

# 不同饵料种类、投喂方式及环境条件对凡纳滨对虾相对摄食量的影响

肖善势<sup>1,2</sup>, 何琳<sup>2</sup>, 徐永健<sup>1</sup>, 何京<sup>1,2</sup>, 林志华<sup>2</sup>

(1. 宁波大学 海洋学院 应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江万里学院 水产种质资源高效利用技术研究浙江省重点实验室, 浙江 宁波 315100)

**摘要:** 为提高对虾养殖过程中的饵料利用率并减少养殖废水的排放, 作者以凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)为实验对象, 研究了不同饵料种类、投喂方式、体质量、充气量、光照强度、水温及盐度对其相对摄食量的影响。结果表明: 配合饲料组对虾的相对摄食量显著高于冰鲜虾肉组; 连续单颗投喂时对虾的相对摄食量较高; 相对摄食量随对虾体重升高而显著( $P < 0.01$ )下降, 而且不同规格的对虾在竞争条件下平均相对摄食量会降低; 充气量 6 L/min 组对虾的相对摄食量明显高于另外两组; 弱光环境下对虾的相对摄食量较高; 水温和盐度对相对摄食量的影响极显著( $P < 0.01$ ), 在 32℃ 时对虾获得最大相对摄食量, 在盐度为 5 时相对摄食量最小, 高盐度下组间差异不显著( $P > 0.05$ )。因此, 在实际生产中应采取少量多次的投喂策略, 并根据环境条件的变化合理的调整投喂量。

**关键词:** 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*); 饵料; 投喂方式; 环境条件; 相对摄食量

中图分类号: S968.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)05-0036-07  
doi: 10.11759/hyhx20150129001

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是世界重要的养殖虾类之一, 其肉质鲜美, 含肉率高(53.53%), 肌肉(干样)中含粗蛋白高达 90.97%<sup>[1]</sup>, 且具有广温性(6~39℃)<sup>[2]</sup>和广盐性(0~50)<sup>[3]</sup>等优势, 目前已成为中国养殖面积最广、单产产量最高的对虾养殖品种。

目前人工养殖凡纳滨对虾主要通过摄取人工配合饲料获取能量, 而人工配合饲料具有不稳定性, 入水后部分营养物质会溶失到养殖水体中, 再加上沉积到养殖池底的残饵和粪便就形成了养殖水体和近岸海水的污染源<sup>[4-5]</sup>。传统的投喂方式为一次性集中投喂, 投喂后饵料不能及时被对虾摄食, 随着时间的延长, 饵料溶失率越来越大, 特别是到养殖后期对养殖水体的污染非常严重<sup>[5]</sup>。养殖池塘属于小型人工生态系统, 水体的环境因子容易受气候和人为影响而产生波动, 影响凡纳滨对虾的摄食。

目前有关温度和盐度对虾类摄食的研究已有报导<sup>[6-8]</sup>, 其他环境因子或人为因素对凡纳滨对虾摄食的影响的报导较少<sup>[9-10]</sup>。本实验比较了不同饵料种类、投喂方式、体质量及光强、充气量、水温、盐度等环境条件对凡纳滨对虾摄食的影响, 旨在为凡纳滨对虾池塘养殖中的摄食效率分析以及养殖水质控制等提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验于 2014 年 7 月~8 月在宁波市鄞州区丹艳水产养殖场进行。实验用对虾来源于室外海水养殖池塘培育的健康活泼的个体。实验用配合饲料为宁波市正大饲料公司生产的正大牌对虾专用料, 粗蛋白含量为 38%; 冰鲜虾肉为长、宽、高各 2~3 mm 的肉块。养殖用海水是经砂滤处理的自然海水, 盐度 25。

### 1.2 实验方法

实验比较了不同环境因子(温度、盐度、光强、充气量)、饵料种类、投喂方式、对虾规格及不同规格间的竞争等对凡纳滨对虾摄食的影响。实验用对虾暂养于室内水泥池, 温度 31℃、盐度 25、不充气、

收稿日期: 2015-01-29; 修回日期: 2015-07-02

基金项目: 浙江省公益性技术应用研究计划项目(2013C32058); 浙江万里学院省重中之重学科自设课题资助项目(ZS2012007)

