



## 两种蟹对不同规格杂色角孔海胆苗种的捕食

涂游凯, 洪泽森, 吴 鸿, 于宗赫\*

(华南农业大学海洋学院, 广东 广州 510642)

**摘要:** 杂色角孔海胆是我国南海一种具有较高生态价值和经济价值的海胆, 蟹类的捕食是影响其资源量的重要因素, 但目前关于蟹类对海胆苗种的捕食效应及影响因素仍不明确。本研究在实验室条件下模拟研究了日本蟳和钝齿短桨蟹对两种规格 [大规格壳径 (36.50±4.11) mm, 小规格壳径 (22.33±1.97) mm] 杂色角孔海胆苗种的捕食效应; 通过在海区现场开展蟹类的诱捕实验, 来进一步验证室内实验结果。结果显示, 海胆的规格和捕食时长是影响蟹类捕食强度的重要因素, 同时蟹的种类也会影响实验结果, 日本蟳在 0~24 h 和 24~48 h 内对小规格海胆的捕食强度基本保持稳定, 分别为 (3.75±1.09) 和 (3.75±1.30) 只/d, 高于其对大规格海胆的捕食强度; 该蟹对大规格海胆的捕食强度则随时间延长而降低, 在 0~24 h 和 24~48 h 分别为 (0.50±0.86) 和 (0.25±0.50) 只/d。钝齿短桨蟹在 0~24 h 内对小规格海胆的捕食强度 [(4.25±3.27) 只/d] 高于其对大规格海胆的捕食强度, 且捕食强度随着时间延长而下降, 在 24~48 h 内降低为 (2.00±1.58) 只/d。现场诱捕实验结果显示, 以杂色角孔海胆苗种为诱饵的诱捕笼对日本蟳的平均捕获率可达 (2.40±0.89) 只/(笼·d), 表明杂色角孔海胆对日本蟳具有较强的吸引力。综上, 蟹类是杂色角孔海胆的主要威胁因素, 在开展增殖放流时应采用大规格的海胆苗种, 并在放流之前对海区的蟹类等敌害予以清除, 以提高放流的效果。

**关键词:** 杂色角孔海胆; 日本蟳; 钝齿短桨蟹; 捕食选择性

**中图分类号:** S 968.9

**文献标志码:** A

杂色角孔海胆 (*Salmacis sphaeroides*) 隶属于棘皮动物门 (Echinopermata) 海胆纲 (Echinoidea) 拱齿目 (Camarodonta) 刻肋海胆科 (Temnopleuridae) 角孔海胆属 (*Salmacis*), 分布广泛, 北至我国福建、广东, 南至大洋洲的所罗门群岛、澳大利亚等地的西太平洋沿海, 是一种具有较高生态价值和经济价值的可食用海胆<sup>[1-3]</sup>。近年来, 由于环境污染、过度捕捞以及气候变化等因素的影响, 自然海域海胆资源量日益下降, 对海胆进行人工繁育和增殖放流是补充和恢复其自然资源的有效方法<sup>[4-6]</sup>。

目前国内外有关学者已经对杂色角孔海胆开展了人工繁育与增养殖相关的研究<sup>[1,7]</sup>。

一般而言, 敌害捕食是影响海洋生物增殖放流效果的主要因素<sup>[8]</sup>, 在自然海域, 海胆的捕食者主要有海獭 (*Enhydra lutris*)、海星 (Asteroidea)、鱼类以及蟹类等<sup>[9]</sup>, 其中蟹类对海胆的捕食现象普遍存在, 且危害较大。如在大西洋东岸的美国缅因州北方黄道蟹 (*Cancer borealis*) 的捕食连续两年导致放流的 5 万余只北方球海胆 (*Strongylocentrotus droebachiensis*) 苗种全军覆没<sup>[10]</sup>。在太平

收稿日期: 2022-11-05 修回日期: 2023-02-15

资助项目: 国家重点研发计划 (2022YFD2401303, 2019YFD0900800); 华南农业大学交叉创新团队项目

第一作者: 涂游凯 (照片), 从事海水养殖生态学研究, E-mail: youkait@163.com

通信作者: 于宗赫, 从事海水增养殖生态学研究, E-mail: yuzh@scau.edu.cn



洋南部的新西兰北岛日本蟳 (*Charybdis japonica*) 对普通心形海胆 (*Echinocardium cordatum*) 的捕食对当地生态系统造成了严重破坏<sup>[11]</sup>。我国也有三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)、锈斑蟳 (*Charybdis feriata*) 和红星梭子蟹 (*P. sanguinolentus*) 对海胆捕食的报道<sup>[12-14]</sup>。

