

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220414001

http://www.yykxjz.cn/

徐希震, 房景辉, 方建光, 张志新, 蒋增杰, 张义涛, 王军威, 毛玉泽. 脉红螺对不同贝类的摄食行为特征研究. 渔业科学进展, 2023, 44(5): 193-201

XU X Z, FANG J H, FANG J G, ZHANG Z X, JIANG Z J, ZHANG Y T, WANG J W, MAO Y Z. Study on the behaviors of *Rapana venosa* feeding on different bivalves. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(5): 193-201

脉红螺对不同贝类的摄食行为特征研究*

徐希震¹ 房景辉^{1①} 方建光¹ 张志新² 蒋增杰¹
张义涛³ 王军威³ 毛玉泽¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071; 2. 威海市水产学校 山东 威海 264300; 3. 荣成栲岛水产有限公司 山东 威海 264312)

摘要 通过模拟自然环境,研究了脉红螺(*Rapana venosa*)对生境中存在的不同贝类的摄食选择性及其摄食行为过程和摄食节律。在水族箱中投放3种规格的脉红螺和3种规格的四角蛤蜊(*Macrta veneriformis*)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、紫贻贝(*Mytilus edulis*)和长牡蛎(*Crassostrea gigas*)活体饵料,记录3种规格的脉红螺对不同饵料的摄食个数、摄食重量、摄食规格、摄食时间以及摄食行为过程。结果显示,脉红螺对4种贝类均有摄食,其中,不同规格脉红螺对四角蛤蜊的摄食个数及重量显著高于其他贝类($P<0.05$),摄食指数超过50%,表现为喜食,对牡蛎和菲律宾蛤仔正常摄食,只有大规格脉红螺对紫贻贝有少量摄食。在摄食规格选择方面,3种规格的脉红螺明显喜食较大规格的四角蛤蜊以及小规格的长牡蛎($P<0.05$)。大规格脉红螺的摄食率为7.15%,显著小于其他2种规格的脉红螺(小规格:10.98%;中规格:9.64%)。在本实验条件下,脉红螺摄食有明显的周期性,每隔3d进行摄食活动,摄食时间为20:00~24:00。脉红螺的摄食过程可分为未摄食阶段、搜寻阶段、摄食阶段和摄食结束4个阶段。在摄食过程中,脉红螺主动搜寻贝类,腹足将贝类从沙中移出并包裹,在包裹的同时分泌黏液并将吻从贝壳缝隙伸入,在吸食被消化液分解的贝类软体部分之后潜入沙中或附在水族箱壁。研究表明,在本实验条件下,脉红螺对饵料贝的种类和规格有明显的摄食偏好性,明显喜食四角蛤蜊,极少摄食贻贝,并且其摄食行为具有夜行性和明显的周期性,即每3d的上半夜进行一次摄食活动。

关键词 脉红螺;摄食选择;摄食节律;摄食过程;摄食率

中图分类号 S917.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2023)05-0193-09

脉红螺(*Rapana venosa*)隶属于软体动物门(Mollusca)、腹足纲(Gastropoda)、前鳃亚纲(Prosobranchia)、新腹足目(Neogastropoda)、骨螺科(Muricidae)、红螺属(*Rapana*),主要分布在中国黄海、渤海和日本、朝鲜、俄罗斯沿海等地(谢忠明,2003)。

自然海域中,成体脉红螺多栖息于潮间带低潮区至20m水深的沙泥底或岩礁底海区,幼螺多栖息在低潮线附近的岩石间(宋利华等,2001),其栖息地一般生活着许多其他贝类,例如,长牡蛎(*Crassostrea gigas*),中国蛤蜊(*Macrta chinensis*)和菲律宾蛤仔

* 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”项目(2019YFD0900803)、国家自然科学基金面上项目(41876185)和中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD50)共同资助。徐希震, E-mail: 2847198799@qq.com

① 通信作者: 房景辉, 研究员, E-mail: hui861@163.com

收稿日期: 2022-04-14, 收修改稿日期: 2022-06-08

(*Ruditapes philippinarum*)等,其主要以双壳贝类及其他动物尸体为食,属大型肉食性软体动物。因此,脉红螺常被列为贝类养殖的敌害生物(王昭萍等,1998),但同时又可以作为工具种来控制贝类污损生物的数量,在水产养殖和海洋工程等领域具有一定应用前景。

近年来,关于脉红螺摄食选择性方面已有相关报道,主要包括脉红螺对食物的选择性(刘吉明等,2003),饵料、温度和规格对脉红螺摄食的影响(宋军鹏等,2016),饵料种类、规格、投喂量和养殖密度对脉红螺存活及生长的影响(贺加贝等,2021),脉红螺对不同贝类摄食喜好性(于瑞海等,2013)以及脉红螺繁殖前后的摄食周期(王平川等,2013)等。这些研究主要探究不同条件对脉红螺生长发育的影响,其主要目的是为脉红螺的暂养及繁育挑选合适的饵料种类和饵料规格,在人工养殖条件下提高脉红螺的生长发育速度,增加经济效益,而脉红螺在自然条件下的摄食选择及行为过程尚不清楚,在有多种饵料贝类栖息的环境条件下,脉红螺对牡蛎、贻贝等污损生物的摄食选择也不明确。因此,本研究以固着型、附着型、埋栖型的4种双壳贝类作为饵料贝开展摄食选择研究,其中,牡蛎和贻贝为脉红螺栖息环境中常见的污损生物,而菲律宾蛤仔和四角蛤蜊(*Macrta veneriformis*)广泛分布于脉红螺的栖息地,以便模拟自然环境中脉红螺和不同类型饵料贝类的栖息状态,研究脉红螺对饵料贝种类及规格的喜好性,对比分析了不同规格脉红螺摄食率的差异,并进一步研究脉红螺的摄食节律以及摄食过程,为运用脉红螺生物防除牡蛎、贻贝等贝类污损生物的可行性提供数据参考,补充脉红螺摄食习性研究资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料与暂养

