

# 红螯螯虾的摄食行为及饵料选择性

党一钊<sup>1</sup>, 翁朝红<sup>1,2</sup>, 范明坤<sup>1</sup>, 文永婷<sup>1</sup>, 谢仰杰<sup>1,2</sup>

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省水产生物育种与健康养殖工程研究中心, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 对红螯螯虾的摄食行为进行了观察, 并比较了红螯螯虾对几种饵料的选择性。结果表明, 红螯螯虾的摄食过程可分为寻食、取食和清洗3个阶段。对单只红螯螯虾的摄食行为观察结果显示, 投喂鱼肉、玉米、胡萝卜和配合饲料4种饵料时, 红螯螯虾首次选择的饲料比率最高的为鱼肉, 其次为玉米、胡萝卜, 未选择配合饲料。对每次1 h的摄食过程的分析结果表明, 红螯螯虾对玉米的摄食次数最多, 且摄食时间最长, 其次为鱼肉、胡萝卜, 最后为配合饲料。小群体摄食观察结果表明, 红螯螯虾会通过打斗获取优先摄食的机会, 当每只红螯螯虾有机会同时摄取食物而不相遇时, 未发现红螯螯虾因摄食而出现打斗行为。体重90 g左右的红螯螯虾对玉米颗粒粒径的偏好性强弱依次为2.5 mm、5 mm、1.5 mm和10 mm。投喂浸泡处理过的玉米, 红螯螯虾的摄食速度提高。在鱼肉、玉米、胡萝卜和配合饲料4种饵料中, 当同时投喂2种等量的饵料时, 红螯螯虾对鱼肉的摄食速度最快, 其次是玉米和配合饲料, 对胡萝卜的摄食速度最慢。研究结果提示: 在研制专用配合饲料时, 必须考虑诱食性物质; 在养殖过程中, 可在饲料中添加诱食剂, 以便红螯螯虾能尽快发现饲料, 促进摄食; 在喂养时, 饵料宜分散投放。

**[关键词]** 红螯螯虾; 摄食行为; 食物选择

**[中图分类号]** S 966.12

## Feeding Behavior and Food Selectivity of Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*

DANG Yizhao<sup>1</sup>, WENG Zhaozhong<sup>1,2</sup>, FAN Mingkun<sup>1</sup>, WEN Yongting<sup>1</sup>, XIE Yangjie<sup>1,2</sup>

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Engineering Research Center of Aquatic Breeding and Healthy Aquaculture, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The feeding behavior of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* was observed, and the selectivity of the crayfish to four kinds of feed was compared. The feeding process of the crayfish could be divided into three stages: searching, eating and cleaning. When four diets of fish meat, corn, carrot and formula feed were fed to a single crayfish at the same time, the probability of the fish meat as the first choice was the highest, then followed by corn and carrot, and formula feed was not selected. According to the feeding process in one hour, the crayfish had the most feeding times and the longest feeding time on corn, followed by fish meat and carrot, and finally formula feed. The results of small group feeding observation showed that crayfish would get priority feeding opportunities by fighting, and when each crayfish had chance to eat at the same time without meeting each other, no fighting behavior was found. For crayfish weighing about 90 g, the order of selectivity to

**[收稿日期]** 2021-03-08

**[基金项目]** 福建省科技计划项目(2019N0013); 福建省水产生物育种与健康养殖工程研究中心开放基金项目(DF201910)

**[作者简介]** 党一钊(1996—), 男, 硕士生, 主要从事甲壳动物养殖技术方向研究。通信作者: 谢仰杰(1967—), 男, 教授, 主要从事水产动物增殖方向研究。E-mail: yixie@jmu.edu.cn

corn grain size was 2.5 mm, 5 mm, 1.5 mm and 10 mm. Soaking corn before feeding could promote the feeding of crayfish. Additionally, when two diets of fish meat, corn, carrot and formula feed were fed with equal quantity at the same time, the feeding speed to fish meat was the fastest, followed by corn and formula feed, and the feeding speed to carrot was the slowest. The results suggested that the effect of attractant substance and the feed's palatability should be considered in the development of special formula feed, so that crayfish can find the feed as soon as possible and promote feeding. And the feed should be distributed separately in the process of culture.

**Keywords:** redclaw crayfish; *Cherax quadricarinatus*; feeding behavior; food selectivity

0 引言

红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 又称四脊光壳拟螯虾, 俗称澳洲淡水龙虾, 属甲壳纲 (Crustacea) 十足目 (Decapoda) 爬行亚目 (Reptantia) 拟螯虾科 (Parastacidae), 原产澳洲, 最大个体可达 500 g 以上, 具有生长速度快、抗逆性强等特点, 是食用价值与观赏价值兼备的优良养殖种类, 已在许多东南亚和中、南美洲国家广泛开展养殖<sup>[1-4]</sup>。我国自 1992 年引进该虾进行养殖, 已在湖北、福建、广东、海南、江苏等地养殖成功并形成一定的养殖规模, 尤其是近几年, 养殖规模日益扩大, 发展很快。红螯螯虾作为新兴淡水养殖螯虾类, 国内研究报道较少, 已报道的研究主要集中在生物学、营养学、疾病学、养殖和繁殖技术等方面<sup>[5-11]</sup>。摄食是动物存活和生长的基础, 饵料的质量和成本直接影响到养殖的经济效益。目前国内在红螯螯虾养殖生产上使用的饵料种类较多, 多为在小型对虾饲料基础上稍加修改而成, 营养成分大多不能满足红螯螯虾的生长发育需要<sup>[12]</sup>, 同时关于红螯螯虾对各类饵料的喜好程度和饲喂效果缺乏专门的研究, 以及关于红螯螯虾的摄食行为也未见专门的研究报道, 导致在饵料的选择和投喂方面缺乏理论指导, 存在较大的盲目性, 养殖业者迫切希望了解红螯螯虾的摄食习性。为此, 本文对红螯螯虾的摄食行为进行观察, 研究红螯螯虾对几种饵料的选择性, 分析红螯螯虾的摄食特点, 以期红螯螯虾养殖饵料的选择、投喂和配合饲料的研发提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