2021年夏季, 我们尝试在广东省大亚湾海域进行杂色角孔海胆的增殖放流, 发现蟹类的捕食对放流的海胆苗种危害极大, 而目前关于蟹类对该海胆的捕食强度和关键影响因素仍不明确。本研究在室内条件下研究了我国南海广泛分布的日本蟳和钝齿短桨蟹 (*Thalamita crenata*) 对不同规格杂色角孔海胆苗种的捕食情况, 并在海区现场进行了蟹类的诱捕实验, 进一步验证室内实验结果, 相关研究结果可为我国热带海胆的增殖放流提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验所用杂色角孔海胆苗种来自于人工繁育, 在广东大亚湾海域的网箱中养至一定规格后, 采集 400 余只个体在中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站的室内养殖桶内暂养 2 d, 密度约为 200 只/m<sup>3</sup>, 暂养期间持续充气但不投饵, 每天换水 1/2 并虹吸清除粪便。暂养结束后, 挑选健康个体用于实验, 并按壳径分为大 [壳径 (36.50±4.11) mm]、小 [壳径 (22.33±1.97) mm] 两种规格。

实验所用日本蟳头胸甲宽度 (63.80±2.71) mm、钝齿短桨蟹头胸甲宽度 (65.00±6.00) mm, 均采捕自大亚湾海域, 分别单独暂养于 130 L 的黑色玻璃钢桶 (Ø=64 cm, H=40 cm) 中 2 d 以适应环境, 暂养期间不进行投喂, 保持微量充气, 每天换水 1/2。挑选无损伤且活力良好的雄性个体用于实验。

本研究所涉及的动物实验均获得了华南农业大学实验动物伦理委员会批准 (编号: 2021G023)。在实验过程中, 操作人员严格遵守《广东省实验动物管理条例》的伦理规范, 并按照华南农业大学实验动物伦理委员会制定的规章制度执行。

### 1.2 实验方法

本研究分为室内模拟实验和海区现场诱捕实验两部分, 分别于 2021 年 8 月 18 日和 8 月 20 日在实验站室内和附近海域的岩礁区 (22°32'26.18" N, 114°32'49.05" E) 进行。实验期间利用 YSI 556

测定海水水温、盐度、pH 以及溶解氧。

**室内模拟实验** 室内模拟实验利用黑色玻璃钢桶 (同上) 完成。将 5 只大规格的杂色角孔海胆苗种随机布置于桶内, 并随机布设 1 只日本蟳/钝齿短桨蟹; 对小规格角孔海胆苗种的实验方法同上; 另设只有 5 只海胆的桶作为对照。各处理组均设置 4 个重复。捕食实验共持续 48 h, 因蟹类一般有夜间觅食的习性, 模拟实验正式开始于晚 6 点; 实验开始后每隔 6~8 h 观察 1 次, 记录被捕食海胆的数量并及时进行补充, 每 24 小时统计 1 次捕食率。

实验所用海水取自实验站附近海域, 经多层砂滤后使用。实验期间桶内水面光照强度 < 500 lx, 水温为 (30.43±0.23) °C, 盐度为 (32.43±0.25), pH 为 (8.33±0), 保持微量充气, 使溶解氧处于饱和状态。

**现场诱捕实验** 现场诱捕实验利用诱捕笼完成。诱捕笼 (Ø=50 cm, H=18 cm) 为普通市售捕蟹笼, 网眼直径为 1 cm, 设 3 个入口 (图 1-a)。现场实验所用诱捕笼共 12 只, 其中实验组 6 只, 每只诱捕笼中放置大、小规格海胆 (同上) 各 5 只。对照组 I: 3 只诱捕笼放入海胆后封闭入口, 用于评估海胆的自然死亡情况。对照组 II: 3 只空白诱捕笼, 用于评估笼具自身对蟹类的诱捕作用。潜水将诱捕笼随机投放于水深为 2.5 m 的岩礁区, 笼间隔约 0.5 m (图 1-b), 放置 24 h 后取回并检查笼内情况。



图 1 现场实验所用诱捕笼

(a) 投放前, (b) 投放后; 箭头指示诱捕网笼内的海胆。

### Fig. 1 Trapping cages for the field experiment

(a) before deployment, (b) after deployment; arrows indicate sea urchins in the trapping cage.

