

· 热带海洋生物与水产养殖 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240092



主持人: 郭志强, 李秀保

珊瑚黏液缓释剂的制备及其对太阳长棘海星群体聚集的诱导效果

张志伟^{1,4}, 朱云杰^{1,5}, 林龙山³, 李 渊³, 吴钟解², 闫智聪^{1,3},
唐 凯¹, 刘兆群¹, 周 智¹

(1. 海南大学 海洋科学与工程学院, 海口 570228; 2. 海南省海洋与渔业科学院, 海口 571126; 3. 自然资源部第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 4. 海南大学 海洋生物与水产学院, 海口 570228; 5. 海南大学 生态学院, 海口 570228)

摘 要: 太阳长棘海星 (*Acanthaster cf. solaris*) 灾害暴发是导致南海珊瑚礁退化的主要原因之一, 开发太阳长棘海星灾害防控技术具有重要意义。本研究搭建了太阳长棘海星行为学室内研究平台, 发现鹿角杯形珊瑚 (*Pocillopora damicornis*) 对太阳长棘海星的诱导聚集效果要强于丛生盔形珊瑚 (*Galaxea fascicularis*) 和澄黄滨珊瑚 (*Porites lutea*) ($P < 0.05$)。同时, 收集鹿角杯形珊瑚黏液, 利用羟丙基甲基纤维素等试剂制备了珊瑚黏液缓释剂, 发现其对太阳长棘海星有明显诱导聚集效果 ($P < 0.01$), 且硬度较低、缓释速率较快的缓释剂团块对太阳长棘海星的诱导聚集效果更明显。本研究开发了1种珊瑚黏液缓释剂的制备方法, 证明了鹿角杯形珊瑚黏液能够显著诱导太阳长棘海星发生群体聚集, 为太阳长棘海星的群体聚集机制的解析和灾害防控技术的创新发展提供了科学依据。

关键词: 太阳长棘海星; 群体聚集; 珊瑚黏液; 缓释剂; 行为

中图分类号: X 55 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054 (2024) 06-0823-08

张志伟, 朱云杰, 林龙山, 等. 珊瑚黏液缓释剂的制备及其对太阳长棘海星群体聚集的诱导效果 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(6): 823-830. doi:10.15886/j.cnki.rdswwb.20240092

珊瑚礁生态系统不仅为人类的生产和生活提供各种生物资源, 而且具有重要的生态功能, 对保障生物多样性、初级生产力和生态平衡具有重要作用, 被称为“海洋中的热带雨林^[1]”。近年来, 太阳长棘海星 (*Acanthaster cf. solaris*) 的大规模暴发成为珊瑚礁退化的主要原因之一^[2-3]。太阳长棘海星又称棘冠海星, 隶属于棘皮动物门海星纲 (*Asteroidea*), 栖息于印度洋-太平洋区的热带珊瑚礁海域^[4]。太阳长棘海星在我国主要分布在西沙南沙中沙群岛、海南岛、台湾岛等珊瑚礁海域^[5]。太阳长棘海星主要以造礁石珊瑚 (*Scleractinia*) 为食, 1只成年太阳长棘海星1晚可以侵食

几百 cm^2 的珊瑚礁^[5]。以“维持大堡礁正常生态 (Exceeding the sustainable limits on GBR)”为标准计算棘冠海星暴发的密度阈值是 $15 \text{ 只} \cdot \text{hm}^{-1}$, 超过这个阈值, 珊瑚就会大量死亡^[6-7]。因此, 开发太阳长棘海星种群暴发的防控技术手段, 提升太阳长棘海星灾害的处置能力, 对于保护好南海珊瑚礁生态系统至关重要。目前, 太阳长棘海星灾害的常规处置措施包括人工捕捞、水下注射药物和投放太阳长棘海星天敌等^[5-9]。其中, 人工捕捞又是现阶段最主要的太阳长棘海星清除方式^[10]。例如, 2019年9月, 三沙市开启了一轮大规模集中人工清理太阳长棘海星的行动, 捕捞数量超过

收稿日期: 2024-06-03

修回日期: 2024-08-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC3106304, 2022YFC3106302)

第一作者: 张志伟 (1998-), 男, 海南大学海洋生物与水产学院2022级硕士研究生。E-mail: 1986811520@qq.com

通信作者: 刘兆群 (1989-), 男, 博士, 教授。研究方向: 珊瑚礁生态学。E-mail: liuzhaoqun@hainanu.edu.cn;

周智 (1983-), 男, 博士, 研究员。研究方向: 珊瑚礁生态学。E-mail: zhouchi@hainanu.edu.cn

6万只。但是,人工捕捞存在明显的技术瓶颈。一方面,由于我国南海珊瑚礁区分布广泛而分散,且缺乏太阳长棘海星种群数量的实时监控手段,造成难以及时监测太阳长棘海星的种群暴发情况,无法在暴发初期及时采取有效清除措施^[7]。另一方面,太阳长棘海星喜好昼伏夜出,常躲避于错综复杂的珊瑚礁石之间,且经常移动至15 m深的礁区^[11-12],这些因素都严重限制了人工捕捞的开展。因此,亟须开发太阳长棘海星人工清除的新技术新方法,诱导太阳长棘海星聚集于浅水礁区,从而便于人工清除,显著提高太阳长棘海星的危害处置效率。

