

## 克氏原螯虾对2种材质洞穴的选择和空间分布研究

骆磊<sup>1,2,3</sup>, 黄建华<sup>1,2</sup>, 刘栋梁<sup>4</sup>, 谭理琦<sup>4</sup>, 江世贵<sup>2</sup>, 周发林<sup>2</sup>,  
姜松<sup>2</sup>, 杨其彬<sup>5</sup>, 杨丽诗<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地, 广东深圳 518018; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东广州 510300; 3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 4. 深圳市福田区动物防疫监督所, 广东深圳 518000; 5. 中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心, 海南三亚 572018)

**摘要:** 文章通过观察人工养殖环境下, 克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 在堆积的竹筒和 PVC 管 2 种类型洞穴中的分布情况, 分析比较了克氏原螯虾对 2 种洞穴的选择适应性和空间分布占比规律, 不同洞穴内外的雌雄比例分布规律, 及单一洞穴内虾的数量分布及雌雄比例规律。实验结果表明, 克氏原螯虾喜栖息躲藏于洞穴中 (A 组 83.47%, B 组 89.87%), 尤其喜栖息躲藏于竹筒洞穴中 [B 组竹筒 (71.80%) 和 PVC 管 (11.63%)]. 垂直摆放洞穴的上下位置会影响克氏原螯虾分布, 克氏原螯虾更喜欢在中下层和下层洞穴中躲藏, 其分布数量由下而上依次降低。克氏原螯虾具有一雄多雌同居一穴的现象, 不同垂直空间雌雄分布比例没有明显规律, 但雌雄比最高分别出现在 A 组的最下层 (3.43 : 1) 和 B 组竹筒洞穴的最上层 (2.86 : 1)。

**关键词:** 克氏原螯虾; 竹筒; PVC 管; 洞穴选择; 分布规律

中图分类号: S 966.12

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Study on selection and spatial distribution of two kinds of caverns for *Procambarus clarkii*

LUO Lei<sup>1,2,3</sup>, HUANG Jianhua<sup>1,2</sup>, LIU Dongliang<sup>4</sup>, TAN Liqi<sup>4</sup>, JIANG Shigui<sup>2</sup>, ZHOU Falin<sup>2</sup>,  
JIANG Song<sup>2</sup>, YANG Qibin<sup>5</sup>, YANG Lishi<sup>1,2</sup>

(1. Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shenzhen 518108, China; 2. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Futian District Animal Epidemic Prevention Supervision Institute, Shenzhen 51800, China; 5. Tropical Aquaculture Research and Development Center of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572018, China)

**Abstract:** We investigated the selection adaptability and spatial distribution ratio, distribution of sex ratio inside or outside different caves, as well as the quantity and sex ratio in single cave of *Procambarus clarkii* in two kinds of caves (staked bamboo tube and PVC tube) during artificial breeding. The results show that *P. clarkii* tended to hide in caves (Group A: 83.47%, Group B: 89.87%),

收稿日期: 2019-01-08; 修回日期: 2019-04-11

资助项目: 广东省科技创新青年拔尖人才项目 (2015TQ01N583); 深圳市知识创新计划基础研究项目 (基 20180290 JCYJ20170412110605075, JCYJ20180504170233070)

作者简介: 骆磊 (1995—), 男, 硕士研究生, 从事水产种质资源与生物技术研究。E-mail: 867429468@qq.com

通信作者: 杨丽诗 (1981—), 女, 博士, 副研究员, 从事水产种质资源与生物技术研究。E-mail: yangls2016@163.com

especially in bamboo cave [Group B: bamboo tube (71.80%) and PVC tube (11.63%)]. Vertical placement of the cave will affect the distribution of *P. clarkii* which preferred to hide in the caves at middle and lower layers as well at lower layer, and the quantity reduced from bottom to top. *P. clarkii* had a phenomenon of polygyny cohabitation, but the laws of male and female distribution in different vertical spaces were not obvious, with the highest ratio of male and female in the lowerest layer of Group A (3.43:1) and the uppermost layer of Group B bamboo cave (2.86:1).

