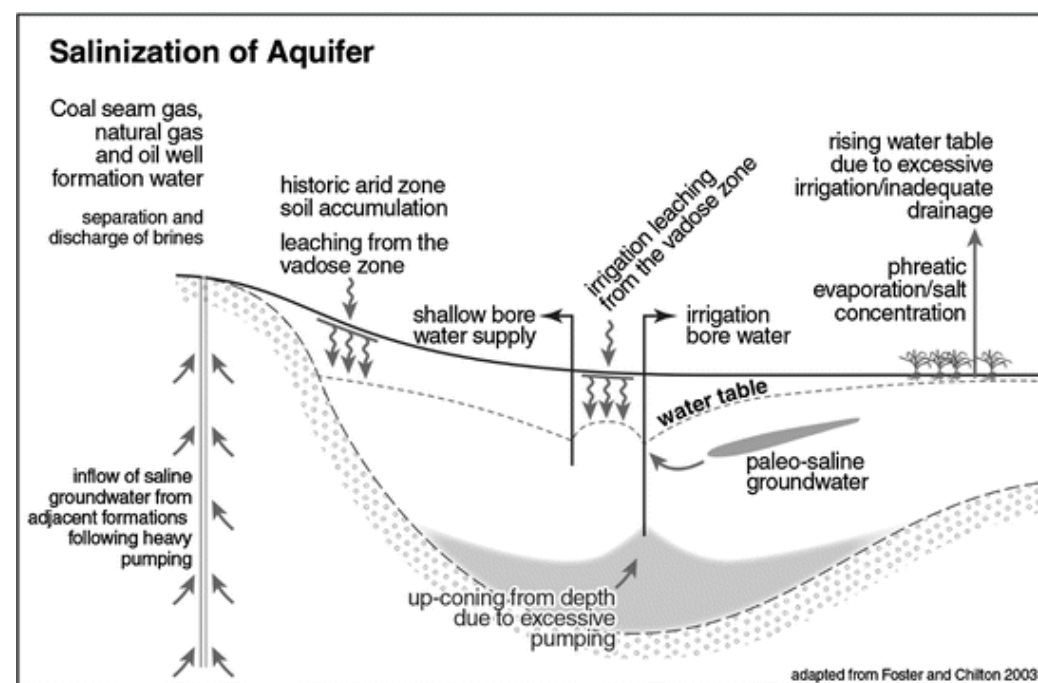
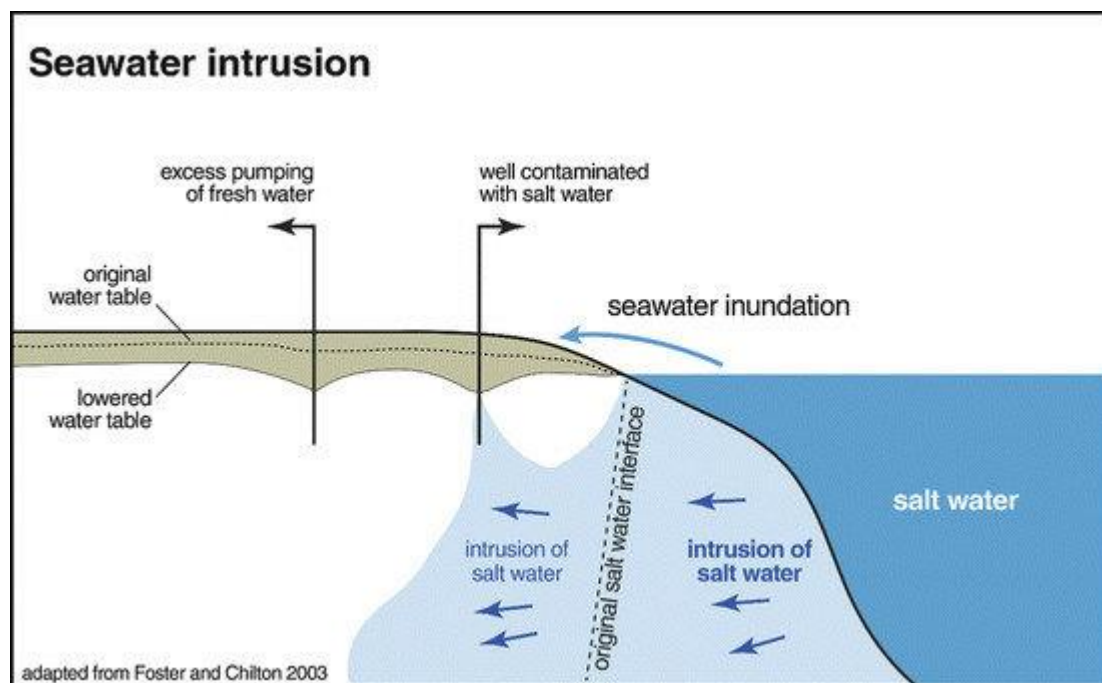
山东大学环境研究院  
香港理工大学土木及环境工程学系、医疗科技及资讯学系  
海洋污染国家重点实验室  
南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）  
中国科学院城市环境研究所  
中国科学院海洋研究所  
中国中医科学院中药资源中心  
上海电力大学计算机科学与技术学院  
曲阜师范大学生命科学学院



Li Changchao, Ling Jin, Chao Zhang, Shuzhen Li, Tong Zhou, Zhongyi Hua, Lifei Wang, Shuping Ji, Yanfei Wang, Yandong Gan, Jian Liu\*. 2023. Destabilized microbial networks with distinct performances of abundant and rare biospheres in maintaining networks under increasing salinity stress. *iMeta* 2: e79. <https://doi.org/10.1002/imt2.79>