[Foundation: Public Welfare Technology Applied Research Projects in Zhejiang Province, No. 2013C32058; Project supported by the Zhejiang Provincial Top Key Discipline of Biological Engineering, No. ZS2012007]  
作者简介: 肖善势(1988-), 男, 山东郓城人, 硕士研究生, 主要从事海洋贝类养殖生理生态学研究, E-mail: blueskyxss@163.com; 何琳, 通信作者, E-mail: hlwithyou@qq.com

光照强度 500 lx、集中投喂配合饲料。

温度设 24、28、32℃ 3 个梯度, 其中高温组通过 ZNHW-3 型智能控温仪加温控制, 低温组通过空调调节控制, 温差在±0.5℃ 以内; 实验前将水温以每天升高(或降低)2℃ 的速度调至实验设计的温度, 避免对虾出现应激反应。盐度设 5、15、25、35 等 4 个梯度, 通过加淡水和加海水晶来实现盐度的调节。实验前将水体盐度以每天升高(或降低)3~4 的速度调至实验设计盐度, 使其达到对环境的完全适应。光照强度设 100、1 000、10 000 lx 3 个梯度, 通过白纱布遮光调节, 光照强度大小通过上海嘉定学联实业有限公司学联仪表厂生产的 ZDS-10W-2D 型水下照度计测定。温度、盐度、光照强度调至实验设定值后再暂养数日, 以避免实验中对虾的死亡。充气量设置 0、3、6 L/min 3 个梯度。

饵料包括配合饲料和冰鲜虾肉两种, 投喂方式分为一次性集中投喂和连续单颗投喂(每 10 s 投喂一粒)。实验对虾的规格大小按体质量分为 3 组: 2、3、4 g(湿质量), 同时将湿重为 2、3、4、5 g(湿质量)的对虾各一尾, 置于同一个实验桶中, 测定竞争条件下的相对摄食量。

以上各组除实验因子外其他条件均与暂养阶段相同, 设 6 个重复。

实验前, 先将对虾进行 24 h 饥饿处理, 用干纱布吸除对虾体表的水分, 用 JA2603B 电子天平(精确至 0.001 g)称得质量, 然后放入到事先装有 5 L 海水的 10 L 塑料桶中(每桶一尾)。实验过程中, 过量投喂 2 h 后, 将实验对虾从桶中捞出, 用虹吸法收集桶中的残饵于 300 目筛绢网中, 经淡水冲洗 2 次后, 置

于 65℃ 烘箱中烘干至恒质量并称质量。实验中, 在不同条件下设置空白组对饵料的溶失率进行测定, 从而对投喂量进行校正。摄食量由投喂量与残饵量之差得出。

### 1.3 数据计算处理

$$\text{相对摄食量}(\%) = (F_1 - F_2) / W \times 100\%$$

式中:  $F_1$  为投喂量;  $F_2$  为残饵量;  $W$  为对虾湿质量。

实验中描述性统计值采用平均值±标准误 (Mean±S.E.) 表示, 实验所得数据均采用 SPSS 20.0 进行处理。所得结果的差异显著性分别采用独立样本  $t$  检验、单因子方差分析和 Duncan 多重检验进行分析,  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果

### 2.1 饵料种类和投喂方式对凡纳滨对虾摄食的影响

不同饵料种类和投喂方式对凡纳滨对虾相对摄食量的影响见表 1。从表中可见, 投喂配合饲料组的凡纳滨对虾相对摄食量大于摄食冰鲜虾肉时的相对摄食量, 连续单颗投喂组凡纳滨对虾的相对摄食量也明显增大。两独立样本  $t$  检验表明, 饵料种类和投喂方式对凡纳滨对虾相对摄食量的影响均达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。

### 2.2 体质量对凡纳滨对虾摄食量的影响

凡纳滨对虾的绝对摄食量随体质量增加而不断增加, 但相对摄食量降低(表 2), 不同规格的对虾间相对摄食量差异极显著( $P < 0.01$ )。同时, 竞争条件下

表 1 不同饵料和投喂方式对凡纳滨对虾摄食的影响

Tab. 1 Effect of different bait and feeding modes on food consumption of *L. vannamei*

因素	配合饲料	冰鲜虾肉	集中投喂	单颗投喂
对虾规格(g)	3.042±0.051	3.086±0.062	3.109±0.046	3.044±0.072
绝对摄食量(g, 干质量)	0.0530±0.0037	0.0337±0.0032	0.0542±0.0032	0.0663±0.0031
相对摄食量(%)	1.736±0.096 <sup>b</sup>	1.089±0.088 <sup>a</sup>	1.740±0.092 <sup>A</sup>	2.174±0.070 <sup>B</sup>