**Key words:** *Procambarus clarkii*; bamboo tube; PVC tube; cave selection; distribution rule

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 俗称小龙虾。据统计, 2017 年我国克氏原螯虾养殖面积已经超过  $66.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 养殖产量超过  $100 \times 10^4 \text{ t}$ , 产值(含养殖和捕捞)达  $2\,600 \times 10^8$  元; 而其拉动的养殖、加工、餐饮经济总产值超过  $1\,400 \times 10^8$  元, 全产业链从业人数将近  $520 \times 10^4$  人<sup>[1]</sup>。克氏原螯虾正以特别的魅力红遍神州, 成为名副其实的大产业。

当前克氏原螯虾养殖主要有稻虾综合种养(约占 70%)、池塘养殖、湖汉(泊)养殖 3 种类型。在其养殖业迅速发展过程中也存在养殖技术和良种选育基础研究滞后等问题, 制约了产业的发展。关于克氏原螯虾的研究, 过去多集中在营养、病害、繁殖和幼体发育等方面<sup>[2-12]</sup>, 对其养殖模式的研究也较多<sup>[13-16]</sup>。克氏原螯虾生性好斗, 白天喜欢穴居或潜伏躲藏, 晚上觅食, 营造适合克氏原螯虾穴居的栖息空间将有利于提高其成活率。唐建清等<sup>[17]</sup>发现人工洞穴可以使克氏原螯虾的成活率提高 81%, 此外螯虾更适应穴长较长、避光、透气的人工洞穴。养殖户尝试利用各种模拟洞穴及遮蔽物使螯虾可栖息躲藏<sup>[18-19]</sup>, 主要使用的材料有瓦片、网片、砖块、塑料管等<sup>[20]</sup>, 但以竹筒和聚氯乙烯(PVC)管作为克氏原螯虾的人工洞穴较为少见。研究克氏原螯虾对不同人工巢穴的选择和适应程度, 有助于了解其穴居生活方式, 具有重要的应用价值。

近年, 研究发现竹筒也可作为一种良好的克氏原螯虾栖息环境的隐蔽物<sup>[21-22]</sup>。PVC 管作为一种常见的易淘汰型管道用具<sup>[23-24]</sup>, 如将废弃的 PVC 管收集起来用作养殖克氏原螯虾的栖息遮蔽物, 可实现废物的再利用。本文通过探究克氏原螯虾对竹筒和 PVC 管 2 种洞穴的选择状况, 及其在养殖过程中的雌雄分布情况, 初步了解克氏原螯虾穴居的生活习性, 为其健康养殖和人工繁殖提供参考依据。

## 1 材料与方

### 1.1 实验设计

按照所选用克氏原螯虾个体大小, 设计口径

50 mm、长度 50 cm 的竹筒和 PVC 管(图 1), 两者均为两端开口, 竹筒内为贯通, PVC 管内用铁片作为隔物隔断。实验设 2 个组, 分别为 A 组(放置 100 个竹筒型洞穴)和 B 组(放置 50 个 PVC 管及 50 个竹筒型洞穴)。实验每隔 10 d 记录 1 次洞穴内外虾的数量及雌雄比例, 连续记录 3 次。

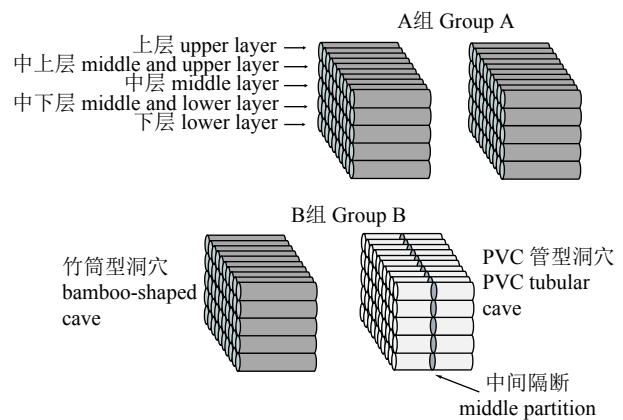


图1 洞穴模式图

A 组左右 2 个均为竹筒型洞穴; B 组左侧为竹筒型洞穴, 右侧为有中间隔断的 PVC 管型洞穴

Fig.1 Pattern of caves

The left and right sides of Group A are bamboo-shaped caves; the left side of Group B is bamboo-shaped cave, and the right side is PVC tubular cave with middle partition.