本实验选取自然环境中脉红螺栖息地常见的四种贝类作为饵料贝类,其中,四角蛤蜊和菲律宾蛤仔作为埋栖型饵料贝类,长牡蛎作为固着型饵料贝类,紫贻贝(*Mytilus edulis*)作为附着型饵料贝类。其中,脉红螺和四角蛤蜊购自山东荣成海鲜市场,菲律宾蛤仔、长牡蛎和紫贻贝从桑沟湾海边获取,将收集到的贝类暂养于流水实验系统的玻璃水族箱(55 cm×25 cm×30 cm),箱底铺5~6 cm细沙,上方加盖,防止脉红螺逃逸。暂养期间,脉红螺和用于实验的饵料贝类分别暂养于不同的水族箱,使用菲律宾蛤仔足量投喂脉红螺。暂养和实验海水均取自桑沟湾自然海区,实验期间水温23~25℃,盐度为32,pH值为8.1。所有实

验贝类暂养1周,期间及时清除死亡个体。

1.2 实验方法

1.2.1 摄食喜好性研究 将脉红螺按照重量分为大规格[(88±4)g]、中规格[(33±4)g]和小规格[(13±4)g]。由于4种饵料贝类形态差异较大,难以简单地通过壳长、体重等规格参数分类比较,本研究将4种饵料贝类统一按照湿重 W (g)与壳长 L (cm)的比值 $W:L$ 进行规格划分,并设置了3个规格范围:0.05~0.20、0.20~0.35和0.35~0.50。本实验共设置36个处理,5个重复。每个水族箱内投放2个相同规格的脉红螺,每个规格的4种饵料贝类投放15个,暂养至充分适应环境,即菲律宾蛤仔和四角蛤蜊钻入细沙中,贻贝产生足丝附着,脉红螺不再逃逸并开始摄食。暂养结束后,将脉红螺摄食过的贝类等量补充,然后开始实验,周期为10d。实验时,每天08:00观察记录脉红螺的摄食情况,并在不干扰脉红螺的情况下及时将摄食后的贝壳取出。

1.2.2 摄食节律研究 上述实验过程中,从第1天08:00开始,每隔2h观察并记录脉红螺摄食的贝类个数,连续观察24h,对完成摄食活动的脉红螺进行体外标记,避免影响其正常生理活动,并对标记的脉红螺从摄食活动结束后进行连续观察,直到出现下一次摄食活动结束。

1.2.3 行为特征研究 在1.2.1实验能够反映脉红螺摄食喜好以及摄食时间的基础上,选择脉红螺较喜食的大规格四角蛤蜊和不喜食的大规格贻贝进行实验,本实验共设置2个处理,3个重复。水族箱底部铺放细沙,供四角蛤蜊埋栖以及观察脉红螺的运动轨迹,将3种规格的脉红螺各一个投放到水族箱,在水族箱内分别投放10个四角蛤蜊和贻贝,暂养至充分适应环境。持续观察并拍摄记录脉红螺的捕食过程。

1.3 测定方法

1.3.1 摄食指数测定 本研究中,脉红螺对不同饵料贝类的摄食喜好性用摄食指数FI来表示。根据摄食指数的值确定摄食喜好性,将摄食喜好性分为3个等级:不摄食、摄食、喜好摄食。实验过程中从未出现脉红螺摄食某种或某规格的贝类称为不摄食,摄食指数记为0,摄食指数在0~50%称为摄食,摄食指数大于50%称为喜好摄食。摄食指数FI计算方式如下所示:

$$FI = N_n / T \times 100\%$$

$$FI' = P_n / A \times 100\%$$

式中,FI为种类喜好摄食指数;FI'为规格喜好摄食指数; N_n : N 表示被摄食个数, n 赋值1~4,表示4种

饵料贝类; T 表示某规格脉红螺摄食 4 种贝类的总数; P 表示被摄食个数, x 赋值 1~3, 表示 3 种饵料贝的规格; A 表示某种饵料贝全规格范围被某规格脉红螺摄食的个数。

1.3.2 摄食率测定 实验前, 每种饵料贝取 40 个测量其湿重、壳长、壳高和壳宽, 在 1.2.1 实验过程中, 记录 4 种贝类被脉红螺摄食完成后的壳湿重、壳长、壳高和壳宽, 根据实验前对 4 种贝类壳形态性状与湿重的关系模拟, 通过壳形态性状以及壳湿重估算被摄食的饵料贝湿重及肉重, 依此估算脉红螺在自然状态下的摄食率。