注: 同一行中的不同字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )

表 2 不同体质量对凡纳滨对虾摄食的影响

Tab. 2 Effect of different body weight on food consumption of *L. vannamei*

对虾规格/g	绝对摄食量/g(干质量)	相对摄食量/%
2.062±0.058	0.0432±0.0018	2.089±0.034 <sup>c</sup>
2.944±0.049	0.0513±0.0024	1.741±0.068 <sup>b</sup>
4.044±0.088	0.0587±0.0032	1.446±0.053 <sup>a</sup>
不同规格对虾竞争	0.1852±0.0043	1.311±0.034 <sup>a</sup>

注: 同一列中的不同字母表示差异极显著( $P < 0.01$ ), 竞争条件下的摄食量是不同规格对虾总的摄食量

对虾(平均体质量为 3.533 g)相对摄食量与规格 4.044 g 的对虾相对摄食量差异不显著( $P > 0.05$ ),但是与其他各组差异极显著( $P < 0.01$ )。

### 2.3 充气量和光照强度对凡纳滨对虾摄食的影响

充气量和光照强度对凡纳滨对虾摄食的影响如表 3 所示。方差分析表明,较高的充气量(6 L/min)明显提高了对虾的相对摄食量( $P < 0.01$ ),而充气量 3 L/min 组与不充气组差异并未达到显著水平( $P > 0.05$ )。不同光照强度下,凡纳滨对虾相对摄食量在 0.885%~1.690%,过高的光照强度(10 000 lx)极显著抑制了对虾

的相对摄食量( $P < 0.01$ ),但在 1 000 lx 和 100 lx 光强下,对虾相对摄食量差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.4 温度和盐度对凡纳滨对虾摄食的影响

温度及盐度对凡纳滨对虾摄食的影响如图 1、图 2 所示。凡纳滨对虾的相对摄食量随温度的升高而增加,32℃下对虾相对摄食量分别为 24℃及 28℃下的 1.433、1.134 倍。方差分析显示,不同温度水平下各组对虾相对摄食量间的差异达到极显著水平( $P < 0.01$ )。盐度对对虾的摄食水平有极显著影响,盐度 15、25、35 组间相对摄食量差异不显著( $P > 0.05$ ),但都与 5 盐度组有极显著差异( $P < 0.01$ )。

表 3 不同充气量和光照强度对凡纳滨对虾摄食的影响

Tab.3 Effect of different aeration quantity and light intensity on feeding of *L. vannamei*

因素	水平	对虾规格/g	绝对摄食量/g (干质量)	相对摄食量/%
充气量(L/min)	0	3.121±0.045	0.0543±0.0027	1.742±0.045 <sup>a</sup>
	3	3.020±0.059	0.0532±0.0006	1.762±0.026 <sup>a</sup>
	6	3.046±0.111	0.0500±0.0026	1.901±0.029 <sup>b</sup>
光照强度(lx)	100	3.110±0.039	0.0526±0.0019	1.690±0.041 <sup>B</sup>
	1000	2.905±0.115	0.0458±0.0025	1.574±0.054 <sup>B</sup>
	10000	2.928±0.110	0.0257±0.0011	0.885±0.052 <sup>A</sup>

注:相同因素下同一列中的不同字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )

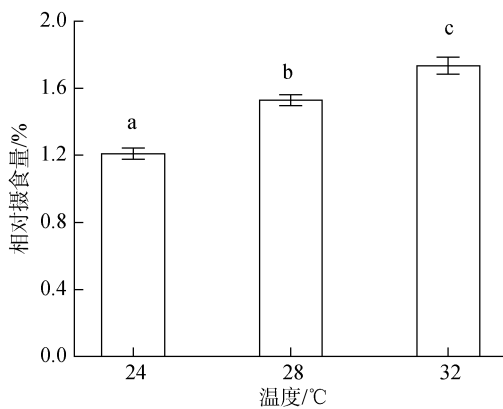


图 1 温度对凡纳滨对虾摄食的影响

Fig. 1 Effect of water temperature on feeding of *L. vannamei*

不同标注字母间表示差异极显著( $P < 0.01$ ) (图 2 同)

Different superscripts indicate significant difference with each other ( $P < 0.01$ ) (the same to Fig.2)

