

doi: 10.7541/2021.2020.045

三亚近海诺亚砗磲分布特征及底质对其外套膜颜色的影响

刘春胜^{1,2} 吴川良³ 李秀保^{1,2} 刘 闯² 王爱民^{1,2} 顾志峰^{1,2} 吕 布²

(1. 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室, 海口 570228; 2. 海南大学海洋学院, 海口 570228;
3. 三亚珊瑚礁生态研究所, 三亚 572000)

摘要: 文章调查了三亚近海蜈支洲岛 (主要受旅游扰动影响) 和三亚珊瑚礁国家级自然保护区 (包括亚龙湾、鹿回头半岛和东西瑁岛, 主要受非法捕捞影响) 的诺亚砗磲 (*Tridacna noae*) 分布、密度、种群结构及影响因素, 结果显示: (1) 亚龙湾和蜈支洲岛海域诺亚砗磲密度最高, 分别为 2.00×10^{-2} 和 1.92×10^{-2} ind./m², 显著高于东西瑁岛和鹿回头半岛海域 ($P < 0.05$)。蜈支洲岛诺亚砗磲群体主要分布于 2—4 m 水深, 亚龙湾群体主要分布于 6—8 m 水深; (2) 在蜈支洲岛海域, 壳长 < 5 cm、 $5—< 10$ cm、 $10—< 15$ cm 和 ≥ 15 cm 四种规格诺亚砗磲均有分布, 表明该海域种群结构稳定; (3) 诺亚砗磲主要分布于活珊瑚区, 其次为礁石区, 砂石区极少; (4) 诺亚砗磲外套膜 RGB 参数值与周边底质颜色均呈现显著地相关性 ($P < 0.05$), 其中蜈支洲岛群体 RGB 参数相关系数低于三亚珊瑚礁国家级自然保护区群体。综上所述, 与旅游扰动相比, 非法捕捞是影响砗磲种群结构和外套膜颜色的主要因素。研究可为砗磲保护策略制定提供参考。

关键词: 诺亚砗磲; 非法捕捞; 旅游扰动; 资源分布; 种群结构; 底质; 外套膜颜色

中图分类号: S932.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)03-0645-07



砗磲是海洋双壳贝类中个体最大的一类, 分布于从西太平洋到印度洋非洲东海岸的热带珊瑚礁海域, 全世界现存 12 个种, 分别隶属软体动物门双壳纲帘蛤目砗磲科的砗磲属 *Tridacnidae* (10 种) 和砗蚝属 *Hippopus* (2 种)^[1, 2]。目前, 我国已报道 8 种, 其中以诺亚砗磲 (*T. noae*)、番红砗磲 (*T. crocea*) 和长砗磲 (*T. maxima*) 等小型砗磲资源量较多^[3-5]。砗磲为珍稀水生动物, 《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES) 和《世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种红色名录》均将砗磲列为世界稀有海洋生物加以保护, 并实施国际贸易管制^[6, 7]。我国亦多次出台相关法规, 加强对砗磲资源保护。

截至目前, 气候变化、过度捕捞及栖息地破坏被认为是导致砗磲资源减少的主要原因^[2]。Van Wynsberge 等^[8]报道法属玻里尼西亚长砗磲资源受气候波动和过度捕捞影响; Ramah 等^[9]报道毛里求斯岛海洋禁渔区内外砗磲数量和种类组成差异明

显。自 20 世纪 90 年代, 我国海南岛周边及南海各岛礁砗磲资源量不断下降, 目前临高和文昌等部分海南岛周边海域砗磲已经绝迹, 而捕捞和旅游被认为影响近岸珊瑚礁生态系统的两个重要因素^[10-12]。为比较非法捕捞及旅游扰动对砗磲资源影响程度, 本研究以诺亚砗磲为实验对象, 开展三亚珊瑚礁国家级自然保护区 (以下简称珊瑚礁保护区, 主要受非法捕捞影响) 和旅游区蜈支洲岛 (主要受海上旅游活动影响) 的诺亚砗磲调查, 分析人类活动对其分布及其外套膜颜色影响, 以为砗磲保护策略的制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 站位及调查方法

2018 年 8 月至 2019 年 6 月, 在三亚周边海域选取 4 个区域 (蜈支洲岛、亚龙湾、鹿回头半岛和东西瑁岛) 共设置 33 个站位 (图 1 和表 1) 进行砗磲资源调查。

收稿日期: 2020-03-10; 修订日期: 2020-10-27

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2019153); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0900704); 海南省院士创新团队项目 (HD-YSZX-202011) 资助 [Supported by Key Research and Development Project of Hainan Province (ZDYF2019153); the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0900704); Academician Innovation Team of Hainan Province (HD-YSZX-202011)]