贝类湿重模拟关系式:

$$\text{四角蛤蜊: } W_w = 1.867L - 0.733H + 0.415W - 36.404 \quad (R^2 = 0.900, n = 40)$$

$$\text{菲律宾蛤仔: } W_w = 0.207L + 0.071H + 0.917W - 14.241 \quad (R^2 = 0.954, n = 40)$$

$$\text{长牡蛎: } W_w = 0.559H + 0.072L + 0.887W - 29.766 \quad (R^2 = 0.872, n = 40)$$

$$\text{紫贻贝: } W_w = 0.519H - 0.328L + 0.870W - 17.251 \quad (R^2 = 0.923, n = 40)$$

式中, W_w 代表贝类湿重(g), L 代表壳长(mm), W 代表壳宽(mm), H 代表壳高(mm)。

摄食率(feeding rate, FR)的计算方法如下所示:

$$FR = 100 \times C / (W_R \times t)$$

式中, C 表示摄食量(g), W_R 表示脉红螺的质量(g), t 表示实验时间(d)。

1.3.3 摄食节律测定 用各时间段内有摄食活动的脉红螺与全部脉红螺的数量比来反映脉红螺群体昼夜摄食节律, 将脉红螺个体一次摄食活动结束到下

一次摄食活动结束的时间记作一个完整的摄食周期, 分别研究其摄食节律。

1.4 数据处理

本研究用 EXCEL 和 SPSS 进行数据处理及图表绘制, 采用三因素方差分析研究不同规格脉红螺对不同规格范围的 4 种贝类摄食情况, 用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 多重比较分析 3 种规格脉红螺摄食率和摄食节律的差异显著水平, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 摄食喜好性

脉红螺的规格和饵料贝类的种类及规格范围对脉红螺的摄食喜好性存在明显的交互作用($P < 0.05$), 且 3 个因素两两之间也存在交互作用($P < 0.05$)。脉红螺对 4 种贝类均有摄食并且不同规格的脉红螺对不同规格范围的饵料贝类具有明显的摄食喜好性(表 1)。摄食指数由大到小依次为四角蛤蜊、牡蛎、菲律宾蛤仔和贻贝, 其中, 四角蛤蜊和菲律宾蛤仔同为埋栖型贝类, 但脉红螺在摄食活动中对四角蛤蜊的摄食指数显著大于菲律宾蛤仔, 有明显的摄食喜好性($P < 0.05$)。对菲律宾蛤仔和牡蛎的摄食喜好差异不显著($P < 0.05$), 但对贻贝的摄食喜好性最低($P < 0.05$), 表现为不喜食。脉红螺对 3 种规格范围的四角蛤蜊、牡蛎和菲律宾蛤仔均有摄食, 对规格 $W : L$ 范围为 0.35~0.50 的贻贝没有摄食现象, 同种贝类各规格范围之间的摄食数量差异性显著($P < 0.05$)。

表 1 脉红螺对不同规格的 4 种贝类摄食喜好性($n=180$; 平均值±标准误)

Tab.1 Preferences of *R. venosa* feeding on four kinds of bivalves with different sizes ($n=180$; Mean±SE)

脉红螺规格 Specifications	饵料贝类 Species	饵料规格 $W : L$	规格摄食指数 FI/%	摄食个数 Feeding quantity	种类摄食指数 FI/%
大 Large	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	0.05~0.20	3.45±0.56 ^a	11.60	57.23±4.59 ^a
		0.20~0.35	37.93±7.25 ^b		
		0.35~0.50	58.62±3.70 ^c		
	长牡蛎 <i>C. gigas</i>	0.05~0.20	100.00±0.00 ^a	4.00	19.73±0.79 ^b
		0.20~0.35	0.00±0.00 ^b		
		0.35~0.50	0.00±0.00 ^b		
	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	0.05~0.20	20.00±2.41 ^a	2.67	13.17±0.89 ^{bc}
		0.20~0.35	40.00±2.67 ^b		
		0.35~0.50	40.00±2.67 ^b		
	紫贻贝 <i>M. edulis</i>	0.05~0.20	75.00±60.30 [*]	2.00	9.87±1.53 ^c
		0.20~0.35	25.00±13.40 [*]		
		0.35~0.50	0.00±0.00 [*]		