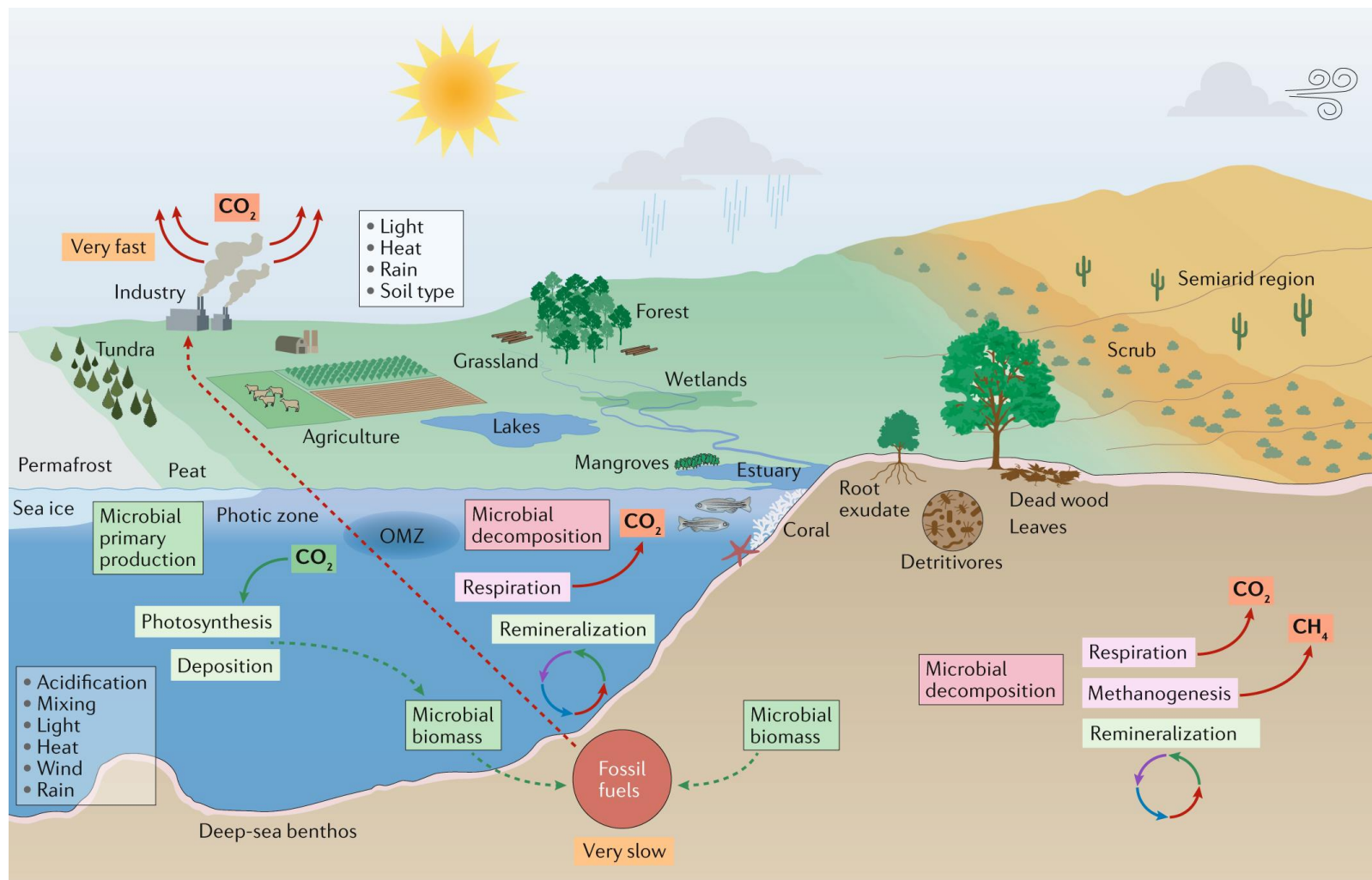
# 人类世下全球变化改变着水生生态系统的环境条件

- IPCC第六次气候变化评估报告预测，到2100年，**海平面**相对于1995–2014年的平均水平可能会**上升0.63–1.01米**。
- 沿海地区尤其受到海平面上升的影响，**海水入侵**对地上和地下水资源造成严重的负面影响。
- 气候变暖带来的降雨量和蒸发量的变化以及人类活动（例如使用道路除冰盐、资源开采和农业活动等）使全球范围内**淡水资源受到盐渍化威胁**。



Greene R. et al., 2016  
Kaushal, S. S. et al., 2018  
Jeppesen, E. et al., 2020  
IPCC, 2021  
Hintz, W. D. et al., 2022

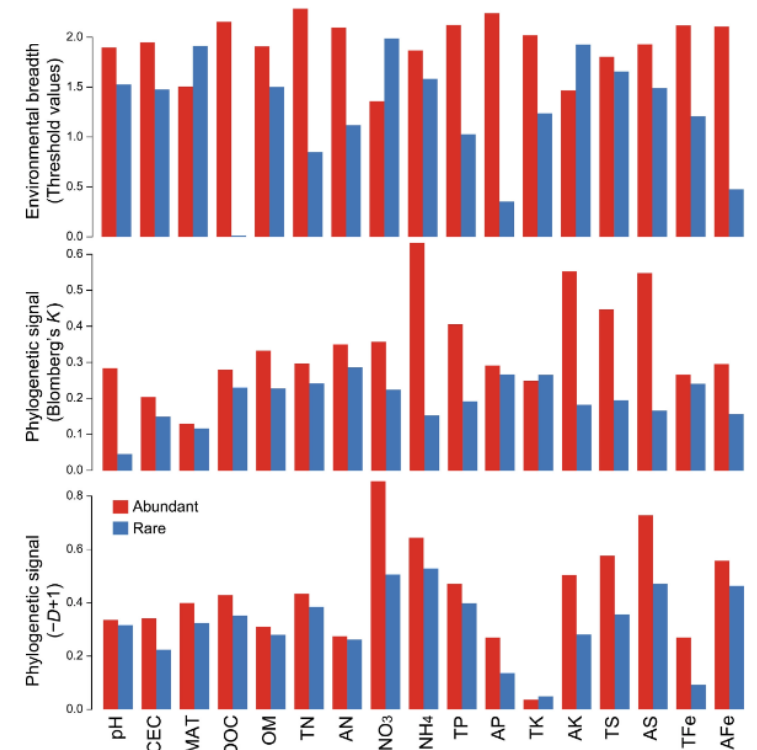
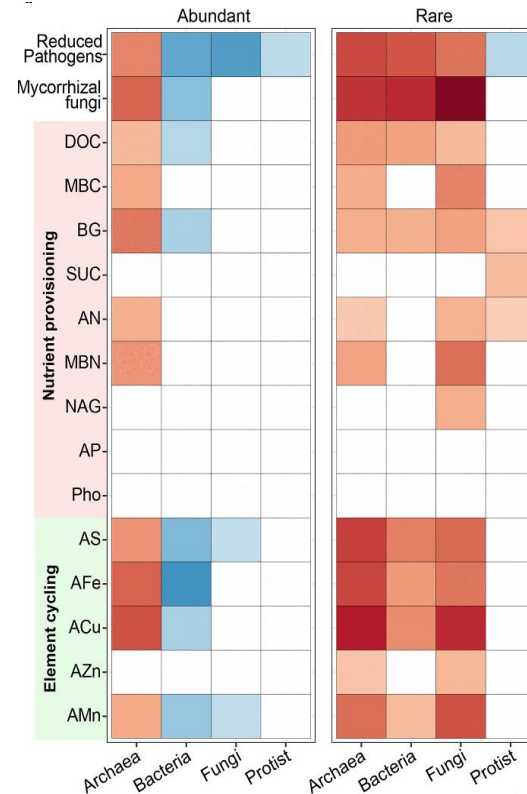
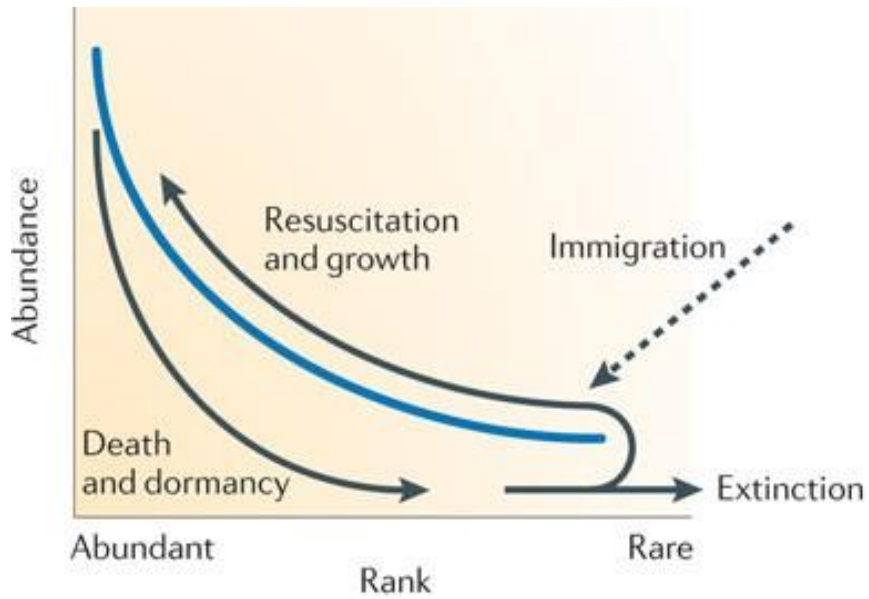
# 研究微生物对环境变化响应的重要性



