

文章编号: 1674-5566(2024)02-0327-14

DOI: 10.12024/jsou.20230404164

不同发育阶段中华绒螯蟹摄食行为及其对饵料的选择性

刘文明¹, 朱筛成¹, 赵金山², 王新军², 成永旭^{1,3,4}, 吴旭干^{1,2,4}

(1. 上海海洋大学 农业农村部鱼类营养和环境生态研究中心, 上海 201306; 2. 东营市惠泽农业科技有限公司, 山东 东营 257503; 3. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 通过养殖实验和摄食过程摄像技术, 首先研究了中华绒螯蟹幼蟹、早期成蟹、亚成体和成体的摄食行为差异, 评价了不同发育阶段和不同性别中华绒螯蟹的摄食行为、摄食响应时间和摄食率差异, 然后进一步比较了不同发育阶段中华绒螯蟹对冰鲜鱼、配合饲料、玉米和螺蛳的摄食选择性。结果表明: 中华绒螯蟹的摄食行为可分为探索、定位、试探和摄食这4个阶段, 其中探索和摄食耗时较长; 就探索阶段的耗时和摄食响应时间而言, 幼蟹和早期成蟹的雌体显著短于雄体, 而亚成体和成体阶段雄体显著短于雌体; 就摄食而言, 各发育阶段雌体的摄食耗时均高于雄体; 就摄食率而言, 中华绒螯蟹摄食率随着发育阶段的增加呈现显著下降趋势, 而雌雄蟹间无显著差异; 就不同饵料的摄食选择性结果而言, 不同发育阶段的中华绒螯蟹对不同饵料的首次摄食频率从高到低顺序均是冰鲜鱼>配合饲料>玉米>螺蛳; 雌、雄成蟹对冰鲜鱼和配合饲料的摄食响应时间均无显著差异, 但均显著低于对玉米和螺蛳的。综上, 不同发育阶段和不同性别中华绒螯蟹的摄食行为存在显著差异, 亚成体阶段是雌、雄中华绒螯蟹摄食行为发生转变的重要发育阶段, 成蟹优先摄食冰鲜鱼与配合饲料。

关键词: 中华绒螯蟹; 发育阶段; 性别; 摄食行为; 饵料选择

中图分类号: S 966.16 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 俗称河蟹、大闸蟹、毛蟹等, 属节肢动物门 (Arthropoda) 甲壳纲 (Crustacea) 十足目 (Decapoda) 方蟹科 (Grapsidae) 弓腿蟹亚科 (Varuninae) 绒螯蟹属 (*Eriocheir*), 在我国分布广泛, 东起鸭绿江口、西至湖北沙市、北起辽宁、南至福建的通海河流中几乎均有分布^[1]。中华绒螯蟹喜欢栖居于石砾和水草丛中, 或江河、湖泊和滩涂的洞穴里, 性情谨慎; 喜食鱼、虾、螺、水草和浮游动植物等多种动、植物性饵料, 是一种昼伏夜出的杂食性动物^[2-4]。因其肉质细嫩、味道鲜美、营养价值高等特点, 成为我国重要的养殖经济蟹类^[5]。自从20世纪80年代初中华绒螯蟹人工繁殖技术的突破^[6], 其养殖产量逐年上升, 到2021年全国总产量高达80.8万t^[7]。目前,

对于中华绒螯蟹的研究主要集中于生物学、养殖技术、营养饲料、疾病和繁殖技术等方面^[8-10], 而对中华绒螯蟹摄食行为的研究较少。

摄食是动物获取营养的主要方式, 动物可以通过摄食为个体的存活、生长发育和繁殖等提供物质和能量基础^[11]。有多种因素影响动物的摄食行为, 例如种类、发育阶段、性别、生理状态、饵料诱食性、水温以及栖息地的环境等^[12]。中华绒螯蟹在其生长过程需经历蚤状幼体、大眼幼体、幼蟹 (扣蟹)、亚成体及成蟹生长发育阶段^[13]。在不同的发育阶段, 中华绒螯蟹的规格不同, 其形态特征存在显著差异^[14]。且甲壳动物在蜕壳期间, 摄食状态会明显下降, 可能是由于蜕壳会造成口腔、食道或胃等某些结构的非功能性损伤,

收稿日期: 2023-04-21 修回日期: 2023-09-06

基金项目: 上海市中华绒螯蟹产业体系专项 (沪农科产字[2022]第4号); 上海市崇明区农业科创项目 (2022CNKC-01-05); 山东省东营市黄河三角洲产业领军人才项目 (DYRC202100215); 上海市水产动物良种创制与绿色养殖协同创新中心项目 (2021科技02-12)

作者简介: 刘文明 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为甲壳动物营养饲料。E-mail: 892338021@qq.com

通信作者: 吴旭干, E-mail: xgwu@shou.edu.cn

版权所有 © 《上海海洋大学学报》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

从而影响摄食^[15-16]。然而目前对中华绒螯蟹不同发育阶段的摄食行为尚不清楚。此外,有些物种雌、雄个体的摄食行为也存在显著差异。在凡纳滨对虾的(*Litopenaeus vannamei*)摄食研究中发现,雄性凡纳滨对虾较雌虾具有更强的活动和摄食积极性,对环境变化较雌性更为敏感^[17]。在稀有鮡鲫(*Gobiocypris rarus*)中发现,雌性较雄性拥有更快的生长速度和更高的摄食率^[18]。叶元土等^[19]研究了中华绒螯蟹雌、雄个体的部分性状差异,发现雄蟹的螯足和4对步足的长度及质量(体积大小)均高于雌蟹,这暗示着雌、雄蟹在摄食、捕食能力和爬行能力等多方面存在差异,这种差异表现为雌性可能弱于雄性个体,但目前没有针对雌、雄蟹摄食行为差异的报道。

对养殖动物的摄食行为研究不仅可以熟悉生物的摄食习性,而且对不同饵料的反应也可以侧面反映饵料的优劣^[20]。目前在中华绒螯蟹的养殖过程中,投喂的饲料主要以配合饲料和传统饵料(如小麦、玉米和冰鲜杂鱼等)进行单独或者混合投喂,已有诸多研究比较了配合饲料和传统饵料对中华绒螯蟹生长摄食的影响,主要集中在对生长性能、营养品质、机体健康和经济效益的评价等方面^[21-25],而缺乏中华绒螯蟹对不同饵料的喜好程度的研究,这不利于中华绒螯蟹养殖投喂技术的提高。

鉴于此,本研究对处于不同发育阶段和不同性别的中华绒螯蟹摄食行为进行研究,并研究了中华绒螯蟹对几种饵料的选择性,分析中华绒螯蟹的摄食特点,以期补充中华绒螯蟹摄食行为学知识,并为中华绒螯蟹的养殖管理、饲料开发和投喂策略提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验蟹及暂养管理

实验用蟹取自上海海洋大学崇明基地,分别在4月、6月、7月和10月从养殖池塘中挑选不同发育阶段(幼蟹、早期成蟹、亚成体和成体)的中华绒螯蟹,各阶段中华绒螯蟹的初始体质量分别为(6.00±0.14)、(36.60±1.40)、(67.46±1.01)和(152.88±1.63)g,且保证中华绒螯蟹附肢健全、活力较好、处于蜕壳间期。实验开始前,将同批次需要观察的中华绒螯蟹全部放入与正式摄食行为观察实验相同的实验桶中暂养7d。暂养期

间,每日17:00投喂商业饲料,投喂量约占总体质量的2%~3%,隔日用虹吸法吸出粪便和残饵,24h充氧,每天更换已充分曝气的新水。为贴合养殖实际条件以及保证实验蟹正常生理状态,实验蟹在当月的自然水温条件下进行群体暂养(幼蟹15~20℃,早期成蟹26~29℃,亚成体27~30℃,成体14~17℃),其间水质条件:pH 7.0~9.0、平均溶解氧质量浓度>5 mg/L、氨氮质量浓度<0.5 mg/L、亚硝酸盐质量浓度<0.15 mg/L。正式实验前,随机挑选待观察的蟹并在其头胸甲做上标记,将此待观察的中华绒螯蟹从群体暂养桶中转移至另外1个养殖桶中再单独暂养48h,在此期间不投喂食物,目的是使其在正式实验时快速适应实验环境并保持一定的食欲,其余养殖条件与群体暂养期相同。