实验期间海区水温为 (30.71±0.38) °C, 盐度为 32.81±0.02, pH 为 8.33±0.14, 溶解氧为 (6.61±0.61) mg/L。

### 1.3 数据处理

实验数据以平均值±标准差 (mean±SD) 表示。

利用 SPSS 19.0 软件进行数据分析, 采用双因素方差分析 (Two-Way ANOVA) 检验室内实验中海胆规格、时间以及两者的交互作用对蟹类捕食强度的影响。采用 GraphPad Prism 9.0 软件作图。

捕食强度 ( $F$ , 只/d) 计算公式:

$$F = (D - C) / t$$

式中,  $D$  为实验组捕食者对特定规格海胆的捕食数量 (只),  $C$  为对照组特定规格海胆的损失数量 (只),  $t$  为实验持续时间 (d)。

## 2 结果

### 2.1 室内模拟实验

实验结果显示, 日本蟳和钝齿短桨蟹对两种规格的杂色角孔海胆表现出较强的捕食作用, 其捕食方式相同, 均为直接夹碎海胆外壳进食, 未

发现其他捕食方式。两种蟹对海胆的捕食强度与捕食时间、海胆规格相关。其中, 日本蟳对小规格海胆的捕食强度在实验期间变化不大, 在 0~24 h 内日本蟳对小规格海胆的捕食强度为  $(3.75 \pm 1.09)$  只/d, 在 24~48 h 内捕食强度并未下降  $(3.75 \pm 1.30)$  只/d; 而其对大规格海胆的捕食强度低于对小规格海胆的捕食强度, 且随时间显著降低, 在 0~24 h 内捕食强度为  $(0.50 \pm 0.86)$  只/d, 而在 24~48 h 内捕食强度下降至  $(0.25 \pm 0.50)$  只/d (图 2-a)。钝齿短桨蟹在 0~24 h 内对小规格海胆的捕食强度为  $(4.25 \pm 3.27)$  只/d, 高于日本蟳的捕食强度; 在 24~48 h 内, 其对小规格海胆的捕食强度下降为  $(2.00 \pm 1.58)$  只/d, 低于同期日本蟳的捕食强度。对于大规格海胆, 在 0~24 h 内钝齿短桨蟹并未捕食海胆, 在 24~48 h 内发生了捕食行为, 但是捕食强度较低, 仅为  $(0.25 \pm 0.43)$  只/d (图 2-b)。

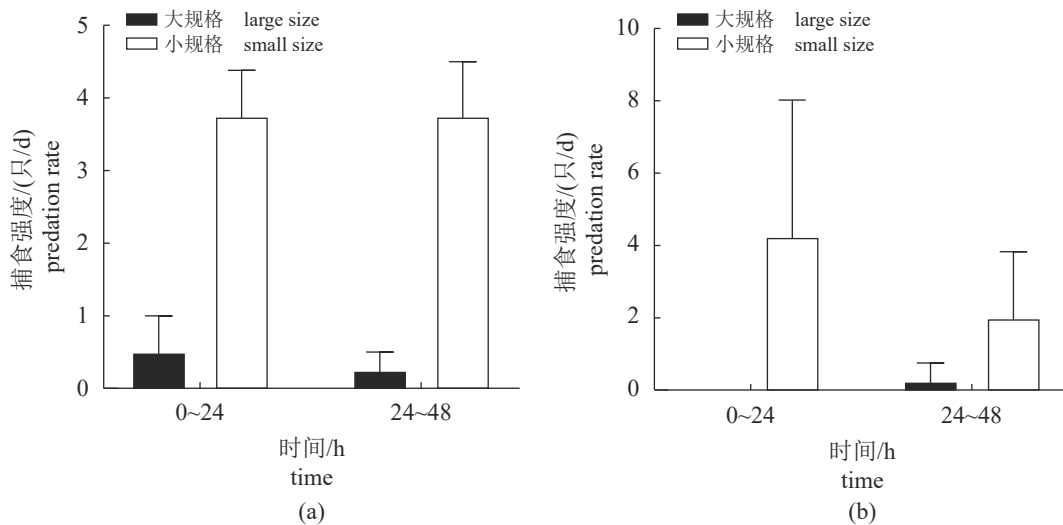


图 2 日本蟳(a)和钝齿短桨蟹(b)对两种规格杂色角孔海胆的捕食强度

Fig. 2 Temporal variation in predation rates of *C. japonica* (a) and *T. crenata* (b) on juvenile *S. sphaeroides* of different sizes

双因素方差分析结果表明, 海胆规格对日本蟳和钝齿短桨蟹的捕食强度均存在显著影响 (表 1) ( $P < 0.001$  和  $P = 0.015$ ), 而时间以及海胆规格与时间的交互作用对捕食强度影响不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 现场诱捕实验

