

四种常见蟹类对光棘球海胆的捕食策略

彭子睿^{①②} 王全超^② 唐永政^① 王艳霞^{②③}
丁茹馨^{②④} 姜少玉^{②③} 李宝泉^{②*}

① 烟台大学海洋学院 烟台 264005; ② 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003;

③ 中国科学院大学 北京 100049; ④ 浙江海洋大学 舟山 316022

摘要: 光棘球海胆 (*Mesocentrotus nudus*) 是维持海藻生态系统稳定的关键种, 同时也是北方重要的经济海胆类。目前对黄渤海地区光棘球海胆的种群生态学研究还不足, 对影响其种群数量动态的因素尚不明确。为探明光棘球海胆的捕食者种类及其捕食策略, 选择平背蜆 (*Gaetice depressus*)、肉球近方蟹 (*Hemigrapsus sanguineus*)、三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 及日本螯 (*Charybdis japonica*) 4 种常见蟹类为研究对象, 验证其是否可作为光棘球海胆的潜在捕食者。选用三种不同壳直径的海胆作为实验材料, 即小规格 12 ~ 15 mm、中规格 19 ~ 22 mm 和大规格 30 ~ 33 mm。分析四种蟹类的捕食策略时使用中、小规格海胆, 分析日本螯的猎物选择时使用三种规格海胆。结果表明, 4 种蟹类均能捕食小规格海胆, 其中, 三疣梭子蟹和日本螯捕食强度较高; 对于中规格海胆, 仅有三疣梭子蟹和日本螯能捕食。4 种蟹类在捕食大、中规格海胆时均会改变捕食策略, 表现出相似的捕食行为。日本螯的捕食选择模式为被动选择, 选择性强弱与螯足大小有关, 螯足较小的个体更倾向于捕食小规格海胆, 而螯足较大的个体对小、中规格海胆的捕食率无显著差异。本研究结果表明, 平背蜆、肉球近方蟹、三疣梭子蟹和日本螯均为光棘球海胆的潜在捕食者, 并且会根据猎物的情况调整捕食策略。

关键词: 光棘球海胆; 梭子蟹科; 弓蟹科; 捕食行为; 猎物选择

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2022) 02-247-09

Predation Strategies of Four Common Crabs on Sea Urchins *Mesocentrotus nudus* with Different Sizes

PENG Zi-Rui^{①②} WANG Quan-Chao^② TANG Yong-Zheng^① WANG Yan-Xia^{②③}
DING Ru-Xin^{②④} JIANG Shao-Yu^{②③} LI Bao-Quan^②

① School of Ocean at Yantai University, Yantai 264005; ② Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003; ③ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; ④ Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: [Objectives] *Mesocentrotus nudus* is a key species in maintaining the stability of the kelp

基金项目 美丽中国生态文明建设科技工程专项 (No. XDA23050304), 中国科学院国际合作局国际伙伴计划项目 (No. 133137KYSB20200002);

* 通讯作者, E-mail: bqli@yic.ac.cn;

第一作者介绍 彭子睿, 男, 硕士研究生; 研究方向: 大型底栖动物生理生态; E-mail: 2506276792@qq.com。

收稿日期: 2021-09-03, 修回日期: 2021-11-24 DOI: 10.13859/j.cjz.202202010

ecosystem and a valuable economic sea urchin species in northern China. However, little researches focus on its population ecology, and the factors impacting the population dynamics are still not clear. *Gaetice depressus*, *Hemigrapsus sanguineus*, *Portunus trituberculatus* and *Charybdis japonica* are four common crab species off the coast of China and are potential predators of *M. nudus*. In order to explore the predation strategies and predation intensities of four crab species and the predation selectivities of *C. japonica* on different sizes of *M. nudus*, three different groups of body sizes of *M. nudus* individuals, e.g., small sized (12 - 15 mm), medium sized (19 - 22 mm) and large sized (30 - 33 mm in diameter) were selected as the research objects. **[Methods]** Two sets of experiments were conducted in the laboratory. In the predation strategies and predation intensities experiment, each species of crabs was divided into two groups separately containing small and medium sized sea urchins, while the predation selective experiment contains a *C. japonica* and three sizes of urchins in a single experimental group. The data was analyzed using Excel and Spss16.0, and the significance was inspected using one-way ANOVA and Kruskal-Wallis in both sets of experiment, and Ivlev indexes were calculated to examine the predation selectivity of *C. japonica* on small and medium sized sea urchins. **[Results]** The results showed that four crab species could prey on the small sized sea urchin individuals, of which, the *P. trituberculatus* and *C. japonica* showed higher predation intensity on sea urchins (8.67 ± 1.53 and 9.33 ± 1.15 , respectively, Table 2); whereas only *P. trituberculatus* and *C. japonica* consumed the medium sized sea urchins (Table 2). As for the predation strategies, four crab species presented diverse kinds of strategies on different sizes of sea urchins but showed similar predation behavior when encountering difficulties of crushing the urchins (Fig. 1). The predation and selection pattern of *C. japonica* belong to a kind of passive selection, and the selectivity was closely related to the size of its cheliped. Crabs with smaller cheliped had relatively high selective feeding index on small sized sea urchins (Fig. 2), while individuals with bigger cheliped showed no significant difference in predation rate for small and medium size sea urchins (one-way ANOVA, $P > 0.05$) (Fig. 2). **[Conclusion]** This study reveals that *G. depressus*, *H. sanguineus*, *P. trituberculatus* and *C. japonica* are all potential predator of sea urchin *M. nudus*. Moreover, they can adapt their hunting strategies according to the preys with different body size, predation capacity is a key factor to the prey selectivity of *C. japonica*.