续表 1

脉红螺规格 Specifications	饵料贝类 Species	饵料规格 W : L	规格摄食指数 FI/%	摄食个数 Feeding quantity	种类摄食指数 FI/%
中 Medium	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	0.05~0.20	9.68±3.06 ^a	6.20	63.92±9.99 ^a
		0.20~0.35	41.94±7.50 ^b		
		0.35~0.50	48.39±14.43 ^b		
	长牡蛎 <i>C. gigas</i>	0.05~0.20	100.00±5.77 ^a	2.50	25.77±2.31 ^b
		0.20~0.35	0.00±0.00 ^b		
		0.35~0.50	0.00±0.00 ^b		
	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	0.05~0.20	0.00±0.00 [*]	1.00	10.31±3.26 ^{bc}
		0.20~0.35	25.00±25.00 [*]		
		0.35~0.50	75.00±75.00 [*]		
紫贻贝 <i>M. edulis</i>	0.05~0.20	0.00±0.00	0.00	0.00±0.00 ^c	
	0.20~0.35	0.00±0.00			
	0.35~0.50	0.00±0.00			
小 Small	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	0.05~0.20	26.32±3.73 ^a	3.80	65.52±6.27 ^a
		0.20~0.35	26.32±5.59 ^a		
		0.35~0.50	47.37±5.22 ^b		
	长牡蛎 <i>C. gigas</i>	0.05~0.20	100.00±0.00 ^a	1.00	17.24±3.08 ^b
		0.20~0.35	0.00±0.00 ^b		
		0.35~0.50	0.00±0.00 ^b		
	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	0.05~0.20	0.00±0.00 [*]	1.00	17.24±4.63 ^b
		0.20~0.35	50.00±6.75 [*]		
		0.35~0.50	50.00±6.75 [*]		
紫贻贝 <i>M. edulis</i>	0.05~0.20	0.00±0.00	0.00	0.00±0.00 ^c	
	0.20~0.35	0.00±0.00			
	0.35~0.50	0.00±0.00			

注：同一列中平均数后不同字母上标表示差异性显著情况，*上标代表重复组差异较大。W : L: 4种贝类湿重与规格参数最大值的比值。

Note: Data with different superscript letter in the same column are significant different, and * superscript indicates greater parallel difference in this group. W : L: Ratio of wet weight of four kinds of shellfish to the maximum value of specification parameter.

2.3 摄食量和摄食率

在 10 d 的培养时间中，不同规格的脉红螺对同种饵料贝类的摄食总重量差异性显著 ($P < 0.05$)，对四角蛤蜊的摄食量显著高于其他饵料贝类 ($P < 0.05$) (表 2)。

大、中、小 3 种规格脉红螺的周期总摄食量分别为 18.78、9.80 和 4.83 g，3 种规格的脉红螺对 4 种贝类的日摄食量差异性显著 ($P < 0.05$) (图 1)，大规格脉红螺摄食率 (7.15%) 显著小于小规格脉红螺 (10.98%) 和中规格脉红螺摄食率 (9.64%) ($P < 0.05$)。

表 2 不同规格脉红螺对 4 种贝类的摄食总量 ($n=180$; 平均值±标准误)

Tab.2 Total food intake of *R. venosa* with different sizes feeding on four bivalves ($n=60$; Mean±SE)

脉红螺规格 Specifications	摄食重量 Feeding weight/g			
	四角蛤蜊 <i>M. veneriformis</i>	长牡蛎 <i>C. gigas</i>	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	紫贻贝 <i>M. edulis</i>
大 Large	93.47±6.18 ^{a/A}	17.00±3.40 ^{b/A}	9.78±2.00 ^{b/A}	9.81±1.72 ^{b/A}
中 Medium	46.56±6.34 ^{a/B}	13.37±2.02 ^{b/B}	10.70±2.15 ^{bc/A}	0.00±0.00 ^{c/B}
小 Small	28.66±3.98 ^{a/C}	3.28±1.19 ^{b/C}	4.79±0.31 ^{b/A}	0.00±0.00 ^{b/C}

注：大小写上标字母分别代表同列和同行数据存在显著差异 ($P < 0.05$)。

Note: Data with upper or lower case superscript letters are significant different in the same column and in the same row, respectively ($P < 0.05$).

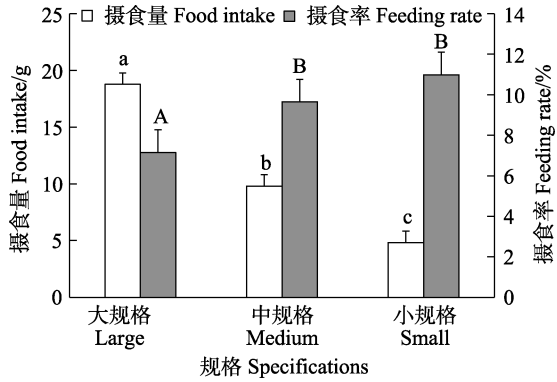


图 1 不同规格脉红螺的周期摄食量和摄食率
Fig.1 Periodic food intake and feeding rate of *R. venosa* with different specifications

不同字母表示不同规格脉红螺的摄食指标差异显著($P < 0.05$)。
The difference of food intake and feeding rate of *R. venosa* of different sizes indicated by different letters ($P < 0.05$).

