

张颖, 杨栋潼, 苏南, 等. 西沙海域长棘海星潜在鱼类捕食者鉴定[J]. 海洋学报, 2024, 46(7): 73–87, doi:10.12284/hyxb2024086
Zhang Ying, Yang Litong, Su Nan, et al. Identification of potential fish predators of the crown-of-thorns starfish from Xisha sea area[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(7): 73–87, doi:10.12284/hyxb2024086

西沙海域长棘海星潜在鱼类捕食者鉴定

张颖¹, 杨栋潼¹, 苏南^{1,3}, 陈慧真^{1,4}, 高倩^{1,4}, 胡建兴¹, 郑凡昱¹, 赖福香^{1,5},
袁运裕⁶, 傅亮⁶, 陈偿^{1,2*}

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院热带海洋生物资源与重点实验室/广东省应用海洋生物学重点实验室, 广东广州 510301; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 海南西沙海洋环境国家野外科学观测研究站, 广东广州 510301; 3. 暨南大学水生生物研究所, 广东广州 510632; 4. 中国科学院大学, 北京 10049; 5. 华南农业大学海洋学院, 广东广州 510600; 6. 三沙航迹珊瑚礁保护研究所, 海南三沙 573199)

摘要: 长棘海星的暴发对我国乃至印度-太平洋海域的珊瑚礁造成了严重的破坏。鱼类捕食者被认为是控制长棘海星种群暴发的重要因素, 但我国对于可捕食长棘海星的鱼类的研究尚属空白。通过采集西沙 5 个长棘海星暴发礁区的珊瑚礁鱼类, 利用 PCR 技术检测了鱼肠道内容物中的长棘海星 DNA, 并与已报道的长棘海星鱼类捕食者进行了比较分析。结果显示, 本次调查共捕获了 62 尾鱼, 共 23 科 36 属 50 种。在 4 种鱼的肠道内容物中检测到长棘海星 DNA, 分别是颊吻鼻鱼 (*Naso lituratus*)、网纹宅泥鱼 (*Dascyllus reticulatus*)、三叶唇鱼 (*Cheilinus trilobatus*) 和赤鳍裸颊鲷 (*Lethrinus erythropterus*)。其中颊吻鼻鱼、三叶唇鱼和赤鳍裸颊鲷为首次报道的长棘海星潜在捕食者。本研究首次鉴定了我国长棘海星潜在鱼类捕食者种类, 为开发长棘海星早期防控技术提供了重要参考。

关键词: 长棘海星; 珊瑚礁鱼类; 捕食者; 肠道内容物; PCR 检测技术

中图分类号: Q958.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)07-0073-15

1 引言

珊瑚礁是地球上生物多样性最丰富的生态系统之一, 被誉为“海洋中的热带雨林”, 具有重要的生态价值和经济价值^[1-2]。然而全球珊瑚礁正面临严重的退化, 长棘海星的大规模暴发是造成这一现象的重要原因之一^[3-5]。在我国西沙群岛海域, 2004—2010 年期间长棘海星的暴发导致西沙活珊瑚覆盖率从整体 60% 左右降到 10% 以下^[6]。而最近一次暴发始于 2018 年, 并迅速蔓延至整个西沙群岛, 使珊瑚覆盖面积进一步急速下降, 严重威胁南海珊瑚岛礁的生态安全^[6]。

长棘海星(棘冠海星, *Acanthaster* spp., Crown-of-Thorns Starfish, CoTS)隶属于棘皮动物门, 海星纲(Echinodermata), 有棘目(Spinulosa), 长棘海星属(*Acanthaster*), 常见于印度-太平洋的珊瑚礁中, 主要以珊瑚为食。当种群密度较低时, 长棘海星的捕食可以增加当地珊瑚物种的多样性^[7-8]。然而, 当大规模暴发时, 它将使活珊瑚覆盖面积显著减小, 导致珊瑚生物多样性明显下降, 从而改变珊瑚群落结构, 影响其它礁区生物的生存, 造成珊瑚礁生态系统的崩溃^[9-10]。因此, 长棘海星的暴发被认为是整个印度-太平洋地区珊瑚礁退化的重要原因^[11-12]。

目前有关长棘海星暴发的确切机制并不清楚, 但

收稿日期: 2023-10-11; 修订日期: 2024-04-17。

基金项目: 海南省三沙市海洋和渔业局项目(SSHY-2201)。

作者简介: 张颖(1992—), 女, 湖南省郴州人, 从事海洋生物分子生态学研究。E-mail: zhangy@scsio.ac.cn

* 通信作者: 陈偿(1973—), 男, 广东省广州市人, 研究员, 从事海洋生物技术研究。E-mail: chen.chang@scsio.ac.cn

有人认为过度捕捞可能是导致暴发的重要原因,因为它减少了长棘海星捕食者的数量,提高了长棘海星的存活率^[13-14]。例如,在澳大利亚大堡礁首次记录长棘海星暴发时,长棘海星的天敌——大法螺(*Charonia tritonis*)正被大量捕捞^[15]。多项研究也表明,在非保护区中,尤其是经历了渔业开发的珊瑚礁,会发生更频繁和更严重的长棘海星暴发事件^[14,16-17]。而在受保护的珊瑚礁区中,暴发事件更少且会发现更多受伤的长棘海星^[18]。因此,长棘海星捕食者的研究也逐渐受到关注,越来越多的珊瑚礁生物被发现可以捕食不同发育阶段的长棘海星。例如,一种名为库拉索豆娘鱼(*Abudefduf curacao*)的小雀鲷在野外被观察到以雌性 CoTS 所产的卵为食^[19]。在冲绳和马尔代夫,也分别观察到耳带蝴蝶鱼(*Chaetodon auripes*)和纹带蝴蝶鱼(*Chaetodon falcula*)以长棘海星配子为食^[20-21]。红色蟹(*Schizophrys aspera*)被发现在有其他猎物存在下仍可以每天消耗超过 5 个完整的 CoTS 稚体^[22]。截至目前,总共有 132 种珊瑚礁生物(包括鱼类和无脊椎动物)会捕食珊瑚礁栖息地的长棘海星配子(3 种)、幼虫(28 种)、健康的底栖幼体(49 种)、受伤的底栖幼体(12 种)、濒死或死亡的底栖幼体(49 种)、健康的成体(19 种)、受伤的成体(17 种),以及濒死或死亡的成体(59 种),其中鱼类捕食者有 81 种,占据了 60% 以上^[22-25]。这表明,相比其他生物,鱼类捕食者在调节长棘海星种群丰度、缓解长棘海星暴发上可能扮演着更重要的角色。然而在我国,长棘海星鱼类捕食者的研究尚处于空白,要了解南海珊瑚岛礁的长棘海星暴发机制,建立早期预警防控体系,需查明长棘海星的潜在鱼类捕食者。本研究采集了我国西沙海域长棘海星暴发礁区的珊瑚礁鱼类,利用 PCR 技术检测了鱼肠道内容物中的长棘海星 DNA,以识别我国西沙海域长棘海星的潜在鱼类捕食者,并与国际上报道的长棘海星天敌进行了比较,以期为我国开发长棘海星早期防控技术提供重要参考。