Key words: *Mesocentrotus nudus*; Portunidae; Varunidae; Predative behavior; Prey selection

海胆是海藻床生态系统中的关键种，作为以大型海藻为主要食源的杂食性动物，其种群数量在维持海藻床生态系统平衡过程中起到重要的调控作用。海胆对海藻的选择性摄食，能显著影响海藻床面积以及海藻床内的物种组成和优势度 (Seymour et al. 2013)。健康的海藻床生态系统中，海胆能够维持一个合理的种群数量，这有助于防控藻类入侵及污损生物的大量繁殖 (Cardoso et al. 2020)；在失衡的海藻床生态系统中，海胆种群常爆发式增长，过度啃食海藻，影响海藻种群补充并破坏海藻床内的

底栖动物群落结构，形成“海胆荒漠 (urchin barren)” (McClanahan et al. 1999)。此外，海胆种群的数量变化也会通过食物链影响到上一个营养级生物，如因过度捕捞导致海胆种群数量下降，会引起以海胆为食的鱼类等数量下降，进而使渔业资源量减少 (Cardona et al. 2013)。

影响海胆种群数量变动的因素复杂，其中海胆天敌即捕食者是关键因素之一。海胆捕食者能显著影响海胆种群补充及海胆爆发的发生率 (Medrano et al. 2019)。由于海胆具有特殊的构造，其石灰质的海胆壳和棘能够抵御攻击，

因此海胆的天然捕食者种类相对较少, 目前已报道的海胆捕食者主要包括海獭、某些海鸟、鱼类、海星、大型虾蟹类和部分肉食性腹足纲动物等, 且在不同群落中海胆的捕食者种类组成明显不同 (Hugh et al. 2006, Bonaviri et al. 2009, Redd et al. 2014)。在捕食策略上, 因海胆的体型大小、棘长度和管足吸力强弱均能显著影响天敌的捕食成功率 (Scheibling et al. 2008, Gianguzza et al. 2010), 致使同种捕食者对不同种类和规格的海胆也表现出不同的捕食策略。例如, 两种龙虾 *Panulirus interruptus* (Zhang et al. 2008) 和 *P. japonicus* (Kawamata et al. 2016) 在捕食较小海胆时会直接破坏海胆壳, 然而在捕食较大海胆个体时, 因无法刺穿其坚硬外壳, 采用口部穿孔捕食方式, 即翻转海胆后移除围口膜和口器, 从口器部位进行摄食, 捕食过程完成后海胆壳仍较完整。在捕食选择上, 龙虾 *Jasus edwardsii* (Hugh et al. 2006)、*P. japonicus* (Kawamata et al. 2016) 和寄居蟹 *Pagurus acadianus* (Scheibling et al. 2008) 等更倾向于捕食小规格的海胆。

光棘球海胆 (*Mesocentrotus nudus*) 俗称大连紫海胆, 主要分布于西北太平洋区域, 包括我国辽东半岛和山东半岛北部以及日本、韩国和俄罗斯沿海, 是我国北方经济价值最高的海胆种类。近年来由于过度捕捞等人为因素的干扰, 其种群已出现衰退迹象 (王波等 1998)。目前对光棘球海胆在种群及群落生态学方面的研究开展较少 (Kawamata 1998, Agatsuma 2001a), 还未清楚掌握其捕食者组成及捕食策略。室内模拟实验发现, 蟹类中的四齿矶蟹 (*Pugettia quadridens*)、日本蟳 (*Charybdis japonica*) 和 *Telmessus acutidens* 及海星纲中的海燕 (*Asterina pectinifera*)、*Solaster paxillatus*、*Lysastrosoma anthosticta* 和 *Plazaster borealis* 具有捕食光棘球海胆的能力 (郑定发 2019, Agatsuma 2001a); 韩国东海岸的野外调查表明, 当地光棘球海胆的主要天敌为海燕、峨螺 (*Neptunea arthritica*)、两种寄居蟹 (*Pagurus*