2.4 摄食过程

脉红螺对四角蛤蜊和贻贝的摄食方式无明显不同: 在未摄食状态, 一般用腹足吸附于水族箱壁上或潜入沙中(图 2-1~图 2-3), 吸水管缩入前沟; 摄食搜寻阶段, 吸水管从前沟伸出, 触角露出, 腹足不断向前移动, 并在足底留下一层黏液, 移动过程中无明显的方向性, 在搜寻过程中对贝类具有选择性, 优先捕食个体较大的四角蛤蜊(图 2-4~图 2-5); 在摄食阶段, 脉红螺用足部将四角蛤蜊从沙中移出并包裹住, 在包裹的同时分泌黏液并将吻沿贝壳缝隙伸入壳内, 然后吸食被消化液分解贝类软体部分(图 2-6~图 2-10); 摄食结束后, 脉红螺离开所摄食的贝类, 贝类的壳开口, 壳内无软体部残留(图 2-11), 然后脉红螺再次移动至水族箱壁或潜入沙中(图 2-12)。



图 2 脉红螺摄食过程

Fig.2 Feeding process of *R. venosa*

1~3: 未摄食状态; 4~5: 搜寻阶段; 6~10: 摄食阶段; 11~12: 摄食结束
M: 四角蛤蜊; D: 移动方向; P: 腹足; I: 吸水管; T: 触角。

1~3: Unfed state; 4~5: Search phase; 6~10: Feeding phase; 11~12: Feeding end
M: *M. veneriformis*; D: Direction of movement; P: Proleg; I: Inhalent siphon; T: Tentacle.

2.5 摄食节律

3种规格脉红螺摄食周期差异不显著($P>0.05$), 均为每3d摄食一次, 并且摄食高峰出现在第3天的

20:00~24:00, 摄食活动持续3~4h, 02:00以后摄食贝类的数量不再变化(图3), 即停止摄食。脉红螺在白天不摄食。

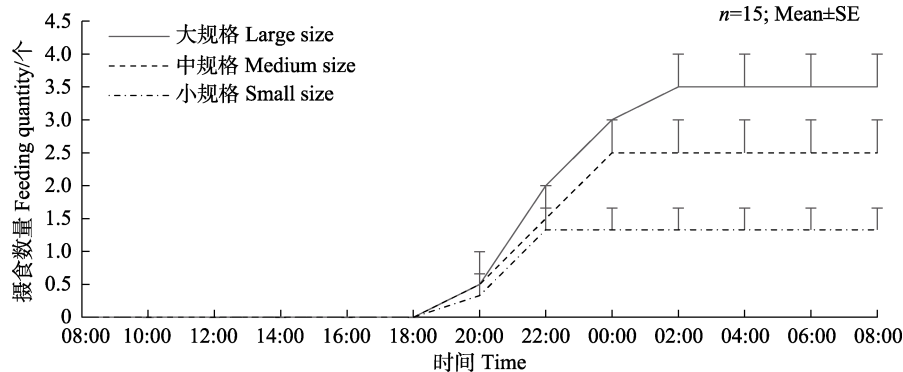


图3 第3天脉红螺昼夜摄食情况

Fig.3 Day and night feeding of *R. venosa* on the 3rd day

3 讨论

3.1 脉红螺的摄食喜好性

关于脉红螺的摄食选择性研究, 王健等(1997)在莱州湾脉红螺筏式养殖的初步研究中, 选择贻贝、长牡蛎、菲律宾蛤仔和毛蚶4种饵料, 进行为期4周的饵料偏好性实验。研究表明, 脉红螺对4种饵料偏好性不显著。而在本研究中, 3种规格的脉红螺对四角蛤蜊的摄食量最大, 对同为埋栖型且规格相似的菲律宾蛤仔的摄食量较少。脉红螺对不同种类、不同规格的饵料贝类表现出明显的摄食喜好性。在脉红螺摄食方式的研究过程中发现, 当菲律宾蛤仔和四角蛤蜊同时暴露在沙层外且菲律宾蛤仔距离脉红螺较近时, 脉红螺仍会优先选择四角蛤蜊摄食, 由此看出, 脉红螺对不同种类的饵料贝类具有明显的摄食喜好性。在摄食规格范围的选择性方面, 对不同种类的饵料贝, 脉红螺更喜食规格较小的饵料贝类; 而对于不同规格的同种饵料贝类, 脉红螺的摄食喜好性差异较大。从本研究结果来看, 脉红螺喜食大规格的四角蛤蜊和菲律宾蛤仔以及小规格的牡蛎和贻贝。刘吉明等(2003)在脉红螺生态习性的初步研究中讨论了脉红螺对食物的选择性。其在同一饲养池内, 一次投喂足量不同种类和规格的青蛤、四角蛤蜊、文蛤和蓝蛤, 脉红螺首先表现出喜食青蛤, 而且偏好小个体, 但个体最小的蓝蛤未被摄食, 可见脉红螺对食物种类和规格具有选择性。在本研究中, 脉红螺存在明显的摄食规格喜好范围, 对个体偏小的四角蛤蜊摄食积极性偏低, 对于牡蛎和贻贝等成体较大的双壳贝类, 脉红螺极少摄食