1.2 中华绒螯蟹摄食行为实验

实验采用300L蓝色圆底养殖桶作为实验观察桶,桶的上内径为91cm,下内径为74cm,桶高57.5cm,在实验桶底部正中间设置1个料台,4个发育阶段中华绒螯蟹所用的料台直径a分别为5、10、15和20cm(图1),保证料台的直径大于中华绒螯蟹两侧第二步足的指节末端之间的距离。在养殖桶的正上方安装高清摄像机(海康威视智能球型摄像机,3Q140)拍摄和记录中华绒螯蟹的摄食过程。实验前更换为曝气过1d的新水,实验水深20cm。

将经过48h饥饿暂养过的1只实验蟹放在养殖桶底部边缘,待其安静10min后在料台中央轻轻放置商业饲料,放置的饲料质量为体质量的3%,记录此后4h内的中华绒螯蟹摄食行为。实验时相同发育阶段的雌、雄蟹分别放在两套相同但独立的摄食行为装置中同时观察,每个发育阶段的雌、雄蟹各观察15个重复,每只蟹均不重复使用。实验结束后收集残饵并烘干,并根据配合饲料水中干物质损失率计算中华绒螯蟹的摄食率,然后根据视频回放统计中华绒螯蟹各行为阶段消耗的时间。摄食行为阶段的统计标准见表1。

摄食率(%):

$$F_R = (W_1 \times P - W_2) / W \times 100\% \quad (1)$$

摄食响应时间(min):

$$T = t_2 - t_1 \quad (2)$$

式中:W、W₁和W₂分别为河蟹的质量、投喂饲料的质量和烘干后残饵的质量,g;P为配合饲料水中

干物质损失率,%; t_2 和 t_1 分别为中华绒螯蟹开始摄食的时间和实验饲料放入的时间,min。

参考 MARCHESE 等^[6]计算配合饲料水中干物质损失率:取样 3 g 饲料,放入与摄食行为观察实验相同的实验桶中,水深与摄食行为观察时水深一

致,设置 3 个重复,浸泡时间 4 h,然后收集在 60 μm 筛网上,用蒸馏水冲洗,在 105 $^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重。

饲料干物质损失率(%):

$$P = F/3 \times 100\% \quad (3)$$

式中: F 为浸水后干燥饲料质量,g。

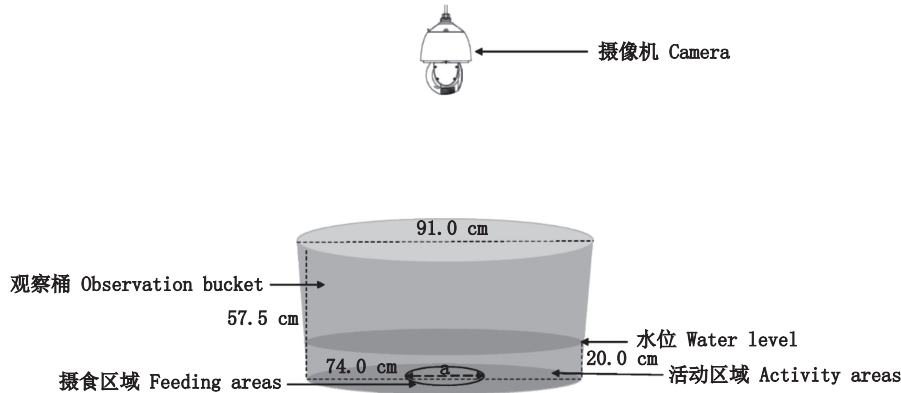


图 1 中华绒螯蟹摄食行为中使用的观察装置示意图

Fig. 1 Schematic view of aquarium for feeding behavior of Chinese mitten crab

表 1 中华绒螯蟹摄食行为的统计标准

Tab. 1 Statistical standards for feeding behaviour of Chinese mitten crab

摄食阶段 Feeding stage	统计标准 Statistical standards
探索 Exploration	从投入配合饲料到中华绒螯蟹径直向摄食区域移动之前的时间
定位 Orientation	中华绒螯蟹由静止状态径直向摄食区域移动至摄食区域边缘的时间
试探 Testing	中华绒螯蟹首次进入摄食区域的时间到摄食之前的时间
摄食 Feeding	中华绒螯蟹夹取饲料放入口器的时间到最后摄食结束离开摄食区域的时间

1.3 中华绒螯蟹的饵料选择性实验

由于不同发育阶段中华绒螯蟹的规格不同,中华绒螯蟹的摄食选择实验采用 2 种实验装置,其中幼蟹和早期成蟹使用小型实验桶(300 L 圆底养殖小桶:上内径 91 cm,底内经 74 cm,桶高 57.5 cm),见图 2a,亚成体和成体在大型实验桶(1 500 L 圆底养殖大桶:上内径 153 cm,底内经 139 cm,桶高 92 cm)中进行实验,见图 2b。在实验桶底部正中间设置饵料托盘,饵料托盘的高度为 0.5 cm,直径 c 根据中华绒螯蟹的不同发育阶段而变化,分别为 5、10、15 和 20 cm。饵料托盘布置的间距(d)大于中华绒螯蟹头胸甲长以保证中华绒螯蟹在不同饵料的饵料托盘间穿梭,提高中华绒螯蟹对饵料的自主选择性。实验前更换为曝气 1 d 的新水,实验期间水深 20 cm。

取 1 只经过饥饿暂养 48 h 后的中华绒螯蟹放置实验桶的边缘,待其安静 10 min 后,在饵料托盘上放置不同饵料,以评估中华绒螯蟹对饵料的选择性。在幼蟹和早期成蟹阶段评估其对冰鲜鱼、

配合饲料和玉米这 3 种饵料的选择性,亚成体和成体阶段评估其对冰鲜鱼、配合饲料、玉米以及螺蛳的选择性。实验期间投放饵料总质量为实验蟹体质量的 3%,4 种饵料均按照蟹体质量的 0.75% 随机投放在饵料托盘中央。随后用摄像机记录 4 h 内中华绒螯蟹摄食过程,根据录像统计中华绒螯蟹首次摄食饵料的种类以及首次摄食不同饵料的时间。实验时相同发育阶段的雌、雄蟹分别放在两套相同但独立的摄食行为装置中同时观察,每个发育阶段的雌、雄蟹各观察 15 个重复,每只蟹均不重复使用。每次实验完需更换新水、清洗饵料托盘、更换新蟹和调换饵料在托盘上的位置。

饵料的前期处理:冰鲜鱼为带鱼肌肉,切成小肉粒备用;玉米为干玉米,剪碎成小颗粒备用;配合饲料:幼蟹和早期成蟹使用通威股份有限公司生产的 3#扣蟹料,亚成体和成体使用通威股份有限公司生产的 3#成蟹料;螺蛳:为了避免螺蛳移动导致中华绒螯蟹与其距离改变,螺蛳使用牙签提前扎死,选用螺蛳的质量根据螺蛳的平均出

肉率和需要投喂的螺蛳肉的质量计算得出。

首次摄食比例(%):

$$F_{FR} = F_F/T \times 100\% \quad (4)$$

投喂螺蛳的质量(g):

$$S_W = W \times 0.75\% / S_{MY} \quad (5)$$

式中: F_F 和 T 为首次摄食某种饵料的次数和总实验次数; W 为中华绒螯蟹体质量,g;0.75%为投喂螺蛳肉的投喂率; S_{MY} 为螺蛳的出肉率,%。

1.4 数据统计分析

所有统计分析均使用SPSS 26.0软件进行,在进行任何统计分析之前,采用Levene's法对所有

数据进行方差齐性检验,当不满足齐性时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用 t 检验分析摄食行为实验中雌、雄蟹各摄食阶段消耗时间、摄食响应时间和摄食率的差异,不同发育阶段中华绒螯蟹摄食响应时间、摄食率以及对不同饵料摄食响应的差异进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),然后采用Tukey's进行多重比较,取 $P < 0.05$ 为差异显著,结果以平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)表示,并采用双因素方差分析(Two-Way ANOVA)分析了不同发育阶段和不同性别中华绒螯蟹摄食行为和对饵料选择的差异。