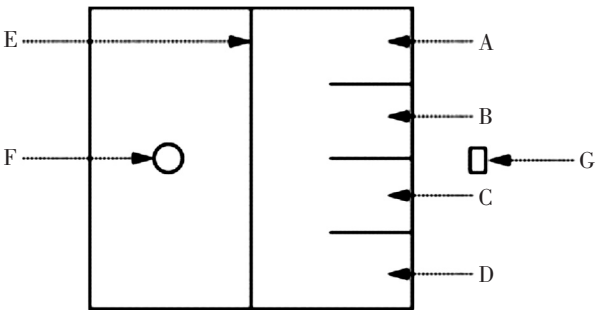
试验用红螯螯虾采自福建长泰池塘养殖的群体, 运回集美大学水产试验场后, 暂养于水泥池中。挑选肢体完整、无伤无病、活力正常的个体用于试验。试验前停止喂食 24 h。

1.2 摄食行为观察试验

1.2.1 单只红螯螯虾的饵料选择行为观察

试验采用 40 cm × 40 cm × 25 cm 的玻璃缸为观察箱, 玻璃缸内配置一个散气石进行充气增氧。用 1 块可移除的玻璃板将玻璃缸分隔成对等的 2 边, 其中一边再用玻璃板分隔成 A、B、C、D 共 4 个区域。在 F 处放置直径 50 mm 的 PVC 短管作为隐蔽物 (见图 1)。试验用水为经过曝气的自来水。试验期间水温为 (25 ± 1) °C。用高清摄像头拍摄记录红螯螯虾的摄食过程。

将等量的鱼肉、胡萝卜、玉米和配合饲料等 4 种饵料各 1.5 g 分别随机放置在 A、B、C、D



玻璃缸尺寸为 40 cm × 40 cm × 25 cm; A、B、C、D 4 个位置随机放置 4 种不同饵料; E 为可移除的玻璃板; F 为实验开始时红螯螯虾放置处; G 为高清摄像头

The glass jar is 40 cm × 40 cm × 25 cm; four different kinds of feed were randomly placed at A, B, C and D; E is the removable glass; F is the place where red claw crayfish placed at the beginning of the experiment; G is the high-definition camera

图 1 红螯螯虾摄食行为观察箱示意图

Fig.1 Schematic diagram of box for observation on the feeding behavior of redclaw crayfish

4 个区域。随机取一只红螯螯虾放置于玻璃缸中 F 处, 用玻璃隔板与饵料隔开, 待其安静后, 将隔板移除, 用摄像头记录红螯螯虾的摄食过程。根据录像统计红螯螯虾首次摄取的食物种类, 以及 1 h 内对各种饵料的摄食次数和取食时长, 计算各饵料的摄食时间占比。试验重复 30 次。试验用虾 30 只, 其中雌雄各 15 只, 每只体重为  $(30.0 \pm 1.2)$  g。每次试验换用新水、新的红螯螯虾和新的饵料, 饵料重新随机放置。

4 种饵料的前期处理: 鱼肉为花鲈肌肉, 切成小肉粒备用; 胡萝卜为新鲜胡萝卜, 切成小颗粒备用; 玉米为干玉米经纯净水浸泡 12 h, 切成小颗粒备用; 配合饲料为厦门嘉康饲料有限公司生产的 A3 号对虾配合饲料。以下试验所指饵料, 如无特别说明, 均按此处理。

某饵料的首次选择摄食频率 = 首次摄食该种饵料的试验次数 ÷ 试验总次数 × 100% ;

某饵料的平均摄食次数 = 每次试验 1 h 内对该种饵料的摄食次数的总和 ÷ 试验总次数 ;

单次试验某饵料的摄食时间占比 = 该次试验中摄食该饵料的总时间 ÷ 该次试验中摄食的总时间 × 100% ;

某饵料的平均摄食时间占比 = 30 次试验该饵料的摄食时间占比的总和 ÷ 30。

1.2.2 小群体摄食行为观察

将 5 只雌虾和 5 只雄虾同时置于一个 40 cm × 40 cm × 25 cm 的玻璃缸中, 放置直径为 50 mm 的 PVC 短管作为隐蔽物, 同时将 3 种饵料 (配合饲料、玉米、鱼肉) 混合后集中投放于玻璃缸底部中心位置或均匀投放于玻璃缸底部, 试验用虾体重  $(30 \pm 1.2)$  g。饵料处理方法同 1.2.1。观察记录红螯螯虾的摄食行为及摄食情况。试验重复 5 次, 每次试验用虾不同。

