

DOI:10.16378/j.cnki.1003-1111.2019.05.009

砂粒粒径对日本囊对虾存活、生长及行为特性的影响

王庚申^{1,2}, 谢建军¹, 施 慧¹, 何 杰¹, 汪 玮¹, 许文军¹

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021; 2. 浙江省海水增殖重点实验室, 浙江 舟山 316021)

摘 要: 研究了有无砂粒底质及不同粒径砂粒对日本囊对虾存活、生长及行为特性的影响。试验结果显示, 3 种砂粒底质组日本囊对虾的成活率和特定生长率均高于无砂组 ($P < 0.05$), 而蜕皮频率低于无砂组 ($P < 0.05$); 在砂粒底质中, 细砂组成活率最高 ($P < 0.05$), 而特定生长率和蜕皮频率无显著差异 ($P > 0.05$)。不同砂粒处理对日本囊对虾的行为影响显著, 投喂前、后无砂组试验虾的运动率、攻击频率均高于 3 种砂粒底质组 ($P < 0.05$), 而寻食虾比率则低于细砂组, 高于中砂组和粗砂组。砂粒底质组中, 投喂前、后试验虾的寻食虾比率和攻击频率以细砂组最高, 运动率则以粗砂组最高 ($P < 0.05$)。试验结果亦表明, 日本囊对虾在细砂组中的埋栖深度较深, 但所需潜砂时间较长; 体色改变比例随着砂粒粒径增大而升高, 第二触角完整比例则随着砂粒粒径增大而降低。综合比较 3 种砂粒底质, 日本囊对虾更偏好砂粒粒径 < 0.5 mm 的细砂。

关键词: 日本囊对虾; 砂粒粒径; 行为; 生长; 存活

中图分类号: S968.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-1111(2019)05-0647-06

日本囊对虾 (*Marsupenaeus japonicus*) 俗称花虾、车虾、竹节虾等, 隶属甲壳纲、十足目、游泳亚目、对虾科、囊对虾属, 在中国、日本、东南亚、澳大利亚、非洲及红海等海区均有分布, 是我国重要的虾类养殖品种^[1,2]。其味道鲜美, 营养丰富, 市场价格高, 且具生长快、耐低温、耐干露等特点, 养殖潜力巨大, 深受消费者和养殖业者的喜爱。我国 20 世纪 80 年代开展全人工养殖以来, 沿海各省市均有养殖, 并形成一定的规模^[3]。据统计, 2017 年全国日本囊对虾养殖面积 2.57×10^4 hm², 产量 5.25×10^4 t, 取得了较好的经济和社会效益^[4]。近年来, 日本囊对虾养殖技术不断得到完善和提高, 池底覆砂的工厂化养殖和高位池精养模式已成为主要养殖模式^[5]。

底质是养殖生态系统的重要组成部分, 不仅能够提供营养、稳定水质及改变水环境, 同时也可以作为养殖生物和微生物生长繁殖的场所^[6]。在工厂化和高密度精养模式下, 养殖环境与对虾的自然生境差异较大, 养殖密度增加会限制对虾特有的一些行为, 从而导致对虾部分行为的缺失或异常。动物的行为和功能与其生存、适应环境的关系十分密切, 行为的缺失或异常会影响动物对环境变化的调

节与整合, 也就无法通过其特有的行为来维持体内平衡, 致使机体产生应激反应, 添加底质则可以中和由于养殖密度增加而带来的不良影响^[7,9]。对虾绝大部分时间与底质接触, 因此, 底质的选择在对虾分布、寻食、躲避攻击和栖息地选择等过程中均至关重要^[10-12]。当前, 国内外对日本囊对虾的研究主要涉及群体差异^[13,15]、生理生化^[17,18]、争胜行为^[19-20]、病害防治^[21-23]、免疫与营养^[24-25]、遗传育种^[26,27]等, 对其底质选择等基础生物学研究较少。日本囊对虾有很强的潜砂习性, 对底质要求较高, 一些学者的研究仅涉及不同底质类型对日本囊对虾存活和生长的影响^[28-29], 而有关砂粒粒径对日本囊对虾影响的研究尚未见报道。刘勇克^[30]研究了三疣梭子蟹 (*Portunus triuberbuculatus*) 在不同砂粒粒径底质中的潜砂频率; 徐永健等^[31]研究表明, 砂粒粒径对梭子蟹幼蟹的摄食行为和生长特性均有明显的影响。本研究通过在实验室设置不同规格砂粒底质, 研究砂粒粒径对日本囊对虾存活、生长及行为特性的影响, 探讨日本囊对虾对砂粒粒径的选择和偏好, 以期更加全面地了解日本囊对虾的行为习性, 为日本囊对虾的精养模式提供理论参考和依据。