### 1.2 实验对象管理

实验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地进行, 随机挑选一批个体大小均匀、体质健康的克氏原螯虾[体质量 ( $31.23 \pm 3.52$ ) g]为实验用虾。实验共分成 2 个处理组, 每组 200 尾, 雌雄比例接近 2 : 1<sup>[25]</sup>, 于室内车间玻璃缸 ( $1.84 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 1.73 \text{ m}$ ) 分缸养殖 30 d。实验期间用水为纯淡水, 水温  $27 \sim 31.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 溶解氧  $5.6 \sim 6.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。自然采光(屋顶是间隔透光瓦, 为室外光强 1/2 以上, 中午光强可达到  $50\,000 \text{ lx}$  以上), 24 h 充气。每天投喂 2 次(8:00 和 17:00), 日投喂量为克氏原螯虾体质量的 4%~6%, 8:00 投喂日投喂量的 40%, 17:00 投喂日投喂量的 60%, 投料 1 h 后观

察克氏原螯虾摄食情况,并及时调整投料量,每隔3日吸污换水1次,换水量20%~30%。

### 1.3 统计分析

数据采用 Excel 2013 和 SPSS 21.0 软件处理,进行单因素方差分析,用 Duncan's 多重比较分析各组间的差异显著性 ( $P<0.05$ ) 和差异极显著性 ( $P<0.01$ )。结果表示为“平均值±标准误 ( $\bar{X}\pm SE$ )”。

## 2 结果

### 2.1 克氏原螯虾在洞穴层次及洞穴内外的分布占比规律

克氏原螯虾在洞穴内的空间分布呈现出由下至上依次降低的分布规律(表1),不同层次虾的分布占比存在显著性差异。A组竹筒中由下至上分别为21.17%、33.73%、17.51%、9.53%和7.87%。在B组竹筒型洞穴内不同层次的分布占比由下至上分别为26.63%、23.07%、9.13%、8.27%和4.70%;B组PVC管洞穴中由下至上分别为8.61%、2.00%、0.00%、0.00%和1.02%。

表1 克氏原螯虾在洞穴内的分布占比

Tab.1 Proportion of distribution of *P. clarkii* inside cave %

层次 layer	A组 Group A	B组 Group B	
		竹筒型洞穴 bamboo cave	PVC管型洞穴 PVC cave
上层 upper	7.87±1.10 <sup>c</sup>	4.70±0.46 <sup>d</sup>	1.02±0.08 <sup>c</sup>
中上层 middle and upper	9.53±0.29 <sup>dc</sup>	8.27±0.86 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>
中层 middle	17.57±0.64 <sup>c</sup>	9.13±1.50 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>
中下层 middle and lower	33.73±1.40 <sup>a</sup>	23.07±2.13 <sup>b</sup>	2.00±0.09 <sup>b</sup>
下层 lower	21.17±0.58 <sup>b</sup>	26.63±2.87 <sup>a</sup>	8.61±0.77 <sup>a</sup>

注: 同列数据中上标不同字母者之间差异显著 ( $P<0.05$ ); 下表同此

Note: Values within the same row with different superscript letters are significantly different ( $P<0.05$ ). The same case in the following tables.