研究表明,太阳长棘海星的群体聚集行为可能受食物(珊瑚)吸引,并且其摄食具有明显的选择性^[13-14]。在太阳长棘海星灾害暴发初期,它们优先摄食鹿角珊瑚(*Acropora austera*)、杯形珊瑚(*Pocillopora*)等分枝状珊瑚,而非滨珊瑚(*Porites*)等团块状珊瑚^[15]。因此,太阳长棘海星能够感知分枝状珊瑚释放的某些信息物质,从而发生群体聚集和摄食珊瑚行为^[16-17]。进一步研究发现,类似于其他海洋动物,太阳长棘海星依靠特异性信息物质和相关受体实现信息交流、种群聚集、摄食珊瑚及繁殖行为^[18],且位于触手末端的化学感受器(sensory tentacles)极有可能是表达信息物质受体、介导太阳长棘海星一系列生理行为的重要器官^[19]。Dumas等^[20]发现太阳长棘海星在繁殖季节会发生大规模群体聚集;Beach等^[21-22]也提出太阳长棘海星在繁殖期会释放一种信息素,诱导附近的海星发生聚集并同步产卵。此外,目前的信息物质缓释技术手段也愈加成熟,能够根据信息物质的化学性质提供多种制备方案^[23-24]。以上理论和技术研究进展为本研究中解析珊瑚信息物质对太阳长棘海星的群体诱导聚集效果奠定了坚实基础,也为太阳长棘海星清除技术的开发提供了新思路。

本研究建立了太阳长棘海星行为学室内研究平台,探究了海星对鹿角杯形珊瑚、丛生盔形珊瑚(*Galaxea fascicularis*)和澄黄滨珊瑚(*Porites lutea*)3种南海典型造礁石珊瑚的摄食偏好性,并制备了鹿角杯形珊瑚黏液的缓释剂,探究了珊瑚黏液中信息物质对太阳长棘海星的群体聚集诱导效果。相关研究成果有助于查明珊瑚信息物

质对太阳长棘海星群体聚集的介导作用,为太阳长棘海星人工清除技术的创新发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和太阳长棘海星行为学研究平台搭建 本研究所用太阳长棘海星于2023-08-08—2023-08-16日采自西沙永乐群岛附近珊瑚礁区,采样地点、数量、规格等信息详见表1。将所采太阳长棘海星暂养于科考船上的小型养殖系统内,系统规格为79.5 cm × 58.0 cm × 47.0 cm,每天上午9:00和下午15:00定时换水,每次换水量为总体积的50%;每隔3 h测量1次水温,控制水温不高于28℃。此后,将太阳长棘海星转移至三亚珊瑚礁研究基地的室内养殖系统中暂养14 d,系统规格为300 cm × 100 cm × 100 cm,水深65 cm,密度维持在3.5只·m⁻²,控制水温在26~28℃区间。待太阳长棘海星恢复至良好生理状态,开展后续实验。

为观察太阳长棘海星的活动规律,在养殖池正上方125 cm处安装2台摄像机(TP-LINK IPC-44KW)(图1),记录太阳长棘海星的运动轨迹。

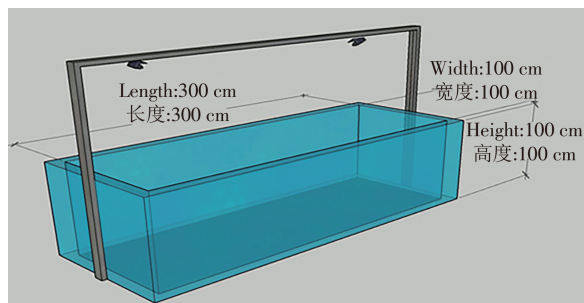


图1 太阳长棘海星行为学实验设备

Fig. 1 Behavioral research platform for *Acanthaster cf. solaris*

1.2 太阳长棘海星对3种南海典型造礁石珊瑚的摄食偏好性研究 选择鹿角杯形珊瑚、丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚3种南海典型造礁石珊瑚作为研究对象,研究其对太阳长棘海星的诱导聚集效果(图2)。本研究所用珊瑚采自文昌东郊,采捕证号为:(琼)水野捕字[2022]008号。在1号养殖系统的两端分别放置鹿角杯形珊瑚和丛生盔形珊瑚断枝若干块,在2号养殖系统(与1号养殖系统规格一致)的两端分别放置鹿角杯形珊瑚

表1 本研究所使用太阳长棘海星的采样信息

Tab. 1 The basic information of *Acanthaster cf. solaris* samples used for the experiment

站点 Location	经度E Longitude	纬度N Latitude	水深/m Deep	数量/只 Number	辐径/cm Diameter
羚羊礁 (LingYang reef)	111.571 154	16.461 889	5~7	2	
甘泉岛 (Lanquan island)	111.585 691	16.500 419	3~15	13	17、19、19、19、20、20、20、22、22、22、23、23、26、26、27、28、30、33
永乐潟湖 (Yongle lagoon)	111.734 693	16.539 069	3~6	2	
晋卿岛 (Jinqing island)	111.742 776	16.456 559	9	1	