2 材料与方法

2.1 珊瑚礁鱼的采集和鉴定

2021 年 9 月 16 日至 9 月 20 日分别于南海西沙永乐群岛外礁、石屿、银屿和甘泉岛 4 个珊瑚礁区采集鱼类,2022 年 4 月 15 日和 4 月 20 日分别于西沙永兴岛外礁区采集鱼类(图 1)。通过围栏网、手抄网等方式捕获鱼类样品后,立即将鱼放入装满充气海水的样品袋中运回船上。将鱼取出置于解剖盘上,使用 GoPro Hero5 对每条鱼进行拍照,同时根据《中国南海

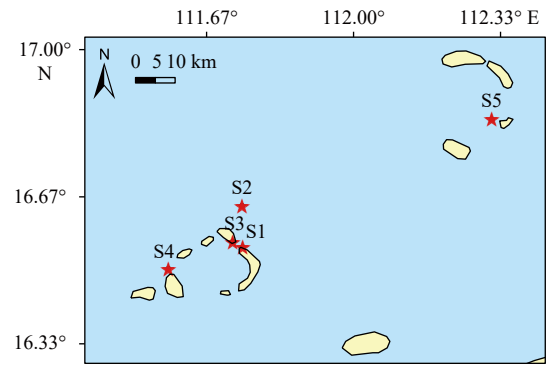


图 1 鱼类样品采集站点和时间

Fig. 1 Collection station and time of fish samples

(S1: 石屿, 2021-09-16 16:00; S2: 永乐群岛外礁, 2021-09-16 22:00; S3: 银屿, 2021-09-17 22:00; S4: 甘泉岛, 2021-09-20 20:00; S5: 永兴岛外礁, 2022-04-15 20:00 和 2022-04-20 20:00)
(S1: Shi Yu, 2021-09-16 16:00; S2: Yongle Islands outer reef, 2021-09-16 22:00; S3: Yin Yu, 2021-09-17 22:00; S4: Ganquan Dao, 2021-09-20 20:00; S5: Yongxing Island outer reef, 2022-04-15 20:00 and 2022-04-20 20:00)

西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱》^[26]和《中国海洋及河口鱼类系统检索》^[27]进行物种的鉴定,并测定体长(标准长度, cm)和体重(kg)。使用无菌剪刀和镊子进行解剖,将肠道内容物全部取出装入冻存管中,速冻于液氮备用。

2.2 鱼肠道内容物的 DNA 提取

使用匀浆振荡器将采集的肠道内容物匀浆震荡 5 分钟,以确保样品的彻底混合均匀。从每个匀浆后的样品中取一份子样品用于 DNA 的提取。使用 TIANamp Marine Animals DNA Kit 试剂盒(天根,北京)提取 DNA。NanoDrop-2000 分光光度计用于检测 DNA 的浓度和纯度, DNA 样品冻存于 -20℃, 备用。

2.3 鱼肠道内容物中长棘海星 DNA 的 PCR 扩增和检测

长棘海星物种特异性靶标为线粒体细胞色素氧化酶亚基(mtCOI, mitochondrial cytochrome oxidase subunit 1),参考 Uthicke 等^[28]研究使用引物对 COTS-F-69(5'-3': GGCCTGAGCAGGAATGGTTGGAA)/COTS-R-987(5'-3': GCCTTG TAGCGTTGCCATTACAC)进行鱼肠道内容物中长棘海星的 PCR 扩增, ddH₂O 作为阴性对照,以本团队繁育的长棘海星幼虫的基因组 DNA 作为阳性对照。扩增体系为 25 μL: 包括正向引物(10 μmol/L)和反向引物(10 μmol/L)各 0.6 μL, 12.5 μL 2 × Phanta Max Master Mix(诺唯赞, 中国), 1 μL DNA 模板(终浓度为 1~10 ng/μL), ddH₂O 补充到 25 μL。扩增反应条件: 95℃ 3 min; 95℃ 15 s, 57℃ 15 s, 72℃

1 min, 34 个循环; 72°C 10 min。使用 1.2% 的琼脂糖凝胶对扩增产物进行电泳 (135 V, 28 min, 点样量 3 μL), 260 nm 凝胶成像仪下观察, 确认目的条带 (大小为 919 bp)。将含有目的条带的 PCR 产物送往公司进行测序 (天一辉远生物科技有限公司, 广州), 测序成功的序列进行 BLASTN 比对。

3 结果

3.1 珊瑚礁鱼的鉴定

在南海西沙 5 个珊瑚礁区, 共收集 62 尾珊瑚礁鱼 (每种鱼类 1 至 3 尾)。通过形态学鉴定, 发现其隶

属于 1 门 1 纲 13 目 23 科 36 属 50 种, 体长范围为 10.5~29.5 cm, 体重为 0.01~0.285 kg (表 1)。其中来自永乐群岛的 44 尾珊瑚礁鱼, 隶属于 1 门 1 纲 12 目 20 科 30 属 37 种, 其余采集自永兴岛的 18 尾珊瑚礁鱼, 隶属于 1 门 1 纲 9 目 12 科 15 属 16 种, 其中黑斑鹦嘴鱼 (*Scarus globiceps*)、尾纹九棘鲈 (*Cephalopholis urodeta*) 和条纹副绯鲤 (*Parupeneus barberinus*) 这 3 种鱼也在永乐群岛被捕获。

3.2 鱼肠道内容物中长棘海星 DNA 的检测

对 50 种 62 尾鱼的肠道内容物进行长棘海星目的片段的检测, 根据 PCR 扩增和 BLAST 序列比对结

表 1 中国南海西沙珊瑚礁鱼肠道内容物的长棘海星检测结果

Table 1 Detection results of crown-of-thorns starfish in the gut contents of fish from coral reefs in the Xisha Islands, South China Sea

目	科	属	种	采样点	体重/kg	体长/cm	是否检测出长棘海星DNA
刺尾鲷目 Acanthuriformes	刺尾鱼科 Acanthuridae	刺尾鱼属 <i>Acanthurus</i>	纵带刺尾鱼 <i>Acanthurus lineatus</i>	S2	0.285	29.5	否
			横带刺尾鱼 <i>Acanthurus triostegus</i>	S2	0.065	17.5	否
		栉齿刺尾鱼属 <i>Ctenochaetus</i>	栉齿刺尾鱼1 <i>Ctenochaetus striatus</i>	S1	0.115	20	否
	鼻鱼属 <i>Naso</i>	栉齿刺尾鱼2 <i>Ctenochaetus striatus</i>	S2	0.135	23.5	否	
		颊吻鼻鱼 <i>Naso lituratus</i>	S2	0.13	21.5	是	
		单板鼻鱼 <i>Naso thynnoides</i>	S4	0.22	28	否	
鳐目 Anguilliformes	镰鱼科 Zanclidae	镰鱼属 <i>Zanclus</i>	角镰鱼 <i>Zanclus cornutus</i>	S2	0.055	13	否
	海鳐科 Muraenidae	裸胸鳐属 <i>Gymnothorax</i>	爪哇裸胸鳐 <i>Gymnothorax javanicus</i>	S5_4.20	—	—	否
鳎形目 Blenniiformes	鳎科 Blenniidae	乌鳎属 <i>Atrosalarias</i>	乌鳎 <i>Atrosalarias fuscus</i>	S1	0.015	10.5	否
日鲈目 Centrarchiformes	鲷科 Cirrhitidae	副鲷属 <i>Paracirrhites</i>	副鲷1 <i>Paracirrhites arcatus</i>	S1	0.01	13	否
			副鲷2 <i>Paracirrhites arcatus</i>	S3	0.02	13	否
蝴蝶鱼目 Chaetodontiformes	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	蝴蝶鱼属 <i>Chaetodon</i>	耳带蝴蝶鱼 <i>Chaetodon auripes</i>	S1	0.11	19.5	否
			丽蝴蝶鱼 <i>Chaetodon wiebeli</i>	S5_4.15	—	—	否
金鳞鱼目 Holocentriformes	金鳞鱼科 Holocentridae	锯鳞鱼属 <i>Myripristis</i>	紫红锯鳞鱼 <i>Myripristis violaceus</i>	S2	0.15	19	否
		棘鳞鱼属 <i>Sargocentron</i>	黑鳍棘鳞鱼 <i>Sargocentron diadema</i>	S2	0.02	16	否
		尖吻棘鳞鱼 <i>Sargocentron spiniferum</i>	S5_4.15	—	—	否	
隆头鱼目 Labriformes	隆头鱼科 Labridae	唇鱼属 <i>Cheilinus</i>	尖头唇鱼 <i>Cheilinus oxycephalus</i>	S1	0.11	21	否
			三叶唇鱼 <i>Cheilinus trilobatus</i>	S2	0.23	25	是
	鹦哥鱼科 Scaridae	厚唇鱼属 <i>Hemigymnus</i>	黑鳍厚唇鱼 <i>Hemigymnus melapterus</i>	S5_4.15	—	—	否
		绿鹦嘴鱼属 <i>Chlorurus</i>	白斑鹦哥鱼 <i>Chlorurus sordidus</i>	S5_4.15	—	—	否
			鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	黑斑鹦嘴鱼1 <i>Scarus globiceps</i>	S2	0.125	22