其成年大个体, 喜好摄食其幼贝时期的个体。因此, 若使用脉红螺作为生物防除工具种, 需要尽早放入防除区域, 以保证防除效果。

3.2 脉红螺的摄食节律

生物节律是指生物体为了适应由于地球自转引起的昼夜变化而形成的行为、代谢和免疫等多方面的以大约24h为周期的节律变化过程(安扬等, 2015)。生物随着昼夜变化, 逐渐形成的周期性、有规律的行为就是节律行为。本研究发现, 脉红螺与管角螺(*Hemifusus tuba*)的摄食习性有相似之处, 管角螺喜食双壳贝类, 随着个体的生长, 摄食节律逐渐明显, 更趋向于夜间摄食, 白天附壁(张林林, 2012)。本研究中, 脉红螺白天吸附在水族箱壁上或潜入沙中, 无任何摄食活动。在18:00以后, 有一小部分脉红螺开始移动, 但仍未有摄食活动; 在20:00以后, 部分脉红螺有摄食活动发生, 进行摄食活动的脉红螺的数量占全部脉红螺的36.67%(约1/3); 在02:00以后, 摄食活动基本结束, 脉红螺重新潜入沙中或吸附于水族箱壁, 摄食习性为夜行性。一昼夜中进行摄食活动的脉红螺数量占比约1/3, 但在白天其他脉红螺没有摄食活动, 因此脉红螺不同个体间的摄食时间存在交错性。在连续观察过程中, 发现标记的已摄食脉红螺在第2天未出现任何摄食活动, 因此, 脉红螺的摄食行为不具有昼夜节律性。但是, 在连续3d的观察过程中发现, 在第3天18:00以后标记的脉红螺逐渐全部开始摄食。因此, 脉红螺的摄食行为具有明显的周期性, 即每3d进行一次摄食活动, 且3种规格的脉红螺摄食周期无明显差异。而其他研究也发现, 脉红螺

摄食存在周期变化过程,且这一周期长度超过昼夜变化的限度,但是,该研究认为该变化周期在无交配行为期为4 d,交配行为的出现使该周期出现轻微缩短,为3.72 d(王平川等,2013),这与本研究所得结论有一定差异。本研究开展时间为9月,脉红螺产卵已结束,并且本研究使用的脉红螺包括成螺和幼螺的不同规格,其摄食活动均集中在上半夜,摄食节律为每3 d一个周期。而该研究中均使用成螺作为实验对象,这些因素可能导致研究结果有所差异。由于影响生物摄食节律的因素复杂,对鱼类来说,其摄食节律与感官、环境变化等密切相关。靠视觉摄食的种类,其白天的摄食强度往往大于晚上,靠触觉或嗅觉摄食的种类可能不受昼夜变化的影响(梁旭方等,1998)。如绿鳍马面鲀(*Thamnaconus septentrionalis*),不同的投喂方式对其摄食行为会产生显著影响(张鹏飞等,2020)。而日本金线鱼(*Nemipterus japonicus*)在不同季节以及生长时期的摄食习性和摄食强度差异较大(王锦溪等,2023)。因此,处于不同生活史时期及不同生活环境的脉红螺摄食周期可能不同。

3.3 摄食过程

成年脉红螺的摄食方式与同为骨螺科的瘤荔枝螺(*Thais bronni*)不同,并且与幼螺时期的脉红螺也不相同。瘤荔枝螺依靠齿舌刮取食物(黄继,2016),而对于脉红螺的幼螺,当猎物大小相差不大时,幼螺主要钻孔取食,猎物较少时,幼螺主要包裹残食(于正林,2019)。脉红螺虽然可以在贝壳上钻孔以获取食物,但钻孔行为只发生于壳长小于34 mm的个体(Harding *et al.*, 2007)。在本研究中,3种规格的脉红螺摄食后残留的饵料贝壳上未发现孔洞。因此,本研究中幼螺和成螺的摄食方式并不是钻孔摄食。较大规格的脉红螺通过包裹食物,并由鳃下腺分泌黏液使其窒息,同时黏液中可能含有某些毒素,从而有助于快速杀死或麻痹双壳类和打开贝壳,从而使净能量的获得最大化(Savini *et al.*, 2006; Munari *et al.*, 2011)。实验观测中发现,对于个体较小的四角蛤蜊,脉红螺能用足部将其完全包裹,摄食过程简单,持续时间较短。对于个体较大的贝类,2个脉红螺之间有合作行为,共同将贝类包裹,摄食持续时间较长。在观察脉红螺摄食比自己体型大的贻贝时,发现脉红螺虽然不能将贻贝完全包裹,但却能在部分包裹的情况下将吻沿贝壳缝隙伸入贻贝体内。而有些双壳贝类在特殊情况下闭壳时间较长,如斑马贻贝(*Dreissena polymorpha*)的每天最长闭壳时间可达1.5 h,而受环境胁迫时闭壳时间更长(Kramer *et al.*, 1989)。当脉红螺摄食个体较小的贝类

时,整个摄食过程不足2 h,由此看出,通过包裹使贝类窒息而亡并非其单一的捕食方式。同为腹足类生物的管角螺,靠嗅觉感知食物,运用腹足缓慢爬向食物,以发达的足部缠裹住贝类,吻伸入生物体内摄食(张林林,2012),这与脉红螺的捕食方式有相似之处。本研究中,脉红螺捕食饵料贝类并不是单纯用腹足将其包裹使其窒息而亡,在移动和捕食过程中腺体会分泌大量黏液,黏液可以将饵料贝类全部包裹覆盖并沿其壳间缝隙渗入,在黏液与腹足的协同作用下,脉红螺可以快速杀死饵料贝类,并将口吻伸入其壳内进行吸食。