samuelis 和 *Paguristes barbatus*)、正直爱洁蟹 (*Atergatis integerrimus*) 和 *Actaea subglobosa* (Liu et al. 2004)。Agatsuma (2001b) 研究表明, 3 种蟹类 *Telmessus cheiragonus*、*Paralithodes brevipes* 和四齿矶蟹为中间球海胆 (*Strongylocentrotus intermedius*) 养殖中的主要敌害生物, 其对幼海胆的大量捕食造成严重经济损失。由于我国北部沿海的底栖动物种类与日本和韩国存在一定差异, 在国内光棘球海胆的分布区域, 已知的捕食者仅有海燕、四齿矶蟹和日本蟳 3 种 (杨德渐等 1996), 其他天敌种类及其对海胆种群的作用尚不明确。

为探究光棘球海胆的捕食者组成及捕食策略, 本研究选取光棘球海胆分布海域常见的 4 种蟹类, 即平背蜆 (*Gaetice depressus*)、肉球近方蟹 (*Hemigrapsus sanguineus*)、三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 和日本蟳作为潜在捕食者, 通过室内模拟实验验证 4 种蟹类是否捕食光棘球海胆, 并分析 4 种蟹类捕食策略的异同, 为掌握光棘球海胆种群的控制因素提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

光棘球海胆购自山东荣成某海胆育苗场, 按其直径大小分为三种规格, 即小规格 (12 ~ 15 mm)、中规格 (19 ~ 22 mm) 和大规格 (30 ~ 33 mm)。用玻璃缸在实验室内适应 15 d, 期间保持恒温 18 °C, 利用气泵连续供氧, 且每日投喂充足的袋装干制海带并换水。实验时选取无外伤、棘完整的健康个体, 并于实验开始前用电子数显游标卡尺 (得力 DL91150, 量程 150 mm, 精度 0.01 mm) 测量海胆直径。

平背蜆、肉球近方蟹与日本蟳捕获于山东烟台潮间带, 三疣梭子蟹购于山东烟台某农贸市场。所有蟹类均于玻璃缸暂养适应 7 d, 并在暂养期间投喂虾肉, 每 2 d 换水一次。实验时选择无明显外伤、螯足完整且能正常摄食的个体。

1.2 实验方法

1.2.1 不同蟹类的捕食行为及捕食强度 4 种蟹每种蟹均设置 2 个处理水平, 分别以小规格和中规格海胆作为猎物, 四种蟹共计 8 个处理组, 另外 2 组仅放入海胆不放置蟹作为对照组。实验开始前将 1 只蟹放入透明玻璃缸 (长宽高为 25 cm × 18 cm × 15 cm) 适应并饥饿处理 48 h。实验开始后, 在每个处理组和对照组均放入相应规格海胆 10 只, 处理组重复 3 次, 即每种蟹选取 6 只体型大小相近的个体, 每只蟹仅进行 1 次实验。实验期间不投饵, 每 12 h 观察蟹的捕食行为, 并在 48 h 后记录各组海胆被捕食个数。

1.2.2 日本蟳对不同规格海胆的捕食选择 选取 3 种不同规格的海胆各 15 只及体型大小相近的日本蟳 3 只, 日本蟳的体长数据见表 1。实验分 3 组进行, 每组均含有 1 只日本蟳及 3 种规格的海胆各 5 只, 实验设置同 1.2.1 节。实验开始前对日本蟳进行饥饿处理 48 h, 开始实验时在远离蟹的一端同时放入 15 只海胆, 并观察蟹的捕食行为。为减少人为扰动, 仅在实验开始后的 2 h、12 h、24 h、36 h 和 48 h 分别计数各组海胆的剩余个体数量, 并持续 30 min 观察记录日本蟳捕食行为。

表 1 捕食选择性实验中 3 只日本蟳
实验个体的体长数据

Table 1 The body size of *Charybdis japonica* during the experiment of predation selectivity

实验个体编号 Experimental individuals number	头胸甲宽 (mm) Carapace width	左螯长(mm) Left cheliped length	右螯长 (mm) Right cheliped length
1	40	26	28
2	41	26	27
3	38	20	22

1.3 数据处理

4 种蟹的捕食强度以及日本蟳的捕食选择性分别采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和 Kruskal-Wallis 进行显著性检验, 设置显著性水平为 $P < 0.05$ 。