收稿日期: 2018-05-03; 修回日期: 2019-01-14。

基金项目: 浙江省科技厅项目 (2017F50016, 2017F10019); 舟山市科技局公益类项目 (2016C31057)。

作者简介: 王庚申 (1988—), 男, 工程师, 硕士; 研究方向: 海水健康养殖。E-mail: wgs-1988@163.com。通讯作者: 许文军 (1971—), 男, 教授; 研究方向: 海水健康养殖。E-mail: xwcnjun@sina.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016年7月22日—8月12日在浙江省海洋水产研究所试验场开展,所用试验虾取自试验场日本囊对虾精养塘,平均体长(2.76±0.18)cm,平均体质量(0.27±0.03)g,于室内水泥池中暂养7d。暂养期间,微充气,日换水量30%,每日定时过量投喂对虾配合饲料,及时清除残饵和粪便。试验砂购于市场,预先经不同规格的筛网筛选,并用高锰酸钾消毒,清水冲洗,晾干后使用。

1.2 试验设计

试验容器为160L塑料水槽,共设3个砂粒粒径组:细砂组(粒径<0.5mm)、中砂组(粒径1~2mm)、粗砂组(粒径>2.5mm),砂层厚度为10cm,以无砂组为对照组,每组3个平行。暂养结束,每组放入规格一致的健康日本囊对虾幼虾40尾,适应24h后开始正式试验。试验周期为20d。

试验期间,每日于6:00和18:00投喂天邦牌对虾配合饲料,日投饵量根据摄食情况而定,其他条件同暂养。每组随机选择1个重复作为观察对象,在投喂前1h、投喂后1h分别观察15min,记录其摄食、运动、潜砂及攻击情况。不定时观察对虾蜕皮情况,发现后及时捞出并计数蜕皮次数。试验结束后,统计各组日本囊对虾的成活率、特定生长率,并观察体色及表观形态变化情况。

1.3 试验指标统计与分析

1.3.1 生长指标

$$\text{成活率}/\% = n_2/n_1 \times 100\%$$

$$\text{特定生长率}/\% \cdot \text{d}^{-1} = (\ln m_2 - \ln m_1)/t \times 100\%$$

$$\text{蜕皮频率}/\text{次} \cdot (\text{尾} \cdot \text{d})^{-1} = n_3/(n_0 \times t)$$

式中, n_1 和 n_2 分别为试验开始和结束时试验虾的数量

(尾), m_1 和 m_2 分别为试验开始和结束时试验虾的湿质量(g), n_3 为试验时间 t (d)内试验虾的蜕皮次数(次), n_0 为试验虾尾数(尾)。

1.3.2 行为特性

$$\text{寻食虾比率}/\% = n_4/n_0 \times 100\%$$

$$\text{运动率}/\% = n_5/n_0 \times 100\%$$

$$\text{攻击频率}/\text{次} \cdot (\text{尾} \cdot \text{h})^{-1} = n_6/(n_0 \times t)$$

$$\text{潜砂时间}/\text{s} = t_1/n$$

式中, n_0 为试验虾数量(尾), n_4 为寻食虾数量(尾), n_5 为处于运动状态下的试验虾数量(尾), n_6 为时间 t (h)内试验虾发生攻击行为的次数(次), t_1 为试验虾潜砂消耗的时间之和(s), n 为潜砂总次数(次)。

1.4 数据处理

使用SPSS 20.0分析数据,利用单因素方差分析和Duncan多重比较法检验不同处理组间的差异, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 对体色和表观形态的影响