- 在维护全球生态系统健康中起重要作用的**微生物对环境条件的变化极敏感**。
- 微生物群落的变化会**牵动整个生态系统的功能和服务**。
- 物种之间的**复杂联系**影响着**微生物群落动态**乃至生态系统的**稳定运行**。
- 揭示**环境条件变化下的水生微生物生态模式**对于制定应对全球变化的策略从而实现环境可持续发展是必要的。

# 丰富微生物和稀有微生物

- 在微生物世界中，**物种组成高度不平衡**，少数物种占据优势丰度而多数物种丰度很低。
- 丰富物种与稀有物种呈现出不同的生物地理模式，但二者都是**生态系统运行的重要驱动因素**。
- 了解**丰富和稀有物种在生态网络中的相对重要性及其对环境胁迫的响应**，有助于精准调整保护策略，从而更好地维持生态系统的功能和服务。



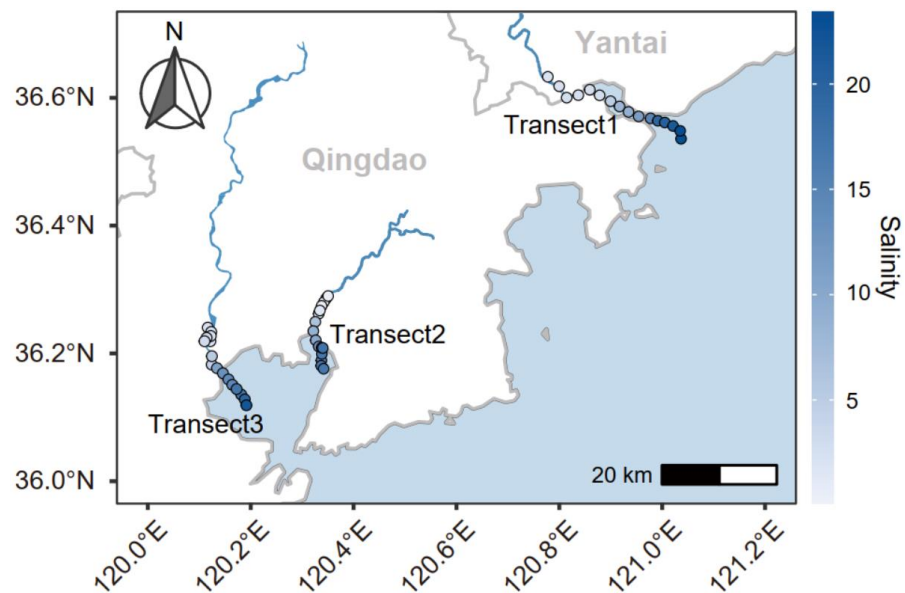
Lennon, J. T. et al., 2011  
Lynch, M. D. J. et al., 2015

Jiao, S. et al., 2020  
Zhang, Z. et al., 2022

# 本研究的科学问题和实验设计

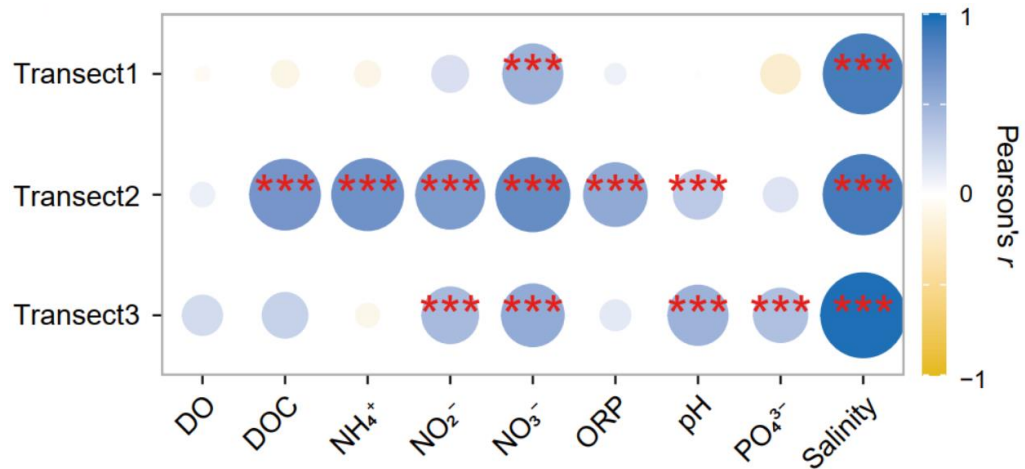


- 微生物多样性、群落结构和生态网络对不断增加的盐度胁迫做如何响应？
- 丰富微生物和稀有微生物在维持生态网络中的相对重要性及其相对重要性如何响应持续增加的盐度胁迫？