两组实验躲藏在洞穴中虾的数量分别占总数的83.47%和89.87%,远高于未躲藏在洞穴中的虾数量占比(10.13%和16.53%)。B组内竹筒型洞穴内虾的总分布占比为71.8%,PVC管型洞穴内虾的总分布占比为11.63%。相比于PVC管型洞穴而言,躲藏栖息于竹筒型洞穴内虾的数量较多。

### 2.2 克氏原螯虾在洞穴内外的雌雄比例分布规律

不同垂直空间雌雄分布比例并没有明显规律,

但筒型洞穴内虾的平均雌雄比例(1.94:1)高于PVC管型洞穴(1.04:1,表2、图2)。雌雄比最高分别出现在A组的最下层(3.43:1)和B组竹筒型洞穴的最上层(2.86:1)。A组竹筒中不同层次的虾的雌雄比例存在差异,由上至下分别为1.81:1、0.78:1、2.25:1、1.64:1、3.43:1和1.62:1,雌雄比例大都高于1:1;在B组竹筒型洞穴中,除下层、中层、中上层3层之间虾的雌雄比例差异

表2 克氏原螯虾在不同空间的雌雄比例分布

Tab.2 Proportion of ratio of male and female of *P. clarkii* in different spaces

层次 layer	A组 Group A	B组 Group B	
		竹筒型洞穴 bamboo cave	PVC管型洞穴 PVC cave
上层 upper	1.81±0.20 <sup>c</sup>	2.86±0.13 <sup>a</sup>	1.08±0.14 <sup>b</sup>
中上层 middle and upper	0.78±0.12 <sup>d</sup>	1.73±0.06 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>e</sup>
中层 middle	2.25±0.14 <sup>b</sup>	1.11±0.10 <sup>e</sup>	0.00±0.00 <sup>e</sup>
中下层 middle and lower	1.64±0.20 <sup>c</sup>	1.55±0.82 <sup>b</sup>	1.25±0.25 <sup>b</sup>
下层 lower	3.43±0.01 <sup>a</sup>	1.73±0.10 <sup>b</sup>	1.17±0.14 <sup>b</sup>
洞穴外 outside cave	1.62±0.06 <sup>c</sup>	2.76±0.26 <sup>a</sup>	2.76±0.26 <sup>a</sup>

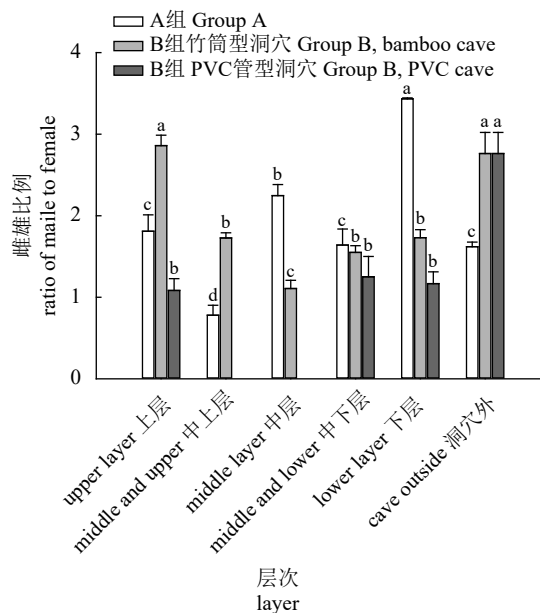


图2 克氏原螯虾在不同空间的雌雄比例分布规律

同时期数据中上标不同字母者之间差异显著 ( $P<0.05$ ), 后图同此  
Fig.2 Proportion of ratio of male to female of *P. clarkii* in different spaces

Values with different superscript letters at the same time are significantly different ( $P<0.05$ ). The same case in the following figures.

不明显外, 其他各层次之间有显著性差异。由上至下分别为 2.86 : 1、1.73 : 1、1.11 : 1、1.55 : 1、1.73 : 1 和 2.76 : 1, 雌雄比例均高于 1 : 1。在 B 组 PVC 管型洞穴中, 除了没有虾分布的层次外, 其他各层雌雄比例均高于 1 : 1, 虾的雌雄比例由上层至下层分别为 1.08 : 1、0、0、1.25 : 1、1.17 : 1 和 2.76 : 1。