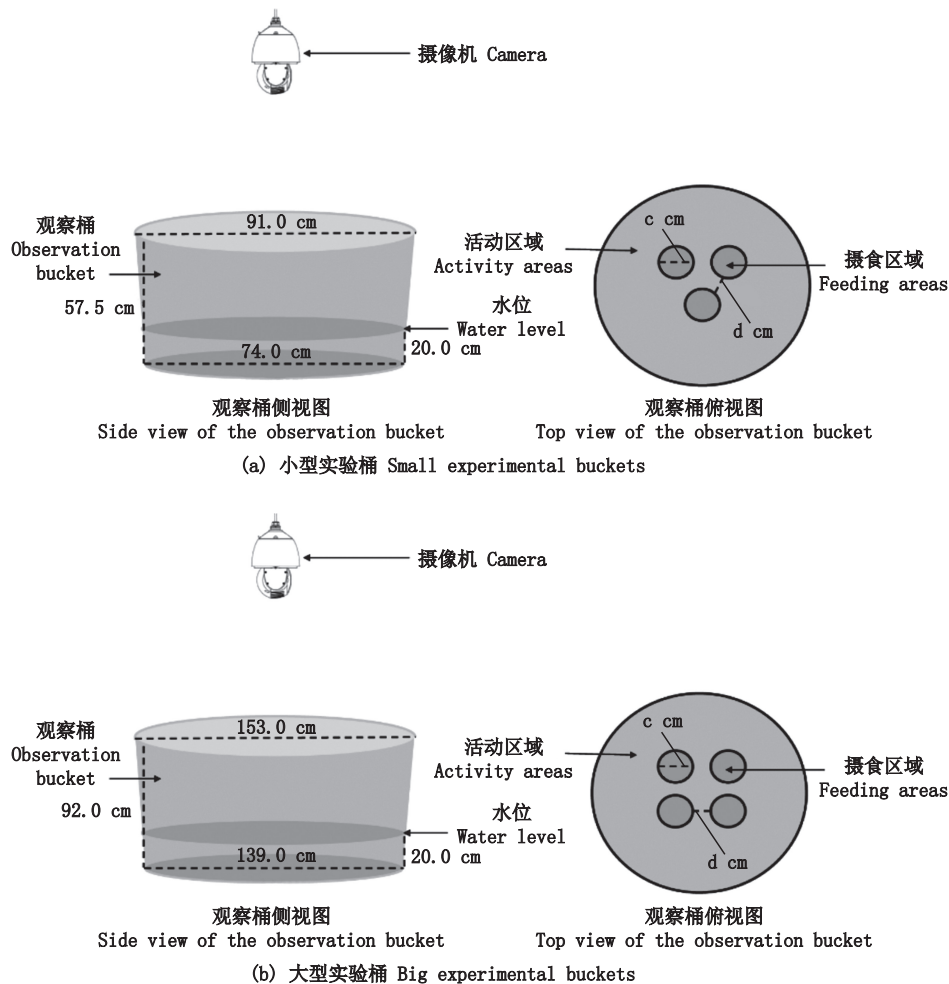


图2 中华绒螯蟹摄食选择中使用的观察装置示意图

Fig. 2 Schematic view of the aquarium used during feeding selection of Chinese mitten crabs

2 结果

2.1 中华绒螯蟹摄食行为实验

2.1.1 中华绒螯蟹的摄食行为

中华绒螯蟹的摄食过程可分为探索、定位、试

探和摄食4个阶段(图3)。当饵料投放在摄食区域后,中华绒螯蟹在活动区域先沿着桶壁移动,然后向摄食区域逐渐靠近但不接触摄食区域,其间时而静止,并快速抖动第一触角,然后调整身体方向继续在活动区移动或静止,此为中华绒螯蟹探

索过程(图 3a)。随后中华绒螯蟹平举螯足并慢慢向食物靠近,近距离时,中华绒螯蟹时而会突然静止,然后径直运动到摄食区域边缘,此为定位过程(图 3b)。然后到达料台边缘时,中华绒螯蟹利用螯足的跗节和趾节反复触碰料台边缘区域,并利用步足(主要是第一和第二步足)的胫节、跗节和趾节反复接触饵料,此为试探过程(图 3c)。最后用螯足将饵料夹住后快速递进口器,经大颚咬碎后吞下,此为摄食阶段(图 3d)。

2. 1. 2 摄食各阶段消耗的时长

不同发育阶段和不同性别的中华绒螯蟹摄食行为各阶段消耗的时间结果如图 4 所示。在中华绒螯蟹摄食过程中的探索、定位、试探和摄食这 4 个动作中,无论是不同发育阶段还是不同性别,均是探索消耗的时间最长,占总时长的 67.51%~93.46%,其次是摄食,占总时长的 6.37%~31.42%。而定位和试探消耗时间较少,一共占总时长的 0.16%~1.06%(图 4)。

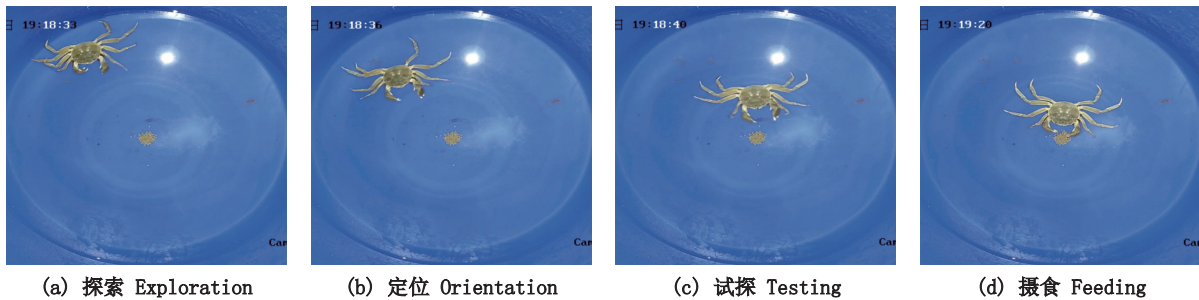
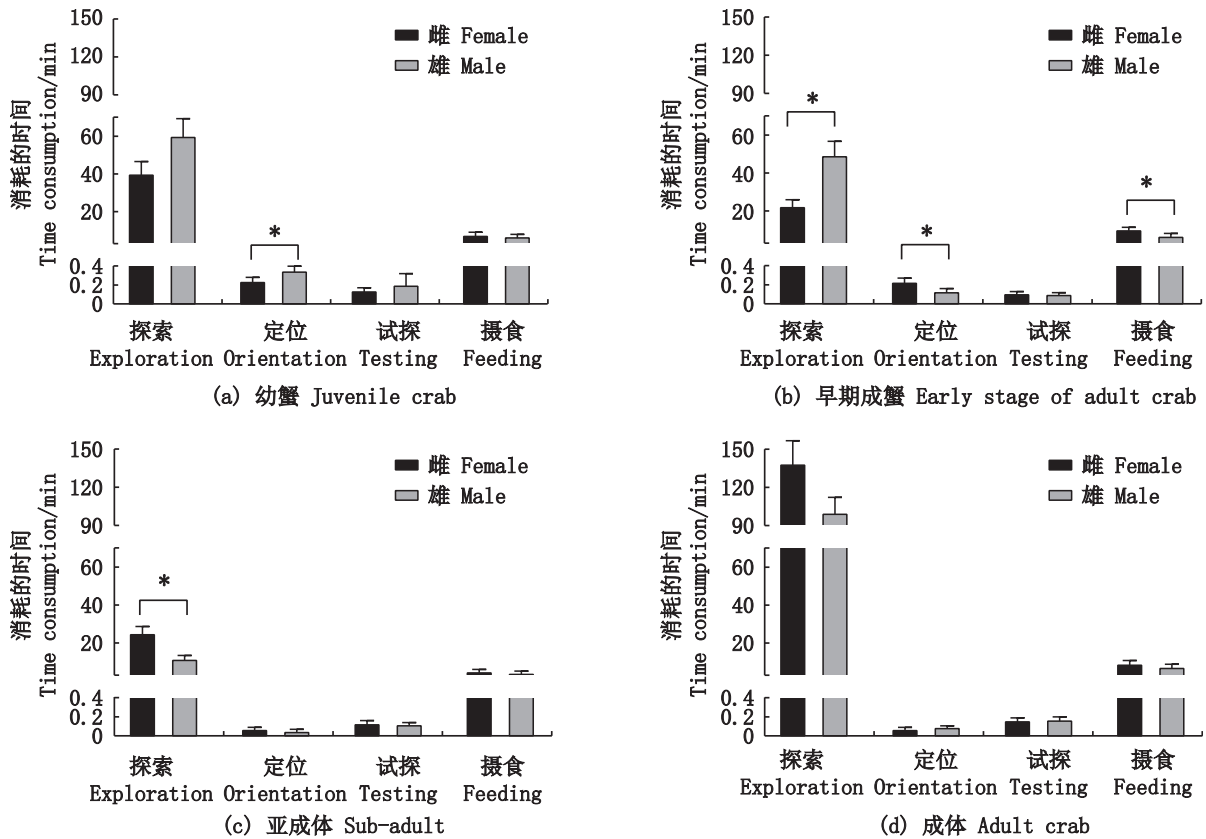


图 3 中华绒螯蟹的摄食行为阶段
Fig. 3 Stages of feeding behaviour in Chinese mitten crab



“*”代表雌雄间存在显著性差异。
“*” indicates a significant difference between males and females.