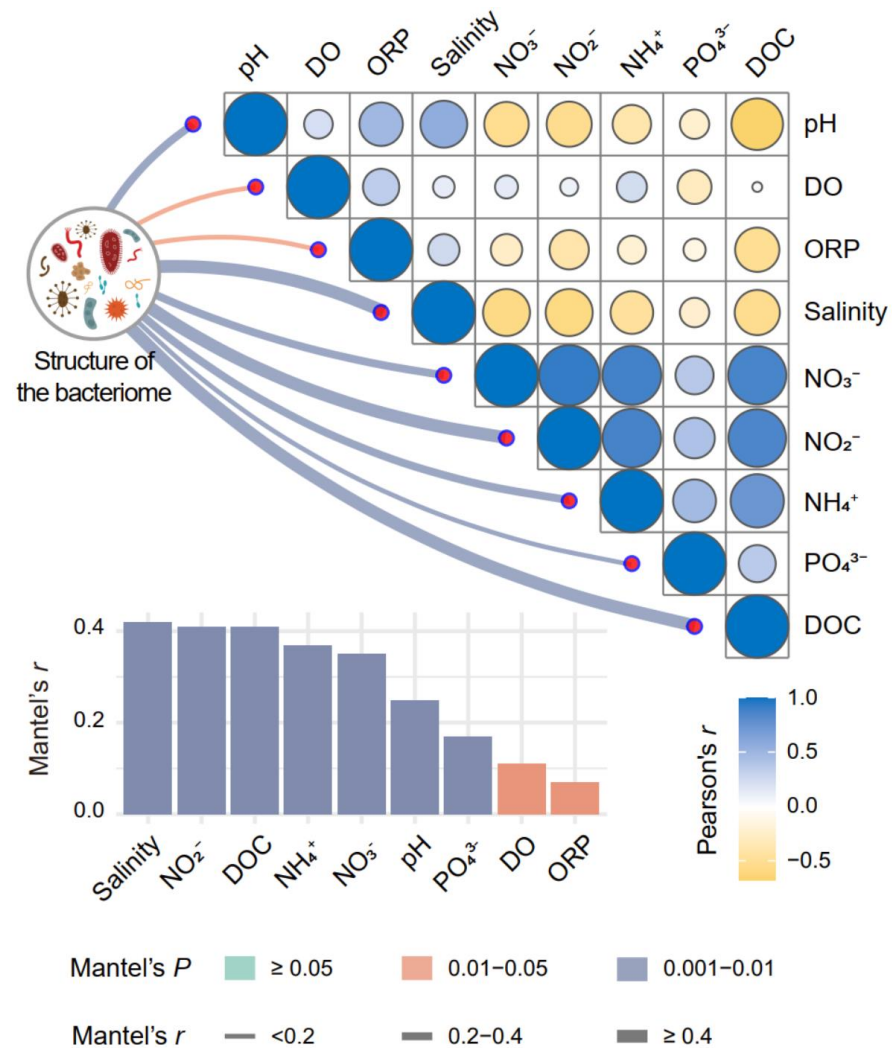


- 淡水-海水连续体提供了一个自然且急剧变化的环境梯度，是研究环境变化下微生物群落生态模式的理想场所。
- 本研究从三条淡水-海水样带中采集水样并测定了水体理化性质以及细菌真菌信息。

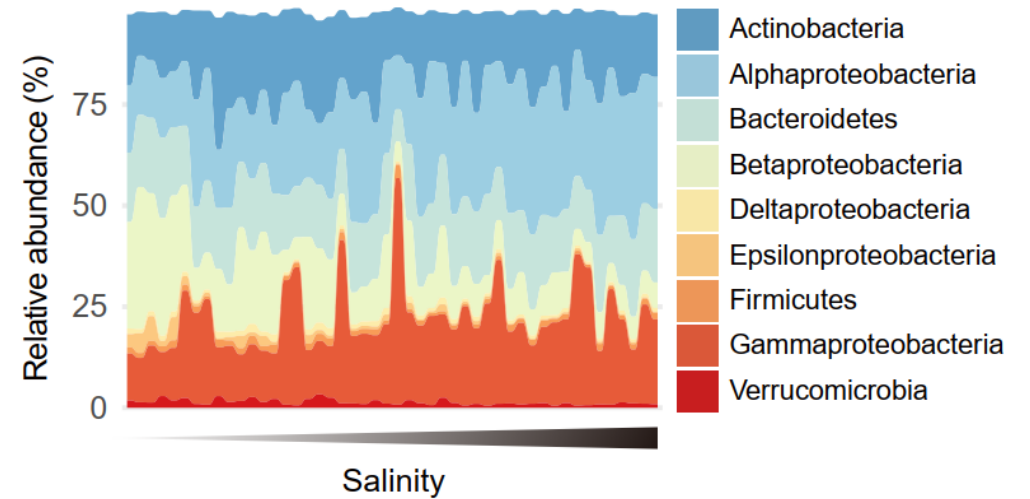
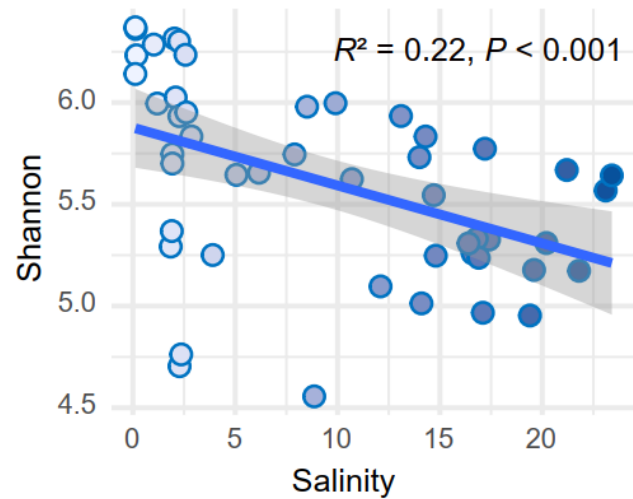
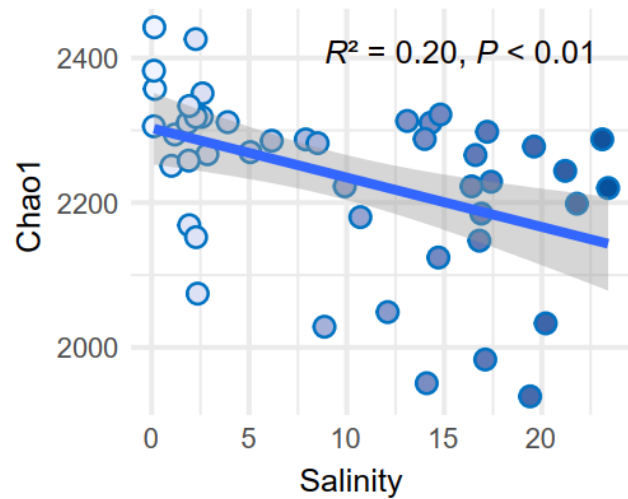
# 盐度是淡水到海水过渡过程中微生物群落结构最重要的驱动因素