续表 1

目	科	属	种	采样点	体重/kg	体长/cm	是否检测出长棘海星DNA
			黑斑鹦嘴鱼2 <i>Scarus globiceps</i>	S5_4.20	—	—	否
			绿唇鹦嘴鱼1 <i>Scarus forsteni</i>	S5_4.20	—	—	否
			绿唇鹦嘴鱼2 <i>Scarus forsteni</i>	S5_4.20	—	—	否
			绿唇鹦嘴鱼3 <i>Scarus forsteni</i>	S5_4.20	—	—	否
笛鲷目 Lutjaniformes	石鲈科 Haemulidae	胡椒鲷属 <i>Plectorhinchus</i>	东方石鲈 <i>Plectorhinchus vittatus</i>	S5_4.15	—	—	否
	笛鲷科 Lutjanidae	叉尾鲷属 <i>Aphareus</i>	叉尾鲷 <i>Aphareus furca</i>	S5_4.15	—	—	否
		笛鲷属 <i>Lutjanus</i>	白斑笛鲷 <i>Lutjanus bohar</i>	S2	0.125	24	否
			紫红笛鲷 <i>Lutjanus argentimaculatus</i>	S5_4.20	—	—	否
鲈形目 Perciformes	乌尾鮫科(梅鲷科) Caesionidae	鳞鳍梅鲷属 <i>Pterocaesio</i>	黑带鳞鳍梅鲷1 <i>Pterocaesio tile</i>	S3	0.13	24	否
			黑带鳞鳍梅鲷2 <i>Pterocaesio tile</i>	S4	0.06	21	否
		梅鲷属 <i>Caesio</i>	黄尾梅鲷 <i>Caesio cuning</i>	S3	0.07	20	否
	鲷科 Serranidae	九棘鲈属 <i>Cephalopholis</i>	尾纹九棘鲈1 <i>Cephalopholis urodeta</i>	S1	0.045	18.5	否
			尾纹九棘鲈2 <i>Cephalopholis urodeta</i>	S5_4.15	—	—	否
			斑点九棘鲈1 <i>Cephalopholis argus</i>	S1	0.115	22	否
			斑点九棘鲈2 <i>Cephalopholis argus</i>	S2	0.205	23.5	否
			斑点九棘鲈3 <i>Cephalopholis argus</i>	S4	0.225	26	否
		石斑鱼属 <i>Epinephelus</i>	蜂巢石斑鱼 <i>Epinephelus merra</i>	S2	0.035	16.5	否
	篮子鱼科 Siganidae	篮子鱼属 <i>Siganus</i>	银色篮子鱼 <i>Siganus argenteus</i>	S2	0.04	18	否
			斑篮子鱼 <i>Siganus punctatus</i>	S5_4.15	—	—	否
	舵鱼科 Kyphosidae	舵鱼属 <i>Kyphosus</i>	长鳍 <i>Kyphosus cinerascens</i>	S2	0.075	20	否
	盖刺鱼科 Pomacanthidae	刺尻鱼属 <i>Centropyge</i>	海氏刺尻鱼 <i>Centropyge heraldi</i>	S1	0.02	13.6	否
			珠点刺尻鱼 <i>Centropyge vrolikii</i>	S1	0.015	12.4	否
	雀鲷科 Pomacentridae	豆娘鱼属 <i>Abudefduf</i>	五带豆娘鱼 <i>Abudefduf vaigiensis</i>	S2	0.115	21.4	否
		宅泥鱼属 <i>Dascyllus</i>	网纹宅泥鱼 <i>Dascyllus reticulatus</i>	S1	0.01	10.5	是
鲷形目 Spariformes	龙占鱼科(裸颊鲷科) Lethrinidae	齿颌鲷属 <i>Gnathodentex</i>	金带齿颌鲷1 <i>Gnathodentex aureolineatus</i>	S2	0.105	23.5	否
			金带齿颌鲷2 <i>Gnathodentex aureolineatus</i>	S4	0.135	23	否
		裸颊鲷属 <i>Lethrinus</i>	赤鳍裸颊鲷 <i>Lethrinus erythropterus</i>	S2	0.215	27	是
			尖吻裸颊鲷 <i>Lethrinus olivaceus</i>	S5_4.20	—	—	否
		单列齿颌属 <i>Monotaxis</i>	单列齿颌鲷 <i>Monotaxis grandoculis</i>	S5_4.20	—	—	否
海龙鱼目 Syngnathiformes	须鲷科(羊鱼科) Mullidae	拟羊鱼属 <i>Mulloidichthys</i>	无斑拟羊鱼1 <i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	S2	0.09	21	否

续表 1

目	科	属	种	采样点	体重/kg	体长/cm	是否检测出长棘海星DNA
			无斑拟羊鱼2 <i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	S4	0.145	26	否
			黄线拟羊鱼 <i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	S2	0.04	18.5	否
		副绯鲤属 <i>Parupeneus</i>	条斑副绯鲤1 <i>Parupeneus barberinus</i>	S2	0.165	26.5	否
			条斑副绯鲤2 <i>Parupeneus barberinus</i>	S5_4.15	—	—	否
			多带副绯鲤 <i>Parupeneus multifasciatus</i>	S4	0.105	23	否
			黑斑副绯鲤 <i>Parupeneus pleurostigma</i>	S4	0.07	11	否
鲉形目 Tetraodontiformes	单棘鲉科 Monacanthidae	刺鼻单棘鲉属 <i>Cantherhines</i>	细斑前孔鲉 <i>Cantherhines pardalis</i>	S1	0.05	16.5	否
		前角单棘鲉属 <i>Pervagor</i>	黑头前角鲉 <i>Pervagor melanocephalus</i>	S1	0.015	11	否
	鳞鲉科 Balistidae	角鳞鲉属 <i>Melichthys</i>	黑边角鳞鲉 <i>Melichthys vidua</i>	S1	0.24	24	否
	二齿鲉科(刺鲉科) <i>Diodontidae</i>	刺鲉属 <i>Diodon</i>	密斑刺鲉 <i>Diodon hystrix</i>	S5_4.15	—	—	否
鲻形目 Uranoscopiformes	虎鲨科(肥足鲻科) <i>Pinguipedidae</i>	拟鲈属 <i>Parapercis</i>	尾斑拟鲈 <i>Parapercis hexophthalma</i>	S2	0.04	21.5	否