图 4 中华绒螯蟹摄食行为不同阶段消耗的时间
Fig. 4 Time consumed by different stages of feeding behaviour in Chinese mitten crab

就不同性别而言,在幼蟹阶段,雌蟹探索、定位和试探消耗的时间均少于雄蟹,其中定位消耗的时长显著低于雄蟹($P < 0.05$),而摄食消耗的时长高于雄蟹(图 4a)。在早期成蟹阶段,雌蟹探索消耗的时长显著低于雄蟹($P < 0.05$),而定位和摄食消耗的时长显著高于雄蟹($P < 0.05$),见图 4b)。在亚成体阶段,雌蟹各行为阶段消耗的时长均高于雄蟹,其中探索消耗的时长显著高于雄蟹($P < 0.05$),见图 4c)。在成蟹阶段,雌蟹探索和摄食消

耗的时长高于雄蟹,而定位和试探消耗的时长低于雄蟹,见图 4d)。

就不同发育阶段而言,在幼蟹、早期成蟹、亚成体和成体阶段,中华绒螯蟹摄食过程中的 4 种行为阶段均存在显著差异($P < 0.05$),见表 2。无论雌性还是雄性,成体在探索上消耗时长显著高于其他阶段($P < 0.05$),而亚成体在探索、定位和摄食上消耗的时长最短,早期成蟹在试探上消耗时长最低。

表 2 中华绒螯蟹摄食行为阶段消耗的时间与性别和发育阶段的双因素方差分析结果

Tab. 2 Results of a two-way ANOVA on time consumed by feeding behavioural stages and developmental stage-gender interaction in Chinese mitten crab

项目 Items	探索 Exploration	定位 Orientation	试探 Testing	摄食 Feeding
性别 Gender	0.877	0.758	0.404	0.046
发育阶段 Development stage	0	0	0.011	0.001
性别×发育阶段 Gender × Development stage	0.031	0.001	0.270	0.588

2.1.3 摄食响应时间的差异

随着发育阶段的增加,雌蟹、雄蟹以及雌蟹和雄蟹的平均摄食响应时间呈先下降后上升的趋势,均在成体阶段的摄食响应时间最长($P < 0.05$)。其中,雌蟹在早期成蟹阶段的摄食响

应时间最短,但与幼蟹和亚成体无显著差异($P > 0.05$),而雄蟹在亚成体阶段显著低于其他各组($P < 0.05$)。双因素方差结果显示各阶段雌、雄蟹之间的摄食响应时间无显著差异($P > 0.05$)。见表 3。

表 3 不同发育阶段和不同性别的中华绒螯蟹的摄食响应时间比较

Tab. 3 Comparison of feeding response times of Chinese mitten crabs at different development stages and by genders

性别 Gender	幼蟹 Juvenile crab	早期成蟹 Early stage of adult crab	亚成体 Sub-adult	成体 Adult	线性	二次
					Linear	Quadratic
					<i>P</i>	<i>P</i>
雌蟹 Female	(40.95±6.00)min ^b	(23.27±3.00)min ^b	(25.85±3.22)min ^b	(139.89±17.44)min ^a	0.001	0
雄蟹 Male	(56.07±9.00)min ^b	(50.05±6.98)min ^b	(12.19±1.50)min ^c	(101.29±11.66)min ^a	0.337	0.002
平均值 Average	(49.45±5.89)min ^b	(40.19±4.88)min ^{bc}	(18.69±2.20)min ^c	(120.59±11.39)min ^a	0	0
双因素方差分析 Two-way ANOVA						
性别 Gender	0.322	发育阶段 Development stage	0	性别×发育阶段 Gender × Development stage	0.550	

注:同行数据不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Values with different letters within the same row are significantly different ($P < 0.05$).

2.1.4 摄食率的差异

随着发育阶段增加,雌蟹和雄蟹的摄食率均显著降低($P < 0.05$),幼蟹阶段的摄食率约是早期成蟹和亚成体的 2 倍,约是成体阶段的 3 倍,而同一发育阶段的雌、雄蟹的摄食率无显著差异($P > 0.05$)。见表 4。

2.2 中华绒螯蟹对不同饵料的摄食选择性实验

2.2.1 对不同饵料首次摄食频率的差异

中华绒螯蟹对不同饵料的首次摄食频率

如图 5 所示。就雌蟹而言,幼蟹和亚成体首次摄食冰鲜鱼的频率最高(45% 和 50%),而在早期成蟹和成体阶段首次摄食配合饲料的频率最高(41% 和 47%)。随着发育阶段的变化,中华绒螯蟹首次摄食饲料的频率呈升高趋势,而首次摄食玉米的频率呈现降低趋势(图 5a)。就雄蟹而言,首次摄食的冰鲜鱼和配合饲料的频率与雌蟹相反,在早期成蟹和成体阶段首次摄食冰鲜鱼最高(53% 和 40%),在幼蟹和亚成

体阶段首次摄食配合饲料频率最高(均为 43%, 见图 5b, 且相对于雌蟹, 雄蟹在亚成体和成体阶段会增加对玉米和螺蛳的摄食比例(图 5a 和 b)。

表 4 不同发育阶段和不同性别中华绒螯蟹的摄食率比较
Tab. 4 Comparison of feeding rates of Chinese mitten crabs at different developmental stages and by genders

性别 Gender	幼蟹 Juvenile crab	早期成蟹 Early stage of adult crab	亚成体 Sub-adult	成体 Adult	线性 Linear	二次 Quadratic
					P	P
雌蟹 Female	3.28%±0.28% ^a	1.89%±0.09% ^b	1.80%±0.09% ^b	1.41%±0.10% ^b	0	0
雄蟹 Male	3.59%±0.26% ^a	1.23%±0.07% ^c	1.89%±0.08% ^b	1.17%±0.10% ^c	0	0
平均值 Average	3.44%±0.20% ^a	1.56%±0.08% ^{bc}	1.85%±0.06% ^b	1.29%±0.07% ^c	0	0

双因素方差分析 Two-way ANOVA

性别 Gender	发育阶段 Development stage	性别×发育阶段 Gender × Development stage
0.296	0	0.020