- 从淡水到海水的过渡过程中，**盐度增加而营养元素减少**，其中盐度增加是此过程中最明显的特征。
- **盐度的变化与群落结构的变化相关性最强。**

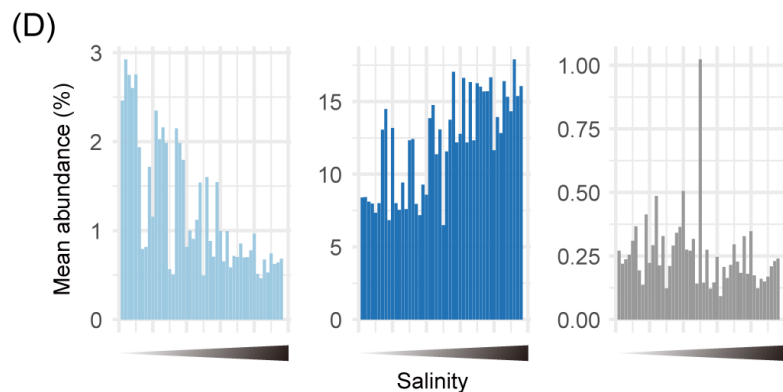
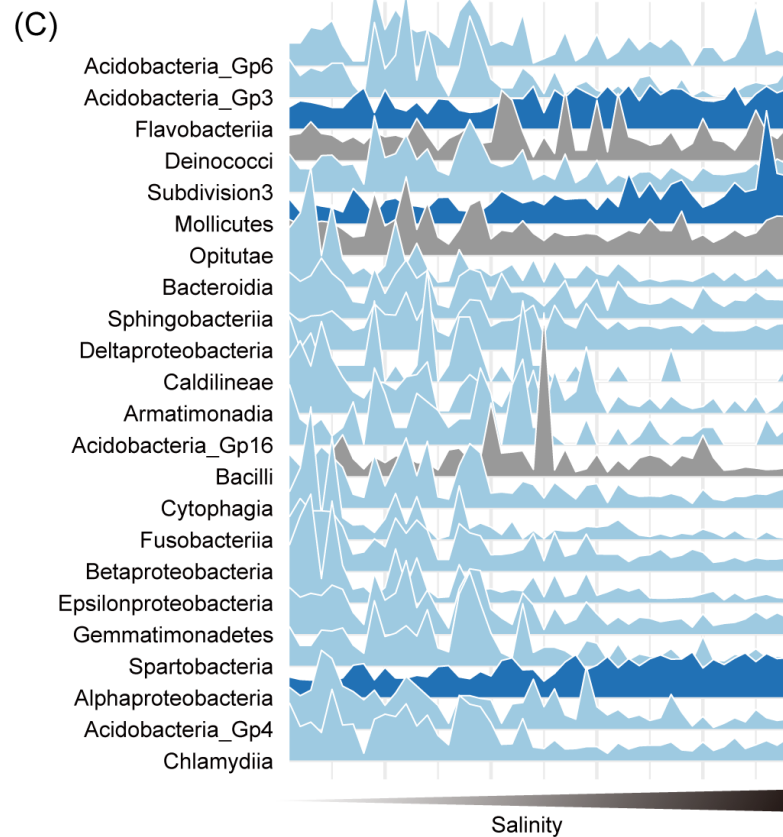
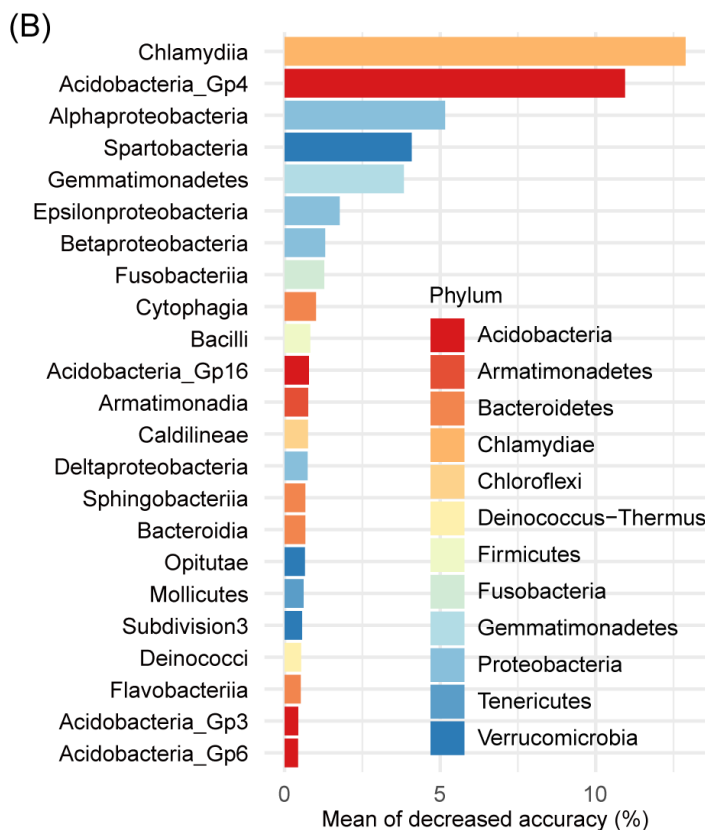
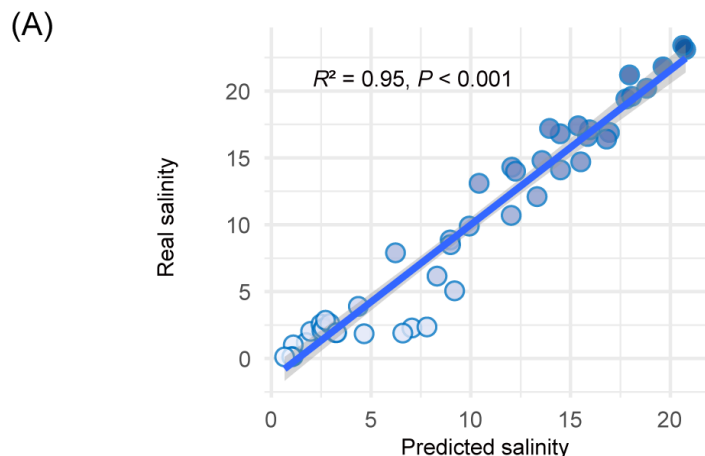