注: 中文种名后的1、2、3表示同一种鱼的不同来源; S5_4.15表示样本采集于2022年4月15日的S5站位, S5_4.20表示样本采集于2022年4月20日的S5站位; “—”表示数据缺失。

果, 发现有4种鱼可检测到长棘海星DNA(图2和表2), 分别为网纹宅泥鱼(*Dascyllus reticulatus*)、三叶唇鱼(*Cheilimys trilobatus*)、颊吻鼻鱼(*Naso lituratus*)和赤鳍裸颊鲷(*Lethrinus erythropterus*)(图3)。这4种鱼均采集自2021年9月份经历长棘海星暴发的西沙石屿珊瑚礁区附近, 且每种均只收集到1尾鱼。这4种鱼的大小范围从10.5~27 cm的体长不等, 分别隶属于雀鲷科(Pomacentridae)、隆头鱼科(Labridae)、刺尾鱼科(Acanthuridae)和龙占鱼科(Lethrinidae)(表1)。其中, 三叶唇鱼、颊吻鼻鱼和赤鳍裸颊鲷为首次报道能在其肠道内容物中检测到长棘海星DNA。

4 讨论

4.1 本研究结果与已报道长棘海星鱼类捕食者种类的比较分析

长棘海星是一种以R型对策为生殖方式的棘皮动物, 其成体繁殖能力惊人, 一只雌性长棘海星1年产卵量在数千万到1亿以上^[29-30]。幼体阶段成活率的小幅增加可能会显著影响成体种群的数量, 而捕食者的数量与种类是猎物种群密度的主要控制因子^[31-32]。鱼类常以浮游生物和无脊椎动物为食^[33], 因此, 鉴定捕食长棘海星早期生命阶段的鱼类有助于了解长棘海星种群暴发的生态学机制, 同时也为生态防控提供

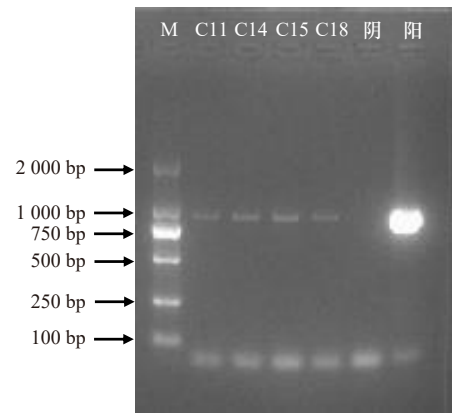


图2 4种珊瑚礁鱼肠道内容物的CoTS扩增结果
Fig. 2 CoTS amplification results from the gut contents of four coral reef fishes

M: 2 000 bp marker; C11, C14, C15, C18 分别为网纹宅泥鱼、三叶唇鱼、颊吻鼻鱼和赤鳍裸颊鲷的肠道内容物; 阴和阳分别为 ddH₂O 和长棘海星幼虫

M: 2 000 bp marker; C11, C14, C15, C18: The intestinal contents of *Dascyllus reticulatus*, *Cheilimys trilobatus*, *Nasolituratus* and *Lethrinus erythropterus*, respectively; Negative and positive: ddH₂O and CoTS larvae

基础。本研究应用前期建立的长棘海星DNA分子检测技术^[34], 对来自发生不同程度长棘海星暴发的珊瑚礁区^[35]鱼类的肠道内容物进行了检测。研究发现, 在获得的23科50种62尾珊瑚礁鱼的肠道内容物中有

表 2 四种珊瑚礁鱼肠道内容物的 DNA 浓度及其 CoTS 扩增序列的 BLAST 比对结果

Table 2 DNA concentration in the gut contents of four reef fish species and BLAST comparison results of their CoTS amplified sequences

鱼的信息		鱼的肠道内容物 CoTS 检测			
样品名称	物种鉴定结果	肠道内容物的 DNA 浓度/(ng·μL ⁻¹)	最高相似度	BLAST 相似度最高的序列号	相似物种
C11	网纹宅泥鱼 (<i>Dascyllus reticulatus</i>)	143.2	99.66%	LC596401.1	<i>Acanthaster planci</i> Australia_GBR mitochondrial DNA
C14	三叶唇鱼 (<i>Cheilimus trilobatus</i>)	43.8	99.66%	LC596401.1	<i>Acanthaster planci</i> Australia_GBR mitochondrial DNA
C15	颊吻鼻鱼 (<i>Naso lituratus</i>)	312.1	99.66%	LC596401.1	<i>Acanthaster planci</i> Australia_GBR mitochondrial DNA
C18	赤鳍裸颊鲷 (<i>Lethrinus erythropterus</i>)	428	100%	LC566227.1	<i>Acanthaster planci</i> Miyazaki03 mitochondrial DNA

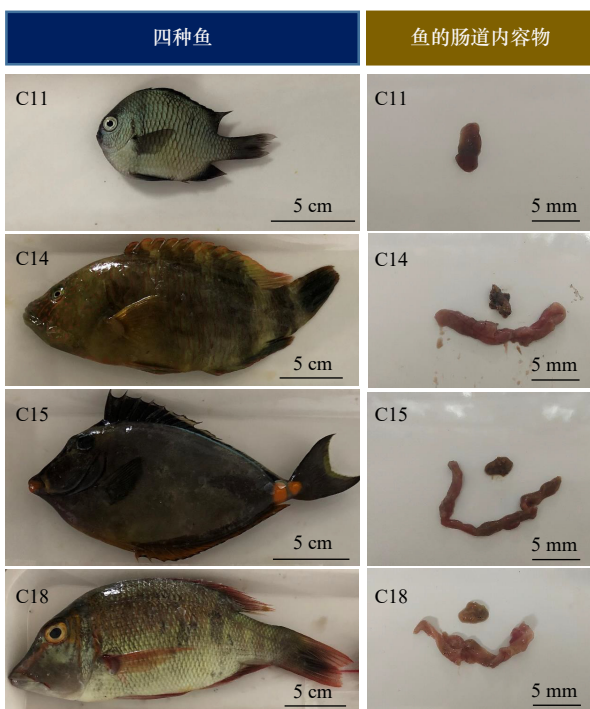


图 3 可检测出 CoTS 的珊瑚礁鱼及其肠道内容物

Fig. 3 Coral reef fish with detectable CoTS and their gut contents

C11、C14、C15、C18 分别为网纹宅泥鱼、三叶唇鱼、颊吻鼻鱼和赤鳍裸颊鲷

C11, C14, C15, C18: *Dascyllus reticulatus*, *Cheilimus trilobatus*, *Naso lituratus* and *Lethrinus erythropterus*, respectively