通过观察发现,试验第4d,无砂组日本囊对虾体色出现明显变化,浅绿色或透明,与正常虾黄褐色不同,但活力良好、摄食正常;随后在第7~10d,3个砂粒底质组个体也出现体色改变。至试验结束,无砂组对虾体色改变比例最高,其次是粗砂组和中砂组,细砂组最低($P<0.05$)。

表观形态变化定义为日本囊对虾的第二触角是否断裂,以第二触角完整比例计。经统计,细砂组日本囊对虾第二触角完整比例最高,分别是中砂组、粗砂组和无砂组的129.10%、141.75%和357.00%。多重比较结果表明,中砂组和粗砂组差异不显著($P>0.05$),其他组之间差异显著($P<0.05$)。

表1 不同处理组日本囊对虾体色和表观形态的比较

指标	细砂组	中砂组	粗砂组	无砂组
体色改变比例	18.24±3.69 ^a	35.92±7.14 ^b	38.86±5.28 ^b	54.77±4.67 ^c
第二触角完整比例	47.16±3.59 ^c	36.53±7.86 ^b	33.27±3.58 ^b	13.21±3.02 ^a

注:当对虾第二触角长度≥体长时,视为完整。同行不同上标字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 对生长指标的影响

日本囊对虾的成活率、特定生长率和蜕皮频率见表2。试验第4d,无砂组日本囊对虾出现死亡,而中砂组、粗砂组和细砂组分别在第6d、第8d和第9d出现死亡个体;第10d后,各组试验虾的死亡频率明显增加,但日死亡数量≤3尾。细砂组成活率最高,显著高于其他组($P<0.05$);无砂组成活

率最低,与粗砂组差异不显著($P>0.05$)。

各组日本囊对虾的特定生长率差异显著,细砂组特定生长率最高,显著高于无砂组($P<0.05$),但与中砂组和粗砂组无显著差异($P>0.05$)。无砂组的特定生长率最低,分别是细砂组、中砂组和粗砂组的77.23%、80.00%和80.41%。

日本囊对虾第1次蜕皮在试验第3d,分别为

粗砂组和无砂组,中砂组和细砂组分别在第4 d和第5 d;第5 d各组出现第1次蜕皮高峰,随后2 d蜕皮虾数量快速下降,直至第9~10 d和15~16 d再次出现蜕皮高峰。至试验结束时,无砂组蜕皮频

率最高,分别是细砂组、中砂组和粗砂组的242.52%、238.00%和165.48%,显著高于其他组($P < 0.05$),但细砂组、中砂组和粗砂组之间差异不显著($P > 0.05$)。

表2 不同处理组日本囊对虾生长指标的比较

生长指标	细砂组	中砂组	粗砂组	无砂组
初始体质量/g	0.28±0.02	0.27±0.06	0.26±0.02	0.26±0.02
终末体质量/g	0.42±0.04 ^b	0.39±0.04 ^{ab}	0.38±0.02 ^{ab}	0.35±0.01 ^a
成活率/%	89.43±7.84 ^c	73.17±4.76 ^b	56.10±4.88 ^a	54.47±6.14 ^a
特定生长率/%·d ⁻¹	2.02±0.06 ^b	1.95±0.10 ^b	1.94±0.11 ^b	1.56±0.13 ^a
蜕皮频率/次·(尾·d) ⁻¹	4.21±0.76 ^a	4.29±1.16 ^a	6.17±0.29 ^a	10.21±1.63 ^b

2.3 对行为特征的影响

各处理组日本囊对虾的行为特征见表3。投喂前,各组试验虾的运动率在无砂组中最高,显著高于3个砂粒底质组($P < 0.05$)。寻食虾比率则在粗砂组中最低,显著低于细砂组和无砂组($P < 0.05$),但与中砂组无显著差异($P > 0.05$)。攻击频率在无砂组最高,显著高于3个砂粒底质组($P < 0.05$);中砂组最低,与粗砂组无显著差异($P > 0.05$)。

投喂后,无砂组运动率显著高于3个砂粒底质组($P < 0.05$),而在砂粒底质组中,粗砂组运动率显著高于细砂组($P < 0.05$),但与中砂组差异不显著($P > 0.05$)。寻食虾比率则在细砂组中最高,显著高于其他3组($P < 0.05$);中砂组和无砂组之间差异不显著($P > 0.05$)。无砂组试验虾攻击频率最高,粗砂组最低,与中砂组之间差异不显著($P > 0.05$)。