现场诱捕实验中, 实验组所有诱捕笼均成功捕获蟹类 (表 2), 每笼捕获的日本蟳数量为 2~4 只, 平均捕获率达  $(2.40 \pm 0.89)$  只/(笼·d)。其中, 5 只诱捕笼共捕获 12 只日本蟳, 10 只为雄性, 2 只为雌性; 平均头胸甲宽度为  $(49.25 \pm 12.02)$  mm。另

有 1 只诱捕笼捕获 1 只雌性正直爱洁蟹 (*Atergatis integerrimus*), 其头胸甲宽度为 89.00 mm。实验组 6 只诱捕笼共损失大规格海胆 4 只, 小规格海胆 5 只。其中, 5 号笼损失的海胆数量最多, 该笼日本蟳共捕食 4 只海胆 (3 大, 1 小)。2 号笼捕获的正直爱洁蟹共捕食大规格海胆 1 只和小规格海胆 2 只。3、4 号笼日本蟳均只捕食 1 只小规格海胆; 而 1 号笼海胆未有损失。此外, 部分诱捕笼中的大规格海胆出现了受伤的现象 (部分体壁的棘刺脱落), 但是外壳并未破碎 (图 3-b)。对照组 I 诱捕笼内所有的海胆全部存活, 对照组 II 中所

表 1 两种蟹捕食强度的双因素方差分析结果

Tab. 1 Two-Way ANOVA on the predation rate of two species of crabs on *S. sphaeroides*

变异来源 source of variations	日本蛄 <i>C. japonica</i>				钝齿短桨蟹 <i>T. crenata</i>			
	自由度 df	均方 Ms	<i>F</i>	<i>P</i>	自由度 df	均方 Ms	<i>F</i>	<i>P</i>
海胆规格 sea urchin size	1	45.563	35.852	0.000	1	36.000	8.075	0.015
时间 time	1	0.063	0.049	0.828	1	4.000	0.897	0.362
海胆规格×时间 sea urchin size × time	1	0.063	0.049	0.828	1	6.250	1.402	0.259
误差 residual	12	1.271			12	4.458		
总计 total	16				16			

表 2 诱捕笼所捕获的蟹类种类、数量及其对杂色角孔海胆苗种的捕食情况

Tab. 2 Species and amount of crabs in the trapping cages and their predation on juvenile sea urchin *S. sphaeroides*

实验组 group	诱捕笼 trapping cages					
	1	2	3	4	5	6
性别 gender	1♂/1♀	1♀*	2♂	3♂/1♀	2♂	2♂
头胸甲宽度/mm carapace width	45/57	89	34、25	55、56、65/58	59、36	48、53
平均头胸甲宽度/mm average carapace width			49.25 ± 12.02**			
捕食海胆数量(大/小)/只 amount of predation (large/small)	0/0	1/2	0/1	0/1	3/1	0/1

注: \*为正直爱洁蟹, 其余均为日本蛄; \*\*平均头胸甲宽度仅统计日本蛄。

Notes: \* represents *A. integerrimus*, and the rest are *C. japonica*; \*\* only for the average carapace width of *C. japonica*.

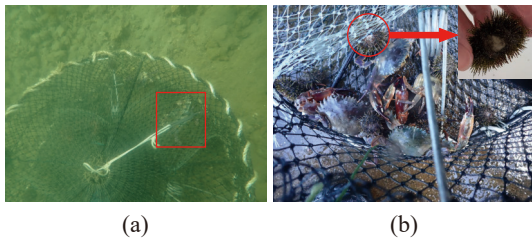


图 3 现场实验捕获的日本蛄

(a) 海底的诱捕笼及捕获的日本蛄, (b) 捕获的日本蛄及受伤的海胆。红框表示诱捕到的日本蛄, 箭头指示受伤的海胆。

Fig. 3 Trapped crab *C. japonica* in the field experiment

(a) the *C. japonica* inside the trapping cage on the seabed, (b) the trapped *C. japonica* and the wounded *S. sphaeroides*. Red box indicates the trapped *C. japonica*, arrow indicates the wounded *S. sphaeroides*.