4 科 4 种 4 尾鱼能检测到长棘海星 DNA。为将本结果与已报道的长棘海星鱼类捕食者进行比较分析,我们总结了目前国际上已报道的长棘海星鱼类捕食者(表 A1)。发现共有 81 种鱼类捕食者,隶属于 10 目 16 科 39 属,其中 23 种可以捕食长棘海星浮浪幼虫,14 种可捕食健康的底栖幼体,12 种可捕食受伤的底栖幼体,49 种可捕食濒死或死亡的底栖幼体,7 种可捕食健康的长棘海星成体,15 种可捕食受伤的成体,53 种捕食濒死或死亡的成体。经过比较分析后,发

现在本研究中可以检测到长棘海星 DNA 的 4 种鱼中,只有网纹宅泥鱼已被报道可以捕食长棘海星浮浪幼虫^[24,36-38],而三叶唇鱼、颊吻鼻鱼和赤鳍裸颊鲷这 3 种珊瑚礁鱼均未曾报道能捕食长棘海星或未曾在其体内检测到长棘海星 DNA(表 1 和表 A1)。此外,发现耳带蝴蝶鱼在野外被观察到可以捕食长棘海星精子和幼虫,白斑笛鲷(*Lutjanus bohar*)和多带副绯鲤(*Parupeneus multifasciatus*)可以捕食受伤或死亡的长棘海星底栖幼体和成体^[23-24],单列齿鲷(*Monotaxis grandoculis*)则被观察到可以捕食健康的长棘海星底栖幼体^[24],但在本研究中这 4 种鱼的肠道内容物样本未检出到长棘海星 DNA(表 1 和表 A1)。

4.2 网纹宅泥鱼捕食长棘海星浮浪幼虫

网纹宅泥鱼(*D. reticulatus*)对长棘海星的捕食已被多次报道。Cowan 等分别在 2016 年、2017 年和 2020 年的室内投喂实验中证明网纹宅泥鱼可以捕食长棘海星浮浪幼虫,并且发现其在长棘海星幼虫密度较低的情况下是一个高效捕食者,尽管随着海星幼虫密度增加,其捕食猎物的数量会达到饱和,捕食效率会降低^[36-38]。此外,他们还发现,即使有其他形态相似的猎物如蓝海星幼虫(*Linckia laevigata*)存在,网纹宅泥鱼[重(3.57±0.21)g,长(48.95±1.19)mm]仍然会捕食长棘海星浮浪幼虫,且捕食效率不受影响^[38]。本研究从长棘海星暴发区捕获的网纹宅泥鱼(重 10 g,长 105 mm)的肠道内容物中检测到长棘海星 DNA,为前期已报道的室内研究提供了进一步佐证,显示自然海域中的网纹宅泥鱼很可能捕食长棘海星浮浪幼虫,且不同大小的网纹宅泥鱼均具有捕食海星幼虫的能力,提示网纹宅泥鱼在减少大量海星幼虫暴发和降低长棘海星幼体有效定植率方面可能发挥作用。

4.3 长棘海星 3 种新的潜在鱼类捕食者

三叶唇鱼、颊吻鼻鱼和赤鳍裸颊鲷这 3 种珊瑚礁

鱼未曾报道过能捕食或在体内检测到长棘海星, 我们的研究首次发现它们的肠道内容物中含有长棘海星 DNA, 表明这 3 种珊瑚礁鱼可能直接或间接地捕食长棘海星。本研究中捕获的三叶唇鱼长 25 cm, 接近成年, 基于其主要以有壳类的底栖无脊椎动物为食这一特性^[39], 推测其肠道内容物中的长棘海星 DNA 可能通过直接捕食底栖长棘海星获得, 亦或是来自以长棘海星为食的软体动物或甲壳动物。颊吻鼻鱼作为一种营底栖生活的鱼类, 主要以叶状褐藻为食, 如马尾藻 (*Sargassum*) 和盘藻 (*Dictyota*) 等, 也会觅食小型海洋动物^[40], 推测本研究采集的颊吻鼻鱼可能是食用含有长棘海星 DNA 的叶状藻类、海洋动物或直接捕食了底栖长棘海星。因为已有研究表明长棘海星 eDNA 很容易结合到水族箱表面或珊瑚表面黏液层的生物膜中^[41-42]。赤鳍裸颊鲷主要栖息于 2~25 m 深的珊瑚礁和邻近的砂质海区, 以棘皮动物、软体动物、甲壳动物和小鱼为食^[43]。本研究中赤鳍裸颊鲷的肠道内容物能检出长棘海星 DNA, 可能是由于摄食了以长棘海星为食的软体动物、甲壳动物、小鱼或直接捕食了底栖长棘海星。尽管无法区分这 3 种鱼是食用哪个阶段(浮浪阶段、底栖阶段, 还是成体阶段)亦或是哪种生命状态(活的、垂死的、死亡的)的长棘海星, 但结合它们的饮食习惯和栖息地(比如这 3 种鱼类均喜营底栖生活), 推测它们肠道内容物中的长棘海星 DNA 直接通过捕食长棘海星浮浪幼虫获得的可能性较低, 而可能主要以直接捕食底栖长棘海星或间接捕食以长棘海星为食的海洋动物为主, 尤其是赤鳍裸颊鲷, 很有可能是长棘海星底栖期的关键捕食者。后续的研究可以考虑通过室内投喂实验来验证其是否为直接捕食者, 以及主要捕食哪个发育阶段和哪种生命状态的长棘海星。

4.4 4 种已报道可捕食长棘海星的鱼类未检测到长棘海星 DNA 的原因

捕食者对猎物的捕食由许多因素驱动, 包括由于

不同猎物密度而导致的相遇率的变化、其他猎物的存在、猎物的防御能力和猎物的营养价值等^[38,44-45]。耳带蝴蝶鱼 (*Chaetodon auripes*)、白斑笛鲷 (*Lutjanus bohar*)、多带副绯鲤 (*Parupeneus multifasciatus*) 和单列齿鲷 (*Monotaxis grandoculis*) 这 4 种鱼在野外曾被观察到可以捕食长棘海星^[23-24], 但在本研究中它们的肠道内容物未检出长棘海星 DNA, 表明这些鱼未直接或间接捕食过长棘海星。尽管我们未发表的数据表明, 耳带蝴蝶鱼的捕获区存在长棘海星浮浪幼虫, 但是幼虫密度不高, 这可能是未在其肠道内容物中检测到长棘海星 DNA 的原因。白斑笛鲷和多带副绯鲤仅在野外被观察到可以捕食受伤或死亡的幼体和成体, 而单列齿鲷被观察到可以捕食健康的幼体^[23-24]。一方面, 这 3 种鱼均营底栖生活, 主要以甲壳类、软体动物及鱼类为食^[43,46-48], 推测长棘海星可能不是其优先选择的食物; 另一方面, 在野外调查中尚未发现大量的长棘海星幼体。因此猎物的多选择性及其密度可能与本次研究未检测到长棘海星 DNA 密切相关。

5 结论

本研究共发现 4 种长棘海星潜在捕食者, 分别是颊吻鼻鱼、网纹宅泥鱼、三叶唇鱼和赤鳍裸颊鲷, 其中颊吻鼻鱼、三叶唇鱼和赤鳍裸颊鲷为首次报道的长棘海星潜在捕食者。综合国际上已有研究报道, 目前共有 84 种海洋鱼类是长棘海星的潜在捕食者, 表明长棘海星在其生命周期的各个阶段都很容易受到各种珊瑚礁鱼类的捕食, 长棘海星新潜在鱼类捕食者的发现提示鱼类对长棘海星的捕食可能比目前所认识的更为普遍。未来的研究应进一步挖掘长棘海星的主要捕食者及其捕食效率, 以明晰捕食者在调节长棘海星种群动态中的作用, 为制定预防长棘海星暴发的策略提供重要科学指导。