1.3 红螯螯虾的饵料选择性试验

饵料选择性试验采用自建的室内循环水养殖系统。试验用水缸为 40 cm × 25 cm × 30 cm 的玻璃缸, 每个玻璃缸放入雌虾 2 只、雄虾 1 只, 每只体重  $(90.0 \pm 10.5)$  g。每个缸配备直径 50 mm、长度 20 cm 的 PVC 短管作为红螯螯虾的隐蔽物。每个水缸内均配置一个用于充气增氧的散气石和一个循环过滤系统 (见图 2)。从每个玻璃缸流出的水汇集后先经滤布过滤, 然后流入填充有多孔滤材的过滤桶中。桶里放 1 个气石进行持续增氧, 放置一个恒温电热棒进行控温。再用水泵将水直接泵入管道加入各试验用玻璃缸中, 如此循环。采用直管形荧光灯提供光源, 每日光照时长 16 h。试验用水为经过曝气的自来水。试验期间水温  $(25 \pm 1)$  °C, pH 6.6 ~ 7.6。试验期间每日定时吸污并清洗过滤布。

1.3.1 红螯螯虾对不同粒径玉米颗粒的选择性

将经纯净水浸泡 12 h 的干玉米切割成 10 mm × 10 mm × 4 mm (简称 10 mm 粒径)、5 mm × 5 mm × 2 mm (简称 5 mm 粒径)、2.5 mm × 2.5 mm × 1 mm (简称 2.5 mm 粒径)、1.5 mm × 1.5 mm × 0.5 mm (简称 1.5 mm 粒径) 4 种规格。试验时同时将等质量的 2 种不同粒径大小的玉米颗粒放入同一个玻璃缸中, 观察记录 1 d 内红螯螯虾对不同大小玉米颗粒的摄食情况。试验重复 5 次。

1.3.2 玉米浸泡对红螯螯虾摄食的影响

试验饵料为: 干玉米、纯净水浸泡 12 h 的湿玉米、EM 菌液浸泡 12 h 的湿玉米。将 3 种玉米饵料切割成粒径大小为 2.5 mm × 2.5 mm × 1 mm 的颗粒。试验时同时将等质量的 2 种玉米饵料颗粒放入同一个玻璃缸中, 观察记录 1 d 内红螯螯虾对不同饵料的摄食情况。试验重复 5 次。

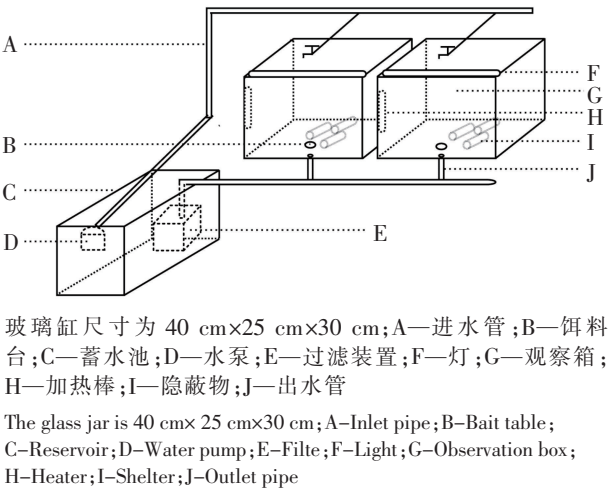


图 2 红螯螯虾饵料选择性实验装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of device for food selectivity experiment of redclaw crayfish

1.3.3 红螯螯虾对 4 种不同饵料的选择性

将鱼肉切成直径 2 mm 左右的肉粒备用；将干玉米经纯净水浸泡 12 h 后切成直径 2 mm 左右的颗粒备用；将新鲜胡萝卜切成直径 2 mm 左右的颗粒备用；配合饲料为厦门嘉康饲料有限公司生产的 A3 号对虾配合饲料，粒径为 2 mm。试验时将等量的 2 种饵料放入同一个玻璃缸中的投饵台，观察记录 1 d 内红螯螯虾对不同饵料的摄食情况。试验重复 5 次。

1.4 数据处理

试验数据表示为平均值 ± 标准差（Mean ± SD），使用 SPSS 25.0 软件和 Excel 进行数据分析。使用 Duncan 方法进行差异显著性检验，显著性差异水平设为  $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 红螯螯虾的摄食行为

红螯螯虾的摄食过程可分为寻食、取食和清洗 3 个阶段。隐蔽物周围无食物时，红螯螯虾静卧隐蔽物内；食物于较远距离出现时，短时间内红螯螯虾的大小触角挥动频率加快，并缓慢向食物移动，大触角不断向左右扫过，第二步足和第三步足在移动时向身体周围无规律扫动，步足的指节不断张开、闭合；当螯足触碰到食物时，红螯螯虾移动速度突然加快，第二步足与第三步足的指节加快张合频率，以夹取食物：此为寻食过程。当红螯螯虾第二步足和第三步足夹取到颗粒状食物（如颗粒饲料）时，迅速将食物送至大颚处切碎，2 对小颚辅助进食；当螯足夹取到块状食物时（如鱼肉），食物送至颚足处，由 3 对颚足固定，大颚切碎食物，同时小颚辅助进食。取食结束后，红螯螯虾回到隐蔽物内并使用第三颚足对摄食器官（大小颚及其他颚足）进行清理。