## 3 讨论

影响动物生长的因素有很多,如:饵料种类、饵料转化率、能量代谢水平、生长能占总能量的比例等,但摄食量也是一个不可忽略的因素。张天时等<sup>[11]</sup>研究发现饵料种类对对虾幼体生长有显著影响,投

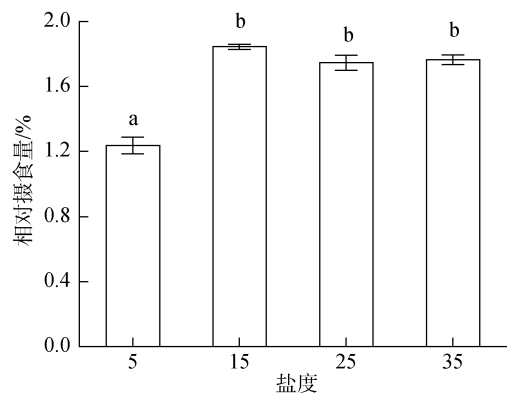


图 2 盐度对凡纳滨对虾摄食的影响

Fig. 2 Effect of salinity on feeding of *L. vannamei*

喂活卤虫(*Artemia* sp.)实验组生长速度最高,投喂配合饲料组次之,投喂冰冻鱼肉组最小。黄国强等<sup>[12]</sup>也发现配合饲料组的生长量(干质量)明显高于虾肉组。凡纳滨对虾摄食配合饲料和生鲜虾肉的相对摄食量差异明显,分别为 1.736%、1.089%,推测可能是投喂的配合饲料在水中部分溶失,溶失的物质对对虾起到一定的诱食作用。而有报导中国对虾(*Penaeus chinensis*)摄食沙蚕(*Neanthes japonica*)干物

质的摄食率小于摄食配合饲料的摄食率,但二者差异不显著<sup>[13]</sup>,与本实验结论稍有不同。对虾消化腺由简单上皮小管组成,具有表面积大,吸收快的特点。中国对虾的比胃容量小于对虾日摄食率,为2.1%<sup>[14]</sup>。因此,对虾为了获得足够的营养,必须经常进食,而配合饲料日投喂次数应采用5次比较适宜<sup>[15]</sup>。有报导称随投喂次数的增加凡纳滨对虾胃蛋白酶、肝胰脏脂肪酶活力增大,其中,日投喂5次获得相对较大的胃蛋白酶、肝胰脏淀粉酶、ACP、AKP、SOD活力<sup>[16]</sup>。本实验在投喂时将投喂时间延长,结果获得了较大的相对摄食量,可能与凡纳滨对虾消化酶的分泌有关。

本实验结果表明,随着凡纳滨对虾的体质量的增大,绝对摄食量和相对摄食量分别呈现递增和递减趋势,与林继辉等<sup>[7]</sup>的研究结果相一致。对虾体质量的增大,势必会增大胃容量,因此单次的摄食量也就相应的增大。董双林等<sup>[17]</sup>发现小规格的日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)消耗蛋白质较多而且静止代谢水平较高,反应在摄食上就是小个体对虾食欲旺盛,摄食率较高。有研究表明,生存密度增大会加强中国对虾间的竞争程度,导致对虾摄食量上的差异,使群体内个体大小差异增大<sup>[18]</sup>。本实验中不同规格对虾竞争条件下,对虾体质量平均3.533 g,相对摄食量低于规格4.044 g组,但差异不显著。可能是实验中对虾生存空间变小,个体间竞争加剧,大个体饱食后不能及时游离摄食区,导致小个体不能达到正常摄食量,因此相对摄食量较低。

充气对摄食的影响,本质上应是基于溶氧量的不同。经测定对照组和实验组溶氧量依次为3.8、5.7、8.3 mg/L,本实验表明高溶氧状态下对虾的相对摄食量显著高于其他两组。较高的溶氧水平通过影响对虾的代谢水平和消化速率来影响对虾的摄食水平<sup>[19-20]</sup>。段妍等<sup>[21]</sup>的研究表明较高的溶氧水平可提高凡纳滨对虾消化酶的活力,进一步印证了本实验的结论。有研究报导凡纳滨对虾在弱光下活动能力更强<sup>[22]</sup>。对虾幼体的游泳能力在强光下有所减弱,但找到食物的机会也有所增加<sup>[23]</sup>。实验研究发现,对虾在10 000 lx相对摄食量明显低于弱光组,且差异极显著( $P < 0.01$ )。可推测相比于寻找到食物时机会的增加,强光照对对虾游泳能力的限制更加显著,而且凡纳滨对虾摄食时可能并不依赖于高的光照强度。Wang等<sup>[24]</sup>也发现在300 lx光强下,中国明对虾可获得最大摄食量,但在0~5 500 lx内组间摄食量差异不显著。