参 考 文 献

- AN Y, XU Y. The mechanism of mammalian circadian rhythms. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 2015, 27(11): 8 [安扬, 徐璿. 哺乳动物昼夜节律机制研究进展. *生命科学*, 2015, 27(11): 8]
- HARDING J M, KINGSLEY-SMITH P, SAVINI D, *et al.* Comparison of predation signatures left by Atlantic oyster drills (*Urosalpinx cinerea* Say, Muricidae) and veined rapa whelks (*Rapana venosa* Valenciennes, Muricidae) in bivalve prey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 352(1): 1–11
- HE J B, HU L P, QU Z, *et al.* Effects of diet species, size, weight and stocking density on survival and growth of rock shell *Rapana venosa*. *Chinese Journal of Fisheries*, 2021, 34(6): 6 [贺加贝, 胡丽萍, 曲忠, 等. 饵料种类、规格、投喂量和养殖密度对脉红螺存活及生长的影响. *水产学杂志*, 2021, 34(6): 6]
- HUANG J. Indoor artificial breeding of *Thais bronni*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(6): 87–90 [黄继. 瘤荔枝螺室内人工育苗试验. *安徽农业科学*, 2016, 44(6): 87–90]
- KRAMER K J M, JENNER H A, DE ZWART D. The valve movement response of mussels: A tool in biological monitoring. *Hydrobiologia*, 1989, 188(1): 433–443
- LIANG X F, HE D R. Sensory basis in the feeding behaviour of fishes. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, 22(3): 7 [梁旭方, 何大仁. 鱼类摄食行为的感觉基础. *水生生物学报*, 1998, 22(3): 7]
- LIU J M, REN F H, YANG H. Preliminary study on the ecological characteristic of *Rapana venosa* (Valenciennes). *Fisheries Science*, 2003, 22(1): 2 [刘吉明, 任福海, 杨辉. 脉红螺生态习性的初步研究. *水产科学*, 2003, 22(1): 2]
- MUNARI C, MISTRI M. Short-term hypoxia modulates *Rapana venosa* (Muricidae) prey preference in Adriatic lagoons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, 407(2): 166–170

- SAVINI D, OCCHIPINTI-AMBROGI A. Consumption rates and prey preference of the invasive gastropod *Rapana venosa* in the Northern Adriatic Sea. *Helgoland Marine Research*, 2006, 60(2): 153–159
- SONG J P, FANG J B, SONG H, *et al.* Effect of feeding preferences, temperature, and size on food intake of *Rapana venosa*. *Marine Sciences*, 2016(1): 48–53 [宋军鹏, 房建兵, 宋浩, 等. 饵料、温度和个体规格对脉红螺摄食的影响. *海洋科学*, 2016(1): 48–53]
- SONG L H, ZHOU H. Animal breeding technology of shellfish traditional Chinese medicine. Beijing: China Forestry Press, 2001 [宋利华, 周红. 贝类中药材动物养殖技术. 北京: 中国林业出版社, 2001]
- WANG J X, LUO K L, FAN Y F, *et al.* Feeding ecology of *Nemipterus japonicus* in Beibu Gulf. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44(1): 47–57 [王锦溪, 罗孔兰, 范瀛方, 等. 北部湾日本金线鱼摄食生态. *渔业科学进展*, 2023, 44(1): 47–57]
- WANG J, WANG Z Q, YANG G Y, *et al.* Preliminary study on cultivating *Rapana venosa* with raft in the Laizhou Bay. *Shandong Fisheries*, 1997, 14(5): 7–9 [王健, 王振崎, 杨哥跃, 等. 莱州湾脉红螺筏式养殖的初步研究. *齐鲁渔业*, 1997, 14(5): 7–9]
- WANG P C, ZHANG L B, PAN Y, *et al.* The feeding rhythm of veined Rapa whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(12): 1807–1814 [王平川, 张立斌, 潘洋, 等. 脉红螺摄食节律的研究. *水产学报*, 2013, 37(12): 1807–1814]
- WANG Z P, TIAN C Y, YU R H, *et al.* Marine shellfish culture technology. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1998 [王昭萍, 田传远, 于瑞海, 等. 海水贝类养殖技术. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1998]
- XIE Z M. Marine economic shellfish culture technology. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2003 [谢忠明. 海水经济贝类养殖技术 (上册). 北京: 中国农业出版社, 2003]
- YU R H, AN J T, ZHANG Y, *et al.* Research on feeding favor in different kinds of shellfish on *Rapana venosa*. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(4): 61–65 [于瑞海, 安俊庭, 张扬, 等. 脉红螺对不同贝类摄食喜好性的研究. *海洋湖沼通报*, 2013(4): 61–65]
- YU Z L. A study on the behavior characteristics of the early developmental stages of *Rapana venosa*. Doctoral Dissertation of University of Chinese Academy of Sciences, 2019 [于正林. 脉红螺早期发育阶段行为特征研究. 中国科学院大学博士研究生学位论文, 2019]
- ZHANG L L. Study on the feeding, growth and energy budget of *Hemifusus tuba Gmelin*. Master's Thesis of Ningbo University, 2012 [张林林. 管角螺摄食、生长及能量收支研究. 宁波大学硕士研究生学位论文, 2012]
- ZHANG P F, CHANG Q, CHEN S Q, *et al.* Diet feeding rhythm and analysis of gastric evacuation associated mathematical models in juvenile *Thamnaconus septentrionalis*. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(1): 104–111 [张鹏飞, 常青, 陈四清, 等. 绿鳍马面鲷幼鱼昼夜摄食节律及胃排空模型研究. *渔业科学进展*, 2020, 41(1): 104–111]