和澄黄滨珊瑚断枝若干块,于夜间 22:00 至次日早上 7:00(共 9 h),利用摄影机记录太阳长棘海星向不同种珊瑚的移动轨迹,分析移动路线、移动时间和移动速度等指标,以及太阳长棘海星在珊瑚周围聚集的数量、停留时间和摄食珊瑚情况,两组实验分别做 5 个重复。在每次实验开始前更换养殖体系中的海水和被摄食的珊瑚断枝。为科学地进行数据分析,本研究对太阳长棘海星

摄食珊瑚的行为进行了认定:将“观察到太阳长棘海星摄食珊瑚行为”认定为诱导摄食成功;将“发生摄食珊瑚行为的太阳长棘海星数/太阳长棘海星总数”认定为“摄食百分比”;将“从实验开始到太阳长棘海星接触珊瑚(停留时长超过 10 min)所用时间”认定为“爬行时长”;将“从太阳长棘海星开始摄食珊瑚到离开珊瑚的时长”认定为“摄食时长”。

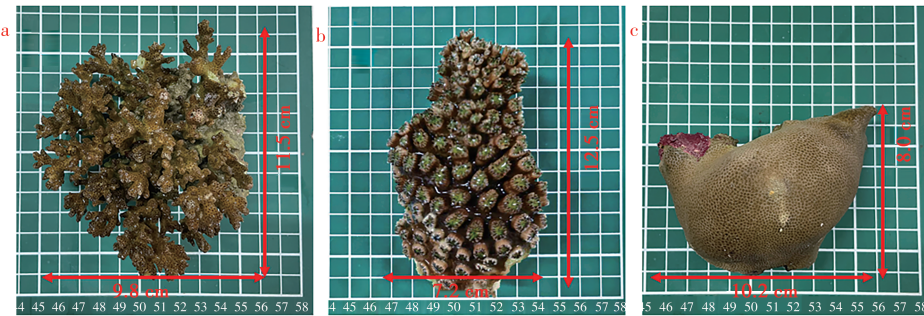


图2 本研究所用的 3 种珊瑚

a. 鹿角杯形珊瑚;b. 丛生盔形珊瑚;c. 澄黄滨珊瑚。

Fig. 2 The three species of scleractinian corals used for the experiment

a. *Pocillopora damicornis*; b. *Galaxea fascicularis*; c. *Porites lutea*.

1.3 珊瑚黏液缓释剂的制备 选取上述研究中对太阳长棘海星群体诱导聚集效果最明显的珊瑚为对象,收集其黏液并制备成缓释剂,验证其对太阳长棘海星群体聚集的诱导效果。本研究制备了两种硬度不同的鹿角杯形珊瑚黏液缓释剂。其中,高硬度缓释剂的制备流程为:取 10 g 珊瑚断枝,放置于盛有 10 mL 过滤海水的烧杯中,剧烈震荡 1 min 后静置 15 min,重复此操作两次;从烧杯中取出珊瑚断枝,向含有珊瑚黏液的溶液中加入 1.5 g 羟丙基甲基纤维素(hypromellose)和 3 g (0.6~1.0 mm)海沙(用于增加缓释剂密度),用玻璃棒充分搅拌均匀,静置

1 min,待缓释剂凝结成块(图 3)。低硬度缓释剂的制备流程为:取 10 g 珊瑚断枝,放置于盛有 10 mL 过滤海水的烧杯中,剧烈震荡 1 min 后静置 15 min,重复此操作两次;从烧杯中取出珊瑚断枝,向含有珊瑚黏液的溶液中加入 0.5 g 羟丙基甲基纤维素和 3 g 海沙,用玻璃棒充分搅拌均匀,等待 1 min 自然凝结成团块状。使用 BCA 蛋白检测试剂盒(货号:C503021,Sangon Biotech,上海,中国)测定用于制备缓释剂的珊瑚黏液总蛋白含量。