相比之下,各砂粒组投喂后对虾的运动率低于投喂前,而投喂后攻击频率和寻食虾比率则高于投喂前。投喂后细砂组、中砂组、粗砂组和无砂组的运动率分别是投喂前的15.66%、46.38%、44.83%和55.34%,而寻食虾比率分别是投喂前的485.19%、462.22%、541.80%和330.76%,攻击频率分别是投喂前的292.16%、319.14%、239.43%和335.92%。

不同砂粒底质对日本囊对虾的潜砂时间影响显著,细砂组潜砂时间最长,显著高于其他组($P < 0.05$)。观察还发现,试验虾在3种砂粒底质中的埋栖深度不同,细砂组日本囊对虾完全埋栖或仅露出第一触角,而中砂组日本囊对虾会露出整个额角或1/3头胸甲,粗砂组日本囊对虾则露出大于1/2或整个头胸甲。

表3 不同砂质组日本囊对虾行为特征的比较

行为特征	阶段	细砂组	中砂组	粗砂组	无砂组
运动率/%	投喂前	8.25±1.74 ^a	4.52±1.06 ^a	13.75±2.13 ^a	17.54±3.63 ^b
	投喂后	1.29±0.26 ^a	2.67±0.38 ^{ab}	4.52±1.06 ^b	9.71±2.72 ^c
寻食虾比率/%	投喂前	16.00±3.95 ^b	11.20±3.11 ^{ab}	6.46±2.14 ^a	15.67±2.63 ^b
	投喂后	77.63±6.41 ^c	51.63±5.04 ^b	35.00±1.60 ^a	51.83±4.08 ^b
攻击频率/次·(尾·h) ⁻¹	投喂前	8.67±1.01 ^b	3.50±0.30 ^a	3.83±0.57 ^a	13.00±1.87 ^c
	投喂后	25.33±2.93 ^b	11.17±2.08 ^a	9.17±1.04 ^a	43.67±4.86 ^c
潜砂时间/s		19.21±0.35 ^a	12.17±0.16 ^b	8.25±0.37 ^a	—

3 讨论

3.1 砂粒粒径对日本囊对虾体色和表观形态的影响

对虾的甲壳中含有虾青素,煮熟或氧化后变为红色,对虾体色主要决定于虾青素的含量^[32]。虾青素是一种类胡萝卜素,一般不能在动物体内合成,只能在体内积累^[33]。有研究表明,虾青素的含量与

光照及水环境密切相关^[34],当对虾受光照刺激时间增加时,虾青素含量提高,对虾体色即表现出适应性变化。本研究中,无砂组对虾的体色改变比例高于3个砂粒底质组,与罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)幼虾^[35]在无底质组出现明显的体色改变一致。3个砂粒底质组中,细砂组对虾体色改变比例最低,与粗砂组和中砂组差异显著。由本研究结果可知,不同粒径砂粒的添加影响了日本囊对虾

的潜砂行为,改变了其受光照刺激的时间,从而引起体色的适应性变化,即明显的体色改变。表观形态变化定义为第二触角的断裂,通常是由对虾的争胜行为所致。当缺少底质遮蔽物(无砂)时,日本囊对虾争胜行为发生频繁,其附肢残缺比例随之升高。3个砂粒底质组中,第二触角完整比例随着砂粒粒径的增大而降低,说明试验虾在细砂中埋栖程度最深,减少了争胜行为的发生。综合试验结果可知,添加底质对日本囊对虾的体色和表观形态均有显著影响,其中细砂组对虾体色改变比例最低,而第二触角完整比例最高,这表明细砂更有利于保持日本囊对虾正常的体色和表观形态。