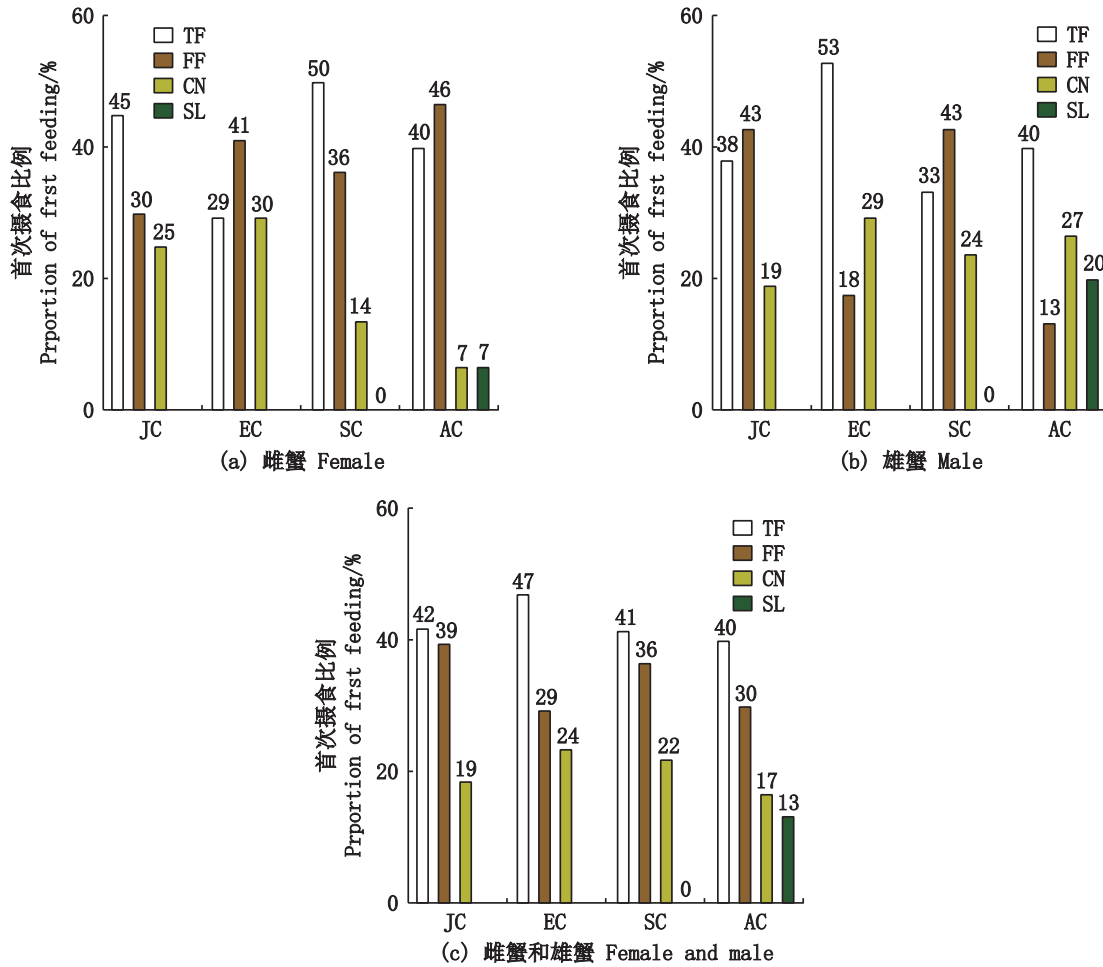


图 5 中华绒螯蟹对不同饵料的首次摄食频率
JC. 幼蟹; EC. 早期成蟹; SC. 亚成体; AC. 成体; TF. 冰鲜鱼; FF. 配合饲料; CN. 玉米; SL. 螺蛳。
JC. Juvenile crab; EC. Early stage of adult crab; SC. Sub-adult; AC. Adult; TF. Trash fish; FF. Formula feed; CN. Corn; SL. Snail.

图 5 First feeding frequency of Chinese mitten crabs on different feeds

就雌、雄蟹合并而言,各发育阶段的中华绒螯蟹首次摄食冰鲜鱼的频率均最高(40%~47%),其次分别是配合饲料(29%~40%)、玉米(17%~24%)和螺蛳(0~13%,见图5c)。其中在亚成体阶段未观察到中华绒螯蟹摄食螺蛳的现象。因此开展了用螺蛳作为唯一食物来源,评

估亚成体中华绒螯蟹是否具有摄食螺蛳能力的实验,结果表明,雌雄亚成体中华绒螯蟹均具有摄食螺蛳的能力,在螺蛳作为唯一饵料源时,中华绒螯蟹平均经过50~60 min就会开始摄食螺蛳(图6a),并且观察到了每只实验蟹摄食螺蛳的现象(图6b)。

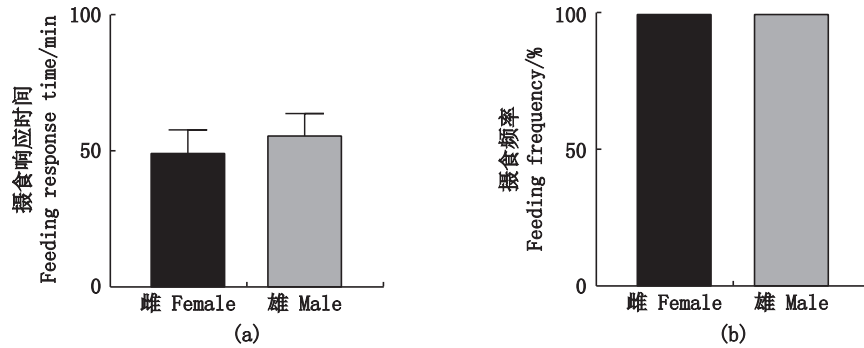


图6 亚成体摄食螺蛳响应时间和摄食频率

Fig. 6 Feeding response time and feeding frequency of sub-adult crabs feeding on snails

2.2.2 对不同饵料摄食响应时间的差异

中华绒螯蟹对不同饵料的摄食响应时间如图7和表5所示。不同发育阶段中华绒螯蟹对饵料的响应时间差异显著($P < 0.05$)。雌性幼蟹和早期成蟹阶段对配合饲料摄食响应时间均最短,而雄蟹对冰鲜鱼的摄食响应时间均最短,雌雄幼蟹和早期成蟹阶段对玉米的摄食响应时间均最长。雌、雄亚成体阶段对冰鲜鱼、配合饲料和玉米的摄食响应时间无显著性差异($P > 0.05$),且均未发现亚成体摄食螺蛳的现象。在成体阶段,雌雄成蟹对冰鱼和配合饲料的摄食响应时间均显著低于玉米和螺蛳($P < 0.05$)。就雌、雄蟹合并而言,幼蟹、早期成蟹和亚成体对不同饵料的摄食响应时间无显著性差异($P > 0.05$),成体对冰鲜鱼和配合饲料的摄食响应时间显著低于玉米和螺蛳($P < 0.05$)。双因素分析结果显示,雌、雄蟹对配合饲料的摄食响应时间存在显著差异($P < 0.05$)。除了亚成体阶段,其他3个阶段雄蟹对配合饲料的摄食响应时间均长于雌蟹。

3 讨论

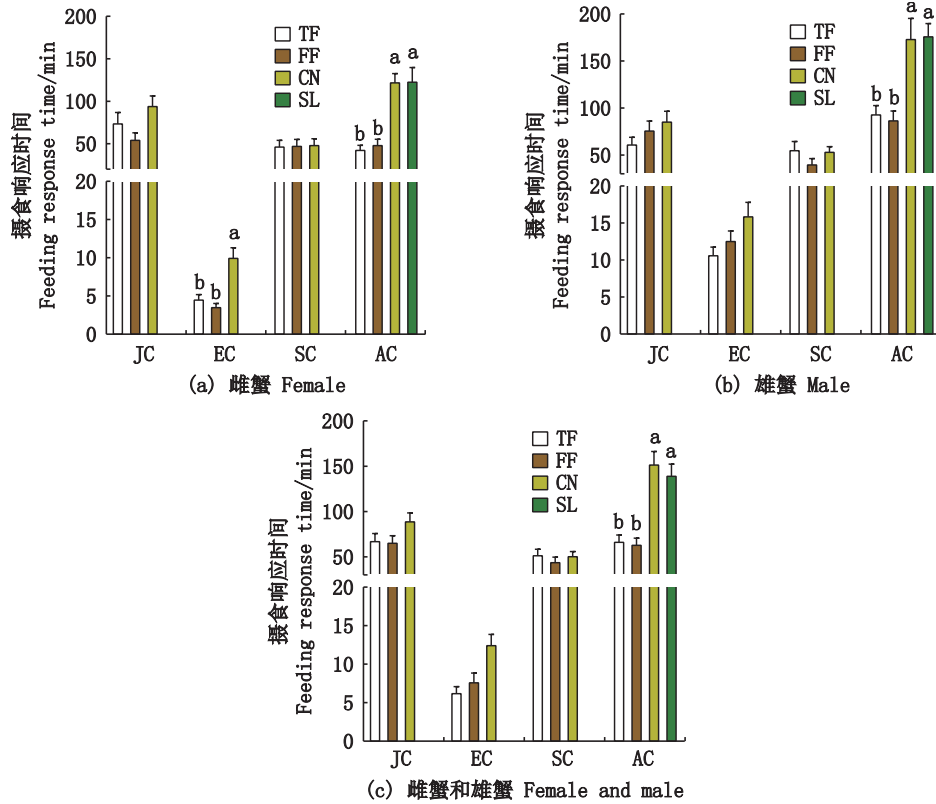
3.1 不同性别中华绒螯蟹摄食行为差异

通过本研究的观察,中华绒螯蟹的摄食过程可分为探索、定位、试探和摄食4个阶段。在寻获食物的过程中,中华绒螯蟹的化感毛起到重要作用,主要是分布于第一触角上的起嗅觉作用的嗅