1.4 珊瑚黏液缓释剂对太阳长棘海星的诱集效果研究 取 13 只健康状况良好的太阳长棘海星,随

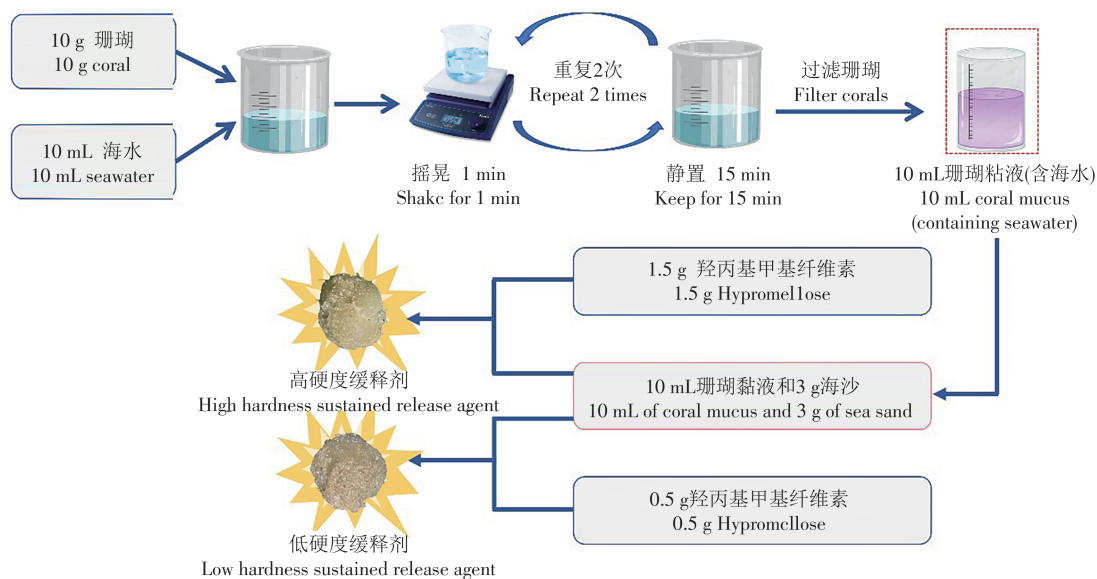


图3 珊瑚黏液缓释剂的制备流程

Fig. 3 Preparation protocol of hard sustained release coral mucus agent

机分为两组,将其中的6只放置于1号养殖池,在养殖池的一端放置6块低硬度珊瑚黏液缓释剂(低硬度缓释剂组),在养殖池另一端放置6块不含珊瑚黏液的低硬度缓释剂(对照组1);同时,将另外7只太阳长棘海星放置于2号养殖池,在养殖池的一端放置7块高硬度珊瑚黏液缓释剂(高硬度缓释剂组),在养殖池另一端放置7块不含珊瑚黏液的高硬度缓释剂(对照组2)。于夜间22:00至次日早上7:00(共9 h),利用摄影机记录太阳长棘海星向缓释剂团块的移动轨迹,分析移动路线、移动时长和移动速度等指标,以及太阳长棘海星在缓释剂团块周围聚集的数量和停留时长,两组实验分别做10个重复实验,在每次实验开始前更换养殖体系中的海水和缓释剂团块。为科学地进行数据分析,本研究对缓释剂诱导聚集太阳长棘海星的行为进行了认定:将“太阳长棘海星在缓释剂团块附近5 cm范围内停留超过10 min”的现象认定为“缓释剂诱导群体聚集成功”;将“发生群体聚集的太阳长棘海星数/太阳长棘海星总数”认定为“太阳长棘海星被缓释剂诱集的百分比”;将“从实验开始到太阳长棘海星在缓释剂团块附近5 cm范围内停留超过10 min”所用时长认定为“爬行时长”。

1.5 数据分析 所有数据均以平均值±标准差表示用SPSS 25.0软件对各组样品生理指标数据进行统计分析,采用单因素方差法分析, $P < 0.05$ 时表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 太阳长棘海星对3种典型造礁石珊瑚的摄食偏好 本研究查明了太阳长棘海星对鹿角杯形珊瑚、丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚3种南海典型造礁石珊瑚的摄食偏好性差异。分析发现,太阳长棘海星摄食鹿角杯形珊瑚的百分比为 $(54.3\% \pm 11.9\%)$,显著高于丛生盔形珊瑚的 $(28.5\% \pm 17.4\%)$ 和澄黄滨珊瑚 $(28.6\% \pm 10.1\%)$ ($P < 0.05$);太阳长棘海星向鹿角杯形珊瑚的平均移动时长为 (32.7 ± 16.9) min,略高于向丛生盔形珊瑚 (16.5 ± 13.7) min和澄黄滨珊瑚 (34.5 ± 22.6) min的平均移动时长,但无显著差异($P > 0.05$)。太阳长棘海星对鹿角杯形珊瑚的平均摄食时长为 (387.9 ± 82.9) min,要显著高于丛生盔形珊瑚 (248.6 ± 146.4) min ($P < 0.05$),但与澄黄滨珊瑚的平均摄食时长 (325.3 ± 63.9) min无显著差异($P > 0.05$) (图4)。

2.2 鹿角杯形珊瑚黏液缓释剂性质 为验证鹿角杯形珊瑚黏液对太阳长棘海星的群体聚集效果,本研究利用鹿角杯形珊瑚的黏液制备了黏液缓释剂。同时,为了探究缓释剂硬度与其在海水中的释放速率和诱导效果之间的关系,本研究制备了高硬度和低硬度等两种不同类型的珊瑚黏液缓释剂(图5)。据统计,从10 g鹿角杯形珊瑚断枝产生的黏液中可提取约10.7 mg珊瑚总蛋白。本研究中所制备的黏液缓释剂为球形,其中,高硬度缓释剂