### 2.3 克氏原螯虾在洞穴内虾的数量分布比例规律

栖息有 1 尾虾的竹筒洞穴和 PVC 管分别占 36.64%~40.52% 和 36%, 栖息有 2 尾虾的竹筒洞穴和 PVC 管分别占 19.79%~20.58% 和 3%, 栖息有 3 尾虾以上的竹筒洞穴和 PVC 管分别占 17.26%~23.05% 和 0%, 竹筒洞穴内栖息最多虾数量达到 7 尾, 其中栖息 5~7 尾虾的洞穴占 4.24%~6.94%, 没有虾栖息的竹筒洞穴占 16.65%~25.54%, 而 PVC 管则高达 61% (表 3、图 3)。

A 组栖息有 1 尾虾的竹筒洞穴高达 40.52%, B 组竹筒型洞穴中栖息有 1 尾虾的洞穴为 36.64%,

表3 克氏原螯虾在洞穴内虾数量占比比较  
Tab.3 Comparison of proportion of number of *P. clarkii* in cave

尾数 number	A组 Group A	B组 Group B	
		竹筒型洞穴 bamboo cave	PVC管型洞穴 PVC cave
0	16.65±1.02 <sup>c</sup>	25.54±0.87 <sup>b</sup>	61.00±3.61 <sup>a</sup>
1	40.52±1.07 <sup>a</sup>	36.64±0.94 <sup>a</sup>	36.00±4.00 <sup>b</sup>
2	19.79±0.45 <sup>b</sup>	20.58±1.03 <sup>c</sup>	3.00±1.00 <sup>c</sup>
3	10.75±1.50 <sup>d</sup>	6.63±0.74 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
4	5.36±1.10 <sup>c</sup>	6.36±0.51 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>
5~7	6.94±0.47 <sup>c</sup>	4.24±0.74 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>

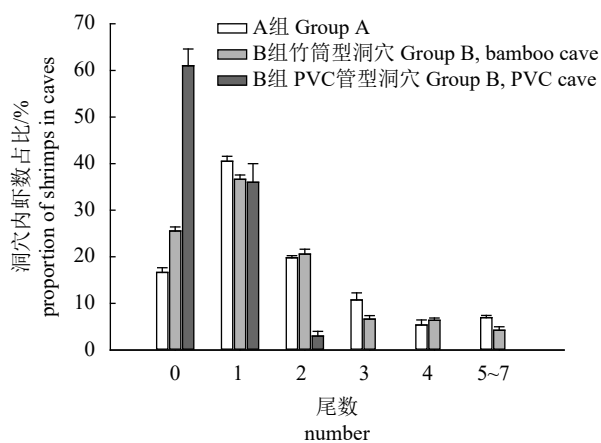


图3 克氏原螯虾在洞穴内虾数量占比比较

Fig.3 Comparison of proportion of number of *P. clarkii* in cave

B 组 PVC 管型洞穴中栖息 1 尾虾的洞穴为 36%, 没有虾栖息的洞穴占 61%。

## 3 讨论

### 3.1 洞穴有无及 2 种材质对克氏原螯虾穴居生活的影响

克氏原螯虾喜温畏冷, 需要靠洞穴躲避以满足生存需求<sup>[26]</sup>, 尤其在繁殖季节其打洞筑穴能力显著增强, 而且克氏原螯虾受精、抱卵都需要在洞穴内完成<sup>[27]</sup>。本实验发现在竹筒型洞穴内, 虾主要分布于洞穴中下层和下层, 其他层次和洞穴外较少, 这与克氏原螯虾的游泳能力不强和主要依靠爬行的生活方式有关, 与一般泥土池塘生活习性<sup>[28]</sup>大致吻合。此外有研究发现, 克氏原螯虾多数时间喜欢在洞穴底部栖息, 只有在白天温度上升时才会慢慢从底层游走到上层, 或者洞穴外<sup>[29-30]</sup>。而 B 组内既有竹筒又有 PVC 管, PVC 管中虾的数量少, 可见相对 PVC 管的洞穴而言, 虾更喜欢竹筒型洞穴, 这可能与虾栖息洞穴的材质有关。PVC 管由聚氯乙烯纤维构成, 质地硬, 透气性差; 相比之下竹材由基本组织和维管束 (导管和厚壁纤维) 组成, 竹节细胞全部纵向排列, 内部表面粗糙, 透气性好。另外使用竹筒作为人工洞穴, 其遮阴性、舒适性皆较 PVC 管好, 与克氏原螯虾的繁殖生物学特性最接近, 虾对竹筒型洞穴也有一定的亲和力。PVC 管是由人工合成的聚氯乙烯构成, 虾对这种材质没有亲和力, 不喜欢栖息其中, 所以在洞穴外会比较多<sup>[31]</sup>。但如果虾长期不躲避于洞穴, 其生存繁衍能力就会下降, 在实际养殖过程中会造成很大损失<sup>[17]</sup>。因此选择一个好的人工模拟洞穴, 对克氏原螯虾的工厂化、集约化养殖具有重要意义。