作者简介: 刘春胜 (1984—), 男, 博士研究生; 研究方向为无脊椎动物繁育。E-mail: lcs5113@163.com

通信作者: 顾志峰, 博士; 研究方向为贝类与养殖生态。E-mail: hnugu@163.com

蜈支洲岛为旅游景区, 周边海域有公司专门管理, 且岛上无原始居民, 几乎无偷捕乱采活动; 亚龙湾、鹿回头半岛和东西瑁岛属三亚珊瑚礁国家级自然保护区, 但经常有渔民在附近海域从事非法采捕活动。

每个调查站位分别在平潮线下2—4 m和6—8 m处设置1条调查断面, 每条断面布设1条长50 m, 宽1 m的样带, 样带断面与岸线平行方向布设。采用水下数码摄像机从样带的一端开始沿着断面线摄

像, 回到实验室后在电脑上进行判读, 以统计砗磲及底质状况。当调查过程中发现砗磲时, 采用水下照相机对其外套膜及周边底质进行拍照, 同时测量其壳长。

1.2 砗磲种类鉴定

通过形态学观测和分子学鉴定相结合的方法对砗磲种类进行鉴定。其中形态学参考Roa-Quiaoit^[13]和Su等^[14], 通过现场观察、拍照对比的方法鉴定。

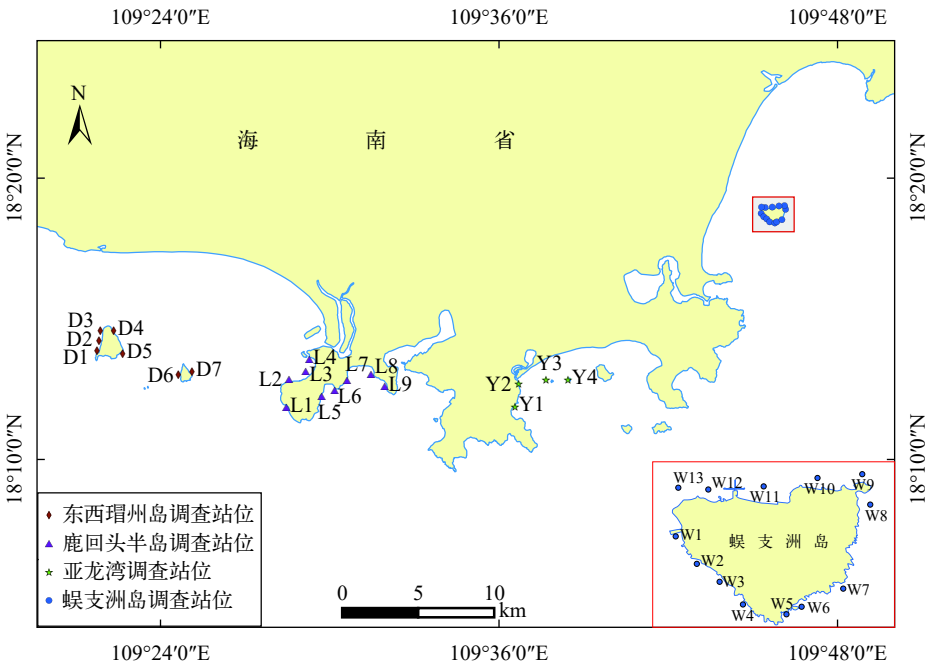


图1 三亚周边海域砗磲调查站位图

Fig. 1 Map of giant clam survey sites in coastal waters of Sanya

表1 调查站位经纬度

Tab. 1 Latitude and longitude of survey stations

调查海域Survey area	站位Station	经纬度Latitude and longitude	调查海域Survey area	站位Station	经纬度Latitude and longitude
蜈支洲岛Wuzhizhou Island	W1	109° 45.301 E, 18° 18.756 N	鹿回头半岛Luhuitou Peninsula	L1	109° 28.467 E, 18° 11.867 N
	W2	109° 45.394 E, 18° 18.635 N		L2	109° 28.561 E, 18° 12.849 N
	W3	109° 45.494 E, 18° 18.555 N		L3	109° 29.152 E, 18° 13.127 N
	W4	109° 45.597 E, 18° 18.456 N		L4	109° 29.284 E, 18° 13.572 N
	W5	109° 45.788 E, 18° 18.412 N		L5	109° 29.717 E, 18° 12.250 N
	W6	109° 45.855 E, 18° 18.445 N		L6	109° 30.169 E, 18° 12.450 N
	W7	109° 46.039 E, 18° 18.525 N		L7	109° 30.600 E, 18° 12.800 N
	W8	109° 46.158 E, 18° 18.896 N		L8	109° 31.467 E, 18° 13.033 N
	W9	109° 46.123 E, 18° 19.031 N		L9	109° 31.950 E, 18° 12.617 N
	W10	109° 45.926 E, 18° 19.014 N	东西瑁岛Dongmao-Ximao Island	D1	109° 21.743 E, 18° 13.861 N
	W11	109° 45.688 E, 18° 18.977 N		D2	109° 21.804 E, 18° 14.227 N
	W12	109° 45.444 E, 18° 18.963 N		D3	109° 21.861 E, 18° 14.593 N
	W13	109° 45.312 E, 18° 18.972 N		D4	109° 22.334 E, 18° 14.596 N
亚龙湾Yalong Bay	Y1	109° 36.563 E, 18° 11.872 N		D5	109° 22.645 E, 18° 13.766 N
	Y2	109° 36.691 E, 18° 12.675 N		D6	109° 24.620 E, 18° 13.031 N
	Y3	109° 37.667 E, 18° 12.817 N		D7	109° 25.111 E, 18° 13.122 N
	Y4	109° 38.450 E, 18° 12.833 N			