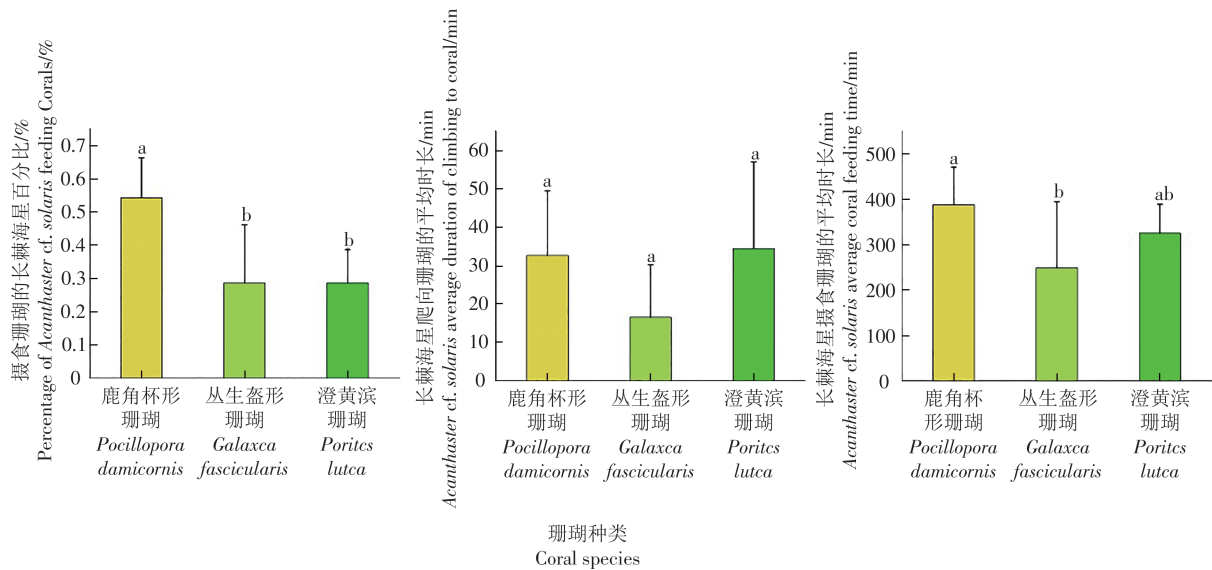


图4 太阳长棘海星对3种珊瑚的摄食偏好

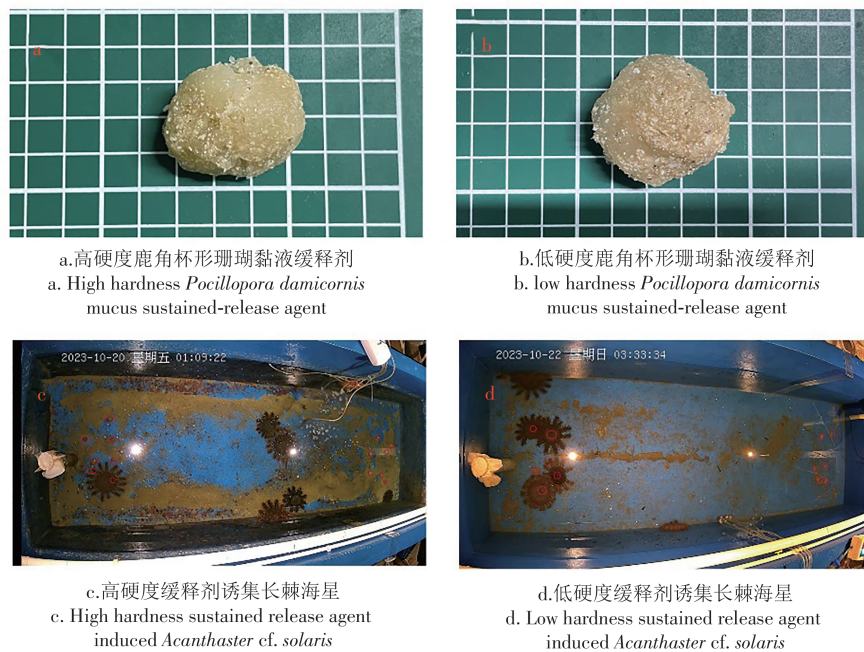
Fig. 4 Feeding preference of *Acanthaster cf. solaris* for three scleractinian corals

图5 缓释剂及诱集太阳长棘海星效果图

Fig. 5 Renderings of sustained-release agents and induced *Acanthaster cf. solaris*

直径约为3.5 cm,重量约为17.2 g;低硬度缓释剂的直径约为3.8 cm,重量约为16.2 g。

2.3 鹿角杯形珊瑚黏液缓释剂诱导太阳长棘海星群体聚集 本研究验证了鹿角杯形珊瑚黏液缓释剂对太阳长棘海星群体聚集的诱导效果。研究发现,太阳长棘海星被低硬度缓释剂的诱导百分比为(35.0% ± 19.9%),极显著高于对照组1(5.0% ± 8.0%)与高硬度缓释剂(10.0% ± 11.8%) ($P <$