3.2 砂粒粒径对日本囊对虾生长指标的影响

日前砂粒粒径对甲壳类生长和存活的研究报道较少,徐永健等^[31]研究表明,砂粒粒径对单体筐养三疣梭子蟹的质量增加和成活影响显著,细砂粒组和混合砂粒组成活率、体质量增长率和蜕皮次数均显著高于粗砂粒组和无砂组。本研究中,无砂组日本囊对虾的蜕皮频率高于各砂粒组,而特定生长率则明显低于各砂粒组,这可能与无砂组试验虾受长时间光照使蜕皮周期缩短有关,而蜕皮过程需要消耗大量的能量,频繁蜕皮可能会影响对虾的生长^[36-37]。3个砂粒组中,细砂组成活率和特定生长率均最高,蜕皮频率则最低,其中成活率显著高于中砂组和粗砂组,而特定生长率和蜕皮频率无显著差异。由本研究结果可知,添加砂粒可明显提高日本囊对虾的成活率和特定生长率,这与小褐虾(*Crangon uritai*)^[38]的研究一致。在不同砂粒组中,随着砂粒粒径的增大,日本囊对虾成活率下降。这可能是因为砂粒满足了日本囊对虾的潜砂特性,同时为其活动及蜕皮提供了隐蔽场所;当砂粒粒径过大时,对虾埋栖深度变浅,易暴露,砂底的遮蔽作用减弱,导致对虾成活率下降。

3.3 砂粒粒径对日本囊对虾行为特征的影响

行为是生物应对外界环境变化的表观反应,在外界环境变化时进行调节和整合,以保证生命活动的正常进行^[39]。而底质是对虾主要的生长和栖息环境,在养殖生态系统中具有重要作用,与对虾的摄食、攻击、潜砂等行为特征密切相关。臧维玲等^[28]试验观察发现,日本囊对虾幼虾有底质组的摄食积极性及摄食频率均低于无底质组。张沛东等^[6]也指出,中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)在有底质组的寻食虾比率和运动率均高于无底质组,攻击频率则低于无底质组。本研究发现,投喂后各组试验虾的运动率明显低于投喂前,而投喂

后的攻击频率和寻食虾比率则高于投喂前,这说明日本囊对虾摄食积极,导致运动虾数量下降,同时在摄食中争胜行为发生频率更高。投喂前后,日本囊对虾在无砂组的运动率、攻击频率均显著高于3个砂粒底质组,而寻食虾比率则低于细砂组,但高于中砂组和粗砂组,与中国明对虾^[6]的研究不同,可能与日本囊对虾更强的潜砂习性有关,也可能是因为试验所设置的底质不同。在砂粒底质组中,投喂前试验虾的运动率无明显规律,投喂后运动率随着砂粒粒径增大而升高,而寻食虾比率和攻击频率在投喂前后均随着砂粒粒径的增大而下降,说明日本囊对虾在细砂组摄食积极性更高,但由寻食而引起的攻击行为也更频繁。

本研究还发现,日本囊对虾的潜砂时间随着砂粒粒径的增大而减少,埋栖深度则随着砂粒粒径增大而变浅,这与臧维玲等^[28]观察日本囊对虾幼虾[平均体长(1±0.1)cm]在细砂中易潜入,在2~3mm砂粒中不潜入的结果不同。分析可能是由于试验虾规格差异导致对砂粒粒径的适应性不同,一般认为,随着对虾规格的增大,潜砂能力增强,对砂粒粒径的适应能力也增强。

本研究结果表明,砂粒底质的添加更有利于日本囊对虾生长与存活,保持正常的体色和表观形态,同时适宜的底质也能促进其行为的调节,如促进潜砂、提高摄食积极性等。综合比较而言,3种砂粒粒径底质中,日本囊对虾更偏好砂粒粒径<0.5mm的细砂。另外,本研究所选取的试验虾为单一规格,因此在将来的研究中,进一步探讨不同规格试验虾对砂粒粒径的选择,可以更加全面地为日本囊对虾养殖生产提供参考。

参考文献:

- [1] 王克行. 虾蟹类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [2] 李义军, 李婷, 王平, 等. 日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)3个野生种群和1个养殖种群的形态差异与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 500-504.
- [3] 李鸿鹏, 富裕, 任凤艺, 等. 舟山近海日本囊对虾野生群体与越冬养成群体形态性状对体重和肉重影响的比较[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(5): 1218-1227.
- [4] 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. 2018年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [5] 孙成波, 李婷, 李义军, 等. 高位池精养日本囊对虾的生长规律[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(4): 316-321.
- [6] 张沛东, 张倩, 张秀梅, 等. 底质类型对中国明对虾存

