

珊瑚礁共生危机: 小丑鱼、海葵与气候变化的三角关系

Tamar L. Goulet* 和 Denis Goulet

密西西比大学, 生物学系 (美国, 密西西比州, 大学城)

少年审稿人



GEMMA

年龄: 9



JULIAN

年龄: 13



QUEST

MONTESSORI
SCHOOL

年龄: 8-9

从可爱的名字到电影《海底总动员》的主角形象, 小丑鱼 (又称海葵鱼) 深受人们喜爱。这些色彩鲜艳的鱼类必须栖息在珊瑚礁上的海葵中才能生存。我们在以色列埃拉特湾对双带小丑鱼进行了长达 19 年的追踪研究。根据体型大小, 我们将其分为成鱼、亚成鱼和幼鱼。1997 年, 该水域曾生活着 195 条各年龄段的小丑鱼, 而到 2015 年仅剩 52 条 (其中多为成鱼), 数量下降了 74%。同期, 海葵数量也从 199 株锐减至 27 株, 幸存海葵中的小丑鱼拥挤程度明显上升。气候变化可能威胁海葵的生存。若失去赖以生存的海葵家园, 小丑鱼的未来令人担忧。

小丑鱼的生存法则: 海葵即家园

就像抢椅子游戏, 椅子数量总比玩家少一个。当音乐响起, 玩家们围着椅子转圈; 音乐停止时, 所有人争抢椅子就座, 没抢到椅子的玩家即被淘汰, 然后再拿掉一个椅子, 继续游戏, 就这样不断循环, 直到只剩下一个椅子, 抢到这个椅子的玩家即为获胜者。如果每个人都有椅子, 或者椅子比玩家还多, 便无人会被淘汰。小丑鱼 (又称海葵鱼) 在自然界中的生存同样遵循这个规则: 它们必须拥有自己的 "椅子"——海葵 (图 1)。只要

海葵数量充足, 各年龄段的小丑鱼都能安居其中。如果气候变化导致海葵消亡, 小丑鱼群落将面临灭顶之灾。

图 1

小丑鱼的生存法则。在自然界中, 小丑鱼失去海葵就无法存活。正如抢椅子游戏, 当珊瑚礁上的海葵不足时, 幼鱼便无法融入群体, 而无家可归的亚成鱼与成鱼可能面临死亡。