参考文献:

- [1] 赵美霞, 余克服, 张乔民. 珊瑚礁区的生物多样性及其生态功能 [J]. 生态学报, 2006, 26(1): 186-194.
Zhao Meixia, Yu Kefu, Zhang Qiaomin. Review on coral reefs biodiversity and ecological function[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 186-194.
- [2] Mumby P J, Broad K, Brumbaugh D R, et al. Coral reef habitats as surrogates of species, ecological functions, and ecosystem services[J]. *Conservation Biology*, 2008, 22(4): 941-951.
- [3] De'ath G, Fabricius K E, Sweatman H, et al. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(44): 17995-17999.
- [4] Pratchett M S, Caballes C F, Wilmes J C, et al. Thirty years of research on crown-of-thorns starfish (1986-2016): scientific advances and emerging opportunities[J]. *Diversity*, 2017, 9(4): 41.
- [5] Kuo C Y, Ho M J, Heng W K, et al. What is for dessert? Crown-of-thorns starfish feeds on non-scleractinian anthozoans at Taiping Island (Itu Aba), Spratlys, South China Sea[J]. *Marine Biodiversity*, 2022, 52(1): 2.

- [6] 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.
Li Yuanchao, Wu Zhongjie, Liang Jilin, et al. Analysis on the outbreak period and cause of *Acanthaster planci* in Xisha Islands in recent 15 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(33): 3478–3484.
- [7] Uthicke S, Schaffelke B, Byrne M. A boom-bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms[J]. *Ecological Monographs*, 2009, 79(1): 3–24.
- [8] Pratchett M S, Caballes C F, Rivera-Posada J A, et al. Limits to understanding and managing outbreaks of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.) [M]//Hughes R N, Hughes D J, Smith I P. Oceanography and Marine Biology. Boca Raton: CRC Press, 2014: 133–200.
- [9] Pratchett M S. Changes in coral assemblages during an outbreak of *Acanthaster planci* at Lizard Island, northern Great Barrier Reef (1995–1999)[J]. *Coral Reefs*, 2010, 29(3): 717–725.
- [10] Kayal M, Vercelloni J, De Loma T L, et al. Predator crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*) outbreak, mass mortality of corals, and cascading effects on reef fish and benthic communities[J]. *PLoS One*, 2012, 7(10): e47363.
- [11] Vercelloni J, Caley M J, Mengersen K. Crown-of-thorns starfish undermine the resilience of coral populations on the Great Barrier Reef[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2017, 26(7): 846–853.
- [12] Bozec Y M, Hock K, Mason R A B, et al. Cumulative impacts across Australia’s Great Barrier Reef: a mechanistic evaluation[J]. *Ecological Monographs*, 2022, 92(1): e01494.
- [13] McCallum H I. Predator regulation of *Acanthaster planci*[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1987, 127(2): 207–220.
- [14] Kroon F J, Barneche D R, Emslie M J. Fish predators control outbreaks of crown-of-thorns starfish[J]. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 6986.
- [15] Endean R. Report on investigations made into aspects of the current *Acanthaster planci* (crown of thorns) infestations of certain reefs of the Great Barrier Reef[R]. Brisbane, Australia: Queensland Department of Primary Industries (Fisheries Branch), 1969.
- [16] Vanhatalo J, Hosack G R, Sweatman H. Spatiotemporal modelling of crown-of-thorns starfish outbreaks on the Great Barrier Reef to inform control strategies[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(1): 188–197.
- [17] Westcott D A, Fletcher C S, Kroon F J, et al. Relative efficacy of three approaches to mitigate crown-of-thorns starfish outbreaks on Australia’s Great Barrier Reef[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 12594.
- [18] Caballes C F, Messmer V, Raymundo M L, et al. Prevalence and severity of sublethal injuries in crown-of-thorns starfish relative to marine reserves in the Great Barrier Reef[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2022, 32(6): 993–1004.
- [19] Pearson R, Endean R. A preliminary study of the coral predator *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) on the Great Barrier Reef[J]. Fisheries Notes, Queensland Department of Harbours and Marine, 1969, 3(1): 27–55.
- [20] Keesing J K, Halford A R. Field measurement of survival rates of juvenile *Acanthaster planci*: techniques and preliminary results[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 85: 107–114.
- [21] Ciarapica G, Passeri L. An overview of the Maldivian coral reefs in Felidu and North Malé Atoll (Indian Ocean): platform drowning by ecological crises[J]. *Facies*, 1993, 28(1): 33–65.
- [22] Desbiens A A, Mumby P J, Dworjanyn S, et al. Novel rubble-dwelling predators of herbivorous juvenile crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* sp.) [J]. *Coral Reefs*, 2023, 42(2): 579–591.
- [23] Cowan Z L, Pratchett M, Messmer V, et al. Known predators of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.) and their role in mitigating, if not preventing, population outbreaks[J]. *Diversity*, 2017, 9(1): 7.
- [24] Kroon F J, Lefèvre C D, Doyle J R, et al. Author Correction: DNA-based identification of predators of the corallivorous crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* cf. *solaris*) from fish faeces and gut contents[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 18807.
- [25] Balu V, Messmer V, Logan M, et al. Is predation of juvenile crown-of-thorns seastars (*Acanthaster* cf. *solaris*) by peppermint shrimp (*Lysmata vittata*) dependent on age, size, or diet?[J]. *Coral Reefs*, 2021, 40(2): 641–649.
- [26] 傅亮. 中国南海西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱 [M]. 北京: 中信出版社, 2014.
Fu Liang. Coral Reef Fishes of the South China Sea, the Xisha, Nansha and Zhongsha Islands[M]. Beijing: China Citic Press, 2014.
- [27] 伍汉霖, 钟俊生. 中国海洋及河口鱼类系统检索 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
Wu Hanlin, Zhong Junsheng. Key to Marine and Estuarial Fishes of China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021.
- [28] Uthicke S, Doyle J, Duggan S, et al. Outbreak of coral-eating crown-of-thorns creates continuous cloud of larvae over 320 km of the Great Barrier Reef[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 16885.
- [29] Babcock R C, Milton D A, Pratchett M S. Relationships between size and reproductive output in the crown-of-thorns starfish[J]. *Marine Biology*, 2016, 163(11): 234.
- [30] 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.
- [31] Bailey K M, Houde E D. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem[J]. *Advances in Marine Biology*, 1989, 25: 1–83.
- [32] Hixon M A, Pacala S W, Sandin S A. Population regulation: historical context and contemporary challenges of open vs. closed systems[J]. *Ecology*, 2002, 83(6): 1490–1508.