0.01);太阳长棘海星爬向低硬度缓释剂的平均时长为(55.0 ± 29.5) min,与对照组1(36.7 ± 81.5) min、高硬度缓释剂(28.3 ± 40.7) min和对照组2(4.4 ± 13.9) min之间没有显著差异($P > 0.05$);太阳长棘海星被低硬度缓释剂诱导聚集的平均时长(在缓释剂处的停留时间)为(323.1 ± 114.7) min,显著高于对照组1(66.5 ± 108.3) min ($P < 0.01$)和高硬度缓释剂(91.6 ± 110.3) min ($P < 0.05$)(图6)。

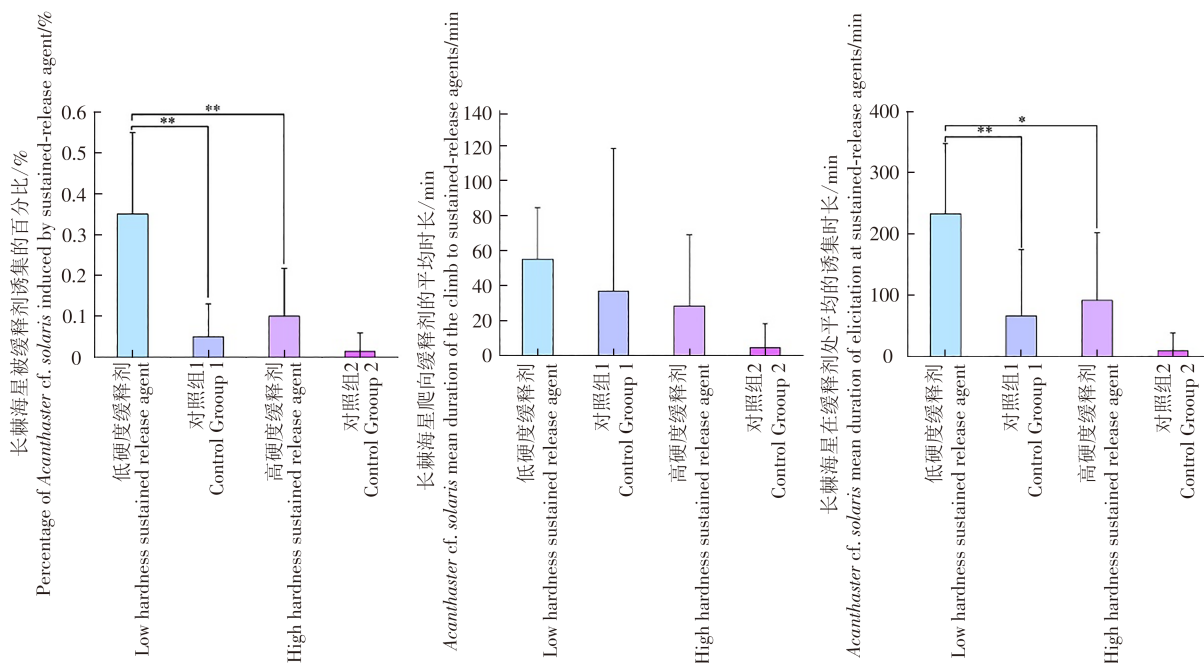


图6 缓释剂对太阳长棘海星的诱集效果

*代表 $P<0.05$; **代表 $P<0.01$ 。Fig. 6 Aggregation of *Acanthaster cf. solaris* induced by sustained release agent*: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

3 讨论

太阳长棘海星灾害暴发是印度洋-西太平洋海域珊瑚覆盖率持续下降和珊瑚礁退化的主要原因之一。研究发现,太阳长棘海星的群体聚集行为可能是导致局部海域灾害暴发的重要原因,且这种聚集行为受食物(珊瑚)诱导,珊瑚黏液中的某些信息物质可能在这一过程中发挥了关键作用。因此,从珊瑚的黏液入手,探究太阳长棘海星的种群聚集诱导机制,对于理清太阳长棘海星灾害暴发机理、开发针对性防控技术手段意义重大。

前期研究发现,太阳长棘海星对珊瑚的摄食具有种类偏好性,喜食分枝状珊瑚和片状珊瑚^[7]。本研究以此为切入点,重点探究了太阳长棘海星对鹿角杯形珊瑚、丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚等3种南海典型造礁石珊瑚的摄食偏好性,从而筛查能够诱导太阳长棘海星发生群体聚集的珊瑚种类,为进一步鉴定能够诱导太阳长棘海星群体聚集的珊瑚信息物质奠定基础。研究结果表明,分枝状的鹿角杯形珊瑚对太阳长棘海星有明显的诱导聚集效果,丛生盔形珊瑚也有一定的诱导聚集作用,但太阳长棘海星对滨珊瑚未表现出明显摄

食偏好性,该结果与De'ath等^[15]的发现一致。同时,Uthicke等^[25]的研究还发现,太阳长棘海星喜食柔枝鹿角珊瑚(*Acropora tenuis*)和鹿角杯形珊瑚,而几乎不摄食萼柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)、薄片刺孔珊瑚(*Echinopora lamellosa*)和澄黄滨珊瑚(*Porites lutea*)。上述结果说明太阳长棘海星能够摄食多种珊瑚,但较为喜食分枝状珊瑚,提示太阳长棘海星能够感知珊瑚释放的某些信息物质,这也可能是太阳长棘海星发生群体聚集和摄食行为的分子基础。