分子学鉴定以COI基因作为分类依据。具体如下: 现场剪取砗磲0.5—1 cm²外套膜组织, 用95%酒精固定后带回实验室。利用DNA提取试剂盒(天根海洋动物组织基因组DNA提取试剂盒)对样品进行基因组DNA提取, 再以2对砗磲线粒体COI基因特异性引物进行PCR扩增。所用2对引物序列为: (1)COI-F1: 5'-GGGTGATAATTCGAA CAGAA-3'和COI-R1: 5'-TAGTTAAAGCCCCAGCTA AA-3'^[15]; (2)COI-F2: 5'-GGTCAACAAATCATAAAG ATA-3'和COI-R2: 5'-TAAACTTCAGGGTGACCAA AA-3'^[14]。PCR反应体系为: 引物各1 μL, DNA模板2 μL, 2×PCRMaster Mix 12.5 μL。COI-F1/R1引物PCR反应程序为: 94℃预变性5min; 94℃变性40s, 43℃退火1min, 72℃延伸1min, 35个循环; 72℃延伸10min。COI-F2/R2引物PCR反应程序为: 94℃预变性5min; 94℃变性40s, 53℃退火1min, 72℃延伸1min, 35个循环; 72℃延伸10min。PCR产物切胶回收、纯化和测序。将测得序列提交至GenBank比对, 确认砗磲种类。

1.3 调查站位底质分析

通过计算机回放调查录像, 对各站位底质组成进行判读。各站位底质分为活珊瑚底质、礁石底质和砂质底质3种类型, 具体通过观察皮尺下珊瑚、礁石和砂质的累积长度统计各站位不同底质所占比例, 进而计算砗磲在不同底质分布比例。

1.4 诺亚砗磲外套膜及周边底质颜色参数获取

砗磲外套膜颜色与周边底质颜色相近性(保护色)是砗磲逃避敌害生物的重要途径之一, 本文对诺亚砗磲外套膜颜色与周边环境颜色采集及分析方法参考Todd等^[16], 具体如下:

砗磲图片采集时间为晴朗天气上午10:00至下午2:00阳光直射阶段, 用同一相机(佳能EOS 6D Mark II), 固定拍照模式拍摄砗磲及周边底质, 选取清晰图片进行后续分析。拍照时相机与底质面呈45°角, 距砗磲0.5 m, 拍照参数为M(快门速度)1/15,

F(光圈大小)5.0, ISO(感光度)200, 放大倍数1.9倍。

选取外套膜舒展的个体用以颜色相关性分析, 颜色数据采集方法如下: 用Photoshop软件截取待测砗磲外套膜及周边底质图片, 而后将待测量图片导入CSE-1成像色度检测分析系统, 砗磲和底质各随机选取5个点, 获得其RGB值(R、G和B分别对应三原色中的红色、绿色和蓝色, 数值范围均为0—255)。计算这5个点RGB值的平均值, 作为该砗磲的外套膜和底质颜色参数。

1.5 数据统计

实验结果用平均值±标准误(Means±SE)表示。不同站位间砗磲密度、底质组成相关实验数据采用One-way ANOVA进行单因素方差分析, 进行Turkey多重比较。对砗磲外套膜与周边底质颜色相关性分析采用一元直线回归及相关性统计方法进行。数据分析采用DPS统计学软件, 差异显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 不同海域诺亚砗磲分布及种群结构

经形态学和分子学鉴定, 本次调查共发现5个番红砗磲(位于亚龙湾Y₂和Y₃及蜈支洲岛S₃和S₁₂4个站位), 其余全部为诺亚砗磲, 因此本文仅针对诺亚砗磲开展相关分析。

如表2所示, 亚龙湾和蜈支洲岛海域诺亚砗磲密度最高, 分别为2.00和1.92×10⁻² ind./m², 显著高于东西瑁岛和鹿回头半岛海域($P<0.05$)。其中蜈支洲岛诺亚砗磲主要分布于2—4 m水深(密度为2.92×10⁻² ind./m²), 亚龙湾诺亚砗磲主要分布于6—8 m水深(密度为3.50×10⁻² ind./m²)。