本文利用饵料选择指数计算日本蟳对小、中规格海胆的选择性强弱, 以验证日本蟳是否更倾向于捕食最小规格的猎物。饵料选择指数, 又称 Ivlev 指数 (Ivlev 1961), 计算公式如下: $E = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$, 式中, E 为饵料选择指数, r_i 为某一种饵料被摄食的量占总摄食量的百分比, p_i 为某一种饵料投放的总量占投放饵料总量的百分比。若 $E > 0$ 表示有选择性, $E = 0$ 表示无选择性, 为随机摄取, $E < 0$ 表示对该饵料生物不喜好。该公式常用于在实验室条件下, 计算水生捕食者对饵料生物的摄食选择性 (窦硕增 1996)。

2 结果

2.1 四种蟹类的捕食行为

实验过程中发现平背蜆、肉球近方蟹、三疣梭子蟹及日本蟳对中和小规格海胆个体的捕食行为存在差异。四种蟹类均可捕食小规格海胆, 但捕食方式不同。三疣梭子蟹与日本蟳会迅速夹碎海胆壳并捕食整只海胆, 捕食后仅残留少量棘和海胆壳碎屑; 平背蜆与肉球近方蟹亦会夹碎海胆壳, 但耗时显著延长, 多数情况下需将海胆翻转, 移除海胆口器并破坏口器周围的海胆壳 (图 1a), 捕食后会残留海胆壳的反口面及少量棘, 捕食策略向口部穿孔捕食过渡。捕食过程中, 个体较小的肉球近方蟹不能破坏海胆壳, 但会破坏海胆的管足和棘, 使其无法逃逸, 进而将海胆翻转并移除海胆的口器, 将螯足伸入开口取食海胆的软组织 (图 1b), 摄食后空海胆壳仍较完整。

对中规格海胆, 仅有三疣梭子蟹和日本蟳成功捕食, 且捕食策略存在调整: 捕食时先将海胆翻转, 破坏海胆口器周围的壳或移除海胆口器后从开口处取食 (图 1c ~ e), 同时两种蟹亦有直接夹碎海胆壳捕食的现象。多数情况下, 三疣梭子蟹需调整捕食策略才能捕食中规格海胆, 残留完整或部分的海胆壳 (图 1f), 而日本蟳仍能直接夹碎海胆壳摄食, 捕食结束后仅残留少量棘和碎屑, 调整捕食策略的情况极少。

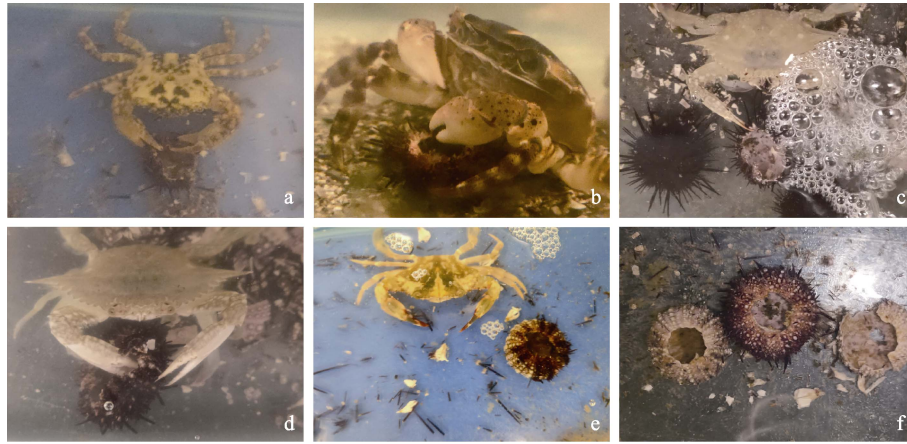


图 1 四种蟹类对海胆的不同捕食策略

Fig. 1 Different predatory strategies adopted by four crabs species

a. 平背蜞夹碎、翻转海胆壳；b. 螯足较小的肉球近方蟹口部穿孔捕食；c. 三疣梭子蟹剩余海胆壳反口面；d. 三疣梭子蟹口部穿孔捕食；e. 日本蟳口部穿孔捕食；f. 同一只三疣梭子蟹采取两种不同捕食策略后剩余的海胆壳。

a. *Gaetice depressus* crushing and rotating a sea urchin; b. *Hemigrapsus sanguineus* with small cheliped probing a sea urchin; c. Remnant aboral surface of test of urchin consumed by *Portunus trituberculatus*; d. *Portunus trituberculatus* probing a sea urchin; e. Remnant test of urchin probed by *Charybdis japonica*; f. Remnant test of urchins crushed and probed by a single *Portunus trituberculatus*.