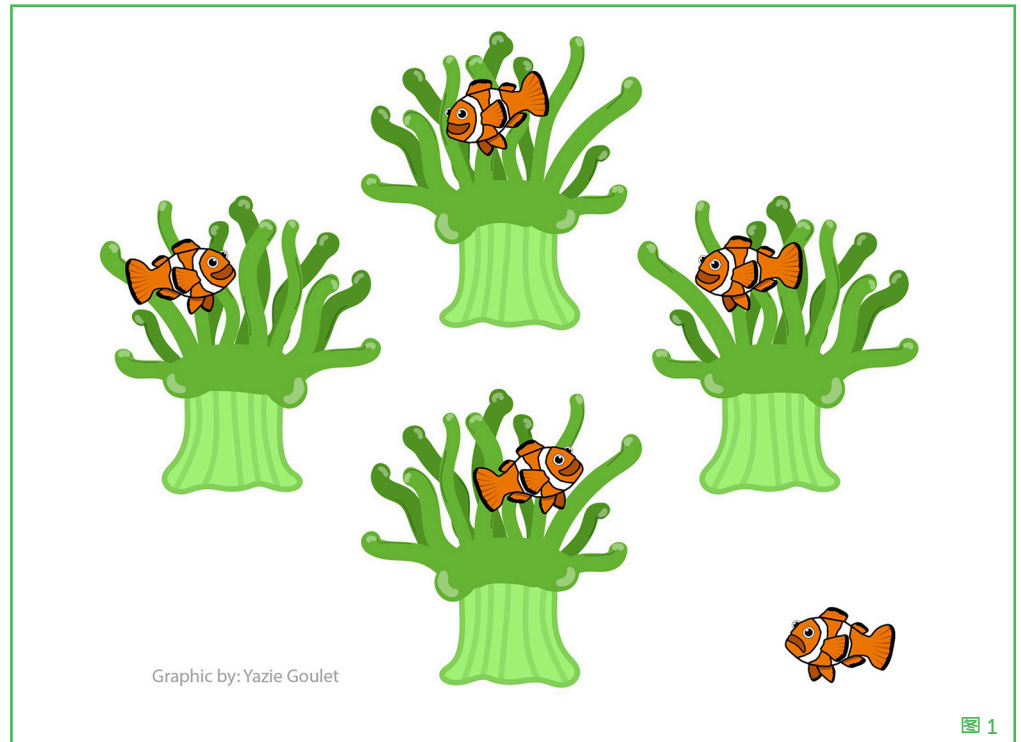


图 1

无脊椎动物 (Invertebrates)

没有脊椎的动物类群。

门 (Phylum)

生物分类学中的一个单元, 例如人类属于脊索动物门。

共生 (Symbiosis)

不同物种的生物个体共同生活的现象。

互利共生 (Mutualism)

共生关系的一种类型, 参与共生的双方都能从中获益。

水肺潜水 (Scuba)

自给式水下呼吸装置 (self-contained underwater breathing apparatus) 的英文首字母缩写。该装备能为潜水者提供氧气, 使其能在水下平视观察海洋生物。

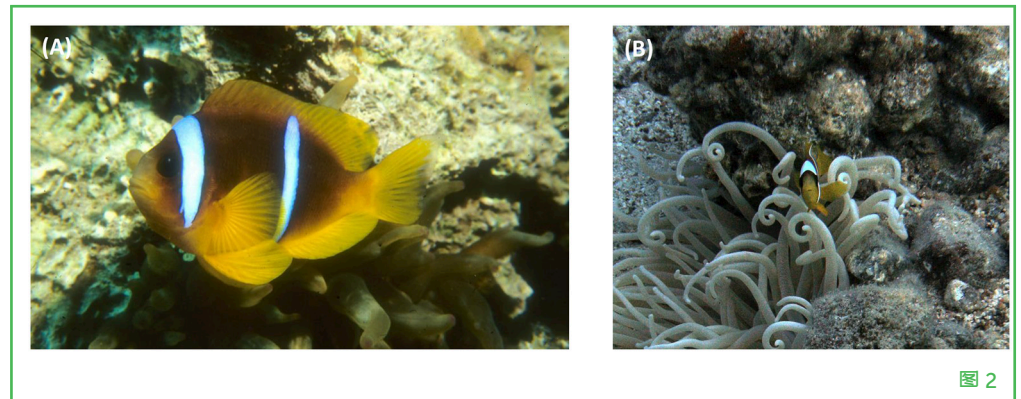
海葵是**无脊椎动物**, 与珊瑚、水母同属一门。它们的外形类似注水的乳胶手套: 充满水的"手指"相当于海葵的触手 (实际数量更多), "手套"中央的唯一开口是海葵摄食与排泄的通道。与珊瑚相似, 海葵体内长有藻类, 二者形成互利关系。不同物种以此方式共同生存称为"共生" [1], 而对双方都有益的共生模式则称为"互利共生" [1]。小丑鱼与海葵正是典型的互利共生: 小丑鱼依赖海葵躲避天敌, 有鱼共生的海葵则生长更快、存活率更高 [2]。气候变化可能破坏这种精妙的共生系统, 不仅威胁**珊瑚**和海葵生存, 还会波及共生的**藻类**、珊瑚丛中的鱼类以及海葵触手间的小丑鱼等生物 [3, 4]。

研究红海中的小丑鱼群落

约三十年前, 我们在红海埃拉特湾启动了小丑鱼研究项目。双带小丑鱼 (图 2A) 是红海特有的小丑鱼品种, 它们栖息于气泡海葵或长须海葵中 (图 2B)。为研究该群落, 我们首先通过**水肺潜水**测绘划定珊瑚礁区域——在海底铺设卷尺确定研究范围的长宽边界。划定区域后, 我们在图纸上标注了每株海葵的位置——无论是否有鱼栖息, 也无论栖息的是成鱼、亚成鱼或幼鱼。研究首年, 我们每月进行群落监测, 由此获得多项科学发现, 例如成鱼主要栖息于气泡海葵中, 其存活率显著高于长须海葵 [4]; 而幼鱼因体型微小, 在两种海葵中的存活率持平。