砗磲为雌雄同体, 雄性先熟。根据诺亚砗磲生长发育规律, 将其分为4个阶段(壳长<5 cm性腺未发育; 5—<10 cm雄性为主; 10—<15 cm雌雄同体; ≥15 cm雌性为主), 并对各调查海域诺亚砗磲不同发育阶段比例进行统计(图2)。在蜈支洲岛海域,

表2 三亚不同海区诺亚砗磲密度

Tab. 2 Density of *T. noae* at different sea areas in Sanya

调查海域Survey sea area	站位数Number of site	诺亚砗磲密度Density of giant clams (×10 ⁻² ind./m ²)		
		2—4 m水深2—4 m depth	6—8 m水深6—8 m depth	平均密度Average
蜈支洲岛Wuzhizhou Island	13	2.92±0.26 ^a (19)	0.92±0.08 ^b (6)	1.92±0.16 ^a
亚龙湾Yalong Bay	4	0.50±0.25 ^b (1)	3.50±1.03 ^a (7)	2.00±0.58 ^a
鹿回头半岛Luhuitou Peninsula	9	0.22±0.07 ^b (1)	0.00±0.00 ^c (0)	0.11±0.04 ^c
东西瑁岛Dongmao-Ximao Island	7	0.57±0.13 ^b (2)	0.86±0.14 ^b (3)	0.71±0.11 ^b

注: 括号中数值为各调查海域相应水深诺亚砗磲数量; 各列不同上标字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Value in braces shows the *T. noae* number in each survey area at different depth; Means with different letters within a column are significantly different ($P<0.05$)

种群中4种发育阶段诺亚砗磲均有发现, 其中壳长<5 cm和5—10 cm个体占总数量的28%和36%, 高于大个体数量。亚龙湾海域未发现 ≥ 15 cm个体, 其壳长<10 cm的小规格比例亦高于大规格。东西瑁岛海域未发现<5 cm个体, 鹿回头半岛海域仅发现1个5—10 cm个体。

2.2 诺亚砗磲分布与底质类型关系

调查发现诺亚砗磲在珊瑚礁、礁石和砂石底质环境中均有分布(图3)。4个调查海域中蜈支洲岛珊瑚礁覆盖率最高(40.6%), 亚龙湾和东西瑁岛次之(24.94%—25.15%), 鹿回头半岛最低(19.34%, $P<0.05$)。蜈支洲岛礁石区所占比例最低(27.15%), 显著小于其他海域(54.21%—63.51%, $P<0.05$, 图4A)。对蜈支洲岛和珊瑚礁保护区不同底质诺亚砗磲分布密度比较发现, 诺亚砗磲主要分布于珊瑚覆盖区, 其次为礁石区, 砂石区极少(图4B)。

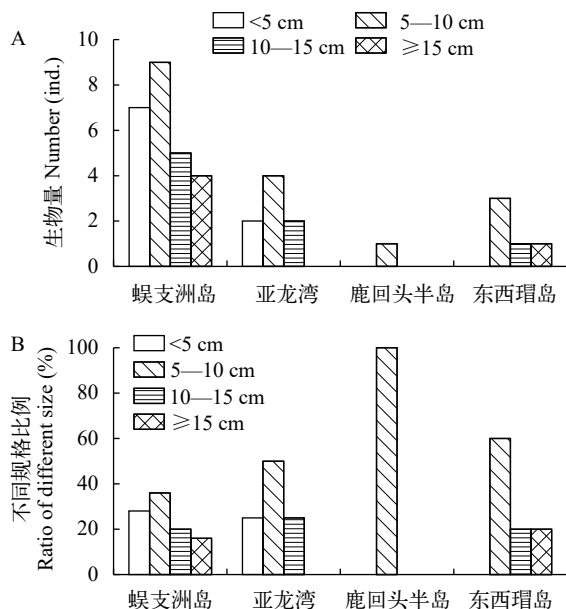


图2 三亚不同海域各发育阶段诺亚砗磲数量(A)及比例(B)

Fig. 2 The number (A) and ratio (B) of *T. noae* with different development stages in different sea areas



图3 诺亚砗磲及其底质环境

Fig. 3 *T. noae* in different substrates

A. 珊瑚底质; B. 礁石底质; C. 砂石底质 (标尺为2 cm)

A. Living coral reef; B. Rock; C. Sand (Bar=2 cm)

2.3 诺亚砗磲外套膜颜色与底质颜色关系

因现场调查拍照过程中, 部分诺亚砗磲个体外壳闭合或外套膜舒展不完全, 故蜈支洲岛海域选择19个个体, 珊瑚礁保护区选择9个个体进行颜色相关性分析(图5)。结果表明, 各海域诺亚砗磲外套膜RGB参数值与周边底质颜色均呈现显著地相关性($P<0.05$, 表3)。蜈支洲岛群体各RGB参数值相关系数均低于珊瑚礁保护区群体, 其中蜈支洲岛群体诺亚砗磲外套膜颜色与周边底质R、G和B值相关系数分别为0.740、0.759和0.799, 珊瑚礁保护区群体R、G和B值相关系数分别为0.824、0.828和0.922。此外, 不同诺亚砗磲群体蓝原色值B均高于绿原色值G和红原色值R。