为进一步探究介导太阳长棘海星发生群体聚集的珊瑚信息物质,选取诱导聚集效果最明显的鹿角杯形珊瑚,收集其黏液并制备缓释剂,验证了其对太阳长棘海星的诱导聚集效果。研究发现,珊瑚黏液缓释剂对太阳长棘海星有明显诱导聚集效果,该结果表明鹿角杯形珊瑚黏液中确实存在某些信息物质,能够显著诱导太阳长棘海星发生群体聚集。同时,研究发现硬度较低、缓释速率较快的缓释剂团块对太阳长棘海星的诱导聚集效果更明显,该结果也侧面证明了珊瑚黏液中的信息物质对太阳长棘海星有吸引作用,更快的释放速率和更大的释放剂量能够引起更明显的诱导聚集

效果。大量前期研究已经证明,大量海洋动物依靠特异性的信息素(如性激素、卵黄蛋白、氨基酸类、嘌呤类等)和相关的化学感受器来实现信息交流、群落聚集、捕食行为和物种繁衍^[26]。例如,鱼类可以感受水中的4类化学物质,分别为氨基酸、性腺分泌的类固醇、胆汁酸和前列腺素^[27]。Colombo等^[28]率先在黑鰕虎鱼(*Gobius niger*)中发现,雄性黑鰕虎鱼产生并释放一种雄激素代谢物(5β -reduced androgens conjugates),能够吸引雌鱼并诱导其产卵。此外,前期研究还发现,太阳长棘海星是在某种信息素的诱导下发生聚集行为的,且位于触手末端的化学感受器(sensory tentacles)极有可能是表达信息素受体、介导太阳长棘海星一系列生理行为的重要器官^[19]。因此,在未来的研究中应重点关注太阳长棘海星化学感受器上的信息物质相关受体,通过揭示其在太阳长棘海星群体聚集期间的表达水平,探查介导太阳长棘海星聚集的多种类型信息物质黏液,阐明太阳长棘海星在繁殖季节群体聚集成灾的作用机制。

4 结 论

本研究探查了太阳长棘海星对不同种造礁石珊瑚的摄食偏好性,研究了珊瑚黏液对太阳长棘海星的诱导聚集效果。研究结果表明太阳长棘海星对鹿角杯形珊瑚的摄食偏好性强于丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚;利用羟丙基甲基纤维素等试剂可制备鹿角杯形珊瑚黏液的黏液缓释剂,该缓释剂能够显著诱导太阳长棘海星发生群体聚集。上述结果为解析太阳长棘海星的灾害暴发机理,开发太阳长棘海星的清除技术提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 傅秀梅,王长云,邵长伦,等. 中国珊瑚礁资源状况及其药用研究调查 I. 珊瑚礁资源与生态功能 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(4): 676-684
- [2] 吴钟解,王道儒,涂志刚,等. 西沙生态监控区造礁石珊瑚退化原因分析 [J]. 海洋学报, 2011, 33(4): 140-146
- [3] 郑金辉,任广波,胡亚斌,等. 生物天敌暴发导致珊瑚礁退化的高分遥感监测与分析:以南海太平岛为例 [J]. 热带地理, 2023, 43: 1856-1873
- [4] CLARK A M, DOWNEY M E. Starfishes of the Atlantic [M]. London: Chapman & Hall, 1992
- [5] 李元超,吴钟解,梁计林,等. 近15年西沙群岛长棘海星暴发周期及暴发原因分析 [J]. 科学通报, 2019, 64(33): 3478-3484
- [6] 李元超,梁计林,吴钟解,等. 长棘海星的暴发及其防治 [J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(8): 9-12
- [7] 姚秋翠,余克服,廖芝衡,等. 棘冠海星暴发及其对珊瑚礁的生态影响研究进展 [J]. 生态学报, 2022, 42(18): 7517-7528
- [8] PRATCHETT M, CABALLES C, WILMES J, et al. Thirty years of research on crown-of-thorns starfish (1986-2016): scientific advances and emerging opportunities [J]. Diversity, 2017, 9(4): 41
- [9] HALL M R, KOCOT K M, BAUGHMAN K W, et al. The crown-of-thorns starfish genome as a guide for biocontrol of this coral reef pest [J]. Nature, 2017, 544(7649): 231-234
- [10] DEAKER D J, BYRNE M. Crown of thorns starfish life-history traits contribute to outbreaks, a continuing concern for coral reefs [J]. Emerging Topics in Life Sciences, 2022, 6(1): 67-79
- [11] JOHNSON C R, SUTTON D C, OLSON R R, et al. Settlement of crown-of-thorns starfish: role of bacteria on surfaces of coralline algae and a hypothesis for deepwater recruitment [J]. Marine Ecology Progress Series, 1991: 143-162
- [12] ZANN L, BRODIE J, BERRYMAN C, et al. Recruitment, ecology, growth and behavior of juvenile *Acanthaster planci* (L.) (Echinodermata: Asteroidea) [J]. Bulletin of Marine Science, 1987, 41(2): 561-575
- [13] MENDOZA-PORRAS O, NGUYEN T V, SHAH R M, et al. Biochemical metabolomic profiling of the Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster*): new insight into its biology for improved pest management [J]. The Science of the Total Environment, 2023, 861: 160525
- [14] SASAYAMA Y, MAMIYA T, QI J, et al. Neuritogenic steroid glycosides from crown-of-thorns starfish: possible involvement of p38 mitogen-activated protein kinase and attenuation of cognitive impairment in senescence-accelerated mice (SAMP8) by peripheral administration [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2023, 78: 117144
- [15] DE'ATH G, MORAN P J. Factors affecting the behaviour of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* L.) on the Great Barrier Reef: 2: Feeding preferences [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1998, 220(1): 107-126
- [16] KROON F J, BARNECHE D R, EMSLIE M J. Fish predators control outbreaks of Crown-of-Thorns Starfish [J]. Nature Communications, 2021, 12: 6986
- [17] NARVÁEZ K, ZAPATA F A. First record and impact of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (Spinulosida: Acanthasteridae) on corals of Malpelo Island, Colombian Pacific [J]. Revista De Biología Tropical, 2010, 58: 139-143
- [18] HALL M R, KOCOT K M, BAUGHMAN K W, et al. The crown-of-thorns starfish genome as a guide for biocontrol