图 2

埃拉特湾双带小丑鱼与它们的两种海葵家园: 气泡海葵 **(A)** 底部与长须海葵 **(B)** (供图: DG)。



小丑鱼幼鱼的安家之谜

小丑鱼幼鱼从附着于亲鱼所居的海葵基部的受精卵中孵化。海葵触手的尖刺为鱼卵提供了天然保护。幼体孵化后会上浮至海水中, 可能被洋流带到其他礁盘, 也可能在原礁盘附近水域徘徊, 最终在本地礁盘找到海葵"椅子"安家。我们的研究发现, 每年 10 月、11 月和 12 月是幼鱼加入群落的高峰期 [4], 不过尚不清楚这些幼鱼来自远方还是附近。

礁盘上的小丑鱼群落分布格局

要了解小丑鱼, 统计群落数量、划分年龄段和记录海葵数量至关重要, 但仅靠数字无法揭示全貌。我们研究的独特之处在于同步记录了小丑鱼和海葵的空间分布, 由此发现成年小丑鱼不仅会守护自身栖息的海葵, 还会阻止其他同类占据邻近海葵 [4]。这就像玩抢椅子游戏时, 占座者不仅独占自己的椅子, 还霸占周边空椅。因此, 即便存在空余海葵, 幼鱼无法入驻, 亚成鱼也难以迁入——毕竟体型较小的鱼儿很难赢得与成鱼的对抗。

二十年观测结果

1997 年, 研究区域共有 199 株海葵, 其中栖息着 195 条小丑鱼 (图 3A)。这个群落包含 52 条成鱼、76 条亚成鱼和 67 条幼鱼 (图 3B)。居住在同一海葵中的成年雄性与雌性小丑鱼称为繁殖对 (亲鱼)。1997 年, 52 条成鱼中有 22 条组成了 11 个繁殖对 (图 3B) [4]。到 2009 年, 礁盘生态发生剧变: 海葵仅存 47 株 (图 3A) [4], 意味着四分之三的海葵已经消失。随之而来的是小丑鱼数量锐减至 65 条, 仅为初始数量的三分之一 (图 3B)。

六年后的 2015 年, 海葵数量进一步缩减至 27 株 (图 3A), 共栖息着 52 条小丑鱼 [4]。海葵数量由 2009 年的 47 株降至 27 株, 损失近半, 而小丑鱼数量从 65 条减至 52 条, 降幅仅有 20% (图 3B)。随着半数海

图 3

珊瑚礁研究地点 (A) 海葵数量与 (B) 小丑鱼数量在 1997、2009 及 2015 年的变化。1997 至 2015 年间, 海葵总数从 199 株锐减至 27 株, 小丑鱼数量也从 195 条降至 52 条。虽然成鱼数量减少, 但繁殖对数仅从 11 对微降至 8 对。最显著的变化是幼鱼数量, 从 1997 年的 67 条骤减至 2015 年的 7 条。