# 锐减的物种多样性以及更迭的群落组成



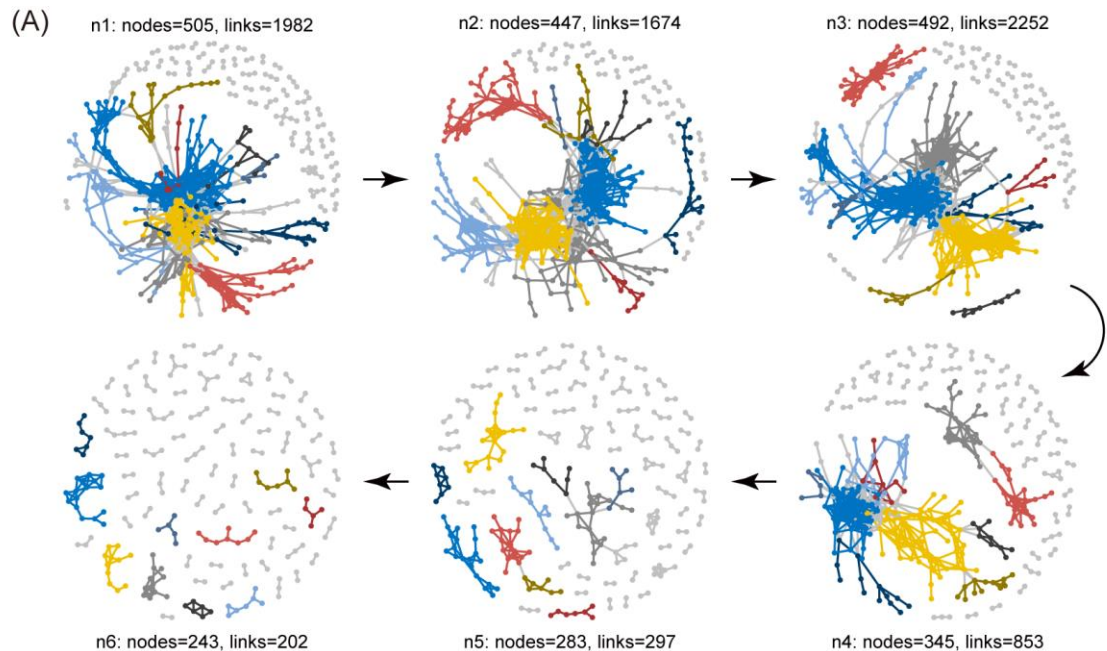
- 随盐度的增加，微生物**物种多样性显著降低**。
- **群落结构显著更迭**，在前九个相对丰度最高的分类群中，五个分类群的相对丰度随盐度胁迫的增加显著下降，三个分类群的相对丰度没有发生明显变化，只有*Alphaproteobacteria*的相对丰度随盐度胁迫的增加而显著上升，在此过程中，*Alphaproteobacteria*逐渐在群落中占据了主导地位，而*Betaproteobacteria*逐渐失去了优势。

# 盐度判别生物标志物

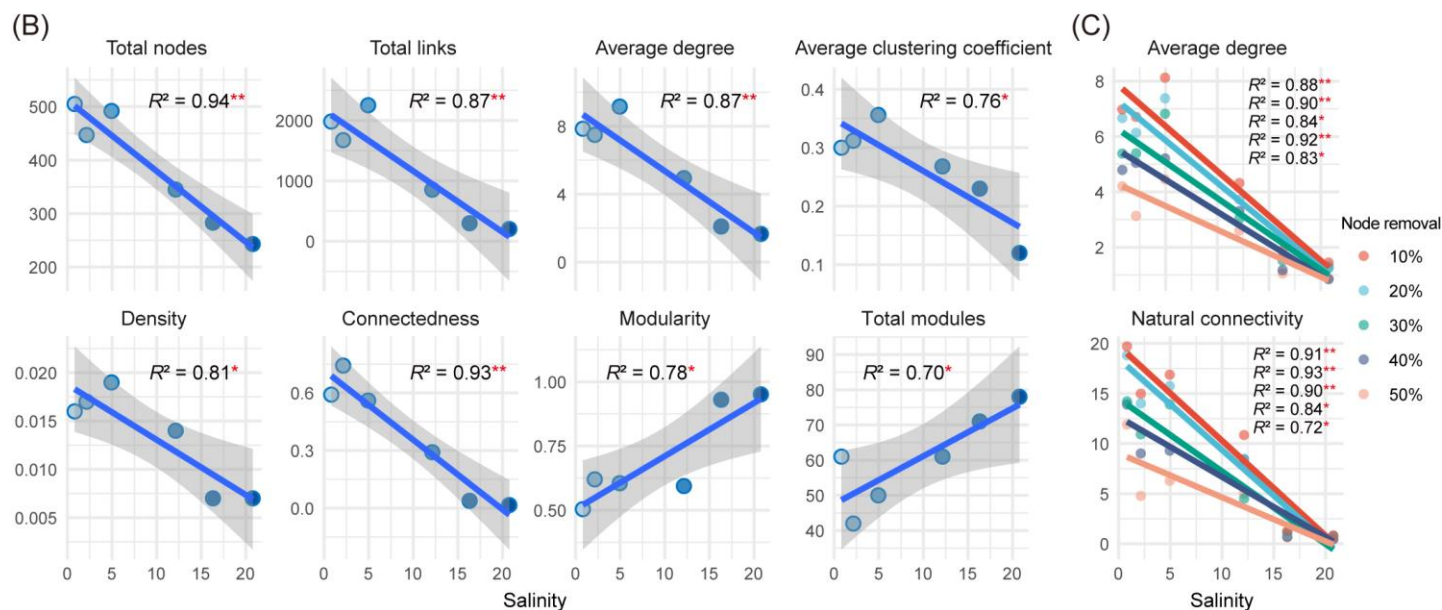


利用随机森林回归模型将微生物类群与盐度变化连接起来，**对盐度波动最敏感的23个微生物类群**被确定为**盐度判别生物标志物**，其中17个类群的相对丰度随盐度的增加显著下降（低盐环境定殖菌），3个显著上升（高盐环境定殖菌），另外3个变化趋势复杂。