对 30 次单只红螯螯虾的摄食过程进行分析，结果显示红螯螯虾对饵料具有一定的选择性。在 4 种饵料中，红螯螯虾首次选择摄取的食物最多的为鱼肉，占试验总次数的 50%；其次是玉米，占试验总次数的 30%；再次为胡萝卜，占试验总次数的 20%；未选择配合饲料。在每次 1 h 的摄食过程中，摄取玉米的次数最多，平均 1.17 次，时间也最长，取食时间占比达 47.91%；其次是鱼肉，平均 0.70 次，取食时间占比为 19.69%；再次是胡萝卜，被摄食的平均次数为 0.63 次，取食时间占比为 17.80%，与鱼肉没有显著差异；配合饲料被摄食的次数最少，平均 0.33 次，取食时间占比为 14.60%（见图 3）。

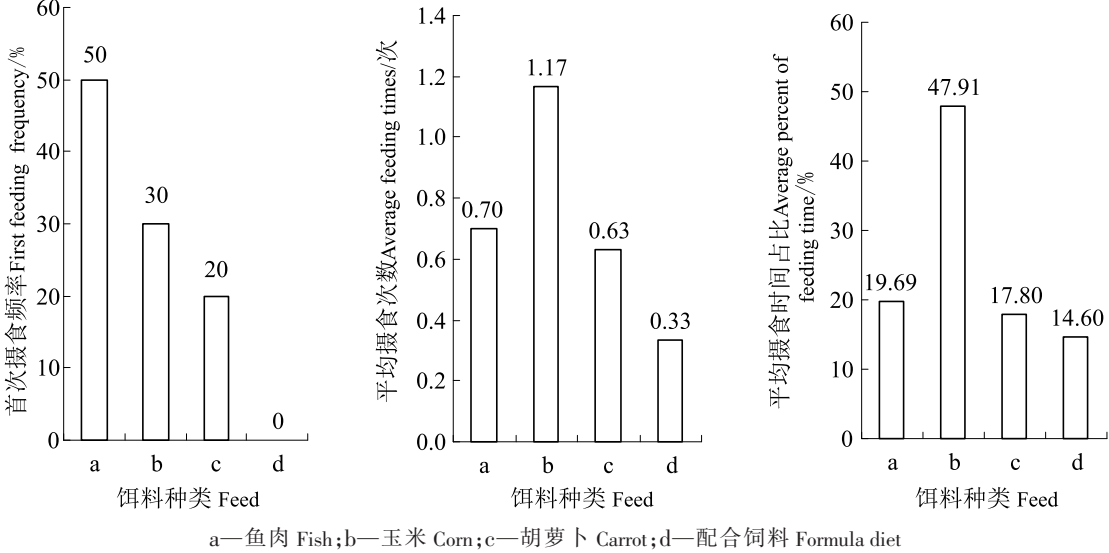


图 3 红螯螯虾对 4 种饵料的首次摄食频率、平均摄食次数和平均摄食时间占比  
Fig.3 The first feeding frequency,average feeding times and average percent of feeding time of redclaw crayfish to four kinds of feed

小群体摄食观察试验结果表明, 当饵料集中投放于中心位置后, 部分红螯螯虾尝试在饵料边缘处摄食, 随后慢慢向饵料中心处摄食。当与其他红螯螯虾相遇时, 两者会同时使用第一螯足互相攻击对方以阻止对方摄食, 从而获取优先摄食的机会。打斗过程包括蓄力、攻击、后退或僵持三个阶段。蓄力过程为红螯螯虾第二至第五对步足以高频次滑动蓄力。蓄力结束后, 红螯螯虾突然加速前进并使用第一螯足进攻, 尝试夹断对方的第一螯足。攻击失败后, 红螯螯虾后退一段距离重新蓄力, 进行下一次进攻, 或利用螯足抵制对方, 呈僵持状态。摄食过程中的争斗以一方胜利或僵持而结束。此时, 其他红螯螯虾会缓慢开始尝试摄食散落在周围的饵料; 或静卧于隐蔽物内, 并在短时间内快速摄取食物, 同时保持警惕, 防止被攻击; 若遇到危险, 或用第一螯足争斗, 或携食物迅速游回隐蔽物内进食, 或丢下食物使用尾部后弹迅速逃离。此外, 试验中发现雌虾通常在雄虾打斗结束后进食, 因此雄虾较雌虾的摄食机会更多。当食物均匀散落在红螯螯虾活动区域内, 即每只红螯螯虾有相同的机会同时摄取食物而不相遇时, 未发现红螯螯虾有打斗行为。

2.2 红螯螯虾对不同粒径大小的玉米颗粒的选择性

同时将等质量的 2 种不同粒径大小的玉米颗粒放入同一个玻璃缸中, 观察发现, 红螯螯虾对不同粒径大小玉米颗粒的摄食速度不同。具体如下: 同时投喂 10 mm 粒径和 5 mm 粒径的玉米颗粒, 5 mm 粒径的玉米颗粒在 4 h 内全部被摄食, 10 mm 粒径的玉米颗粒则需要 6 h 以上; 同时投喂 10 mm 粒径和 2.5 mm 粒径的玉米颗粒, 2.5 mm 粒径的玉米颗粒 2 h 内大部分被摄食, 4 h 内全部被摄食, 而 10 mm 粒径的玉米颗粒全部被摄食需要 6 h 以上; 同时投喂 10 mm 粒径和 1.5 mm 粒径的玉米颗粒, 摄食 1.5 mm 粒径的速度快于 10 mm 粒径; 同时投喂 5 mm 粒径和 2.5 mm 粒径的玉米颗粒, 均在 4 h 内全部被摄食, 摄食 2.5 mm 粒径的速度快于摄食 5 mm 粒径的速度; 同时投喂 5 mm 粒径和 1.5 mm 粒径的玉米颗粒, 摄食 5 mm 粒径的速度快于摄食 1.5 mm 粒径的速度; 同时投喂 2.5 mm 粒径和 1.5 mm 粒径的玉米颗粒, 摄食 2.5 mm 粒径的速度也快于摄食 1.5 mm 粒径速度 (见表 1)。