- [33] Hamner W M, Jones M S, Carleton J H, et al. Zooplankton, planktivorous fish, and water currents on a windward reef face: Great Barrier Reef, Australia[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1988, 42(3): 459–479.
- [34] 张颖, 杨砾潼, 刘冰, 等. 长棘海星 (*Acanthaster planci*) 幼体特异性 PCR 检测技术与应用 [J]. *热带海洋学报*, 2022, 41(6): 125–131. Zhang Ying, Yang Litong, Liu Bing, et al. Specific PCR detection for *Acanthaster planci* larvae and its application[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2022, 41(6): 125–131.
- [35] 闫智聪, 邢家杰, 蔡文启, 等. 基于环境 DNA 技术的西沙礁区长棘海星种群丰度研究 [J]. *海洋学报*, 2023, 45(3): 76–83. Yan Zhicong, Xing Jiajie, Cai Wenqi, et al. Study on the population distribution of *Acanthaster planci* in the reef area of the Xisha Islands based on environmental DNA technology[J]. *Haiyang Xuebao*, 2023, 45(3): 76–83.
- [36] Cowan Z L, Dworjanyn S A, Caballes C F, et al. Predation on crown-of-thorns starfish larvae by damselfishes[J]. *Coral Reefs*, 2016, 35(4): 1253–1262.
- [37] Cowan Z L, Ling S D, Dworjanyn S A, et al. Interspecific variation in potential importance of planktivorous damselfishes as predators of *Acanthaster* sp. eggs[J]. *Coral Reefs*, 2017, 36(2): 653–661.
- [38] Cowan Z L, Ling S D, Caballes C F, et al. Crown-of-thorns starfish larvae are vulnerable to predation even in the presence of alternative prey[J]. *Coral Reefs*, 2020, 39(2): 293–303.
- [39] Carpenter K E, Niem V H. *The Living Marine Resources of the Western Central Pacific*[M]. Rome: FAO, 1998: 3381–3467.
- [40] Randall J E, Allen G R, Steene R C. *Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea*[M]. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii Press, 1998: 506.
- [41] Wood S A, Biessy L, Latchford J L, et al. Release and degradation of environmental DNA and RNA in a marine system[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 704: 135314.
- [42] Kwong S L T, Villacorta-Rath C, Doyle J, et al. Quantifying shedding and degradation rates of environmental DNA (eDNA) from Pacific crown-of-thorns seastar (*Acanthaster cf. solaris*)[J]. *Marine Biology*, 2021, 168(6): 85.
- [43] Carpenter K E, Allen G R. *Emperor Fishes and Large-Eye Breams of the World, Family Lethrinidae: an Annotated and Illustrated Catalogue of Lethrinid Species Known to Date*[M]. Rome: FAO, 1989: 118.
- [44] Mathias J A, Li Sifa. Feeding habits of walleye larvae and juveniles: comparative laboratory and field studies[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1982, 111(6): 722–735.
- [45] Meunier C L, Boersma M, Wiltshire K H, et al. Zooplankton eat what they need: copepod selective feeding and potential consequences for marine systems[J]. *Oikos*, 2016, 125(1): 50–58.
- [46] Steene R C, Allen G R. *Butterfly and Angelfishes of the World*[M]. USA: Aquarium Systems, 1985: 271.
- [47] Allen G R. *Snappers of the World: an Annotated and Illustrated Catalogue of Lutjanid Species Known to Date*[M]. FAO Species Catalogue, 1987, 6: 208.
- [48] Randall J E. Revision of the Goatfish Genus *Parupeneus* (Perciformes: Mullidae), With Descriptions of Two New Species[M]. Honolulu: Bishop Museum, 2004: 64.
- [49] Leray M, Yang J Y, Meyer C P, et al. A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents[J]. *Frontiers in Zoology*, 2013, 10(1): 34.
- [50] Rivera-Posada J, Pratchett M S, Aguilar C, et al. Bile salts and the single-shot lethal injection method for killing crown-of-thorns sea stars (*Acanthaster planci*)[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2014, 102: 383–390.
- [51] Marine Bio Logic. Survey of marine Scientists and other experts for anecdotal observations of crown-of-thorns predation[R]. Australia, Townsville: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 1991.
- [52] Ormond R F G, Campbell A C, Head S H, et al. Formation and breakdown of aggregations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.)[J]. *Nature*, 1973, 246: 167–169.
- [53] Rivera-Posada J, Caballes C F, Pratchett M S. Size-related variation in arm damage frequency in the crown-of-thorns sea star, *Acanthaster planci*[J]. *Journal of Coastal Life Medicine*, 2014, 2(3): 187–195.
- [54] Boström-Einarsson L, Rivera-Posada J. Controlling outbreaks of the coral-eating crown-of-thorns starfish using a single injection of common household vinegar[J]. *Coral Reefs*, 2016, 35(1): 223–228.
- [55] Ormond R F G, Campbell A C, Head S H, et al. Formation and breakdown of aggregations of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.)[J]. *Nature*, 1973, 246(5429): 167–169.
- [56] Owens D. *Acanthaster planci* starfish in Fiji: survey of incidence and biological studies[J]. *Fiji Agric*, 1971, 33: 15–23.
- [57] Glynn P W. An amphinomid worm predator of the crown-of-thorns sea star and general predation on asteroids in eastern and western Pacific coral reefs[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1984, 35(1): 54–71.
- [58] Boström-Einarsson L, Bonin M C, Moon S, et al. Environmental impact monitoring of household vinegar-injections to cull crown-of-thorns starfish, *Acanthaster* spp.[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 155: 83–89.
- [59] Wilson B R, Marsh L M B H. Puffer fish predator of crown of thorn starfish in Australia[J]. *Search*, 1974, 5: 601–602.
- [60] Moran P J. Preliminary observations of the decomposition-of-crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.)[J]. *Coral Reefs*, 1992, 11(2): 115–118.
- [61] Keesing J K, Halford A R. Importance of postsettlement processes for the population dynamics of *Acanthaster planci* (L.)[J]. *Marine and*

- [Freshwater Research](#), 1992, 43(3): 635–651.
- [62] Randall J E, Head S M, Sanders A P L. Food habits of the giant humphead wrasse, *Cheilinus undulatus* (Labridae)[J]. [Environmental Biology of Fishes](#), 1978, 3(2): 235–238.
- [63] Birdsey R. Large reef fishes as potential predators of *Acanthaster planci*: a pilot study by alimentary tract analysis of predatory fishes from reefs subject to *Acanthaster* feeding[R]. Australia, Townsville: the Great Barrier Marine Park Authority, 1988.
- [64] Chesher R H. *Acanthaster planci*: impact on Pacific coral reefs[R]. Pittsburgh, USA: Department of the Interior; Westinghouse Research Laboratories, 1969: 151.
- [65] Sweatman H P A. A field study of fish predation on juvenile crown-of-thorns starfish[J]. [Coral Reefs](#), 1995, 14(1): 47–53.
- [66] Endean R. Destruction and recovery of coral reef communities[M]//Jones O A, Endean R. *Biology and Geology of Coral Reefs*. New York, USA: Academic Press, 1976: 215–254.
- [67] Endean R. *Acanthaster planci* infestations of reefs of the Great Barrier Reef[R]. USA, Florida, Miami: In Proceedings: the 3rd International Coral Reef Symposium, University of Miami, 1977: 185–191.
- [68] Lucas J. S. Environmental influences on the early development of *Acanthaster planci* (L.) [R]. Australia, Canberra: in Crown-of-Thorns Starfish Seminar Proceedings, Australian Government Publishing Service, 1975: 109–121.