# 失稳的微生物生态网络



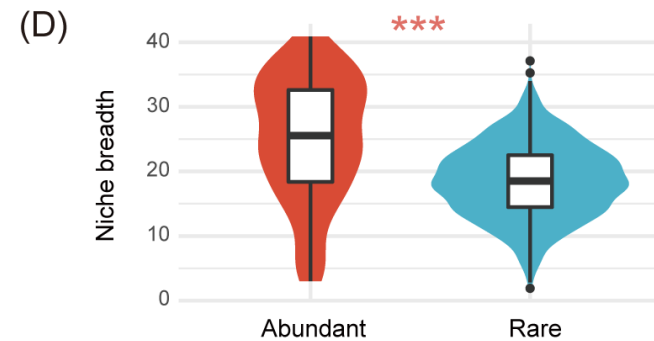
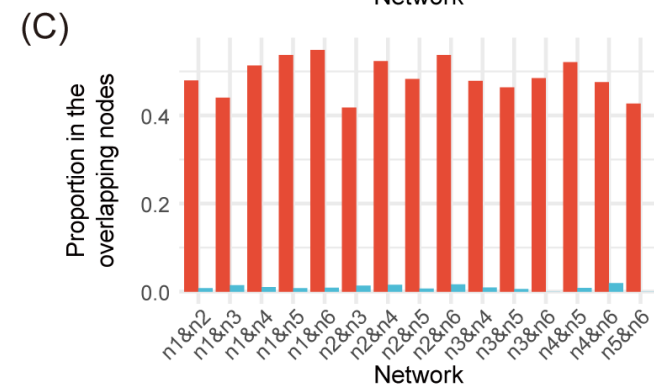
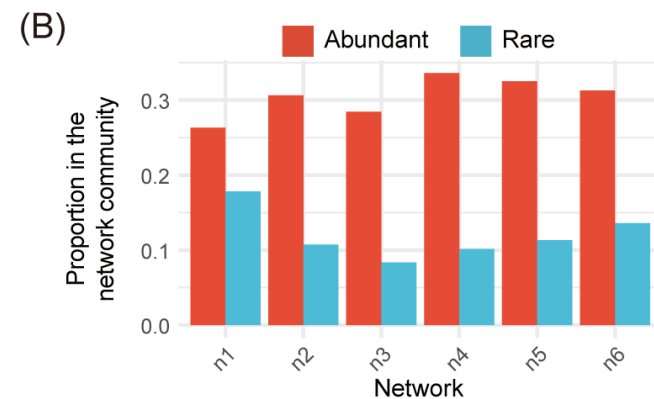
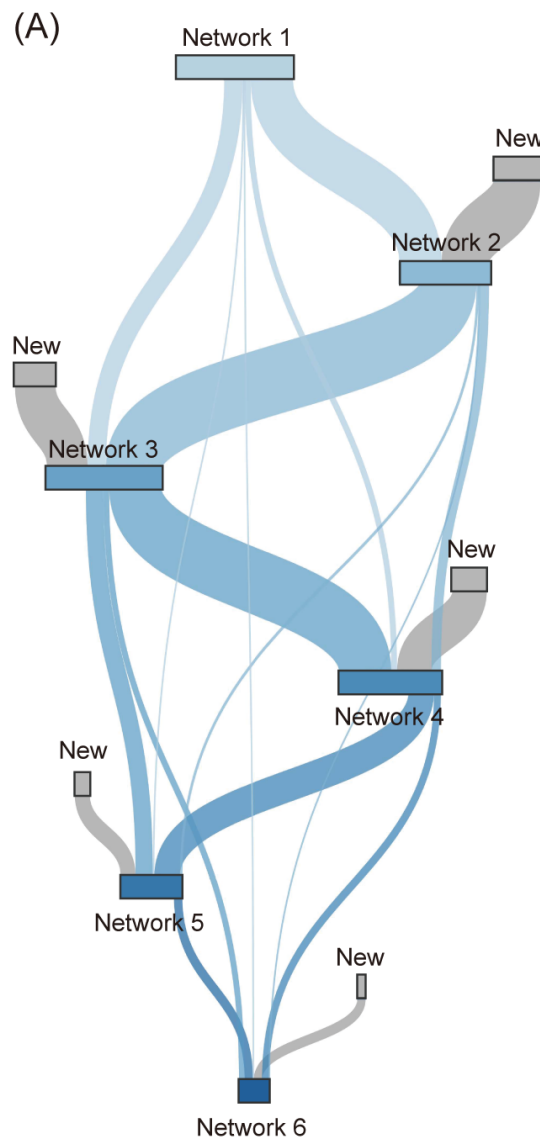
- 随着盐度胁迫的增加，网络规模（节点总数）、总连接数、平均度、平均聚类系数、密度以及连通性均显著减小，表明盐度胁迫增加时，**生态网络复杂性锐减，物种之间的联系简化。**



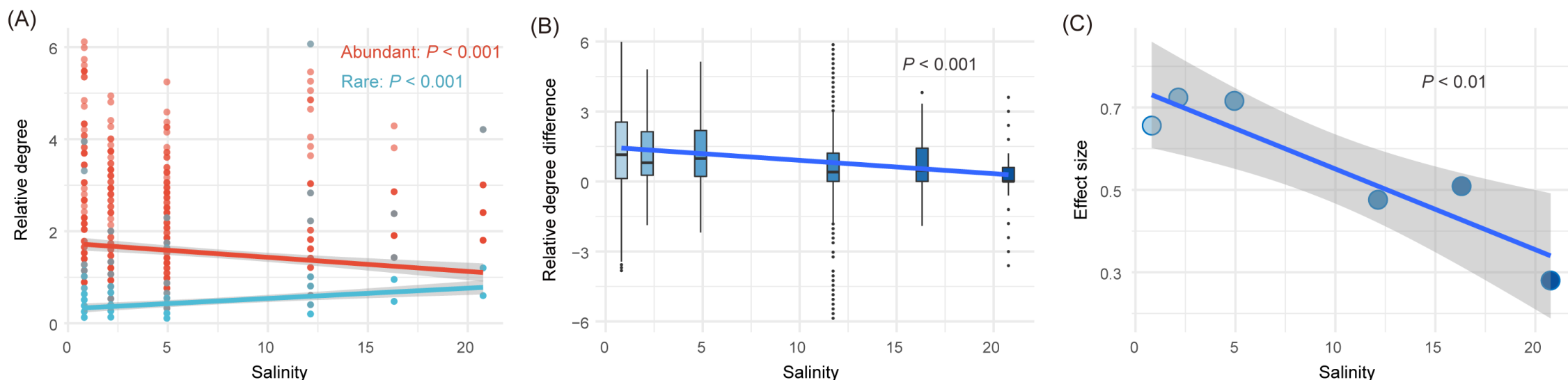
- 网络模块化和模块数**随着盐度的增加呈现**上升趋势**。
- 无论移除的网络节点比例如何，**高盐度胁迫下总是形成更脆弱的网络结构。**

# 丰富和稀有物种在支撑生态网络中的稳健性

- **网络群落**（支撑各生态网络的物种组合）的**组成随盐度增加发生急剧周转**。尽管存在重叠的节点，但每个网络群落都加入了大量的新物种代替原有节点支撑起网络。随着盐度跨度的增加，网络群落组成之间的相似性显著下降。
- 在盐度胁迫增加过程中，支撑生态网络的稀有物种的组成更迭比丰富物种更剧烈，说明**在支撑生态网络的作用中，稀有物种对胁迫增加更敏感，而丰富物种则更稳健**。