可见, 体重 90 g 左右的红螯螯虾对玉米颗粒粒径的偏好性由强到弱依次为 2.5 mm、5 mm、1.5 mm、10 mm。玉米颗粒的粒径为 2.5 mm 时, 红螯螯虾的取食速度最快。

表 1 红螯螯虾不同时段摄食不同粒径玉米颗粒的比例

饵料组合 Feed combination	0 ~ 2 h	2 ~ 4 h	4 ~ 6 h	> 6 h
A;10 mm × 10 mm × 4 mm	A;5% ~ 10%	A;10% ~ 30%	A;30% ~ 70%	A;100%
B;5 mm × 5 mm × 2 mm	B;30% ~ 50%	B;100%		
A;10 mm × 10 mm × 4 mm	A;5% ~ 10%	A;10% ~ 30%	A;30% ~ 70%	A;100%
C;2.5 mm × 2.5 mm × 1 mm	C;50% ~ 80%	C;100%		
A;10 mm × 10 mm × 4 mm	A;10% ~ 30%	A;30% ~ 70%	A;50% ~ 100%	A;100%
D;1.5 mm × 1.5 mm × 0.5 mm	D;20% ~ 40%	D;40% ~ 90%	D;100%	
B;5 mm × 5 mm × 2 mm	B;20% ~ 40%	B;100%		
C;2.5 mm × 2.5 mm × 1 mm	C;50% ~ 80%	C;100%		
B;5 mm × 5 mm × 2 mm	B;30% ~ 40%	B;100%		
D;1.5 mm × 1.5 mm × 0.5 mm	D;10% ~ 30%	D;100%		
C;2.5 mm × 2.5 mm × 1 mm	C;50% ~ 80%	C;100%		
D;1.5 mm × 1.5 mm × 0.5 mm	D;10% ~ 30%	D;100%		

2.3 玉米浸泡对红螯螯虾摄食的影响

同时投喂未经浸泡处理的干玉米和泡水处理的湿玉米, 红螯螯虾摄食湿玉米的速度较快; 同时投喂干玉米和浸泡 EM 菌液的湿玉米, 红螯螯虾摄食浸泡 EM 菌液的湿玉米的速度也快于干玉米; 同时投喂用水浸泡的湿玉米和用 EM 菌液浸泡的湿玉米, 红螯螯虾摄食浸泡 EM 菌液的玉米的速度较快

(见表 2)。结果表明，湿的玉米颗粒更容易被红螯螯虾摄食，其中浸泡 EM 菌液效果较好。

表 2 红螯螯虾不同时段摄食不同处理的玉米颗粒的比例

Tab.2 The proportion of corn grains with different soaking treatments fed by *Cherax quadricarinatus* in different periods after feeding

饵料组合 Feed combination	0 ~ 2 h	2 ~ 4 h
A:干玉米 Dry corn	A:30% ~ 50%	A:100%
B:湿玉米(纯净水浸泡 12 h)Wet corn (soaked in water for 12 hours)	B:50% ~ 70%	B:100%
A:干玉米 Dry Corn	A:30% ~ 50%	A:100%
C:湿玉米(EM 菌液浸泡 12 h)Wet corn (soaked in EM solution for 12 hours)	C:70% ~ 100%	C:100%
B:湿玉米(纯净水浸泡 12 h)Wet corn (soaked in water for 12 hours)	B:50% ~ 70%	B:100%
C:湿玉米(EM 菌液浸泡 12 h)Wet corn (soaked in EM solution for 12 hours)	C:70% ~ 100%	C:100%

2.4 红螯螯虾对 4 种不同饵料的摄食速度

用不同饵料同时投喂饥饿状态下的红螯螯虾，红螯螯虾对不同饵料的摄食速度存在差异。同时投喂配合饲料和玉米，摄食玉米的速度与摄食配合饲料的速度无明显差异；同时投喂配合饲料和鱼肉，红螯螯虾摄食鱼肉的速​​度明显快于配合饲料；同时投喂玉米和鱼肉，红螯螯虾摄食鱼肉的速​​度明显快于玉米；同时投喂玉米和胡萝卜，红螯螯虾对玉米的摄食速度要明显快于胡萝卜，玉米在 4 h 内完全被摄食，胡萝卜则需要更长的时间；同时投喂胡萝卜和鱼肉，红螯螯虾摄食鱼肉的速​​度明显快于胡萝卜，2 h 内鱼肉被完全摄食，而胡萝卜则需要 4 h 以上（见表 3）。

由此可见，对体重 90 g 左右的红螯螯虾同时投喂从 4 种饲料中任选的 2 种等量的饵料，红螯螯虾对鱼肉的摄食速度最快，其次是玉米和配合饲料，而对胡萝卜的摄食速度最慢。

表 3 同时投喂两种饵料在不同时段被红螯螯虾摄食的比例

Tab.3 The proportion of feed fed by *Cherax quadricarinatus* in different periods after feeding