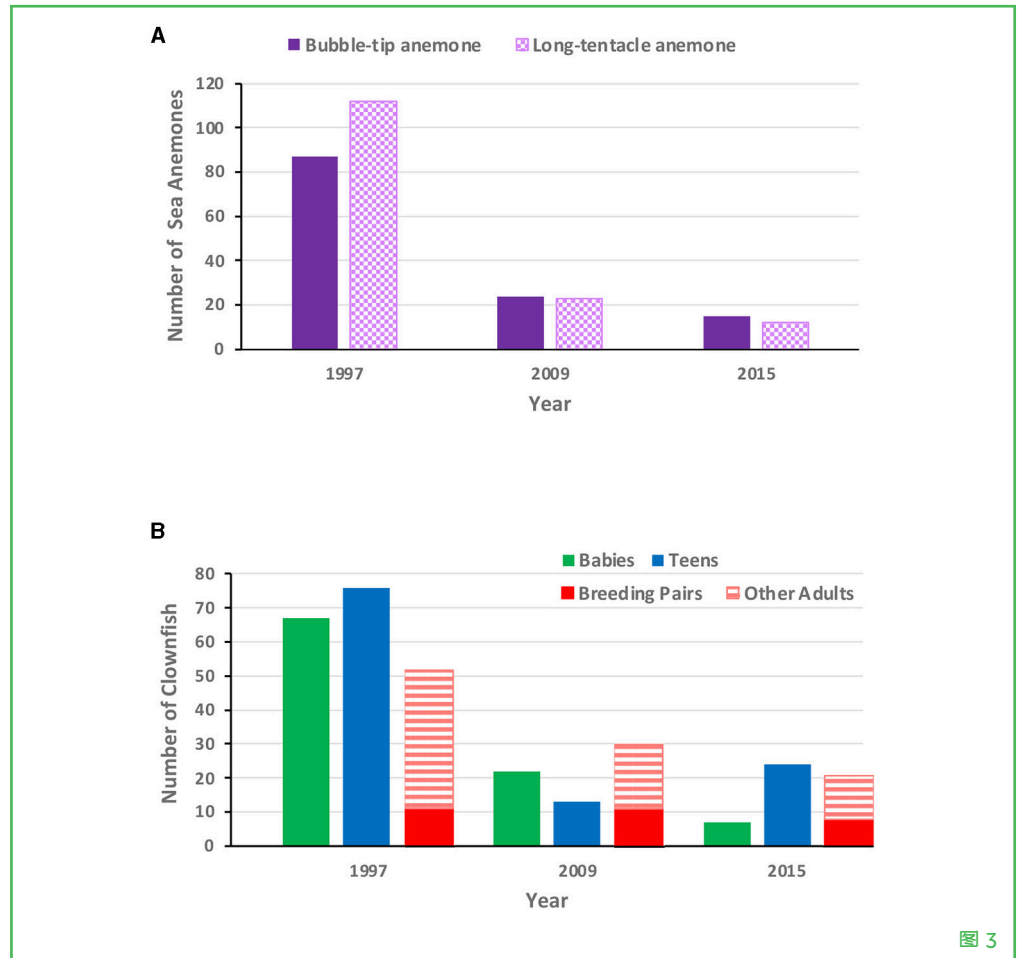


图 3

葵"椅子"的消失, 幸存小丑鱼不得不挤在少量剩余海葵中, 导致单株海葵内的小丑鱼数量更加密集。

单纯统计小丑鱼数量虽能提供基础数据, 却无法反映群落的年龄结构变化。1997 年, 成鱼仅占群落总数的四分之一, 亚成鱼与幼鱼数量明显占优 (图 3B); 到 2009 年, 在规模缩小的群落中成鱼比例升至近半, 但繁殖对数维持不变 (图 3B); 至 2015 年, 成鱼占比依然高于 1997 年的水平 [4], 但令人担忧的是此时仅发现 7 条幼鱼 (图 3B)。当所有海葵都被占据时, 新生幼鱼将无处安家。若海葵"椅子"持续减少, 幼鱼又无法加入群落, 最终将导致整个小丑鱼群落崩溃。

2003 年, 可爱的小丑鱼尼莫曾凭借热门动画电影《海底总动员》风靡全球, 2016 年上映的续集《多莉去哪儿》再创佳绩。若埃拉特湾的小丑鱼群落持续衰退, 这个系列的第三部电影或许将名为《尼莫是什么?》。我们期望通过持续研究改写这个剧本, 让这段迷人的共生关系永远在珊瑚礁中延续。

AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性，包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题，请随时联系我们。

原文

Howell, J., Goulet, T. L., Goulet, D. 2016. 海葵抢椅子游戏: 双带小丑鱼的生存困境, *Amphiprion bicinctus*. *Environ. Biol. Fish.* 99, 873–86. doi: 10.1007/s10641-016-0530-9

参考文献

1. Goulet, T., and Goulet, D. 2021. Climate change leads to a reduction in symbiotic derived cnidarian biodiversity on coral reefs. *Front. Ecol. Evol.* 9:636279. doi: 10.3389/fevo.2021.636279
2. Holbrook, S. J., Schmitt, R. J. 2005. Growth, reproduction and survival of a tropical sea anemone (Actiniaria): benefits of hosting anemonefish. *Coral Reefs* 24:67–73. doi: 10.1007/s00338-004-0432-8
3. Liberman, T., Genin, A., and Loya, Y. 1995. Effects on growth and reproduction of the coral *Stylophora pistillata* by the mutualistic damselfish *Dascyllus marginatus*. *Mar. Biol.* 121:741–6. doi: 10.1007/BF00349310
4. Howell, J., Goulet, T. L., and Goulet, D. 2016. Anemonefish musical chairs and the plight of the two-band anemonefish, *Amphiprion bicinctus*. *Environ. Biol. Fish.* 99:873–86. doi: 10.1007/s10641-016-0530-9