毛和分布于步足以及螯足钳指内侧起味觉作用的化感毛^[1,17]。本研究结果表明,在亚成体阶段之前,雌蟹探索阶段消耗的时间和摄食响应时间低于雄蟹,而在亚成体之后,雄蟹探索阶段消耗的时间及摄食响应时间显著低于雌蟹,这表明亚成体阶段是雌、雄蟹感知饵料和摄食行为转变的关键时期,可能与此阶段之后雄蟹大螯上的绒毛较雌蟹发达有关。大螯绒毛是雄蟹重要的第二性征,大螯上的绒毛长度及其覆盖大螯的面积比例随着生长发育而变化,通常完成生殖蜕壳的雄体,大螯正面和背面全部覆盖致密的绒毛^[26]。这些绒毛不仅有触觉作用,而且可以感受接触到的化学刺激,因此雄蟹对食物化学信号的接收能力更强。此外,生殖蜕壳后雄蟹步足趾节上的刚毛的长度也较雌蟹长,可能也是造成雌雄蟹摄食响应时间转变的重要原因。亚成体和成体是中华绒螯蟹生殖蜕壳前后的两个重要阶段,一般雌蟹生殖蜕壳高峰期为7月下旬,而雄蟹生殖蜕壳高峰期为8月下旬^[27],本实验观察亚成体摄食行为在7月初,此时可能较接近雌蟹的生殖蜕壳期,一般中华绒螯蟹在蜕壳前通常会降低摄食活动,因此可能导致在亚成体阶段雌蟹探索阶段消耗的时间及摄食响应时间较雄蟹长。此外,本研究发现无论在哪个阶段,雄蟹的摄食时间均短于雌蟹,这可能与中华绒螯蟹摄食的处理方式有关,摄食时中华绒螯蟹先用螯足夹取食物送入口边,

再用第2步足趾节尖捧住食物递送给第3对颚足,之后再把食物传递给大颚,食物经过大颚的初步切断或磨碎,然后在蟹胃中进行进一步碎化。这过程中可能由于雄蟹的螯足及绒毛较雌蟹强大,导致雄蟹感知食物的硬度及适口性能力强于雌蟹。另外,叶元土等^[19]发现雄性个体的胃重高于雌蟹,推测雄蟹比雌蟹有较强的摄

食能力和食物容纳量,但是该报道中雌雄蟹质量不一致,可能是由于规格不同导致的胃质量的差异,而本研究中雌雄蟹规格一致,同种规格的雌雄蟹的胃重是否有差异也暂不清楚。此外是否因为雌雄蟹大颚的剪切力存在差异,从而导致雄蟹的摄食速度变快,这些都有待进一步的研究。



JC. 幼蟹;EC. 早期成蟹;SC. 亚成体;AC. 成体;TF. 冰鲜鱼;FF. 配合饲料;CN. 玉米;SL. 螺蛳;柱状图上方不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

JC. Juvenile crab;EC. Early stage of adult crab;SC. Sub-adult;AC. Adult;TF. Trash fish;FF. Formula feed;CN. Corn;SL. Snail; Values with different letters in bar chart are significantly difference ($P<0.05$).

图7 不同发育阶段的中华绒螯蟹对不同饵料的摄食响应时间比较

Fig. 7 Comparison of feeding response times to different feeds in Chinese mitten crabs at different developmental stages

表5 中华绒螯蟹对不同饵料的摄食响应时间与性别和发育阶段的双因素方差分析结果

Tab. 5 Results of a two-way ANOVA on the interaction between feeding response time to different feeds and gender-development stage in the Chinese mitten crab

项目 Items	冰鲜鱼 Trash fish	配合饲料 Formula feed	玉米 Corn	螺蛳 Snail
性别 Gender	0.077	0.013	0.211	0.217
发育阶段 Development stage	0	0	0	-
性别×发育阶段 Gender × Development stage	0.028	0.055	0.225	-

3.2 不同发育阶段中华绒螯蟹摄食行为的差异
动物不同发育阶段的摄食行为是不同的,发育阶段过程的形态变化和光照、温度等环境条件

都会影响动物的摄食活动^[28]。其中温度对动物消化酶的活性和动物的代谢能力有重要影响^[29]。本研究表明,雌蟹、雄蟹摄食响应时间呈先下降

后上升趋势(表3),亚成体在探索、定位和摄食阶段消耗的时长最短。生殖蜕壳是短尾派蟹类自亚成体向成体过渡的一次关键蜕壳^[30],中华绒螯蟹经过生殖蜕壳后性腺会快速发育,而蜕壳前中华绒螯蟹体内的营养物质积累对顺利完成生殖蜕壳至关重要^[31]。因此,此阶段中华绒螯蟹会提高其较高的摄食积极性以积累一定的营养物质。此外,温度也是促进中华绒螯蟹摄食的重要环境因素。从幼蟹至成蟹阶段,水温呈现先上升后下降的趋势,在亚成体阶段水温达到最高,而此阶段雌雄蟹的探索和摄食响应时间最短,表明在适宜温度范围内随着温度升高增加中华绒螯蟹摄食欲望,这可能与温度升高促进中华绒螯蟹代谢水平提高以及诱食性物质在水体的扩散速度有关^[28],此外,本研究发现随着发育阶段的增加,4 h内中华绒螯蟹单位体质量的摄食量呈现明显的下降趋势,在幼蟹阶段摄食率最高。摄食率随体质量上升而下降是动物的一种普遍现象^[32],孙远远等^[33]对解放眉足蟹(*Blepharipoda liberate Shen*)以及郭浩宇等^[34]对许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)的研究也得出了同样的结论,可能原因:较小的动物代谢强度高,能量消耗的强度较大,代谢率随体重的增加而显著减小^[32,35];较小动物肠道排空的速度更快,因为小规格的动物摄食食物的粒径小,经过大颚和胃磨机械研磨后更有利于迅速消化和排出^[34]。

3.3 中华绒螯蟹对饵料的选择性

动物对饵料的选择性与饵料的诱食性、适口性、颗粒的大小、软硬程度等特性密切相关^[36]。对养殖动物的摄食行为研究不仅可以熟悉生物的摄食习性,而且对不同饵料的反应也可以侧面反映饲料的优劣^[20]。本研究中,中华绒螯蟹在4个发育阶段中,首次摄食冰鲜鱼的频率均最高(40%~47%)。主要是冰鲜鱼的鱼肉中含有大量可溶性蛋白和各种氨基酸,包括天冬氨酸、甘氨酸和脯氨酸等起诱食作用的物质^[37-38],这些促摄物质使中华绒螯蟹的化学感受器产生的刺激强度最高,并且冰鲜鱼对河蟹的促生长作用优于饲料^[21],导致中华绒螯蟹显现出对冰鲜鱼的摄食偏好。这也是即使冰鲜鱼存在质量不稳定、营养不均衡、携带致病菌、投喂不方便等问题^[39],但养殖户依然选择冰鲜鱼作为饵料重要原因。中华绒螯蟹对配合饲料的摄食频率(29%~40%)仅次

于冰鲜鱼,可能是配合饲料中诱食物质含量不足,导致对中华绒螯蟹的诱食程度低于冰鲜鱼,也可能是碎冰鱼中的氨基酸挥发速度较配合饲料快的原因。因此,今后在饲料研发上不仅要满足中华绒螯蟹的营养需求,也要注重提高饲料的诱食性。本研究发现中华绒螯蟹对玉米也具有一定的摄食偏好(17%~24%),低于冰鲜鱼和配合饲料,但高于螺蛳。有研究^[40-41]发现,甲壳类杂食性物种通常对植物性饵料中的糖类比较敏感。可能是玉米中含有的糖类起到了一定的诱食作用,但其中的可溶蛋白、游离氨基酸和核苷酸等诱食物质含量比冰鲜鱼和配合饲料中低,也可能与玉米内部诱食物质发散慢有关。本研究中在亚成体阶段基本未观察到中华绒螯蟹摄食螺蛳的现象,可能是螺蛳具有坚硬的外壳,在捕食螺蛳需要更多的能量。有研究^[42]表明捕食者在饵料选择上,多选择能耗低的捕食策略。因此会优先选择可直接摄食的饵料冰鲜鱼、配合饲料和玉米。在成蟹阶段,发现成蟹相较于亚成体开始摄食部分螺蛳,且雄性成蟹首次选择螺蛳的比例高于雌性。可能是成蟹规格比亚成体大,其螯足的大小和力量也较亚成体大,同样雄蟹螯足比雌蟹大,使其处理螺蛳能力强于雌蟹。在红螯相手蟹(*Sesarma haematocheir*)研究中发现,雄蟹可凭借其强有力的螯在单位时间内能够比雌蟹捕食更多的毛蚶(*Scapharca subcrenata*)^[43]。为了验证亚成体中华绒螯蟹是否具有对螺蛳的摄食能力,本研究以螺蛳作为唯一食物来源,发现没有其他可选择的饵料时,所有测试的中华绒螯蟹都会在0.5~1.5 h内开始摄食螺蛳。这表明中华绒螯蟹是具有摄食螺蛳的能力,但中华绒螯蟹会选择能量最优的捕食策略,优先选择易于获取且营养价值较高的饵料^[44]。