- 活、生长及行为特征的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5):1079-1086.
- [7] 张沛东, 张秀梅, 李健, 等. 中国明对虾、凡纳滨对虾仔虾的行为观察[J]. 水产学报, 2008, 32(2):223-228.
- [8] Arnold S J, Coman F E, Jackson C J, et al. High-intensity, zero water-exchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: an evaluation of artificial substrates and stocking density[J]. Aquaculture, 2009, 293(1/2):42-48.
- [9] Zhang B, Lin W, Wang Y, et al. Effects of artificial substrates on growth, spatial distribution and non specific immunity factors of *Litopenaeus vannamei* in the intensive culture condition[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2010, 10(4):491-497.
- [10] Somers I F, Poincaré R, Harris A N. A study of the species composition and distribution of commercial penaeid prawns of Torres Strait [J]. Marine and Freshwater Research, 1987, 38(1):47-61.
- [11] Primavera J H. Fish predation on mangrove-associated penaeids: the role of structures and substrate [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 215(2):205-216.
- [12] Macia A, Abrantes K G S, Paula J. Thorn fish *Tetraodon lineatus* (Forsk.) predation on juvenile white shrimp *Penaeus indicus* H. Milne Edwards and brown shrimp *Metapenaeus monoceros* (Fabricius): the effect of turbidity, prey density, substrate type and pneumatophore density[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2003, 291(1):29-56.
- [13] Tsoi K H, Chan T Y, Chu K H. Molecular population structure of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus*, species complex in western Pacific[J]. Marine Biology, 2007, 150(6):1345-1364.
- [14] 宋晓红, 毛勇, 董宏标, 等. 两种形态变异类型日本囊对虾稚虾高温耐受性的比较[J]. 水产学报, 2014, 38(1):84-90.
- [15] 董宏标, 苏永全, 毛勇, 等. 室内环境下日本囊对虾 2 种形态变异类型群体生长特性比较研究[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(4):51-60.
- [16] 富裕, 李鸿鹏, 任凤艺, 等. 舟山近海日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)野生群体与露天养殖越冬群体间的形质差异[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1):91-98.
- [17] 刘璐, 吴立新, 张伟光, 等. 饥饿及再投喂对日本囊对虾糖代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3):697-700.
- [18] 张林娟, 潘鲁青, 栾治华. pH 变化对日本囊对虾离子转运酶活力和存活、生长的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(5):758-764.
- [19] 李玉全. 日本囊对虾的争胜行为及其与温度的关系[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8):231-232.
- [20] 秦浩, 王仁杰, 来守敏, 等. 养殖密度、饵料种类和丰度对日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)争胜行为的影响[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(4):105-108.
- [21] Miyazaki T, Yamaguchi K, Yasumoto S, et al. Electron microscopy on the heart of kuruma prawn *Penaeus japonicus* artificially infected with penaeid rod-shaped DNA virus[J]. Fish Pathology, 2008, 43(3):97-105.
- [22] 陈丽, 白雪松, 张晓君, 等. 日本对虾(*Penaeus japonicus*)病原需钠弧菌(*Vibrio natriegens*)表型与分子特征及 LAMP 检测方法的建立[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6):1227-1232.
- [23] 王庚申, 施慧, 谢建军, 等. 白斑综合症病毒在日本囊对虾精养池塘中的动态变化[J]. 水产科学, 2017, 36(6):763-767.
- [24] Caipang C M, Verjan N, Ooi E L, et al. Enhanced survival of shrimp, *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* from white spot syndrome disease after oral administration of recombinant VP28 expressed in *Brevibacillus brevis* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2008, 25(3):315-320.
- [25] Bulbul M, Kader M A, Koshio S, et al. Effect of replacing fishmeal with canola meal on growth and nutrient utilization in kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*, (Bate) [J]. Aquaculture Research, 2014, 45(5):848-858.
- [26] 郑静静, 刘建勇, 蒋湘, 等. 日本囊对虾早期生长性状遗传参数估计[J]. 中国水产科学, 2017, 24(4):710-717.
- [27] 蒋湘, 郑静静, 谢妙, 等. 日本囊对虾耐高氨氮与生长性状的遗传参数估计[J]. 水产科学, 2017, 36(6):700-706.
- [28] 臧维玲, 戴习林, 姚庆祯, 等. 底质对日本对虾幼虾生长的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2003, 12(1):72-75.
- [29] 徐涵, 熊慧, 吴亚林, 等. 养殖密度、底质类型对日本囊对虾生长、存活的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(4):923-925.
- [30] 刘勇克. 沙底质和隐蔽物对三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)行为习性、成活率和生长影响的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2009.
- [31] 徐永健, 申屠基康, 丁张妮, 等. 砂粒粒径与砂层厚度对单体筐养养殖系统中三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)幼蟹摄食行为与生长特性的影响研究[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(1):233-239.
- [32] Stepnowski P, Olafsson G, Helgason H, et al. Preliminary study on chemical and physical principles of astaxanthin sorption to fish scales towards applicability in fisheries waste management[J]. Aquaculture, 2004, 232(1):293-303.
- [33] Velu C S, Czeczuga B, Munuswamy N. Carotenopro-