2.2 四种蟹类的捕食强度

4 种蟹类均能捕食小规格海胆，其中三疣梭子蟹和日本蟳捕食强度较高，实验开始后 48 h 内的捕食量分别达到 (8.7 ± 1.5) 只和 (9.3 ± 1.2) 只；平背蜞和肉球近方蟹的捕食强度相对较低，除 1 只平背蜞未捕食海胆外，48 h 内每只蟹均捕食了 2 只海胆（表 2）。而对于中规格海胆，仅发现三疣梭子蟹及日本蟳能够捕食，48 h 内的捕食强度分别为 (3.3 ± 1.5) 只和 (4.0 ± 1.0) 只，两者的捕食强度无显著差异（ $P > 0.05$ ）。对照组均无海胆死亡。

2.3 日本蟳对不同规格海胆的捕食选择性

日本蟳对不同规格海胆的捕食率存在显著差异（ $P < 0.05$ ），小规格海胆被捕食率最高，而大规格海胆均未被捕食，表明日本蟳对不同规格海胆的捕食具有明显的选择性。此外，海胆的被捕食率也与日本蟳螯足大小有关，螯足较小的日本蟳（个体）对小规格海胆饵料选择指数最高，对中规格海胆的饵料选择指数低；螯足较大的日本蟳，对小规格和中规格海胆无明显选择性（ $P > 0.05$ ）。实验开始后的 24 h 内，日本蟳个体 3 未捕食，但开始捕食活动后，对

表 2 不同蟹类对海胆的捕食强度

Table 2 Body size of four crabs species and their predation intensity on sea urchins

种类 Species	头胸甲宽 Carapace width (mm)	螯长 Cheliped length (mm)	捕食小规格海胆个体平均数 Average number of small sized urchin consumed (ind)	捕食中规格海胆个体平均数 Average number of medium sized urchin consumed (ind)
平背蜞 <i>Gaetice depressus</i> (n = 3)	21 - 25	18 - 22	1.3 ± 1.1	0.0 ± 0.0
肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i> (n = 3)	23 - 31	16 - 23	2.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i> (n = 3)	50 - 63	23 - 28	8.7 ± 1.5	3.3 ± 1.5
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i> (n = 3)	38 - 43	23 - 28	9.3 ± 1.2	4.0 ± 1.0

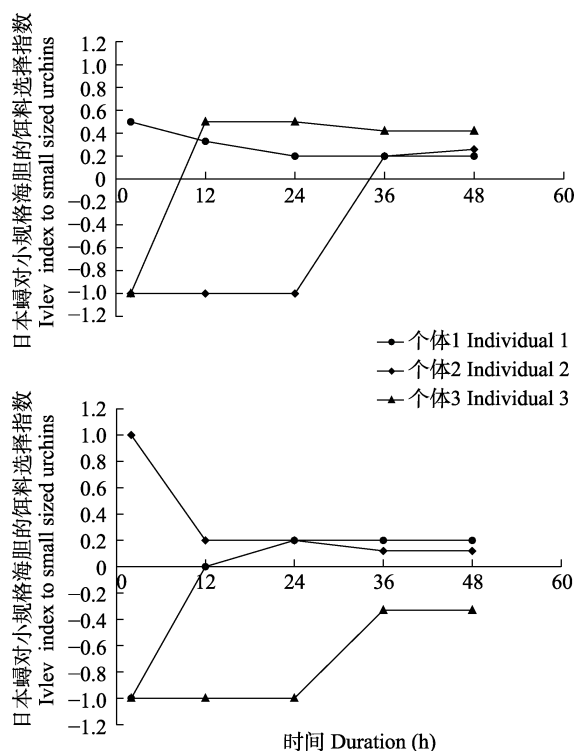


图 2 日本蟳对小规格和中规格海胆饵料选择指数随时间的变化

Fig. 2 Ivlev index of *Charybdis japonica* to small and medium sized sea urchins with time

个体 1 和 2 具大螯足，个体 3 螯足较小。

Individual 1 and 2 have bigger chelipeds while individual 3 has relatively small ones.