3 讨论

3.1 非法捕捞及环境污染是影响砗磲种群结构的重要因素

对三亚周边海域砗磲调查显示, 诺亚砗磲为该海域主要砗磲种类, 该结果与崔丹等报道一致^[12]。据报道, 2006—2008年砗磲依然为西瑁岛优势种, 种类有长砗磲(应为诺亚砗磲)、鳞砗磲和番红砗磲^[10]。本次调查发现, 除亚龙湾外, 鹿回头半岛及东西瑁岛两个海域砗磲资源已十分稀少, 且种群结构亦不合理。与之相比, 蜈支洲岛周边海域诺亚砗磲密度为 1.92×10^{-2} ind./m², 种群结构稳定。相关研究表明, 尽管三亚周边海域无机氮和活性磷酸盐等关键水质指标呈现一定时空波动性, 但珊瑚礁保护区所在海域与蜈支洲岛海域差异不显著, 均属超I类水质, 因此环境因子不是导致不同调查海域砗磲种群差异的主要原因^[17, 18]。进一步分析发现, 鹿回头半岛及东西瑁岛海区周边有居民常驻, 同时因保护区人员有限, 时常有偷捕滥采现象发生; 而蜈支洲岛为无居民海岛, 加之经营公司监管严格, 极少发生偷捕滥采行为。此外, 珊瑚礁保护区海域禁止旅游开发, 与之相比蜈支洲岛为三亚著名景点,

其年接待游客量达200万人次以上^[19], 因此蜈支洲岛周边海域受旅游活动影响显著高于珊瑚礁保护区。据此, 作者推测非法捕捞是导致海南岛近岸海

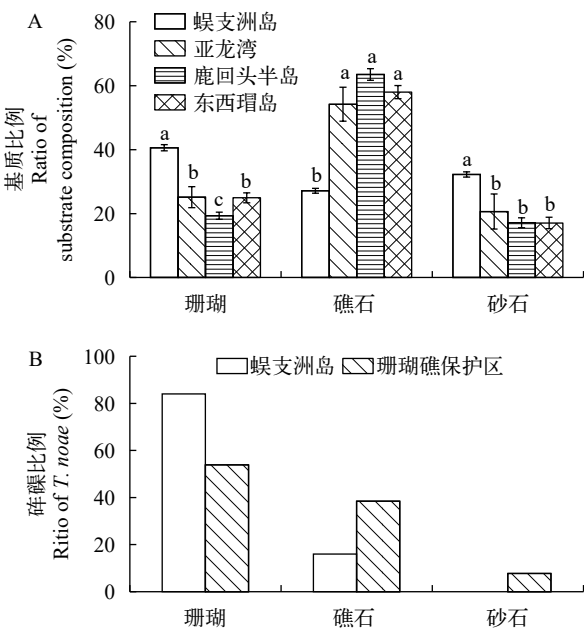


图4 不同海域底质组成(A)及诺亚砗磲分布比例(B)
Fig. 4 Substrate compositions (A) and ratio of *T. noae* at different substrates (B)

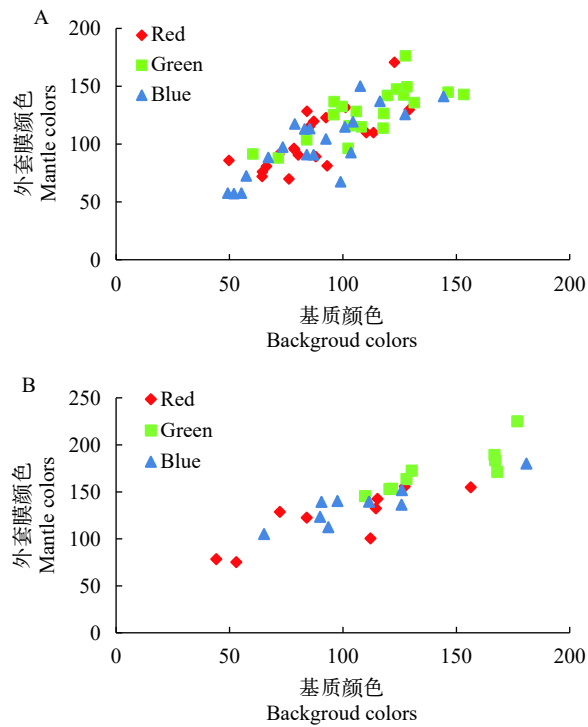


图5 诺亚砗磲外套膜与周边底质RGB颜色参数相关性
Fig. 5 The relationship between mean red, blue and green (RGB) values of *T. noae* clam mantles and their surrounding substrates