饵料组合 Feed combination	0 ~ 2 h	2 ~ 4 h	4 ~ 6 h
A:配合饲料 Formula feed	A:50% ~ 80%	A:100%	
B:玉米 Corn	B:50% ~ 70%	B:100%	
A:配合饲料 Formula feed	A:50% ~ 80%	A:100%	
C:胡萝卜 Carrots	C:10% ~ 30%	C:30% ~ 40%	C:70% ~ 100%
A:配合饲料 Formula feed	A:50% ~ 80%	A:100%	
D:鱼肉 Fish meat	D:70% ~ 100%	D:100%	
B:玉米 Corn	B:50% ~ 70%	B:100%	
C:胡萝卜 Carrots	C:10% ~ 30%	C:30% ~ 40%	C:70% ~ 100%
B:玉米 Corn	B:50% ~ 70%	B:100%	
D:鱼肉 Fish meat	D:70% ~ 100%	D:100%	
C:胡萝卜 Carrots	C:10% ~ 20%	C:30% ~ 40%	C:70% ~ 100%
D:鱼肉 Fish meat	D:80% ~ 100%	D:100%	

3 讨论

本研究观察结果表明，红螯螯虾的摄食过程可分为寻食、取食和清洗 3 个阶段。在摄食过程中，大小触角、小颚、颚足，以及第一、第二、第三对螯足均参与摄食。红螯螯虾主要依靠大小触角来发现食物，这可能与触角上的嗅觉细胞感受食物散发的化学分子有关。据报道，红螯螯虾通过第一触角感受饵料的化学分子信号和咬缘刚毛感受水流波动来确定食物的大致位置，并在寻食过程中不断使用第二胸足和第三胸足指节感受食物<sup>[13]</sup>。红螯螯虾抽动触角使感觉毛舒展开，并增加了与周围化学物质的接触面；抽动波使化学物质的味道连续释放，延长了感受时间<sup>[14]</sup>。脊尾白虾（*Exopalaemon carinicauda*）<sup>[15]</sup>在投喂饲料后反应积极，短时间内迅速获取食物。而红螯螯虾对食物出现的反应速度



较为迟钝,这可能与其打斗行为相关,红螯螯虾个体可能是在确认安全后才进行取食。本试验未观察到第一螯足取食,这可能与食物团块较小,无法抓取有关,或螯足在摄食中主要起进攻或防御作用。

嗅觉在甲壳类巡食中起着重要作用。研究表明,触角化学感受器最初感受到的刺激强度决定了是否进行探索食物<sup>[16]</sup>,不同饵料与红螯螯虾的距离虽然不同,但不足以影响红螯螯虾对饵料的选择。鱼肉含有各种氨基酸,包括天冬氨酸、甘氨酸和脯氨酸,这些促摄物质<sup>[17]</sup>使红螯螯虾触角感受器产生的刺激强度最高<sup>[18-19]</sup>。胡萝卜和玉米产生的刺激较鱼肉弱,以及首次摄食未选择配合饲料的原因可能是:其内部的诱食性物质的发散需要一定的时间,才能刺激红螯螯虾产生摄食行为<sup>[13,16,20]</sup>;或配合饲料中的氨基酸(赖氨酸)对红螯螯虾诱食程度较小;此外,甲壳类杂食性物种通常对植物性饵料中的糖类比较敏感<sup>[21]</sup>,因此胡萝卜和玉米的促摄效果要优于配合饲料。不同氨基酸对红螯螯虾的促摄作用需要进一步的试验验证。从1 h内红螯螯虾摄食各种饵料的平均次数和摄食时间占比来看,红螯螯虾对玉米的摄食次数最多,摄食时间占比最高,其次为鱼肉、胡萝卜,最末为配合饲料。研究<sup>[22-23]</sup>表明,甲壳类的味觉调节其摄食行为,这可能与适口性有关,也符合红螯螯虾的摄食偏植食性的特点<sup>[24-25]</sup>。所以,尽管鱼肉的诱食性最好,但红螯螯虾可能更趋向于摄食玉米。在取食次数和取食时间方面,鱼肉和胡萝卜之间无显著差异。而且,红螯螯虾对食物种类的选择性除了与其嗅觉和味觉有关外,还与摄食器官的触觉有关<sup>[21]</sup>。有研究<sup>[26]</sup>显示,在野外环境下红螯螯虾主要摄食植物性食物,这可能是在自然条件下红螯螯虾不容易获得动物性食物,制约了红螯螯虾对食物的选择。吴志新等<sup>[27]</sup>对红螯螯虾投喂死亡的浮游动物或煮熟的枝角类,体长规格不同的红螯螯虾均会大量摄食动物性食物,由此可见自然条件下该虾不易捉到动物性食物,不代表它对动物性食物的摄食选择性低于植物性食物。本研究结果还表明,将鱼肉、玉米、胡萝卜、配合饲料4种饵料中的2种饵料等量混合投喂时,红螯螯虾对鱼肉的摄食速度最快,其次是玉米和配合饲料,对胡萝卜的摄食速度最慢。这一方面反映了红螯螯虾对不同饵料的选择程度,另一方面也反映了红螯螯虾对不同饵料取食成功的情况。相对而言,鱼肉最容易被夹取和吞食,而胡萝卜的适口性可能不及玉米和配合饲料。任梦格等<sup>[28]</sup>的试验也表明,体重为30 g左右的螯虾偏向植物性饵料。当然,从养殖角度来看,选择饲料时,在考虑饵料选择性的同时,还要考虑饵料的成本和饲喂效果。虽然玉米的适口性要高于配合饲料,但配合饲料的营养更全面。因此,在研制专用配合饲料时,必须考虑诱食性物质的吸引程度,今后需要在不同氨基酸对红螯螯虾的促食效果方面进行深入研究。此外可以添加玉米粉提高适口性,增强红螯螯虾的摄食效果。