有的诱捕笼均未捕获到蟹类。

总体而言, 杂色角孔海胆苗种对蟹类具有很强的吸引力, 而海胆损失/受伤直接证明了现场条件下蟹类对海胆苗种存在捕食行为。

### 3 讨论

以往的研究报道日本蛄对光棘球海胆 (*Meso-centrotus nudus*) 和普通心形海胆均具有很强的捕食作用<sup>[11,15-16]</sup>, 而其对杂色角孔海胆的捕食情况,

以及钝齿短桨蟹是否会捕食海胆目前尚无报道。本研究的结果显示, 日本蛄、钝齿短桨蟹及正直爱洁蟹均会捕食杂色角孔海胆, 海胆规格和暴露时间是影响捕食强度的关键因素, 同时蟹的种类也会影响实验结果。

本研究发现, 日本蛄和钝齿短桨蟹对海胆的捕食方式均为直接夹碎外壳捕食, 这与彭子睿等<sup>[17]</sup>观察的日本蛄捕食光棘球海胆的策略一致。海胆的棘刺长度, 管足吸附力的强弱等会影响蟹类的捕食方式<sup>[18]</sup>。杂色角孔海胆棘刺短而细小, 防护能力较差, 这可能是其易被蟹类直接夹碎外壳捕食的原因之一。

室内实验结果表明, 日本蛄和钝齿短桨蟹的捕食强度均受海胆规格影响显著(表 1)。其中, 日本蛄对小规格杂色角孔海胆具有较高的捕食强度, 并且捕食强度并未随着时间延长而下降。这一方面表明小规格海胆容易被日本蛄所捕食, 另一方面表明实验期间日本蛄所捕食的小规格海胆未满足其能量需求; 日本蛄对大规格海胆的捕食强度较低, 并且捕食强度随时间延长而下降, 这一方面表明大规格海胆难以被日本蛄所捕食, 另一方面可能是日本蛄捕食少量的大规格海胆即可以较

好地满足其能量需求。相较于日本蟳, 钝齿短桨蟹在 0~24 h 内对小规格海胆表现出更高的捕食强度, 而对大规格海胆的捕食强度则较低, 这表明该蟹比日本蟳更适应捕食小规格海胆, 而大规格海胆壳径可能已经超出了其螯足的处理范围; 钝齿短桨蟹对小规格海胆的捕食强度随着时间延长而下降, 这可能是由于前期的捕食已经基本满足了其对能量的需求所致。

蟹类的捕食包括搜寻猎物、捕获猎物和处理进食等环节<sup>[19]</sup>, 这些环节会受到能量收支、自身特性以及周围环境等因素的影响<sup>[20]</sup>, 其中, 净能量收益最大化被广泛地认为是蟹类捕食的主要驱动因素<sup>[21]</sup>。研究表明, 蟹类的捕食策略是其与贝类等具壳动物长期协同进化中形成的<sup>[22]</sup>, 蟹类对海胆捕食强度的差异也可以在其对贝类的捕食策略中寻到解释: 蟹类成功捕食大规格贝类虽然会获得更高的能量收益, 但是由于大规格贝类外壳更为坚硬, 蟹类处理猎物过程中将消耗更多的体力, 同时需要采用诸如削边、开壳等技术动作从而增加捕食时间, 这不仅会导致捕食失败, 还会增加猎物被窃取的风险, 因此蟹类选择大规格贝类捕食时能量收益较低<sup>[23-24]</sup>; 而选择更容易处理的小规格贝类捕食不仅节省了体力和时间, 捕食失败风险也得以下降, 最终获得的能量收益反而更高, 因此蟹类更倾向于捕食小规格的猎物<sup>[25]</sup>。同时, 由于贝类和海胆等具有坚硬的石灰质外壳, 会对蟹类的螯足和附肢等造成磨损<sup>[23, 26]</sup>, 降低蟹类对外界环境的适应能力, 为减少受伤风险蟹类在捕食策略上也会更倾向于选择小规格猎物<sup>[27]</sup>。此外, 蟹类的捕食策略还与栖息地环境相关, 本研究中的日本蟳和钝齿短桨蟹均为潮间带蟹类, 其捕食行为受潮汐影响严重——它们需要在短时间内尽可能获取更多的食物, 以减少其在捕食上花费的能量和时间, 因此会主动选择捕食远小于临界规格的猎物<sup>[22]</sup>。本研究中, 蟹类对海胆苗种捕食过程中并未使用翻转猎物、穿孔捕食、口器和肛门突破等技术动作, 并且捕食强度有随时间延长而下降的趋势, 因此, 实验推测海胆苗种壳体的应力强度远低于这两种蟹类蟹钳处理能力的阈值, 蟹类所表现出来的捕食策略可能主要受能量收益的影响。