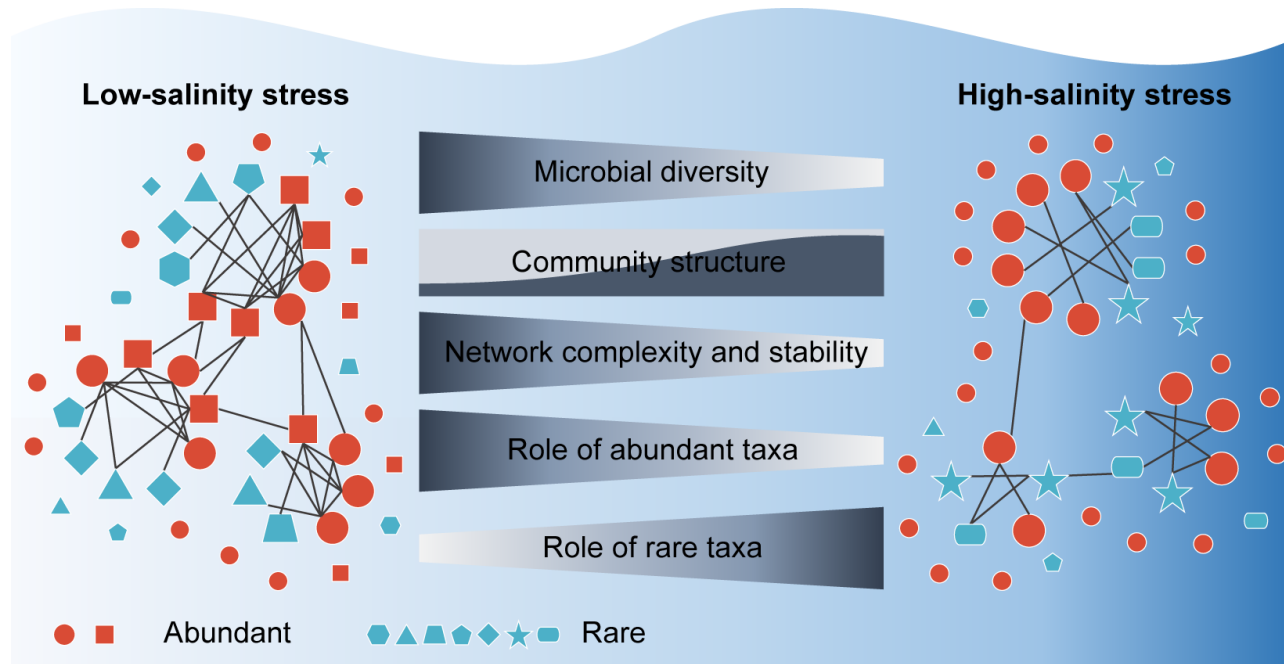


# 丰富和稀有物种在网络中的相对重要性对盐度胁迫的响应



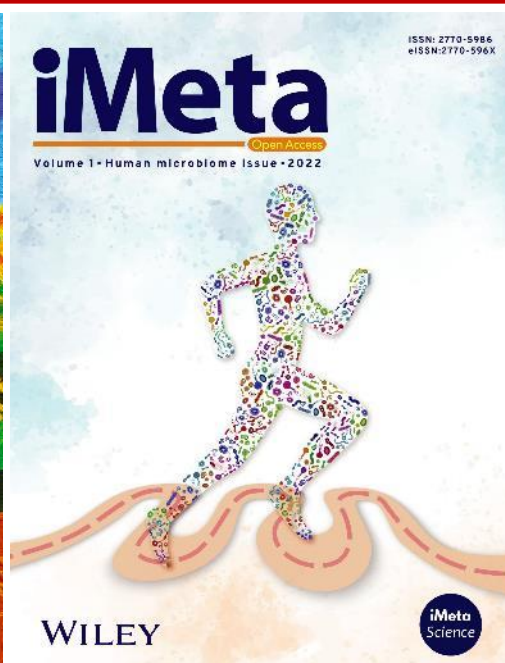
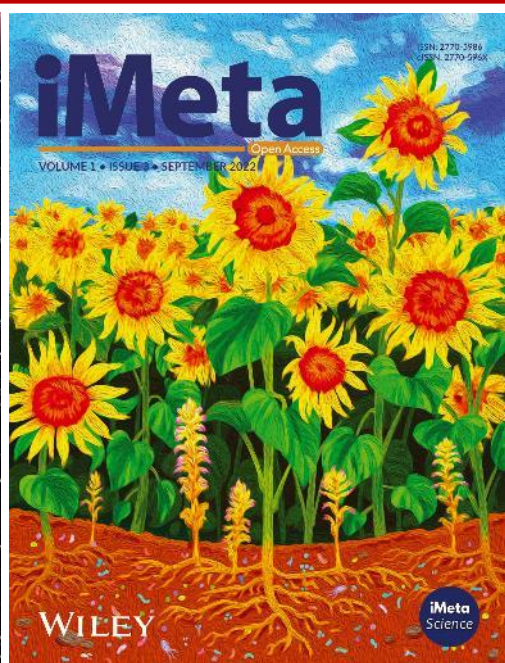
- 为了使得物种在不同网络中的相对重要性可比较，我们建立了“**相对度 (Relative degree)**”指标，该指标通过将每个节点的度除以该网络的平均度得出。
- 在低胁迫环境中，丰富物种的相对度明显高于稀有物种，但随盐度的增加，丰富物种的相对度显著下降，而稀有物种的相对度则显著上升。丰富和稀有物种相对度之间的差异随着盐度的增加而显著减小。
- **在低胁迫环境中，丰富物种维持生态网络的相对重要性明显高于稀有物种，但随着胁迫的增加，丰富物种的相对重要性逐渐减小而稀有物种的相对重要性逐渐增加。**

# 总结



- 随盐度胁迫强度的增加，微生物物种多样性降低、群落结构发生显著周转、生态网络的复杂性和稳定性锐减；
- 支撑生态网络的微生物组成随胁迫强度的增加而急剧更迭，其中丰富物种表现更稳健而稀有物种则更敏感；
- 低胁迫环境中，丰富物种比稀有物种在维持生态网络中的重要性更高，但随胁迫强度的增加，丰富物种的相对重要性下降，而稀有物种的相对重要性上升，我们总结为环境胁迫削弱了微生物世界中的“马太效应”。
- 本研究结果强调了在日益增加的环境压力下平衡对丰富物种和稀有物种的保护强度以维持生态系统功能与服务的重要性。

Li Changchao, Ling Jin, Chao Zhang, Shuzhen Li, Tong Zhou, Zhongyi Hua, Lifei Wang, Shuping Ji, Yanfei Wang, Yandong Gan, Jian Liu. 2023. Destabilized microbial networks with distinct performances of abundant and rare biospheres in maintaining networks under increasing salinity stress. *iMeta* 2: e79. <https://doi.org/10.1002/imt2.79>



“iMeta”是由威立、肠菌分会和本领域数百位华人科学家合作出版的开放获取期刊，主编由中科院微生物所刘双江研究员和荷兰格罗宁根大学傅静远教授共同担任。目的是发表原创研究、方法和综述以促进宏基因组学、微生物组和生物信息学发展。目标是发表前10%(IF > 15)的高影响力论文。期刊特色包括视频投稿、可重复分析、图片打磨、青年编委、前3年免出版费、50万用户的社交媒体宣传等。2022年的三月、六月和九月期已正式在线出版发行!



主页: <http://www.imeta.science>

出版社: <https://wileyonlinelibrary.com/journal/imeta>



投稿: <https://mc.manuscriptcentral.com/imeta>



[office@imeta.science](mailto:office@imeta.science)



[iMeta](#)

[宣传片](#)