A. 蜈支洲岛诺亚砗磲群体; B. 珊瑚礁保护区诺亚砗磲群体
A. *T. noae* in Wuzhizhou Island; B. *T. noae* in Coral Reefs Reserve

表3 不同海域诺亚砗磲外套膜与周边底质颜色回归分析
Tab. 3 Regression analysis of *T. noae* clam mantles and their surrounding substrates at different sea areas

颜色参数Color parameter		F	P	回归方程Regression equation
R	WI	21.78	0.000	$R_{T1}=25.43834+0.5946\times R_{S1}$ ($R=0.740$)
	CRR	10.54	0.023	$R_{T2}=12.04066+0.6865\times R_{S2}$ ($R=0.824$)
G	WI	24.46	0.000	$G_{T1}=9.32969+0.7953\times G_{S1}$ ($R=0.759$)
	CRR	10.87	0.022	$G_{T2}=1.83679+0.8132\times G_{S2}$ ($R=0.828$)
B	WI	31.82	0.000	$B_{T1}=15.90375+0.7222\times B_{S1}$ ($R=0.799$)
	CRR	28.39	0.003	$B_{T2}=-79.39273+1.3629\times B_{S2}$ ($R=0.922$)

注: WI. 蜈支洲岛; CRR. 珊瑚礁保护区
Note: WI. Wuzhizhou Island; CRR. Coral Reefs Reserve

域砗磲资源减少的重要影响因素。Ramah等^[9]通过比较毛里求斯岛禁渔区与非禁渔区亦表明, 禁渔措施有助于砗磲资源恢复。

亚龙湾和蜈支洲岛海域诺亚砗磲密度无显著差异, 且两海域均为超 I 类水质, 透明度相差不大 (约为5—6 m), 然而亚龙湾海域诺亚砗磲主要分布于6—8 m水深, 蜈支洲岛海域则主要分布于2—4 m水深。砗磲共生虫黄藻是其能量来源的重要组成部分, 砗磲分布与光照强度密切相关^[7, 20]。诺亚砗磲与长砗磲类似, 主要分布于1—18 m水深, 浅水区更有利于其生长^[1, 21]。在无捕捞限制条件下, 分布于浅水水域的砗磲被捕捞几率应高于深水区。据此, 我们推测捕捞压力导致了亚龙湾诺亚砗磲分布水深变深。

3.2 捕捞引起砗磲外套膜颜色变化

保护色是生物对生态环境的适应, 具有隐蔽、拟态、警戒、吸引异性等重要作用^[22]。砗磲外套膜颜色多态性亦是其逃避敌害生物捕食的重要生活史策略^[7, 23, 24]。热带珊瑚礁生态系统极其复杂, 砗磲为适应周边复杂环境, 进化产生了外套膜颜色多态性程度更高的后代, 以保证种群延续^[16]。本研究对蜈支洲岛和珊瑚礁保护区诺亚砗磲外套膜颜色分析发现, 其颜色RGB参数值与周边底质颜色呈现显著的相关性($P<0.05$)。Todd等^[16]对帕劳番红砗磲外套膜颜色分析, 亦发现其与底质环境颜色呈现显著的相关性, RGB参数相关系数分别为0.641、0.540和0.528; 法属波利尼西亚长砗磲外套膜红色与蓝色原色亦得出相同结果^[23]。然而与之相比, 本研究中蜈支洲岛和珊瑚礁保护区诺亚砗磲外套膜颜色相关性系数更高, 且珊瑚礁保护区群体高于蜈支洲岛群体。一方面本研究砗磲样本较小, 可能造

成一定误差; 另一方面, 捕捞压力的差异性或许是导致该现象原因。砗磲为逃避敌害生物捕食, 其外套膜呈现出多态性^[16, 23, 24]。当外套膜颜色与周边底质颜色相近时, 砗磲被敌害生物捕食几率降低, 存活率增加。同理, 砗磲外套膜颜色与周边环境颜色相似度越高, 其被人类采捕几率就越小, 随着人类捕捞活动增强, 砗磲外套膜颜色与周边环境颜色相关性亦越高。

砗磲是现存最大的双壳贝类, 具有重要的生态和经济价值^[4, 25]。本次调查结果表明诺亚砗磲分布与珊瑚礁覆盖度密切相关; 诺亚砗磲数量与捕捞活动存在显著的负相关性, 鹿回头半岛和东西瑁岛等非法采捕活动频繁海域诺亚砗磲数量显著少于蜈支洲岛; 捕捞活动亦显著影响诺亚砗磲分布水深, 及其外套膜颜色与周边环境颜色的相关性。基于此, 在今后砗磲保护政策制定中, 应注意(1)加强珊瑚礁保护, 恢复砗磲栖息地; (2)加强宣传和执法力度, 杜绝非法捕捞砗磲行为; (3)开展砗磲增殖放流活动, 补充周边海域砗磲种群数量。