### 3.2 2 种材质洞穴及空间隔层对克氏原螯虾雌雄比例的影响

本研究结果表明, 克氏原螯虾具有一雄多雌同居一穴的现象。不同洞穴内外的雌雄比例分布没有明显规律, 但上层和下层的雌雄比例相对其他层雌雄比例高。克氏原螯虾生性好斗, 性格凶猛<sup>[32]</sup>, 尤其在繁殖季节雄虾对雌虾的争斗会加剧, 因而在池塘养殖过程中, 投放雌虾的比例要大于雄虾<sup>[33]</sup>。另有研究发现, 克氏原螯虾的雌雄投放比例设为 2~3 : 1 较恰当<sup>[25]</sup>。本次投放比例接近 2 : 1, 结果显示, 在 A 组内下层的虾雌雄比例差异最大 (3.43 : 1), 而 B 组竹筒内上层的虾雌雄比例差异最大

(2.86 : 1), 这可能与克氏原螯虾攀缘和游泳能力不强有关, 下层是最易占据的空间位置, 栖息虾数量多, 而最上层则可能由于受到其他虾的干扰较小, 呈现出较高的雌雄比例。B组 PVC管内中下层的雌雄比例差异最大(1.25 : 1), 说明雌雄分布比例与空间关系不大, 但是竹筒内的平均雌雄比例大于 PVC管。而刘琦<sup>[34]</sup>研究发现螯虾因其趋触性而喜欢更加粗糙的洞穴, 因为这更易标记自己的信号, 而洞穴“信号”的差异性能够引起螯虾选择行为的变化, 螯虾均对有过“印痕”的隐蔽所具有倾向性, 雌性对雄性具有显著性趋向性。由此推测, 竹筒或许因其粗糙度高于 PVC管而使得其中的雄虾更吸引雌虾。

### 3.3 2种材质洞穴及不同空间对克氏原螯虾数量分布的影响

克氏原螯虾是穴居动物, 多数喜欢躲避在洞穴内<sup>[35-36]</sup>, 然而躲避在洞穴内虾的数量是由不同空间、时间等各种因素决定的<sup>[37]</sup>。本实验得出, 在两组的竹筒型洞穴中, 藏有1尾虾的洞穴数量最多, 这可能是因为在实验季节未到其繁殖季节, 且克氏原螯虾又有胆小、喜独处的特性。另外在 B组 PVC管型洞穴组中, 只有一小部分虾躲避在洞穴内, 表明 PVC管不如竹筒适合小龙虾躲藏, 经过 B组 2个处理组的对比也说明了竹筒型洞穴比 PVC管型洞穴更适合小龙虾躲避栖息。

此外, 笔者还发现1个洞穴内藏有5~7尾虾的比例占4%~7%, 单个洞穴里躲藏最多达7尾虾(4雌3雄), 说明克氏原螯虾不仅有某种领地意识, 还有一种“群居”的生活方式, 如多雌多雄交配的繁殖习性等<sup>[38]</sup>。这可能是克氏原螯虾经过一段时间的内部争斗与空间调节后, 虾群之间逐渐形成了某种稳定的配对繁衍模式, 这与郑方东等<sup>[39]</sup>对黑眶蟾蜍(*Duttaphrynus melanostictus*)的研究有些类似。