- of this coral reef pest [J]. *Nature*, 2017, 544(7649): 231–234
- [19] ROBERTS R. Molecular biology of chemosensory communication in a marine pest, the Crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* species complex [D]; Queensland:University of the Sunshine Coast, 2017
- [20] DUMAS P, MOUTARDIER G, HAM J, et al. Timing within the reproduction cycle modulates the efficiency of village-based crown-of-thorns starfish removal [J]. *Biological Conservation*, 2016, 204: 237–246
- [21] BEACH D, HANSCOMB N, ORMOND R. Spawning pheromone in crown-of-thorns starfish [J]. *Nature*, 1975, 254(5496): 135–136
- [22] CABALLES C F, PRATCHETT M S. Environmental and biological cues for spawning in the crown-of-thorns starfish [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): e0173964
- [23] 李庆燕, 刘金龙, 赵龙龙, 等. 缓释技术在性信息素防治害虫中的应用 [J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(4): 589–593
- [24] 刘志东, 丁平田, 李佳玮, 等. 依诺沙星眼用缓释凝胶剂的体外研究 [J]. *中国药理学杂志*, 2004, 11(38): 38–40
- [25] JOHANSSON C L, FRANCIS D S, UTHICKE S. Food preferences of juvenile corallivorous crown-of-thorns (*Acanthaster planci*) sea stars [J]. *Marine Biology*, 2016, 163(3): 1–7
- [26] ROBERTS R E, MOTTI C A, BAUGHMAN K W, et al. Identification of putative olfactory G-protein coupled receptors in Crown-of-Thorns starfish, *Acanthaster planci* [J]. *BMC Genomics*, 2017, 18(1): 400
- [27] 赖晓健, 洪万树, 张其永. 鱼类嗅觉系统和性信息素受体的研究进展 [J]. *动物学杂志*, 2013, 48(2): 298–305
- [28] COLOMBO L, DI PRISCO C L, BINDER G. Metabolism of pregnenolone-4-14C by the testis of *Gobius paganellus* (Teleostei) [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1970, 15(3): 404–419

Preparation of sustained release agent from coral mucus and exploration of its function in inducing aggregation of *Acanthaster cf. solaris*

ZHANG Zhiwei^{1,4}, ZHU Yunjie^{1,5}, LIN Longshan³, LI Yuan³, WU Zhongjie², YAN Zhicong^{1,4}, TANG Kai¹, LIU Zhaoqun¹, ZHOU Zhi¹

(1. Hainan University, School of Marine Science and Engineering, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou, Hainan 571126, China; 3. Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen, Fujian 361005, China; 4. Hainan University, School of Marine Biology and Fisheries, Haikou 570228, China; 5. Hainan University, School of Ecology, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: *Acanthaster cf. solaris* disaster outbreak is one of the main causes of coral reef degradation in the South China Sea, so it is of great significance to develop a disaster prevention and control method for *A. cf. solaris*. An indoor research platform for *A. cf. solaris* behavior was set up, and it was found that *Pocillopora damicornis* had a higher effect on inducing aggregation of *A. cf. solaris* than *Galaxea fascicularis* and *Porites lutea* ($P < 0.05$). At the same time, a sustained-release agent was prepared from coral mucus by using hydroxypropyl methyl cellulose and other reagents. It was found that the sustained-release agent with lower hardness and faster sustained-release rate had a significant effect on inducing *A. cf. solaris* aggregation ($P < 0.01$). In summary, a preparation method for a sustained-release agent from coral mucus was developed, and it was proved that the coral mucus of *P. damicornis* could significantly induce *A. cf. solaris* population aggregation, which provides a scientific basis for the analysis of *A. cf. solaris* population aggregation mechanism and the innovative development of disaster prevention and control method.

Keywords: *Acanthaster cf. solaris*; aggregation; coral mucus; sustained release agent; behavior

(责任编辑:钟云芳)