在海区诱捕实验中, 6 只实验笼均成功诱捕到蟹类, 而对照组 II 却未有捕获, 这表明了杂色角孔海胆苗种对蟹类具有很强的吸引力, 也证明

了大亚湾海域蟹类资源丰富。现场实验中日本蟳对海胆的捕食强度远小于室内实验, 造成该差异的原因: 首先, 诱捕笼的阻隔会妨碍日本蟳搜寻和处理猎物, 因此它们实际花费在捕食上的时间要远低于室内实验; 其次, 现场实验所捕获的日本蟳规格较小, 其捕食能力相对较弱; 最后, 现场实验每只诱捕笼均捕获 2 只及以上的日本蟳, 而同类间对食物和空间的竞争会额外消耗能量和时间, 这也会大大降低其对海胆的捕食效率——如三疣梭子蟹在捕食菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 时, 蟹的密度与捕食强度呈负相关<sup>[28]</sup>。反观室内实验, 日本蟳为人工挑选的大规格个体, 并且事先经过饥饿处理, 而饥饿状态会显著提升蟹类的捕食强度<sup>[29]</sup>; 此外, 实验开始后将海胆直接投放到实验桶内, 日本蟳无需搜寻即可直接捕食, 并且日本蟳单独放置不存在竞争, 因此其对海胆表现出较高的捕食强度。另外, 环境因子也能影响到蟹类的捕食行为<sup>[30]</sup>, 本研究中室内和现场实验水温、盐度和 pH 等环境指标基本一致, 因此这不是造成两者差异的主要原因。研究表明海流会影响蟹类对猎物的定位能力<sup>[31]</sup>, 海区现场较强的海流可能会对日本蟳的捕食造成负面影响。在现场诱捕实验中未发现钝齿短桨蟹, 这应该与诱捕笼的投放位置有关——一般来说钝齿短桨蟹多栖息于潮间带的浅水区<sup>[32]</sup>, 而本研究中诱捕笼投放于离岸较远的深水区, 因此无法捕获该蟹。自然状态下钝齿短桨蟹对海胆的捕食行为有待进行进一步研究。

日本蟳、钝齿短桨蟹等蟹类广泛分布于我国东南沿海<sup>[33]</sup>, 它们的栖息空间与杂色角孔海胆等热带海胆高度重合。本研究发现这两种蟹对杂色角孔海胆均具有较强的捕食作用。因此, 在对热带海胆进行人工养殖或者底播增殖放流过程中必须高度重视蟹类的捕食作用。建议在海胆放流之前要尽可能地将海区的蟹类等敌害予以清除, 同时挑选大规格的苗种进行放流, 另外还可以通过投放“牺牲诱饵”(如贻贝<sup>[34]</sup>) 来转移蟹类的注意力以减少海胆苗种的损失。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] Rahman M A, Yusoff F M, Arshad A, et al. Embryonic, larval, and early juvenile development of the tropical sea