附录

表 A1 文献报道的可捕食长棘海星的珊瑚礁鱼
Table A1 Reef fishes reported in the literature to prey on CoTS

目	科	属	种	精子	卵子	幼虫	幼体	受伤幼体	濒死或死亡幼体	健康成体	受伤成体	濒死或死亡成体	参考文献
钩头鱼目 Kurtiformes	天竺鲷科 Apogonidae	天竺鲷属 <i>Apogon</i>	萨摩亚天竺鲷 <i>Nectamia savayensis</i>			F-DNA	F-DNA						[49]
鲷形目 Tetraodontiformes	鲷科 Balistidae	钩鳞鲷属 <i>Balistapus</i>	钩鳞鲷 <i>Balistapus undulatus</i>			F-DNA		F	F	F/L	F	F	[24, 50]
			褐拟鳞鲷 <i>Balistoides viridescens</i>				F/L	L	L	F/L	L	L	[50-55]
		副鳞鲷属 <i>Pseudobalistes</i>	黄边副鳞鲷 <i>Pseudobalistes flavimarginatus</i>				F/L			F/F ^G /L			[51-53, 56]
		棘鳞鲷属 <i>Rhinecanthus</i>	叉斑棘鳞鲷 <i>Rhinecanthus aculeatus</i>					L	L			L	[54]
		多棘鳞鲷属 <i>Sufflamen</i>	真多棘鳞鲷 <i>Sufflamen verres</i>					F	F		F	F	[57]
	四齿鲷科 Tetraodontidae	叉鼻鲷属 <i>Arothron</i>	纹腹叉鼻鲷 <i>Arothron hispidus</i>				F/L	F	F/L	F/L	F/L	F/L	[50-55, 57-59]
			非律宾叉鼻鲷 <i>Arothron manilensis</i>					F	F/L	F	F	F/L	[50, 57]
			白点叉鼻鲷 <i>Arothron melegritis</i>					F	F	F	F	F	[57]
			黑斑叉鼻鲷 <i>Arothron nigropunctatus</i>					F	F			F	[60]
			星斑叉鼻鲷 <i>Arothron stellatus</i>				F			F			[61]
	二齿鲷科 Diodontidae	刺鲷属 <i>Diodon</i>	密斑刺鲷 <i>Diodon hystrix</i>				F ^G						[51]
蝴蝶鱼目 Chaetodontiformes	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	蝴蝶鱼属 <i>Chaetodon</i>	金带蝴蝶鱼 <i>Chaetodon aureofasciatus</i>					F	F			F	[50, 58]
			扬旛蝴蝶鱼 <i>Chaetodon auriga</i>					L	F/L	L	L	F/L	[50, 53, 58, 60]
			耳带蝴蝶鱼 <i>Chaetodon auripes</i>	F		F							[61]
			曲纹蝴蝶鱼 <i>Chaetodon baronessa</i>						F			F	[58]
			本氏蝴蝶鱼 <i>Chaetodon citrinellus</i>					F	F	F	F	F	[57-58]
			克氏蝴蝶鱼 <i>Chaetodon kleinii</i>						F			F	[58]
			纹身蝴蝶鱼 <i>Chaetodon lineolatus</i>					F	F			F	[58]
			蓝斑蝴蝶鱼 <i>Chaetodon plebeius</i>					F	F			F	[50]
			雷氏蝴蝶鱼 <i>Chaetodon rafflesi</i>					F	F			F	[50]

续表 A1

目	科	属	种	精子	卵子	幼虫	幼体	受伤幼体	濒死或死亡幼体	健康成体	受伤成体	濒死或死亡成体	参考文献
			网纹宅泥鱼 <i>Dascyllus reticulatus</i>		L								[36-38]
		盘雀鯛属 <i>Dischistodus</i>	黑斑盘雀鯛 <i>Dischistodus melanotus</i>					F	F			F	[58]
		刺蝶鱼属 <i>Holacanthus</i>	雀点刺蝶鱼 <i>Holacanthus passer</i>				F	F	F	F/L		F	[57]
		新箭齿雀鯛属 <i>Neoglyphidodon</i>	黑新箭雀鯛 <i>Neoglyphidodon melas</i>						F			F	[50, 58]
			闪光新箭雀鯛 <i>Neoglyphidodon oxyodon</i>						F			F	[50]
		新雀鯛属 <i>Neopomacentrus</i>	奇新雀鯛 <i>Neopomacentrus azystron</i>			L							[36, 38]
		<i>Plectroglyphidodon</i>	迪克氏固齿鯛 <i>Plectroglyphidodon dickii</i>						F			F	[58]
		刺盖鱼属 <i>Pomacanthus</i>	半环刺盖鱼 <i>Pomacanthus semicirculatus</i>						F			F	[60]
			六带刺盖鱼 <i>Pomacanthus sexstriatus</i>						F			F	[51, 58, 60]
		雀鯛属 <i>Pomacentrus</i>	安邦雀鯛 <i>Pomacentrus amboinensis</i>			L							[36-38]
			金尾雀鯛 <i>Pomacentrus chrysurus</i>						F			F	[50]
			霓虹雀鯛 <i>Pomacentrus coelestis</i>			F ^{DNA}							[24]
			黄雀鯛 <i>Pomacentrus mollicensis</i>			L		L	F/L		L	F/L	[28-36, 50, 53, 60]
			澳氏雀鯛 <i>Pomacentrus wardi</i>						F			F	[50]
		眶锯雀鯛属 <i>Stegastes</i>	墨西哥眶锯雀鯛 <i>Stegastes acapulcoensis</i>					F	F		F	F	[57]
			黑眶锯雀鯛 <i>Stegastes nigricans</i>						F			F	[50]

注: F和L分别表示野外观察和实验室观察。DNA: 在鱼类肠道内容物中检测到的长棘海星DNA; G: 鱼类肠道内容物中已确认存在长棘海星遗传; M: 仅有长棘海星被咬住。

Identification of potential fish predators of the crown-of-thorns starfish from Xisha sea area

Zhang Ying¹, Yang Litong¹, Su Nan^{1,3}, Chen Huizhen^{1,4}, Gao Qian^{1,4}, Hu Jianxing¹, Zheng Fanyu¹,
Lai Fuxiang^{1,5}, Yuan Yunyu⁶, Fu Liang⁶, Chen Chang^{1,2}

(1. CAS Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Xisha Marine Environment National Observation and Research Station, Hainan, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Sansha 573199, China; 3. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510600, China; 6. Sansha Track Ocean Coral Reef Conservation Research Institute Co., Ltd., Sansha 573199, China)

Abstract: The crown-of-thorns starfish (CoTS) outbreak has caused severe damage to coral reefs in China and the Indo-Pacific region. Fish predators have been considered as an important factor in controlling the population outbreak, but there is a lack of research on the fish that can prey on crown-of-thorns starfish in China. By collecting coral reef fish from five outbreak areas of crown-of-thorns starfish in the Xisha Islands, CoTS DNA was detected in the intestinal contents of the reef fish using PCR technology, and which compared with reported CoTS larval predators. The results showed that a total of 62 fish belonging to 23 families, 36 genera and 50 species were captured in this survey. CoTS DNA was detected in the gut contents of four fish species, namely *Naso lituratus*, *Dascyllus reticulatus*, *Chelilinus trilobatus* and *Lethrinus erythropterus*. Among them, *N. lituratus*, *C. trilobatus* and *L. erythropterus* are reported for the first time as potential predators of CoTS. This study has identified the potential predators of CoTS for the first time in China, providing important references for the development of early prevention and control techniques for crown-of-thorns starfish.

Key words: crown-of-thorns starfish; coral reef fish; predators; intestinal contents; PCR detecting technology