水温和盐度是影响对虾最为重要的两个环境因子。本实验中,随温度的升高,凡纳滨对虾的相对摄食量逐渐升高。林继辉等<sup>[7]</sup>研究认为,在16~31℃,摄食率随水温升高而升高,在31℃达到最大,与本实验研究结论相接近。在一定范围内,随水温的升高对虾的活动能力增强,基础耗氧率增大,消化酶的活力增大<sup>[25-27]</sup>。因此对虾需要的能量就较多,在消化能力增强的前提下,相对摄食量也就较大。有学者报导,凡纳滨对虾等渗点和盐度25的海水相近<sup>[28]</sup>,理论上对虾处于等渗水体中,可将渗透调节所需能量降至最低,有利于个体生长<sup>[29]</sup>。本实验中,凡纳滨对虾相对摄食量在盐度5时达到最小,其他各实验组间差异不显著,与张沛东等<sup>[30]</sup>的研究一致。王兴强<sup>[6]</sup>也发现在盐度8和16时,凡纳滨对虾可获得最大摄食量,盐度的升高或降低均会引起摄食量的降低。张硕等<sup>[13]</sup>也认为中国对虾在等渗点附近,可获得较高的摄食率、能量利用率,从而生长较快。因此,凡纳滨对虾在盐度15~25时,可获得较高的相对摄食量。

本研究发现不同条件下凡纳滨对虾的相对摄食量差异明显:延长投喂时间可获得较高的相对摄食量;较高的溶氧水平(大于5.7 mg/L)、较低的光照强度(小于1 000 lx)均有利于凡纳滨对虾的摄食;同时等渗点附近的盐度以及较高的温度(32℃左右)下凡纳滨对虾也有较高的相对摄食量,而且相对摄食量与体质量呈负相关性。本研究为池塘对虾养殖摄食效率分析提供了依据。例如:在有限的人力、物力下尽量延长投喂时间;如采用大棚养殖,对温度、光照等进行人工控制等,可以提高饵料利用率,降低养殖成本。

#### 参考文献:

- [1] 陈琴,陈晓汉,谢达祥.不同盐度养殖的南美白对虾含肉率及其肌肉营养成分[J].海洋科学,2001,25(8):16-18.  
Chen Qin, Chen Xiaohan, Xie Daxiang, et al. Effect of different salinity culture on flesh content and nutrients of *Penaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 2001, 25(8): 16-18.
- [2] 陈昌生,黄标,叶兆弘,等.南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系[J].集美大学学报(自然科学版),2001,6(4):296-300.  
Chen Changsheng, Huang Biao, Ye Zhaohong, et al. Effect of temperature on growth, food intake and survival rate in *Penaeus vannamei* under different tem-