## 4 结论

本研究初步探讨了克氏原螯虾在不同空间洞穴的分布情况, 发现克氏原螯虾喜欢躲藏在洞穴中, 尤其是喜欢在纤维素质材料的竹筒型洞穴中躲藏, 其在洞穴中躲避时更喜欢栖息于洞穴的中下层, 克氏原螯虾还具有一雄多雌同居一穴的现象。该结果对于了解克氏原螯虾选择人工洞穴的偏好性具有重

要意义, 可为克氏原螯虾的工厂化养殖提供参考和借鉴。

### 参考文献:

- [1] 于沛民, 于航盛, 王丹, 等. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 21-38.
- [2] 朱杰, 徐维娜, 张微微, 等. 克氏原螯虾的适宜蛋氨酸需求量 [J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 300-309.
- [3] DAI L S, CHU S H, YU X M, et al. A role of cathepsin L gene in innate immune response of crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Fish Shellfish Immunol, 2017, 71: 246-254.
- [4] LIU Q N, XIN Z Z, LIU Y, et al. A ferritin gene from *Procambarus clarkii*, molecular characterization and in response to heavy metal stress and lipopolysaccharide challenge [J]. Fish Shellfish Immunol, 2017, 63: 297-303.
- [5] 李京昊, 成永旭, 王海锋, 等. 不同条件对克氏原螯虾幼虾摄食生物絮凝的影响 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(3): 58-64.
- [6] SOUTYGROSSET C, ANASTÁCIO P M, AQUILONI L, et al. The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: impacts on aquatic ecosystems and human well-being [J]. Limnologica (Online), 2016, 58: 78-93.
- [7] PACE B T, HAWKE J P, SUBRAMANIAN R, et al. Experimental inoculation of Louisiana red swamp crayfish *Procambarus clarkii* with white spot syndrome virus (WSSV) [J]. Dis Aquat Organ, 2016, 120(2): 143-150.
- [8] WEI K, YANG J. Copper-induced oxidative damage to the prophenoloxidase-activating system in the freshwater crayfish *Procambarus clarkii* [J]. Fish Shellfish Immunol, 2016, 52: 221-229.
- [9] MUELLER K W. Reproductive habits of non-native red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) at Pine Lake, Sammamish, Washington [J]. Northw Sci, 2016, 81: 246-250.
- [10] 徐增洪, 周鑫, 水燕, 等. 克氏原螯虾繁殖行为生态学的实验研究 [J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 382-389.
- [11] 陈忱. 克氏原螯虾幼虾消化系统发育及饥饿复投喂对其的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 11-19.
- [12] 宋光同, 丁凤琴, 武松, 等. 光照度、去单侧眼柄、盐度对克氏原螯虾繁殖效果的影响 [J]. 水产科学, 2013(8): 482-484.
- [13] 张家宏, 寇祥明, 王守红, 等. 克氏原螯虾高效养殖模式及其经济效益 [J]. 水产科技, 2010(2): 19-21.
- [14] 徐增洪, 赵朝阳, 周鑫. 克氏原螯虾两种稻田养殖模式的生物学比较研究 [J]. 华北农学报, 2011, 26(S1): 248-251.
- [15] 刘其根, 李应森, 陈蓝荪. 克氏原螯虾的生态养殖④ 稻田养殖克氏原螯虾 [J]. 水产科技情报, 2008, 35(4): 186-189.
- [16] 刘军, 谢祥林, 严维辉, 等. 克氏原螯虾稻田高效生态养殖试验总结 [J]. 水产养殖, 2011, 32(5): 37-38.
- [17] 唐建清, 宋胜磊, 潘建林, 等. 克氏原螯虾对几种人工洞穴的选择性 [J]. 水产科学, 2004, 23(5): 26-28.
- [18] 王亮根, 李亚芳, 杜飞雁, 等. 大亚湾人工鱼礁区和岛礁区浮游动物群落特征及对仔稚鱼的影响 [J]. 南方水产科学, 2018, 14