参考文献:

- [1] Othman A S B, Goh G H S, Todd P A. The distribution and status of giant clams (family Tridacnidae)-a short review [J]. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2010, **58**(1): 103-111.
- [2] Neo M L, Eckman W, Vicentuan K, *et al.* The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems [J]. *Biological Conservation*, 2015(181): 111-123.
- [3] Penny S S, Willan R C. Description of a new species of giant clam (*Bivalvia*: Tridacnidae) from Ningaloo Reef, Western Australia [J]. *Molluscan Research*, 2014, **34**(3): 201-211.
- [4] Liu C S, Li T Y, Liu E T, *et al.* Proximate composition, amino acid content, and fatty acid profile of the adductor muscle and mantle from two species of the giant clams *Tridacna crocea* and *Tridacna squamosa* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2019, **38**(3): 529-534.
- [5] Zhang Y, Zhou Z, Qin Y, *et al.* Phenotypic traits of two boring giant clam (*Tridacna crocea*) populations and their reciprocal hybrids in the South China Sea [J]. *Aquaculture*, 2020(S19): 734890.
- [6] Kinch J, Teitelbaum A. Proceedings of the regional workshop on the management of sustainable fisheries for giant clams (Tridacnidae) and CITES capacity building [C]. 4-7 August 2009, Nadi, Fiji. Secretariat of the Pacific Community, Coastal Fisheries Programme, Noumea, New Caledonia. 2010: 54.
- [7] Lucas J S. Giant clams [J]. *Current Biology*, 2014, **24**(5): 183-184.
- [8] Van Wynsberge S, Andréfouët S, Gaertner-Mazouni N, *et al.* Consequences of an uncertain mass mortality regime triggered by climate variability on giant clam population management in the Pacific Ocean [J]. *Theoretical Population Biology*, 2017(119): 37-47.
- [9] Ramah S, Taleb-Hossenkhan N, Todd P A, *et al.* Drastic decline in giant clams (*Bivalvia*: Tridacninae) around Mauritius island, western Indian Ocean: implications for conservation and management [J]. *Marine Biodiversity*, 2018(49): 815-823.
- [10] Li X M, Du Y, Lin Z X. Composition and quantity distribution of benthic mollusca of intertidal zone in Ximaoshou Island, Hainan [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, **38**(5): 2406-2408. [李晓梅, 杜宇, 林焯贤. 海南西瑁洲岛潮间带的底栖贝类组成与数量分布 [J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(5): 2406-2408.]
- [11] Li Y C, Han Y D, Chen S Q, *et al.* Damages of coral reef ecosystem by the giant clam excavation-a case study on North Reef of Xisha Islands [J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2015, **34**(4): 518-524. [李元超, 韩有定, 陈石泉, 等. 砗磲采挖对珊瑚礁生态系统的破坏-以西沙北礁为例 [J]. 应用海洋学学报, 2015, **34**(4): 518-524.]
- [12] Cui D, Wang H, Liu J, *et al.* The resources survey and conservation prospects of the giant clams in the coastal waters at Hainan Island [J]. *Marine Science Bulletin*, 2019, **38**(5): 527-532. [崔丹, 王辉, 刘君, 等. 海南岛沿岸海域砗磲资源调查及保护前景展望 [J]. 海洋通报, 2019, **38**(5): 527-532.]
- [13] Roa-Quiaoit H A F. The ecology and culture of giant clam (Tridacnae) in the Jordanian sector of the Gulf of Aqaba, Red Sea [D]. Bremen: Universität Bremen, 2005: 95-105.
- [14] Su Y, Hung J H, Kubo H, *et al.* *Tridacna noae* (Röding, 1798)-a valid giant clam species separated from *T. maxima* (Röding, 1798) by morphological and genetic data [J]. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2014(62): 124-135.
- [15] Kochzius M, Nuryanto A. Strong genetic population structure in the boring giant clam, *Tridacna crocea*, across the Indo-Malay Archipelago: implications related to evolutionary processes and connectivity [J]. *Molecular Ecology*, 2008(17): 3775-3787.
- [16] Todd P A, Lee J H, Chou L M. Polymorphism and crypsis in the boring giant clam (*Tridacna crocea*): potential strategies against visual predators [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **635**(1): 37-43.
- [17] Wu C L, Li C Q, Zhang W Y, *et al.* Diversity research of coral in Sanya Coral Reef National Nature Reserve [J]. *Journal of Tropical Biology*, 2019, **10**(1): 14-21. [吴川良, 李长青, 张文勇, 等. 三亚国家级珊瑚礁自然保护区珊瑚礁资源的多样性 [J]. 热带生物学报, 2019, **10**(1): 14-21.]
- [18] Huang J, Wang F, Zhao H, *et al.* Reef benthic composition and coral communities at the Wuzhizhou Island in the South China Sea: the impacts of anthropogenic distur-