- perature conditions[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2001, 6(4): 296-300.
- [3] Perez-velazquez M, González-félix M L, Jaimes-bustamante F, et al. Investigation of the effects of salinity and dietary protein level on growth and survival of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2007, 38(4): 475-485.
- [4] 李纯厚, 黄洪辉, 林钦, 等. 海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 545-550.
- Li Chunhou, Huang Honghui, Lin Qin, et al. Environmental carrying capacity of the pollutants from the prawn seawater culture ponds[J]. Journal of Agro- Environment Science, 2004, 23(3): 545-550.
- [5] 陈四清, 李晓川, 李兆新, 等. 中国对虾配合饲料入水后营养成分的流失及其对水环境的影响[J]. 中国水产科学, 1995, 2(4): 40-47.
- Chen Siqing, Li Xiaochuan, Li Zhaoxin, et al. The loss of nutrients of shrimp formulated diet soaked in water and its effects on the water environment[J]. Journal of Fishery Science of China, 1995, 2(4): 40-47.
- [6] 王兴强, 马姓, 董双林. 盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(1): 33-37.
- Wang Xingqiang, Ma Shen, Dong Shuanglin. Effects of salinity and dietary protein levels on survival, growth and energy conversion of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(1): 33-37.
- [7] 林继辉, 李松青, 林小涛, 等. 凡纳滨对虾摄食与生长的实验研究[J]. 海洋科学, 2004, 28(8): 43-46.
- Lin Jihui, Li Songqing, Lin Xiaotao, et al. Study on ingestion and growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 2004, 28(8): 43-46.
- [8] 王吉桥, 罗鸣, 张德治, 等. 水温和盐度对南美白对虾幼虾能量收支的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 161-166.
- Wang Jiqiao, Luo Ming, Zhang dezhi, et al. Effects of water temperature and salinity on energy budget of *Penaeus vannamei* juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(2): 161-166.
- [9] 游奎, 刘鹰, 杨红生, 等. 不同光源及光照时间对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 1-5.
- You Kui, Liu Ying, Yang Hongsheng, et al. Different illumination schemes effect growth of shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 2005, 29(5): 1-5.
- [10] 孟庆武, 张秀梅, 张沛东, 等. 饥饿对凡纳滨对虾仔虾摄食行为和消化酶活力的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(5): 44-50.
- Meng Qingwu, Zhang Xiumei, Zhang Peidong, et al. Effects of starvation on feeding behaviour and digestive enzyme activities of *Litopenaeus vannamei* post-larvae[J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(5): 44-50.
- [11] 张天时, 孔杰, 刘萍, 等. 饲料和养殖密度对中国对虾幼虾生长及存活率的影响[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 41-47.
- Zhang Tianshi, Kong Jie, Liu Ping, et al. Effect of diet and stocking density on growth and survivorship of juvenile shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 41-47.
- [12] 黄国强, 董双林, 王芳, 等. 饲料种类和摄食水平对中国对虾蜕皮的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 942-948.
- Huang Guoqiang, Dong Shuanglin, Wang Fang, et al. Effects of diet differences and ration levels on the molting of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 34(6): 942-948.
- [13] 张硕, 董双林. 饲料和盐度对中国对虾幼虾能量收支的影响[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 227-233.
- Zhang Shuo, Dong Shuanglin. The effects of food and salinity on energy budget of juvenile shrimp of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(3): 227-233.
- [14] 徐尔栋, 苏娟娟, 姜康后. 中国对虾胃容量的研究[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(3): 288-291, 298.
- Xu Erdong, Su Juanjuan, Lou Kanghou. Study on stomatogastric volume of prawn *Penaeus orientalis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(3): 288-291, 298.
- [15] 李健, 孙修涛, 李峰, 等. 不同投饲方法对中国对虾摄食和生长影响的试验观察[J]. 中国水产科学, 1995, 2(2): 66-70.
- Li Jian, Sun Xiutao, Li Feng, et al. Influence of different feeding patterns on ingestion and growth of prawn (*Penaeus chinensis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 2(2): 66-70.
- [16] 陈文霞. 不同养殖策略对凡纳滨对虾生长、摄食与氮收支的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- Chen Wenxia. The effect of different rearing strategy on growth and N budget of *Penaeus vannamei*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012.
- [17] 董双林, 堵南山, 赖伟. 日本沼虾生理生态学研究 . 温度和体重对其代谢的影响[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(3): 233-237.
- Dong Shuanglin, Du Nanshan, Lai Wei. Studies on the physio-ecology of *Macrobrachium nipponense* . effects of temperature and body weight on metabolism[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1994, 25(3): 233-237.
- [18] 秦浩, 李玉全. 生存密度和饵料对中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 争胜行为和生长性能的影响[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(4): 834-838.
- Qin Hao, Li Yuquan. The effects of stocking density