- (2): 41-50.
- [19] 马霖. 水产养殖病害的发生特点与防治措施研究[J]. 农业工程技术, 2017, 37(11): 68-68.
- [20] 殷悦. 克氏原螯虾不同养殖模式的特点和养殖方法[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 3-9.
- [21] 刘红征, 王新洲, 李延军, 等. 竹筒无裂纹展平生产技术[J]. 林产工业, 2018(5): 40-44.
- [22] MUNARI C. Organism responses to habitat fragmentation in two shallow-water brackish environments: the Goro Lagoon (Adriatic Sea) and the Padrongiano Delta (Tyrrhenian Sea)[J]. J Mar Biol Assoc UK, 2008, 88(7, SI): 1309-1317.
- [23] WANG E, BAO T, LIU X, et al. Divergence analysis of the temperatures measured in different material vertical buried pipes in cold regions[J]. J Glaciol Geocryol, 2016, 38(5): 1308-1316.
- [24] 张剑桥, 袁媛, 迟惠中, 等. 管材对氯/二氧化氯消毒过程中氯衰减的影响及机理[J]. 中国给水排水, 2018, 34(13): 71-75.
- [25] 严维辉, 黄成, 唐建清, 等. 克氏原螯虾雌雄分池对比养殖试验总结[J]. 水产养殖, 2015, 36(2): 15-16.
- [26] MORROW D R. Wants and needs in mitigation policy[J]. Climatic Change, 2015, 130(3): 335-345.
- [27] YI S, LI Y, SHI L, et al. Characterization of population genetic structure of red swamp crayfish, *Procambarus clarki*, in China[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 5586.
- [28] 刘其根, 李应森, 陈蓝荪. 克氏原螯虾的生物学[J]. 水产科技情报, 2008, 35(1): 21-23.
- [29] TOMANEK L. The importance of physiological limits in determining biogeographical range shifts due to global climate change: the heat-shock response[J]. Physiol Biochem Zool, 2008, 81(6): 709-717.
- [30] EL Q I, FEKHAOU M, EL A A, et al. Biometry and demography of *Procambarus clarkii* in Rharb Region, Morocco[J]. AACL Bioflux, 2015, 8(5): 751-760.
- [31] 宋光同, 丁凤琴, 陈静, 等. 亲虾规格、隐蔽物、光照度及密度对克氏原螯虾繁殖效果的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(9): 549-553.
- [32] 杨若蒙, 赵欣, 黄成, 等. 交配前克氏原螯虾格斗行为差异研究[J]. 水产科技情报, 2013, 40(6): 289-293.
- [33] 杨若蒙. 不同性别和婚配状态的克氏原螯虾格斗行为差异的研究[D]. 南京: 南京大学, 2014: 3-8.
- [34] 刘琦. 克氏原螯虾对两种环境异质性的响应及对隐蔽所的选择[D]. 南京: 南京大学, 2017: 1-7.
- [35] 邢鸿飞, 安东尼·马丁. 穴居动物的进化优势[J]. 世界科学, 2017(10): 11-16.
- [36] 张年国, 潘桂平, 周文玉, 等. 口虾蛄对人工洞穴选择性的初步研究[J]. 水产科技情报, 2018, 45(4): 192-196.
- [37] MACCORD F, AZEVEDO F A, ESTEVES F A, et al. Regulation of bacterioplankton density and biomass in tropical shallow coastal lagoons[J]. Acta Limnologica Brasiliensia, 2013, 25(3): 224.
- [38] BEGUM F, NAKATANI I, TAMOTSU S, et al. Reproductive characteristics of the albino morph of the crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Cambaridae)[J]. Crustaceana, 2010, 83(2): 169-178.
- [39] 郑方东, 王彦武, 刘西, 等. 黑眶蟾蜍的两性异形与选型配对模式[J]. 动物学杂志, 2018, 53(3): 360-367.