小规格海胆的捕食数量明显增多。

观察捕食过程发现，日本蟳首先攻击距离自身较近的海胆，并尝试破坏其外壳。在逃脱捕食方面，大规格海胆被攻击时能够逃脱，仅棘和管足受到轻度损伤；中规格海胆亦有逃脱情况，即使一些个体的壳已被破坏但仍能暂时逃离；小规格海胆则极少能逃脱。

3 讨论

3.1 光棘球海胆的潜在蟹类捕食者

本研究中的 4 种蟹类，除日本蟳已有报道能捕食光棘球海胆外（郑定发 2019），其余三种蟹类即平背蜆、肉球近方蟹和三疣梭子蟹还

未见报道，本研究首次证明了上述 3 种蟹类具备捕食光棘球海胆的能力，是自然海区或光棘球海胆养殖区的潜在捕食者。本研究进一步明确了日本蟳对光棘球海胆的捕食策略。4 种蟹类均为我国南北沿海的常见种，其中，平背蜆、肉球近方蟹和日本蟳常栖息于岩礁区，与光棘球海胆的栖息环境重合程度最高，也是光棘球海胆较普遍的捕食者；三疣梭子蟹多栖息于泥沙质海底，这种环境中光棘球海胆数量较少，但三疣梭子蟹在大连湾和荣成湾等海域中的优势度远高于其他蟹类（于海婷等 2013，刘修泽等 2014），因此可能是特定区域内光棘球海胆的重要捕食者。

三疣梭子蟹与日本蟳属于梭子蟹科 (Portunidae)，该科物种多为肉食性蟹类（杨思凉等 2011），较大的体型和螯足尺寸使其具备极强的运动及捕食能力，因此对成年及幼年海胆均能造成危害。姜卫民（1998）及杨纪明（2001）对渤海三疣梭子蟹及日本蟳的胃含物分析表明，两者均会捕食心形海胆 (*Echinocardium cordatum*) 等海胆类动物。此外，梭子蟹科的其他种类，如锈斑蟳 (*C. feriata*)、红星梭子蟹 (*P. sanguinolentus*)（黄美珍 2004）和底栖短浆蟹 (*Thalamita prymna*)（Yeung et al. 2020）等也有捕食其他海胆类的报道。平背蜆与肉球近方蟹隶属弓蟹科 (Varunidae)，是体型较小的杂食性蟹类，运动及捕食能力相对较弱，本研究发现两者仅能捕食较小的光棘球海胆，但由于这两种蟹数量较多，因此对幼海胆种群数量的影响也不容忽视。

3.2 蟹类对光棘球海胆的捕食压力

本研究发现，平背蜆与肉球近方蟹对光棘球海胆的捕食强度较低，仅能捕食规格较小的海胆，平背蜆甚至存在不捕食海胆的情况，这主要是由于两种蟹个体偏小，螯足不发达，因此捕食能力相对弱。此外，在猎物选择上，捕食者也多选择能耗低的捕食策略，即用最小的能量消耗获取最大的食物补充，如加拿大新斯科舍的黄道蟹 (*Cancer irroratus*) 和龙虾

(*Homarus americanus*) 更偏好捕食贻贝而非海胆 (Elner 1980), 这与海胆身体结构有关。

与平背螯和肉球近方蟹相反, 三疣梭子蟹和日本蟳对海胆的捕食强度较高, 这与两者体型较大、螯足发达以及肉食习性有关。在捕食选择上, 三疣梭子蟹在特定情况下如自身密度较大时, 会少量捕食紫海胆 (*Anthodiaris crassispina*), 但并非普遍现象 (聂永康等 2016)。本研究发现, 三疣梭子蟹会大量捕食光棘球海胆, 其棘较紫海胆更为细小, 易于捕食可能是造成上述差异的原因。

4 种蟹类对海胆的捕食策略主要可分为 3 种类型, 直接捕食 (在随机部位夹碎海胆壳直接捕食)、口部穿孔捕食 (仅移除海胆口器, 不破坏海胆壳) 和二者之间的过渡类型 (移除海胆口器并破坏周围的海胆壳), 且三种捕食策略会依海胆不同规格、捕食状况等进行调整, 如平背螯、肉球近方蟹和三疣梭子蟹在较难打开海胆壳时, 均会将海胆翻转并破坏口器周围较脆弱的海胆壳, 由直接捕食向口部穿孔捕食转变, 肉球近方蟹和三疣梭子蟹多采用这种捕食策略的调整。这与龙虾 *P. interruptus* (Zhang et al. 2008) 和 *P. japonicus* (Kawamata et al. 2016) 对海胆的捕食策略极为相似。蟹类捕食较大猎物时寻找薄弱点的行为, 是在与贝类等具壳猎物的共同进化中形成的, 这种策略有助于增加对较大猎物的捕食成功率, 降低螯足损伤的风险, 节省捕食所消耗的时间及能量 (Seed et al. 1995), 本实验中 4 种蟹类均能以贝类为食 (姜卫民等 1998, Brousseau et al. 2001, 杨纪明 2001, Wahyudi et al. 2015), 也印证了这一观点。本实验发现, 日本蟳在捕食海胆时极少表现出捕食策略的调整, 这是由于其螯足粗壮、具有圆钝的齿及一白齿状突起, 这种结构更适合破坏猎物的硬壳 (Seed et al. 1995)。