4 结论

综上所述,中华绒螯蟹摄食行为分为探索、定位、试探和摄食4个阶段,在不同发育阶段中华绒螯蟹的摄食行为存在显著性差异,亚成体阶段在探索、摄食及摄食响应时间上耗时最短,成蟹在探索和摄食响应时间上耗时最长,各发育阶段中华绒螯蟹的摄食率随着发育阶段显著降低。此外,雌雄中华绒螯蟹的摄食行为也存在一定的差异,在亚成体阶段之前雌蟹的探索耗时显著低

于雄蟹,而亚成体及成蟹阶段,雌蟹探索耗时明显高于雄蟹。中华绒螯蟹对不同饵料具有明显的偏好性,成蟹优先摄食冰鲜鱼和配合饲料,幼蟹和亚成体中华绒螯蟹对冰鲜鱼、配合饲料和螺蛳的摄食响应时间较短,且3种饵料间无显著差异。

本研究首次报道了中华绒螯蟹摄食行为特征,并通过摄食行为特征初步研究了不同发育阶段和不同性别中华绒螯蟹摄食行为的差异和对饵料摄食的选择性,为今后开展中华绒螯蟹的摄食行为学研究、饵料选择、饲料开发和投喂技术的提高提供了实验方法和理论支撑。

参考文献:

- [1] 陈立侨,堵南山. 中华绒螯蟹生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
CHEN L Q, DU N S. Biology of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [2] 崔莹,吴旭干,赵峰,等. 基于碳、氮稳定同位素分析中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹溯河洄游期食物来源变化[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(4): 822-829.
CUI Y, WU X G, ZHAO F, et al. Diet sources of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during upstream migration indicated by the carbon and nitrogen stable isotopes [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 50(4): 822-829.
- [3] SCHOELYNCK J, WOLTERS J W, TEUCHIES J, et al. Experimental evidence for the decline of submerged vegetation in freshwater ecosystems by the invasive Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Biological Invasions, 2020, 22(2): 627-641.
- [4] LU Z Z, SUN Y F, XIAO C L, et al. Dietary analysis based on 18S rDNA, and stable carbon and nitrogen isotopes in juvenile *Eriocheir sinensis* crabs reared under three feeding modes [J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 741780.
- [5] WANG X, YAO Q, LEI X Y, et al. Effects of different stocking densities on the growth performance and antioxidant capacity of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in rice crab culture system [J]. Aquaculture International, 2022, 30(2): 883-898.
- [6] 赵乃刚. 用配制海水进行中华绒螯蟹人工繁殖的试验 [J]. 水产学报, 1980, 4(1): 95-104.
ZHAO N G. Experiments on the artificial propagation of the woolly-handed crab (*Eriocheir sinensis* H. Milne-Edwards) in artificial sea water [J]. Journal of Fisheries of China, 1980, 4(1): 95-104.
- [7] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 2021 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, Compiled by China Fisheries Society. China Fishery Statistical Yearbook 2021 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [8] ZOU J M, SONG C, MENG S L, et al. Effects of feed on fatty acid composition in muscles and gonads of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Oceanological and Hydrobiological Studies, 2021, 50(3): 338-351.
- [9] XIE Q S, LIU Y R. Study on the nutritional quality of ecologically bred Chinese mitten crabs with different body weights [J]. Aquaculture Research, 2020, 51(7): 2948-2961.
- [10] WANG X, MAITE T P, YAO Q, et al. Comparison of the growth performance and nutritional qualities of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) with different stocking densities in rice-crab culture systems [J]. Aquaculture Reports, 2021, 20: 100761.
- [11] 王蕾,唐金玉,覃英莲,等. 饥饿对中华倒刺鲃幼鱼代谢、个性和集群的影响 [J]. 生态学报, 2019, 39(3): 1095-1104.
WANG L, TANG J Y, QIN Y L, et al. Effect of starvation on energy metabolism, fish behavior, and schooling behavior of *Spinibarbus sinensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(3): 1095-1104.
- [12] BELGRAD B A, KARAN J, GRIFFEN B D. Individual personality associated with interactions between physiological condition and the environment [J]. Animal Behaviour, 2017, 123: 277-284.
- [13] 应雪萍,杨万喜,许捷,等. 中华绒螯蟹不同生理阶段腹肢的结构变化及黏液腺的发育特征 [J]. 动物学研究, 2004, 25(3): 256-262.
YING X P, YANG W X, XU J, et al. Histological changes and cement gland characters of female pleopod of *Eriocheir sinensis* in different physiological stages [J]. Zoological Research, 2004, 25(3): 256-262.
- [14] 解志龙,姜晓东,范陈伟,等. 不同规格中华绒螯蟹成蟹的形态特征和组织系数比较 [J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(1): 67-76.
XIE Z L, JIANG X D, FAN C W, et al. Morphological characters and tissue indices of adult Chinese mitten crabs *Eriocheir sinensis* with different body weights [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(1): 67-76.
- [15] BARDERA G, OWEN M A G, FACANHA F N, et al. The influence of sex on feeding behaviour in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2020, 224: 104946.
- [16] MARCHESE G, FITZGIBBON Q P, TROTTER A J, et al. The influence of flesh ingredients format and krill meal on