- bance [J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2020(243): 106863.
- [19] Yan H H. Study on the evolution and evaluation of ecological environment in the marine ranching tourism area of Wuzhizhou Island, Sanya [D]. Haikou: Hainan University, 2017: 1-5. [颜慧慧. 三亚蜈支洲岛海洋牧场旅游区生态环境演变与评价研究 [D]. 海口: 海南大学, 2017: 1-5.]
- [20] Liu C S, Liu X X, Wang H, *et al.* Effects of light intensity and spectra on metabolism of ammonia, active phosphates, and oxygen consumption in *Tridacna crocea* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, **49**(2): 313-318. [刘春胜, 刘小霞, 汪浩, 等. 光照强度和光色对番红砗磲 (*Tridacna crocea*) 氨氮、活性磷酸盐及氧代谢的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2018, **49**(2): 313-318.]
- [21] Militz T A, Braley R D, Southgate P C. Captive hybridization of the giant clams *Tridacna maxima* (Röding, 1798) and *Tridacna noae* (Röding, 1798) [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2017, **36**(3): 585-591.
- [22] Helen N S, Sara A, Margareta W. Rapid color change in fish and amphibians-function, regulation, and emerging applications [J]. *Pigment Cell & Melanoma Research*, 2013, **26**(1): 29-38.
- [23] Ozog S T. Balancing anti-predation and energetic needs: color polymorphism in the giant clam *Tridacna maxima* [D]. Oakland: University of California, 2009: escholarship.org/uc/item/5t94w4gc.
- [24] Johnson G C, Karajah M T, Mayo K, *et al.* The bigger they are the better they taste: size predicts predation risk and anti-predator behavior in giant clams [J]. *Journal of Zoology*, 2017, **301**(2): 102-107.
- [25] Liu C, Li X, Wu C, *et al.* Effects of three light intensities on the survival, growth performance and biochemical composition of two size giant clams *Tridacna crocea* in the Southern China Sea [J]. *Aquaculture*, 2020(528): 735548.

DISTRIBUTION AND THE INFLUENCE OF SUBSTRATE ON ITS MANTLE COLOR OF GIANT CLAM *TRIDACNA NOAE* IN COASTAL WATERS OF SANYA

LIU Chun-Sheng^{1,2}, WU Chuan-Liang³, LI Xiu-Bao^{1,2}, LIU Chuang², WANG Ai-Min^{1,2}, GU Zhi-Feng^{1,2} and LÜ Bu²

(1. State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. The Ocean College, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Ecologic Sanya Institute of Coral Reef Ecosystem, Sanya 572000, China)

Abstract: Giant clam is one of the most important bivalves, and performs a significant ecological role in maintaining the balance of coral reef ecosystem. In China, giant clams are distributed in the Penghu Islands and south of Hainan in the South China Sea. Since the 1990s, the giant clam population surrounding Hainan Island has been greatly reduced, of which fishing and marine tourism are considered as the two main factors. In order to evaluate the influence of illegal fishing and marine tourism on giant clam population, this paper studied the distribution, density and population structure, as well as their influence factors, of *Tridacna noae* at Wuzhizhou Island (WI) (mainly affected by marine tourism) and Sanya Coral Reef National Nature Reserve [including Yalong Bay (YB), Luhuitou Peninsula (LP) and Dongmao-Ximao Island (DXI)], which are mainly affected by illegal fishing in coastal waters of Sanya. Our study showed that (1) the densities of *T. noae* in YB and WI were 2.00×10^{-2} and 1.92×10^{-2} ind./m², respectively, which was significantly higher than that in LP and DXI ($P < 0.05$); Moreover, the depth of *T. noae* distribution in WI was mainly 2—4 m below mean sea level, while the depth of *T. noae* distribution in YB was 6—8 m below mean sea level. (2) Four sizes of *T. noae* (shell length of <5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm, and >15 cm) were found in WI, indicating that its population structure in this sea area was reasonable. (3) The favorite substrate of *T. noae* was the living coral reef, followed by the rock, then the sand. (4) There was a significant correlation in RGB values between *T. noae* mantle and background colors ($P < 0.05$), and a stronger correlation was observed in Sanya National Coral Reefs Reserve group. In summary, illegal fishing significantly affected the distribution and mantle color of *T. noae*, compared to marine tourism. This result will help the giant clam conservation.

Key words: *Tridacna noae*; Illegal fishing; Marine tourism; Resource distribution; Population structure; Substrate; Mantle color