3.3 蟹类捕食者对不同规格海胆个体的选择

本实验中未发现日本蟳对不同规格海胆个体的主动选择, 而是优先攻击距离自身最近的海胆, 表现出捕食的随机性, 因此在实验前期

对小规格海胆的饵料选择指数常有波动, 但在后期趋于稳定。在捕食成功率方面, 对小规格海胆最高, 对大规格海胆则不能捕食, 仅轻度损伤其棘和管足。

螯足大小不同的日本蟳对小规格海胆的饵料选择指数存在差异。螯足较大的日本蟳捕食中规格海胆的成功率较高, 对中、小规格海胆的捕食强度大致相同, 说明对两种规格海胆的捕食无选择性; 而螯足较小的日本蟳, 由于对中规格海胆捕食成功率较低, 致使其对小规格海胆表现出较高的饵料选择指数。梭子蟹科中的某些物种如日本蟳在生长过程中, 螯足相对于身体的比例逐渐增大, 捕食能力亦随之增强 (Seed et al. 1995)。因此, 随着日本蟳体型和螯足增大, 其对中、小规格的海胆逐渐转变为无选择性地捕食。

蟹类捕食选择性的成因多样, 多数蟹类为了减少捕食过程的耗时, 倾向于捕食远小于自身所能捕食的临界规格的猎物, 例如潮间带蟹类的捕食活动受潮汐影响, 需在短时间内尽可能多地摄食, 因此主动选择较小的猎物 (Seed et al. 1995)。此外 Juanes (1992) 指出, 避免螯足等附肢受损也是造成上述选择模式的诱因。与此不同的是, 少数蟹类物种偏好中等规格的猎物或对猎物规格无选择性, 即通过捕食稍大的猎物获得更高的能量收益, 例如大西洋蓝蟹 (*Callinectes sapidus*) (Seed et al. 1995)。然而, 同种蟹类不同发育阶段及生境等情况下, 其螯足形态和捕食策略也可能存在变化 (Seed et al. 1995)。本研究证实, 日本蟳对不同规格海胆的捕食选择策略因自身螯足大小而发生相应改变。此外, 赵静等 (2012) 发现日本蟳对不同贝类的摄食存在偏好性, 这表明, 日本蟳有可能存在更复杂的捕食选择, 这有待于进一步深入研究。在自然海藻床生态系统中, 海胆天敌是控制海胆种群数量的重要因素, 而在海胆养殖海域, 天敌对海胆养殖业的破坏也不容忽视, 因此掌握不同海域海胆捕食者组成及捕食强度至关重要。本研究验证并分析了 4 种常