(编辑 陈 辉)

Study on the Behaviors of *Rapana venosa* Feeding on Different Bivalves

XU Xizhen¹, FANG Jinghui^{1①}, FANG Jianguang¹, ZHANG Zhixin²,
JIANG Zengjie¹, ZHANG Yitao³, WANG Junwei³, MAO Yuze¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China; 2. Weihai Aquatic School, Weihai 264300, China; 3. Rongcheng Chudao Aquatic Co., Ltd, Weihai 264312, China)

Abstract *Rapana venosa* is primarily distributed in the Yellow Sea and Bohai Sea of China, Japan, Korea, and Russia. In the natural sea area, the adult *R. Venosa* mostly inhabits the sand-mud bottom or the rocky bottom of the low intertidal zone up to 20 meters deep, and the young *R. Venosa* mostly inhabits the rocks near the coastal line. Its habitats are generally occupied by many other bivalves, such as *Crassostrea gigas*, *Macra chinensis*, and *Ruditapes philippinarum*. The *R. venosa* is a large carnivorous Mollusca that mainly feeds on bivalves and other animal carcasses. *R. venosa* is often

① Corresponding author: FANG Jinghui, E-mail: hui861@163.com

classified as an enemy of bivalve farming, but they can also be used to control fouling organisms, and it has potential for application in aquaculture and ocean engineering.

In recent years, there have been some reports on the feeding selectivity of *R. venosa*, the effects of feed, temperature, and individual specifications on feeding, the effects of feed types, specifications, feeding amount, and breeding density on the survival and growth, the feeding preferences to different bivalves and the feeding cycle before and after reproduction. These studies mainly explored the effects of temperature, density, feed types, and specifications on its growth and development. The main purpose of these studies was to select suitable feed types and specifications for the temporary culture and breeding of *R. venosa*, to improve its growth and development speed, and increase economic benefits under artificial breeding conditions. However, the feeding selection and behavior process of *R. venosa* under natural conditions are not clear, and the feeding selection of *R. venosa* to *C. gigas*, *Mytilus edulis* and other fouling organisms was not clear under the environmental conditions of multiple bait bivalve habitats. Therefore, in this study, four kinds of bivalves (fixed type, attached type and buried type) were used as bait bivalves to understand the feeding selection. *C. gigas* and *M. edulis* are common fouling organisms in the habitat of *R. venosa*, while *M. veneriformis* and *R. philippinarum* are widely distributed in the habitat of *R. venosa*. The study attempts to simulate the habitat of *R. venosa* and different types of bait bivalves in the natural environment, to study its preference for bait bivalves species and feeding specifications, to compare and analyze the differences in feeding rates of different specifications of *R. venosa*, and further study its feeding rhythm and feeding process and to provide data reference for the feasibility of using *R. venosa* to control *C. gigas*, *M. edulis* and other bivalves fouling organisms, and improve the feeding habits of *R. venosa*.

To achieve these objectives, three specifications of *M. veneriformis*, *R. philippinarum*, *C. gigas*, and *M. edulis* live baits were placed in the aquarium by simulating the natural environment. The feeding number, feeding weight, feeding specifications, feeding time, and feeding behavior process of three specifications of *R. venosa* to different baits were recorded. The experimental results showed that *R. venosa* fed on all four bivalves. The number and weight of *R. venosa* that fed on *M. veneriformis* with different specifications were significantly higher than those that fed on other bivalves ($P < 0.05$), and the feeding index was more than 50%, indicating its appetite. *R. venosa* fed normally on *C. gigas* and *R. philippinarum*, and only a small population of *R. venosa* fed on *M. edulis* with large specifications. In terms of the selection of feeding specifications, three specifications of *R. venosa* preferred large *M. veneriformis* and small *C. gigas* ($P < 0.05$). The feeding rate of the large specification *R. venosa* was 7.15%, which was significantly lower than that of the other two specifications (small specification, 10.98%; medium specification, 9.64%). Under the experimental conditions, the feeding cycle of *R. venosa* was apparent, feeding activities were carried out every three days, and the feeding time was 20:00–24:00 at night. The feeding process can be divided into four stages: Unfed stage, search stage, feeding stage, and feeding end. During the feeding process, the *R. venosa* actively searched for bivalves, removed them from the sand and wrapped them with their proleg, secreted mucus, and smacked them from the shell gap. After sucking the mollusks decomposed by digestive juice, the *R. venosa* dived into the sand or attached to the aquarium wall. The results showed that under the experimental conditions, *R. venosa* had a feeding preference for the species and specifications of bait bivalves. *R. venosa* preferred to eat *M. veneriformis* and rarely consumed *M. edulis*. Moreover, its feeding behavior was nocturnal and exhibited periodicity, feeding activity happened every three days in the first half of the night.

Key words *Rapana venosa*; Feeding preference; Feeding rhythm; Feeding process; Feeding rate