- and food on agonistic behavior and growth performance in *Fenneropenaeus chinensis*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(4): 834-838.
- [19] 郝斌, 孙海宝, 陈芳顺, 等. 对虾(*Penaeus orientalis*)呼吸生理的研究 1.对虾耗氧率的研究[J]. *海洋湖沼通报*, 1985, 3: 51-61.  
Hao Bin, Sun Haibao, Chen Fangshun, et al. Studies on the respiratory physiology of prawn (*Penaeus orientalis*) 1 Experiment on the oxygen consumption[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1985, 3: 51-61.
- [20] 李健, 孙修涛, 赵法箴. 温度、溶解氧含量对中国对虾消化速度的影响[J]. *海洋科学*, 1993, 17(5): 4-6.  
Li Jian, Sun Xiutao, Zhao Fazhen. Effects of temperature and dissolved oxygen on digestion rate of *Penaeus chinensis*[J]. *Marine Sciences*, 1993, 17(5): 4-6.
- [21] 段妍, 张秀梅, 张志新. 溶解氧对凡纳滨对虾生长及消化酶活性的影响[J]. *中国海洋大学学报*, 2013, 43(2): 8-14.  
Duan Yan, Zhang Xiumei, Zhang Zhixin. The effect of dissolve oxygen concentration on the growth and digestive enzyme activity of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 43(2): 8-14.
- [22] Zhang P D, Zhang X M, Li J, et al. The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (boone, 1931)[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1): 579-587.
- [23] Calado R, Dionisio G, Bartilottic C, et al. Importance of light and larval morphology in starvation resistance and feeding ability of newly hatched marine ornamental *Shrimpslymata* spp.(decapoda Hippolytidae)[J]. *Aquaculture*, 2008, 283(1): 56-63.
- [24] Wang F, Dong S L, Dong S S, et al. The effect of light intensity on the growth of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. *Aquaculture*, 2004, 234(1): 475-483.
- [25] 黄燕华, 王国霞, 刘襄河, 等. 温度和 pH 对南美白对虾主要消化酶活性的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2008, 29(4): 87-90, 94.  
Huang Yanhua, Wang Guoxia, Liu Xianghe, et al. Effect of temperature and pH on activities of digestive enzymes in *Penaeus vannamei*[J]. *Journal of South China Agriculture University*, 2008, 29(4): 87-90, 94.
- [26] 李松青, 林小涛, 李卓佳, 等. 摄食对凡纳滨对虾耗氧率和氮、磷排泄率的影响[J]. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 44-48.  
Li Songqing, Lin Xiaotao, Li Zhuojia, et al. Feeding of effects on metabolism of white pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2006, 25(2): 44-48.
- [27] 于赫男, 林小涛, 周小壮, 等. 温度和盐度骤变条件下凡纳滨对虾的行为变化研究[J]. *热带海洋学报*, 2007, 26(2): 38-43.  
Yu Henan, Lin Xiaotao, Zhou Xiaozhuang, et al. Behavioral studies of *Litopenaeus vannamei* under abrupt temperature and salinity changes[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2007, 26(2): 38-43.
- [28] Castille F L, Lawrence A L. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *penaeus*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1981, 68(1): 75-80.
- [29] Dalla-via G J. Salinity responses in brackish water populations of the freshwater shrimp *Palaemonetes antennarius*-I. Oxygen consumption[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1987, 87(2): 471-478.
- [30] 张沛东. 对虾行为生理生态学的实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.  
Zhang Peidong. Experimental studies on the behavior and physio-ecology of penaeid shrimps[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.

# Effect of different foods, feeding patterns, and environmental conditions on the relative food consumption of *Litopenaeus vannamei*

XIAO Shan-shi<sup>1, 2</sup>, HE Lin<sup>2</sup>, XU Yong-jian<sup>1</sup>, HE Jing<sup>1, 2</sup>, LIN Zhi-hua<sup>2</sup>

(1. School of Marine Science & Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Aquatic Germplasm Resources, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

**Received:** Jan. 29, 2015

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; food species; feeding patterns; environmental conditions; relative food consumption

**Abstract:** In this study, to improve the utilization rate of bait and reduce the aquaculture sewage discharge in prawn culture, we examined the effects of food sources, feeding patterns, body weight, aeration quantity, light intensity, water temperature, and salinity on the relative food consumption (RFC) of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). The results showed that the RFC of shrimp fed with compound feed was higher than that of chilled shrimp. The use of grain-by-grain feeding patterns can significantly enhance the RFC of shrimp. The RFC significantly decreased as body weight increased ( $P < 0.01$ ). At the same time, the average RFC was lower when shrimp of different sizes were competing for food. The RFC at 6 L/min was significantly greater than at 0 L/min and 3 L/min. The shrimp under weak light achieved a higher RFC. Temperature and salinity had significant effects on the RFC of shrimp ( $P < 0.01$ ). The highest RFC occurred in the 32°C group. The minimum RFC of shrimp occurred at 5°C; however, no significant difference ( $P > 0.05$ ) was found in groups at 15, 25, and 35°C. Therefore, strategies to increase feeding frequency in prawn culture should be considered and to adjust feeding amounts by changing the environmental conditions can be reasonably achieved.

(本文编辑: 谭雪静)