在小群体摄食试验中,发现红螯螯虾螯足的大小在一定程度上决定了摄取食物的顺序,雄虾拥有优先摄取食物的机会。观察结果表明,当两只雄虾在摄食过程中相遇时,立刻表现出敌对状态,并抬高第一螯足作攻击姿态。在红螯螯虾摄食过程中,雄虾的摄食机会明显比雌虾多,这可能是导致红螯螯虾养殖群体中,雄虾普遍比同龄雌虾长速快的原因。当饵料均匀分散到各只红螯螯虾,即每只红螯螯虾均有相同机会同时摄食的情况下,打斗行为较少或不出现。互残行为是种群内的一种典型的社会行为<sup>[27]</sup>,普遍存在于鱼类<sup>[29]</sup>、甲壳类<sup>[30-34]</sup>等水生动物中,饵料摄食不足<sup>[35]</sup>可能会造成红螯螯虾之间的互残行为,如能确保每只红螯螯虾有均等机会进食,应该可以有效避免红螯螯虾的打斗,从而提高存活率,同时能保证生长速度均一。因此,在红螯螯虾人工养殖过程中,宜采用多点均匀投饵,确保红螯螯虾每个个体获得充分摄食的机会。

红螯螯虾对不同粒径大小的玉米颗粒的选择性试验结果表明,红螯螯虾对饵料的粒径大小具有一定的选择性。体重90 g左右的红螯螯虾对玉米颗粒粒径的选择性最高的是2.5 mm×2.5 mm×1 mm的食物颗粒。这一方面与其螯足的指节大小有关,因为红螯螯虾主要通过步指的指节来夹取食物,食物颗粒太大和太小都会影响夹取食物的效率。此外,食物颗粒大小也要与口器大小相适应。观察发现,红螯螯虾摄食主要是将食物颗粒夹取后送到口器上慢慢磨碎吞食。粒径过大会造成其口器不能很好地抓住食物,食物易掉落,并且由于颗粒体积较大需要更多时间将食物磨碎吞食;而过小的粒径大

小导致红螯螯虾抓取食物困难,影响取食速度,取食效率也相应降低。因此,过大或过小的饵料粒径都会减缓红螯螯虾的摄食速度。试验结果还表明,经过浸泡处理的玉米比未经浸泡的干玉米更容易被红螯螯虾所摄食,原因一方面可能是干燥饵料比湿润饵料坚硬,磨碎食物需要花费较长的时间,另一方面也可能与夹取食物的成功率有关。用 EM 菌液浸泡玉米的摄食效果略优于淡水浸泡的玉米,这可能因为玉米在浸泡 EM 菌液期间经过了一定程度的发酵,变得更加适口。许多研究表明,益生菌具有对肠道菌群的优化作用,可以提高饵料适口性、降低饵料系数和提供营养,还可提高消化酶活性、提高水产动物的免疫力和生长速度<sup>[36-39]</sup>,因此,在红螯螯虾养殖中,饵料在投喂前用 EM 菌液浸泡,可以提高生长性能,提高养殖效果。

目前,市场上还没有得到广泛认可的红螯螯虾的专用配合饲料。养殖户使用的饵料多种多样,养殖效果没有经过专门的评估,养殖效益难于预测。就配合饲料而言,大多使用对虾配合饲料。因为不同种类的专用配合饲料的营养配比不同,是否适于红螯螯虾还需要进行专门的试验。今后,一方面需要对现有的各种饵料的使用效益进行评估、筛选,另一方面应针对红螯螯虾的摄食行为特点和营养需求研制红螯螯虾的专用配合饲料。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 慕峰,成永旭,吴旭干. 世界淡水螯虾的分布与产业发展 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(1): 64-72.
- [2] CHENG S, JIA Y, CHI M, et al. Culture model of *Cherax quadricarinatus*: temporary shelter in shed and pond culture [J]. Aquaculture, 2020, 526: 735359.
- [3] BELLE C C, WONG J Q H, YEO D C J, et al. Ornamental trade as a pathway for Australian redclaw crayfish introduction and establishment [J]. Aquatic Biology, 2011, 12(1): 69-79.
- [4] PATOKA J, WARDIATNO Y, MASHAR A, et al. Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), widespread throughout Indonesia [J]. BioInvasions Records, 2018, 7(2): 185-189.
- [5] 顾志敏,许谷星,黄鲜明,等. 红螯螯虾的室内人工育苗 [J]. 水产学报, 2003, 27(1): 32-37.
- [6] 彭刚,徐宇,张燕,等. 红螯螯虾累代繁养群体的遗传多样性分析 [J]. 水产科学, 2020, 39(4): 615-619.
- [7] VILLARREAL H, HENDRICKX M, GARCÍA-GUERRERO M. Description of the embryonic development of *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae), based on the staging method [J]. Crustaceana, 2003, 76(3): 269-280.
- [8] SAOUD I P, YTA A G D, GHANAWI J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) [J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(4): 349-368.
- [9] SAOUD I P, GHANAWI J, THOMPSON K R, et al. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2013, 44(1): 1-29.
- [10] CHENG S, JIAY, CHI M, et al. The exploration of artificial incubation of *Cherax quadricarinatus* eggs [J]. Aquaculture, 2020, 529: 735576.
- [11] MAKWELELE G. Reproductive biology, growth and mortality of the introduced red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* in Kafue floodplain fishery [D]. Lusaka: The University of Zambia, 2017.
- [12] 冯廷廷,刘春胜,顾志峰,等. 饵料对不同规格红螯螯虾生长的影响 [J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(10): 4456-4462.
- [13] 王吉桥. 虾蟹类摄食的化学感受与诱食剂 [J]. 水产科学, 1994, 13(5): 3-8.
- [14] SCHMITT B C, ACHE B W. Olfaction: responses of a decapod crustacean are enhanced by flicking [J]. Science, 1979, 205(4402): 204-206.
- [15] 沈辉,万夕和,许璞,等. 脊尾白虾的行为学观察研究 [J]. 海洋科学, 2010, 34(10): 53-56, 61.
- [16] DERBY C D, STEULLET P, HORNER A J, et al. The sensory basis of feeding behaviour in the Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus* [J]. Marine and Freshwater Research, 2001, 52(8): 1339-1350.
- [17] 邱高峰,赖伟,邓雪怀,等. 克氏原螯虾的促摄物质 [C] //全国首届青年水产学术研讨会论文集. 上海: 同济大学出版社, 1995: 404-410.