- urchin, *Salmacis sphaeroides* (Echinodermata: Echinoidea)[J]. *The Scientific World Journal*, 2012, 2012: 938482.
- [ 2 ] Chen G Q, Xiang W Z, Lau C C, *et al.* A comparative analysis of lipid and carotenoid composition of the gonads of *Anthocardaris crassispina*, *Diadema setosum* and *Salmacis sphaeroides*[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(4): 973-977.
- [ 3 ] Barrett G A, Revell D, Harding L, *et al.* Tool use by four species of indo-pacific sea urchins[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2019, 7(3): 69.
- [ 4 ] Couvray S, Miard T, Bunet R, *et al.* Experimental release of juvenile sea urchins (*Paracentrotus lividus*) in exploited sites along the French Mediterranean coast[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2015, 34(2): 555-563.
- [ 5 ] Cano I, Sellares-Blasco R I, Lefcheck J S, *et al.* Effects of herbivory by the urchin *Diadema antillarum* on early restoration success of the coral *Acropora cervicornis* in the central Caribbean[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2021, 539: 151541.
- [ 6 ] Azra M N, Okomoda V T, Ikhwanuddin M. Breeding technology as a tool for sustainable aquaculture production and ecosystem services[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 679529.
- [ 7 ] Rahman A, Yusoff F M, Arshad A, *et al.* Growth and survival of the tropical sea urchin, *Salmacis sphaeroides* fed with different macroalgae in captive rearing condition[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2016, 37(4): 855-862.
- [ 8 ] 罗刚, 庄平, 赵峰, 等. 我国水生生物增殖放流物种选择发展现状、存在问题及对策 [J]. *海洋渔业*, 2016, 38(5): 551-560.
- Luo G, Zhuang P, Zhao F, *et al.* Development status, existing issues and countermeasure in the selection of suitable species for stock enhancement[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(5): 551-560 (in Chinese).
- [ 9 ] Bonaviri C, Vega Fernández T, Badalamenti F, *et al.* Fish versus starfish predation in controlling sea urchin populations in Mediterranean rocky shores[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 382: 129-138.
- [10] Steneck R S, Leland A, McNaught D C, *et al.* Ecosystem flips, locks, and feedbacks: the lasting effects of fisheries on Maine's kelp forest ecosystem[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2013, 89(1): 31-55.
- [11] Townsend M, Lohrer A M, Rodil I F, *et al.* The targeting of large-sized benthic macrofauna by an invasive portunid predator: evidence from a caging study[J]. *Biological Invasions*, 2015, 17(1): 231-244.
- [12] 聂永康, 陈丕茂, 周艳波, 等. 南方紫海胆增殖放流对虾类和蟹类行为的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(21): 7-11.
- Nie Y K, Chen P M, Zhou Y B, *et al.* Effects of *Anthocardaris crassispina* enhancement on the behavior of shrimps and crabs[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(21): 7-11 (in Chinese).
- [13] 黄美珍. 福建海区拥剑梭子蟹、红星梭子蟹和锈斑蟊的食性与营养级研究 [J]. *台湾海峡*, 2004, 23(2): 159-166.
- Huang M Z. Study on feeding habit and nutrient level of *Portunus argentatus*, *P. sanguinolentus* and *Charybdis feriatu* in Fujian sea area[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 23(2): 159-166 (in Chinese).
- [14] 姜卫民, 孟田湘, 陈瑞盛, 等. 渤海日本鲟和三疣梭子蟹食性的研究 [J]. *海洋水产研究*, 1998, 19(1): 53-59.
- Jiang W M, Meng T X, Chen R S, *et al.* Diet of *Charybdis japonica* (A. Miline-Dewards) and *Portunus trituberculatus* (Miers) in the Bohai sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 53-59 (in Chinese).
- [15] 郑定发. 温度和捕食者对不同规格海胆存活、行为和生长的影响 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2019.
- Zheng D F. Effects of water temperature and predator on survival, behaviors and growth of *Strongylocentrotus intermedius* and *Mesocentrotus nudus*: new insights into the stock enhancement[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [16] Yatsuya K, Matsumoto Y. Effects of the swimming crab *Charybdis japonica* on sea urchin *Mesocentrotus nudus* grazing: cage experiments in barren ground and land-based tanks[J]. *Fisheries Science*, 2021, 87(6): 817-826.
- [17] 彭子睿, 王全超, 唐永政, 等. 四种常见蟹类对光棘球海胆的捕食策略 [J]. *动物学杂志*, 2022, 57(2): 247-255.
- Peng Z R, Wang Q C, Tang Y Z, *et al.* Predation strategies of four common crabs on sea urchins *Mesocentrotus nudus* with different sizes[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2022, 57(2): 247-255 (in Chinese).
- [18] Gianguzza P, Bonaviri C, Milisenda G, *et al.* Macroalgal assemblage type affects predation pressure on sea