见蟹类对光棘球海胆的捕食强度和捕食策略, 研究结果可为深入了解光棘球海胆种群的控制因素提供参考。

参 考 文 献

- Agatsuma Y. 2001a. Ecology of *Strongylocentrotus nudus*. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 32: 347–361.
- Agatsuma Y. 2001b. Ecology of *Strongylocentrotus intermedius*. *Edible Sea Urchins Biology & Ecology*, 37(1): 427–441.
- Bonaviri C, Fernandez T V, Badalamenti F, et al. 2009. Fish versus starfish predation in controlling sea urchin populations in Mediterranean rocky shores. *Marine Ecology Progress*, 382(1): 129–138.
- Brousseau D J, Filipowicz A, Baglivo J A. 2001. Laboratory investigations of the effects of predator sex and size on prey selection by the Asian crab, *Hemigrapsus sanguineus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 262(2): 199–210.
- Cardona L, Moranta J, Reñones O, et al. 2013. Pulses of phytoplanktonic productivity may enhance sea urchin abundance and induce state shifts in Mediterranean rocky reefs. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 133(Complete): 88–96.
- Cardoso A C, Arenas F, Sousa-Pinto I, et al. 2020. Sea urchin grazing preferences on native and non-native macroalgae. *Ecological Indicators*, 111: 106046.
- Elnor R W. 1980. Predation on the sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) by the American lobster (*Homarus americanus*) and the rock crab (*Cancer irroratus*). *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 954: 46–65.
- Gianguzza P, Bonaviri C, Milisenda G, et al. 2010. Macroalgal assemblage type affects predation pressure on sea urchins by altering adhesion strength. *Marine Environmental Research*, 70(1): 82–86.
- Hugh G, Pederson, Craig R J. 2006. Predation of the sea urchin *Heliocidaris erythrogramma* by rock lobsters (*Jasus edwardsii*) in no-take marine reserves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 336(1): 120–134.
- Ivlev I S. 1961. *Experimental ecology of the feeding of fishes*. New Heaven: Yale University Press, 302.
- Juanes F. 1992. Why do decapod crustaceans prefer small-sized molluscan prey? *Mar. Marine Ecology Progress Series*, 87(3): 239–249.
- Kawamata S. 1998. Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz). *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 224(1): 31–48.
- Kawamata S, Taino S, Miyaji M, et al. 2016. Size-selective predation on the sea urchin *Echinometra* sp. by Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 82(3): 306–314.
- Liu Z, Sun L, Li C, et al. 2004. Distribution Pattern of the Sea Urchin *Strongylocentrotus nudus* in Relation to Predation Pressure in Hosan, the East Coast of Korea. *The Sea*, 9(1): 40–49.
- McClanahan T R. 1999. Predation and the Control of the Sea Urchin *Echinometra viridis* and Fleishy Algae in the Patch Reefs of Glovers Reef, Belize. *Ecosystems*, 2(6): 511–523.
- Medrano A, Linares C, Aspillaga E, et al. 2019. No-take marine reserves control the recovery of sea urchin populations after mass mortality events. *Marine Environmental Research*, 145: 147–154.
- Redd K S, Ling S D, Frusher S D, et al. 2014. Using molecular prey detection to quantify rock lobster predation on barrens - forming sea urchins. *Molecular Ecology*, 23(15): 3849–3869.
- Scheibling R E, Robinson M C. 2008. Settlement behaviour and early post-settlement predation of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 365(1): 59–66.
- Seed R, Hughes R N. 1995. Criteria for prey size-selection in molluscivorous crabs with contrasting claw morphologies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 193(1): 177–195.
- Seymour S, Paul N A, Dworjanyn S A, et al. 2013. Feeding preference and performance in the tropical sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture*, 400: 6–13.
- Wahyudi A J, Wada S, Aoki M, et al. 2015. *Gaetice depressus* (Crustacea, Varunidae): Species profile and its role in organic carbon and nitrogen flow. *Ocean Science Journal*, 50(2): 389–401.
- Yeung Y H, Xie J Y, Lai V, et al. 2020. Can portunid crabs protect massive coral against the attack by long-spined sea urchins?

- Regional Studies in Marine Science, 38: 101374.
- Zhang Z, Campbell A, Bureau D. 2008. Growth and natural mortality rates of Red Sea Urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) in British Columbia. *Journal of Shellfish Research*, 27(5): 1291–1299.
- 窦硕增. 1996. 鱼类摄食生态研究的理论及方法. *海洋与湖沼*, 27(5): 556–561.
- 黄美珍. 2004. 福建海区拥剑梭子蟹、红星梭子蟹和锈斑蛄的食性与营养级研究. *台湾海峡*, 23(2): 159–166.
- 姜卫民, 孟田湘, 陈瑞盛, 等. 1998. 渤海日本鲷和三疣梭子蟹食性的研究. *海洋水产研究*, 19(1): 53–59.
- 刘修泽, 付杰, 孙明, 等. 2014. 大连湾大型底栖甲壳类群落结构特征的初步研究. *大连海洋大学学报*, 29(1): 93–97.
- 聂永康, 陈丕茂, 周艳波, 等. 2016. 南方紫海胆增殖放流对虾类和蟹类行为的影响. *安徽农业科学*, 44(21): 7–11.
- 王波, 冯月群, 孙桂华. 1998. 庙岛群岛海域光棘球海胆生态的初步研究. *黄渤海海洋*, 16(1): 32–40.
- 杨德渐. 1996. 中国北部海洋无脊椎动物. 北京: 高等教育出版社, 450–530.
- 杨纪明. 2001. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究. *现代渔业信息*, 16(9): 8–16.
- 杨思谅, 陈惠莲, 戴爱云. 2011. 中国动物志: 无脊椎动物. 第 49 卷 甲壳动物亚门 十足目 梭子蟹科. 北京: 科学出版社, 30–33.
- 于海婷, 丁月旻, 钱微微, 等. 2013. 荣成湾渔业资源群落结构季节变化特征. *海洋湖沼通报*, (2): 67–75.
- 赵静, 刘涵, 原振政, 等. 2012. 日本蛄对 3 种贝类的摄食选择及摄食节律的研究. *大连海洋大学学报*, 27(3): 226–230.
- 郑定发. 2019. 温度和捕食者对不同规格海胆存活、行为和生长的影响. 大连: 大连海洋大学硕士学位论文, 37–39.