- [18] GIRARDOT M N, DERBY C D. Neural coding of quality of complex olfactory stimuli in lobsters [J]. Journal of Neuro Physiology, 1988, 60(1): 303-324.
- [19] GIRARDOT M N, DERBY C D. Independent components of the neural population response for discrimination of quality and intensity of chemical stimuli (Part 1 of 2) [J]. Brain, Behavior and Evolution, 1990, 35(3): 129-137.
- [20] HORNER A J. Functional roles of crustacean dual antennular chemosensory pathways in odor mediated behaviors [D]. Atlanta: Georgia State University, 2007.
- [21] ATEMA J. Functional separation of smell and taste in fish and crustacea [J]. Olfaction and Taste, 1977, 6: 165-174.
- [22] DERBY C D, SORENSEN P W. Neural processing, perception, and behavioral responses to natural chemical stimuli by fish and crustaceans [J]. Journal of Chemical Ecology, 2008, 34(7): 898-914.
- [23] DERBY C D, ATEMA J. The function of chemo and mechanoreceptors in lobster (*Homarus americanus*) feeding behaviour [J]. Journal of Experimental Biology, 1982, 98(1): 317-327.
- [24] BROWN P B. Physiological adaptations in the gastrointestinal tract of crayfish [J]. American Zoologist, 1995, 35(1): 20-27.
- [25] FIGUEIREDO M SR B, ANDERSON A J. Ontogenetic changes in digestive proteases and carbohydrates from the Australian freshwater crayfish, redclaw *Cherax quadricarinatus* (Crustacea, Decapoda, Parastacidae) [J]. Aquaculture Research, 2003, 34(13): 1235-1239.
- [26] LOYA-JAVELLANA G N, FIELDER D R, THORNE M J. Food choice by free-living stages of the tropical freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae: Decapoda) [J]. Aquaculture, 1993, 118(3/4): 299-308.
- [27] 吴志新, 陈孝煊, 张群宝. 池养澳大利亚红螯螯虾的食性 [J]. 湖北农业科学, 1995(1): 56-59.
- [28] 任梦格, 魏淼, 何莉, 等. 4种不同配方饵料对红螯螯虾生长、存活及体色的影响 [J]. 海南热带海洋学院学报, 2020, 27(5): 11-16, 68.
- [29] 李玉全, 孙霞. 水生动物的争胜行为 [J]. 动物学研究, 2013, 34(3): 214-220.
- [30] 虞为, 马振华, 张家松, 等. 养殖鱼类同类残食现象研究进展及其预防措施 [J]. 海洋渔业, 2016, 38(6): 689-696.
- [31] 陈学雷, 林琼武, 李少菁, 等. 日本对虾仔虾相残的试验研究 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2003, 42(3): 358-362.
- [32] 朱鹏. 日本沼虾生长蜕皮期同类相残而受生物胁迫的  $LC_{50}$  及鳃和肝胰腺的组织病理学研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [33] 王仁杰, 姜令绪, 李玉全. 内外因素对凡纳滨对虾仔虾同类相残的影响 [J]. 河南农业科学, 2015, 44(2): 142-145.
- [34] 陈学雷, 李少菁, 王桂忠, 等. 拟穴青蟹大眼幼体相残与资源可获得性和饥饿关系的研究 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(1): 99-103.
- [35] 何杰, 王绪杰, 余方平, 等. 食物资源不足条件下螯足数量对三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 摄食行为和种内竞食能力的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(3): 609-616.
- [36] 林黑着, 李卓佳, 郭志勋, 等. 益生菌对凡纳滨对虾生长和全虾营养组成的影响 [J]. 南方水产, 2008, 4(6): 95-100.
- [37] KUEBUTORNYE F K A, ABARIKE E D, LU Y. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2019, 87: 820-828.
- [38] HOSEINIFAR S H, SUN Y Z, WANG A, et al. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives [J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 2429.
- [39] WANG A, RAN C, WANG Y, et al. Use of probiotics in aquaculture of China: a review of the past decade [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2019, 86: 734-755.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)