- growth and feeding behaviour of juvenile tropical spiny lobster *Panulirus ornatus* [J]. *Aquaculture*, 2019, 499: 128-139.
- [17] BARDERA G, OWEN M A G, POUNTNEY D, et al. The effect of short-term feed-deprivation and moult status on feeding behaviour of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2019, 511: 734222.
- [18] 朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波, 等. 摄食水平和性别对稀有鮟鮟生长和能量收支的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 240-247.
- ZHU X M, XIE S Q, CUI Y B, et al. Effect of ration level on growth and energy budget of male and female rare minnow *Gobiocypris rarus* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(3): 240-247.
- [19] 叶元土, 林仕梅, 罗莉, 等. 池养中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)雌、雄个体部分性状的比较研究[J]. *内陆水产*, 2000(4): 7-8.
- YE Y T, LIN S M, LUO L, et al. A comparative study of some traits of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) females and males in pools [J]. *Inland Fisheries*, 2000(4): 7-8.
- [20] LEVINA A D, MIKHAILOVA E S, KASUMYAN A O. Taste preferences and feeding behaviour in the facultative herbivorous fish, *Nile tilapia Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fish Biology*, 2021, 98(5): 1385-1400.
- [21] 杨丽丽, 杨筱珍, 赵柳兰, 等. 冰鲜野杂鱼和配合饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力及血细胞的影响研究[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2011, 50(5): 619-624.
- YANG L L, YANG X Z, ZHAO L L, et al. Effects of two different diets on the growth, digestive enzyme activity and haemocytes in juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2011, 50(5): 619-624.
- [22] 潘杰, 吴旭干, 赵恒亮, 等. 三种投喂模式对河蟹二龄成蟹养殖性能的影响[J]. *淡水渔业*, 2016, 46(2): 87-93.
- PAN J, WU X G, ZHAO H L, et al. Effects of three feeding modes on the culture performance of adult pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during the second year culture [J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(2): 87-93.
- [23] 姜晓东, 吴旭干, 张金彪, 等. 三种饵料模式对中华绒螯蟹早期养殖性能、非特异免疫性能及抗病力的影响[J]. *动物学杂志*, 2017, 52(1): 85-96.
- JIANG X D, WU X G, ZHANG J B, et al. Effects of three feeding modes on early culture performance, non-specific immunity and disease resistance of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2017, 52(1): 85-96.
- [24] 王少兵, 姜晓东, 张金彪, 等. 两种投喂模式下中华绒螯蟹扣蟹池塘养殖效果比较[J]. *水产科技情报*, 2018, 45(3): 162-166.
- WANG S B, JIANG X D, ZHANG J B, et al. Culture effect of different feeding modes on pond-reared juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2018, 45(3): 162-166.
- [25] ZHUANG K J, WU N, WANG X C, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): S968-S981.
- [26] 徐佳倩, 吴旭干, 张鹏超, 等. 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体生长、性腺发育和第二性征的变化[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(3): 434-448.
- XU J Q, WU X G, ZHANG P C, et al. Growth, gonadal development and secondary sexual characteristics of pond-reared male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during the second year culture [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(3): 434-448.
- [27] 倪国彬, 何杰, 赵恒亮, 等. 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雌体生长规律和生殖蜕壳时间的研究[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2015, 34(2): 125-131.
- NI G B, HE J, ZHAO H L, et al. The study of growth pattern and puberty molting time of pond-reared female Chinese mitten crab during the second year culture [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2015, 34(2): 125-131.
- [28] YUAN Q, WANG Q D, ZHANG T L, et al. Effects of water temperature on growth, feeding and molting of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Aquaculture*, 2017, 468: 169-174.
- [29] 薛素燕, 毛玉泽, 赵法箴, 等. 温度对中华原钩虾(*Eogammarus possjeticus*)摄食率和消化酶活力的影响[J]. *渔业科学进展*, 2015, 36(4): 94-98.
- XUE S Y, MAO Y Z, ZHAO F Z, et al. Effects of temperature on the feeding rate and the digestive enzymes activities of *Eogammarus possjeticus* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(4): 94-98.
- [30] 葛永春, 吴旭干. 中华绒螯蟹生殖蜕壳后卵巢发育规律的研究[J]. *水产科学*, 2020, 39(5): 766-770.
- GE Y C, WU X G. Ovarian development of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* after genital molting [J]. *Fisheries Science*, 2020, 39(5): 766-770.
- [31] 何杰, 吴旭干, 赵恒亮, 等. 全程投喂配合饲料条件下池养中华绒螯蟹的生长性能及其性腺发育[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(3): 606-618.
- HE J, WU X G, ZHAO H L, et al. Growth performance and gonadal development of pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) fed formulated diets during the whole culture process [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(3): 606-618.

- [32] 齐明, 申玉春, 朱春华, 等. 凡纳滨对虾不同阶段摄食人工饲料生长效率的初步研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(2): 34-37, 68.
QI M, SHEN Y C, ZHU C H, et al. A primary study on conversion efficiency of *Litopenaeus vannamei* feed on artificial diets[J]. Fishery Modernization, 2010, 37(2): 34-37, 68.
- [33] 孙远远, 史德杰, 黄晓慧, 等. 不同规格解放眉足蟹对活性饵料的摄食选择性研究[J]. 河北渔业, 2022(9): 1-3, 28.
SUN Y Y, SHI D J, HUANG X H, et al. Feeding selective research on *Blepharipoda liberate* Shen with different sizes for live diet[J]. Hebei Fisheries, 2022(9): 1-3, 28.
- [34] 郭浩宇, 张秀梅, 张宗航, 等. 许氏平鲉仔、稚鱼的摄食特性及幼鱼胃排空率[J]. 水产学报, 2017, 41(2): 285-296.
GUO H Y, ZHANG X M, ZHANG Z H, et al. Study on feeding habits of *Sebastes schlegelii* larvae and gastric evacuation rate of juvenile [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(2): 285-296.
- [35] 温小波, 库天梅, 罗静波. 温度、体重及摄食状态对克氏原螯虾代谢的影响[J]. 华中农业大学学报, 2003, 22(2): 152-156.
WEN X B, KU Y M, LUO J B. Effects of temperature, body weight and feeding on metabolism of *Procambrus clarkii* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(2): 152-156.
- [36] DE ASSIS HATTORI J F, ALVES D R S, DE OLIVEIRA S R, et al. Attractiveness and palatability of liquid hydrolysates for Dourado (*Salminus brasiliensis*) fingerlings [J]. Aquaculture Research, 2021, 52(11): 5682-5690.
- [37] 冯伟, 李辉, 唐永凯, 等. 配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 748-759.
FENG W, LI H, TANG Y K, et al. Effects of formula feed and frozen fish on the growth, gonadal development and muscle quality of *Eriocheir sinensis* in the monomer culture [J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 748-759.
- [38] 刘玉林, 周永奎, 胡成武, 等. 诱食剂在水产饲料中的应用[J]. 淡水渔业, 2006, 36(4): 62-63.
LIU Y L, ZHOU Y K, HU C W, et al. Application of feed attractants in aquatic feeding [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(4): 62-63.
- [39] 阙有清, 杨志刚, 成永旭, 等. 配合饲料替代杂鱼等天然饵料养殖河蟹[J]. 科学养鱼, 2011(12): 64-65.
QUE Y Q, YANG Z G, CHENG Y X, et al. Alternative feeds to natural baits such as miscellaneous fish for river crabs[J]. Scientific Fish Farming, 2011(12): 64-65.
- [40] ATEMA J. Functional separation of smell and taste in fish and crustacea [M]//LEMAGNEN J, MACLEOD P. Olfaction and Taste VI. London: Information Retrieval, 1977: 165-174.
- [41] 党一钊, 翁朝红, 范明坤, 等. 红螯螯虾的摄食行为及饵料选择性[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2022, 27(6): 489-497.
DANG Y Z, WENG Z H, FAN M K, et al. Feeding behavior and food selectivity of Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2022, 27(6): 489-497.
- [42] 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.
- [43] 高霄龙, 李莉, 邱兆星, 等. 生态因子对红螯相手蟹捕食毛蚶苗种的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3562-3568.
GAO X L, LI L, QIU Z X, et al. Impact of ecological factors on the predation of the bloody clam (*Scapharca subcrenata*) by crabs (*Sesarma haematocheir*) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3562-3568.
- [44] ALCORLO P, GEIGER W, OTERO M. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity[J]. Crustaceana, 2004, 77(4): 435-453.

Feeding behavior and feeding selectivity on the different feeds of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) at different development stages

LIU Wenming¹, ZHU Shaicheng¹, ZHAO Jinshan², WANG Xinjun², CHENG Yongxu^{1,3,4}, WU Xugan^{1,2,4}

(1. Fish Nutrition and Environmental Ecology Research Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Dongying Huize Agricultural Technology Co., Ltd., Dongying 257503, Shandong, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this study, the differences in feeding behavior of juvenile crab, early stage of adult, sub-adult and adult Chinese mitten crabs (hereafter referred to as “river crabs”) were firstly investigated by culture experiments and camera techniques. The feeding behavior, feeding response time, and feeding rate of Chinese mitten crabs with different genders at different developmental stages were then evaluated. The feeding selectivity of river crabs at different stages of development on trash fish, formula feed, corn, and snails was further compared. The results showed that: (1) The feeding behavior of Chinese mitten crabs included four stages: exploration, orientation, testing and feeding. Among them, exploration and feeding took a long time. (2) In terms of time consumed during exploration stages and feeding response, females consumed significantly more time than males in the juvenile crab and early stage of adult stage, while males consumed significantly than females in the sub-adult and adult stage. (3) In terms of feeding, females consumed more time than males at all developmental stages. (4) In terms of the feeding rate, the feeding rate of Chinese mitten crabs tended to decrease significantly with increasing developmental stages, but there was no significant difference between females and males. (5) In terms of the selective results of feeding on different feeds, the frequency of first feed of different feeds by Chinese mitten crabs at different stages of development was ranked from highest to lowest as follows: trash fish>formula feed>corn >snail. (6) There was no significant difference in the feeding response times of male and female crabs to trash fish and formula feed, but both were significantly lower than those to corn and snail. In summary, the feeding behaviors of Chinese mitten crabs were significantly different between developmental stages and genders, and the sub-adult stage was an important developmental stage in which the feeding behavior of female and male crabs changed. Additionally, Adult crabs preferred to feed on trash fish and formula feed.

Key words: Chinese mitten crab; developmental stages; different genders; feeding behavior; food selectivity