- urchins by altering adhesion strength[J]. *Marine Environmental Research*, 2010, 70(1): 82-86.
- [19] Trussell G C, Ewanchuk P J, Bertness M D. Trait-mediated effects in rocky intertidal food chains: predator risk cues alter prey feeding rates[J]. *Ecology*, 2003, 84(3): 629-640.
- [20] Preisser E L, Orrock J L, Schmitz O J. Predator hunting mode and habitat domain alter nonconsumptive effects in predator-prey interactions[J]. *Ecology*, 2007, 88(11): 2744-2751.
- [21] Mills C D, Clark P F, Morritt D. Flexible prey handling, preference and a novel capture technique in invasive, sub-adult Chinese mitten crabs[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 773(1): 135-147.
- [22] Hughes R N, Seed R. Behavioural mechanisms of prey selection in crabs[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995, 193(1-2): 225-238.
- [23] Aronhime B R, Brown K M. The roles of profit and claw strength in determining mussel size selection by crabs[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 379(1-2): 28-33.
- [24] Chakravarti L J, Cotton P A. The effects of a competitor on the foraging behaviour of the shore crab *Carcinus maenas*[J]. *PLoS One*, 2014, 9(4): e93546.
- [25] Juanes F, Hartwick E B. Prey size selection in Dungeness crabs: the effect of claw damage[J]. *Ecology*, 1990, 71(2): 744-758.
- [26] Smallegange I M, Van der Meer J. Why do shore crabs not prefer the most profitable mussels?[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2003, 72(4): 599-607.
- [27] Smallegange I M, Hidding B, Eppenga J M A, *et al.* Optimal foraging and risk of claw damage: how flexible are shore crabs in their prey size selectivity?[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, 367(2): 157-163.
- [28] Liu D P, Wang F, Lu Y L, *et al.* Effects of stocking density on a typical crab-clam polyculture system: behavioral mechanisms of predation and competition in swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. *Aquaculture*, 2022, 547: 737467.
- [29] Sun Y F, Wang F, Dong S L. A comparative study of the effect of starvation regimes on the foraging behavior of *Portunus trituberculatus* and *Charybdis japonica*[J]. *Physiology & Behavior*, 2015, 151: 168-177.
- [30] Urbina M, Paschke K, Gebauer P, *et al.* Physiological energetics of the estuarine crab *Hemigrapsus crenulatus* (Crustacea: Decapoda: Varunidae): responses to different salinity levels[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2010, 90(2): 267-273.
- [31] Powers S P, Kittinger J N. Hydrodynamic mediation of predator-prey interactions: differential patterns of prey susceptibility and predator success explained by variation in water flow[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 273(2): 171-187.
- [32] Cannicci S, Dahdouh-Guebas F, Dyane A, *et al.* Natural diet and feeding habits of *Thalamita crenata* (Decapoda: Portunidae)[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1996, 16(4): 678-683.
- [33] 沈嘉瑞, 戴爱云. 中国动物图谱. 甲壳动物, 第二册, 蟹类 [M]. 北京: 科学出版社, 1964: 1-142.
- Shen J R, Dai A Y. Illustrated Fauna of China: Crustacea, Vol. 2 crabs[M] Beijing: Science Press, 1964: 1-142 (in Chinese).
- [34] 于宗赫, 杨红生, 刘保忠, 等. 日本螯捕食栉孔扇贝机制的初步研究 [J]. 海洋科学, 2010, 34(12): 62-66.
- Yu Z H, Yang H S, Liu B Z, *et al.* Predation of scallop *Chlamys farreri* by crab *Charybdis japonica*[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(12): 62-66 (in Chinese).

## Predation by two species of crabs on different sizes of juvenile sea urchin *Salmacis sphaeroides*

TU Youkai, HONG Zesen, WU Hong, YU Zonghe\*

(College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The sea urchin species *Salmacis sphaeroides* holds significant ecological and economic value in the South China Sea. However, natural populations are increasingly at risk due to environmental pollution, overfishing, climate change and other factors. Stock enhancement through breeding and release could mitigate this decline, but crab predation poses a significant threat to released individuals. The predation effects on juvenile *S. sphaeroides* and the factors influencing these effects are not well understood. This study investigated the predation of two sizes classes of juvenile *S. sphaeroides* [test diameters: large, (36.50±4.11) mm; small, (22.33±1.97) mm] by *Charybdis japonica* and *Thalamita crenata*, both of which are prevalent in the South China Sea, using both indoor and field trapping experiments. Results indicated that *S. sphaeroides* size and predation duration were key factors influencing predation rates, with species-specific differences between the two crab species. *C. japonica* exhibited high predation rates on small juveniles at both 0-24 and 24-48 h, with rates of (3.75±1.09) ind/d and (3.75±1.30) ind/d, respectively, while predation on large juveniles was significantly lower at (0.50 ± 0.86) ind/d and (0.25±0.50) ind/d, respectively. In 0-24 h, *T. crenata* showed a high initial predation rate on small juveniles of (4.25±3.27) ind/d at 0-24 h, which decreased to (2.00±1.58) ind/d during 24-48 h, and exerted minimal pressure on large juveniles. Field trapping experiments revealed a strong attraction of juvenile *S. sphaeroides* to *C. japonica*, with an average capture rate of (2.40±0.89) ind/(cage·d). This study concludes that crabs are the primary predators of *S. sphaeroides*, and to enhance restocking efficiency, it is recommended to release large-sized sea urchin seedlings and to control potential predators such as crabs in advance.

**Key words:** *Salmacis sphaeroides*; *Charybdis japonica*; *Thalamita crenata*; predation selectivity

**Corresponding author:** YU Zonghe. E-mail: [yuzh@scau.edu.cn](mailto:yuzh@scau.edu.cn)

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2022YFD2401303, 2019YFD0900800); Cross Innovation Team Project of South China Agricultural University