线上发布: 2025 年 12 月 19 日

编辑: Becca Peixotto

科学导师: Shu Qin Sam 和 Richard Bell

引用: Goulet TL 和 Goulet D (2025) 珊瑚礁共生危机: 小丑鱼、海葵与气候变化的三角关系. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2024.1373561-zh

英文原文: Goulet TL and Goulet D (2024) Connections on the Reef: Clownfish, Anemones, and Climate Change. *Front. Young Minds* 12:1373561. doi: 10.3389/frym.2024.1373561

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2024 © 2025 Goulet 和 Goulet. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例，在注明原作者和版权所有人，及在标明本刊为原始出处的前提下，允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款，则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人



GEMMA, 年龄: 9

我最喜爱的学科是科学, 几乎喜欢与海洋相关的一切。我是科学、推理与奇幻类书籍的忠实读者, 经常阅读《国家地理儿童版》并使用配套应用, 同时对《Thea and Geronimo Stilton》系列作品抱有浓厚兴趣, 尤其偏爱书末的小笑话和谜题, 或是能根据给定线索协助破案的互动故事。



JULIAN, 年龄: 13

我是 Julian, 喜欢与我的猫咪待在一起。在刻苦练习武术之余, 我喜欢垂钓与玩电子游戏。我会打乒乓球、篮球, 并持续刷新魔方速拧的个人纪录。我始终对探索世界奥秘与发现新事物充满热情。



QUEST MONTESSORI SCHOOL, 年龄: 8-9

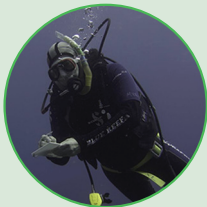
我们是来自罗德岛纳拉甘西特市蒙特梭利探索学校的三年级学生, 一群 8-9 岁的小探索家, 既活泼友善又充满好奇心, 热爱自然、冒险, 尤其是海洋动物! 要说最喜欢的科目——那当然是所有学科! 你会在体育课上看到我们酣畅淋漓, 在数学课上破解难题, 在艺术课上创意迸发, 在课间与伙伴嬉戏, 甚至在大西洋实地考察时一起探索纳拉甘西特湾。期待更多和我们一样的青少年能参与《Frontiers for Young Minds》这样酷炫的科学项目! 对了, 我们还有位超酷的吉祥物——冠纹虎皮守宫 Denali, 它可是我们全班的心头爱!

作者



TAMAR L. GOULET

我是一名生物学教授, 主要研究环境问题对珊瑚礁及其生物群落的影响, 同时担任 IF/THEN® 科学推广大使。我们致力于为年轻女性树立榜样, 激励她们追求理想的职业, 这并非要强行改变他人志向, 而是因为许多女孩由于缺乏可效仿的楷模, 误以为自己无法胜任科研工作。我热衷于向普通公众传播科学知识, 无论是通过媒体专栏还是专题讲座, 始终以“让科学触手可及”为使命。作为五个孩子的母亲, 我特别自豪的是长女 Yazie 为本文绘制了图 1。*tlgoulet@olemiss.edu



DENIS GOULET

我现任密西西比大学教学教授兼实验室协调员, 同时也是一名研究珊瑚礁鱼类的动物行为学家, 工作足迹遍布全球。在波多黎各大学获得博士学位后, 我曾任教于斐济的南太平洋大学, 随后赴以色列埃拉特开展鱼类研究。归国后, 我曾先后在纽约州立大学布法罗分校与佛罗里达港湾海洋研究所工作, 自 2001 年起任职于密西西比大学生物系, 目前很荣幸担任 Gamma Beta Phi 荣誉学会密西西比大学分会的学术顾问。

中文翻译由下列单位提供
Chinese version provided by