- tein complexes in entomostracan crustaceans (*Streptocephalus dichotomus* and *Moina micrura*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2003, 135(1):35-42.
- [34] 游奎, 杨红生, 刘鹰, 等. 不同光源及光照时间对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)游离虾青素含量及生长的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(4):296-301.
- [35] 杨明, 臧维玲, 戴习林, 等. 不同底质对罗氏沼虾幼虾生长的影响[J]. *水产科技情报*, 2008, 35(3):105-108.
- [36] 李旭光, 周刚, 谷孝鸿. 水生甲壳类蜕皮发生过程及其影响因素的研究与进展[J]. *动物学杂志*, 2014, 49(2):294-302.
- [37] Stickle W B, Wyler H J, Dietz T H, et al. Effects of salinity on the juvenile crab physiology and agonistic interactions between two species of blue crabs, *Callinectes sapidus* and *C. similis* from coastal Louisiana [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 352(2):361-370.
- [38] 李惠玉, 洪性润. 底质对小褐虾生长和存活率影响的实验研究[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(1):90-98.
- [39] 陆承平. *动物保护概论* [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

Effects of Grain Size on Survival, Growth, and Behavior of Kuruna Shrimp *Marsupenaeus japonicus*

WANG Gengshen^{1,2}, XIE Jianjun¹, SHI Hui¹, HE Jie¹, WANG Wei¹, XU Wenjun¹

(1. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan 316021, China;

2. Key Laboratory of Marine Culture and Enhancement of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China)

Abstract: The effects of grain size on survival, growth, and behavior of kuruna shrimp *Marsupenaeus japonicus* were evaluated under indoor conditions. Three grain size groups (SGS: <0.5 mm, MGS: 1—2 mm, LGS: >2.5 mm) and the control group were designed. The results showed that the survival rate (SR) and the specific growth rate (SGR) in three grain size groups were significantly higher than that in the control group, but the molting frequency (MR) was lower than that in the control group ($P < 0.05$). The maximal SR in the grain size groups was the SGS group ($P < 0.05$), without significantly difference in the SGR and MR among three grain size groups. Grain substrate also had a significant effect on the behavior of *M. japonicus*. The locomotion rate (LR) and the attacking frequency (AF) were significantly higher in the control group than those in the grain size groups before and after feeding. Also the feeding ratio (FR) was higher than the MGS and LGS group, but lower than the SGS group. In the grain size groups, the FR and AR were the highest in the SGS group, however the LR was highest in the control group ($P < 0.05$). It is also observed that the burrowing depth of *M. japonicus* in SGS group was the largest, but the burying time in SGS group was also the longest. The proportion of body color change shrimps increased gradually with the increasing grain size and the proportion with complete second antenna decreased gradually with the increasing grand size. Therefore, *M. japonicus* preferred the fine-grained sand of grain size less than 0.5 mm.

Key words: *Marsupenaeus japonicus*; grand size; behavior; growth; survival