

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170609001

http://www.yykxjz.cn/

汪春玲, 梁萌青, 徐后国. 凡纳滨对虾亲虾繁殖期间适宜投喂频率的研究. 渔业科学进展, 2018, 39(4): 74–82

Wang CL, Liang MQ, Xu HG. Optimum feeding frequency for *Litopenaeus vannamei* during the breeding period. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(4): 74–82

## 凡纳滨对虾亲虾繁殖期间适宜投喂频率的研究\*

汪春玲<sup>1,3</sup> 梁萌青<sup>2,3①</sup> 徐后国<sup>2,3</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 3. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

**摘要** 在饱食投喂条件下, 选用鲜活饵料沙蚕(*Nereis succinea*)对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)亲虾进行营养强化培育 60 d, 通过比较不同的投喂频率 2 次/d(F2 组)、3 次/d(F3 组)、4 次/d(F4 组)对亲虾摄食、生长、繁殖性能、虾体组成和肝胰腺的消化酶活力的影响, 旨在探究亲虾繁殖期间营养强化的最适投喂频率。结果显示, 随着投喂频率的增加, 亲虾的日摄食量逐渐增大, F2 组显著低于 F4 组( $P < 0.05$ ), 但与 F3 组差异不显著( $P > 0.05$ ); 亲虾的增重率和体长增长率呈先升高后降低的趋势, 但无显著性差异( $P > 0.05$ )。不同的投喂频率对各组亲虾的单次产卵量、相对产卵量、无节幼体 I 期个体数、无节幼体孵化率、蚤状幼体 I 期个体数、无节幼体变态率、性腺指数、初产时间和产卵间期均无显著影响( $P > 0.05$ )。亲虾全虾主要体成分水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分含量也不受投喂频率增加的影响( $P > 0.05$ ); F2 组的胰蛋白酶和脂肪酶活力显著低于 F3、F4 组( $P < 0.05$ ), 而不同实验组的胃蛋白酶和淀粉酶活力无显著性差异( $P > 0.05$ )。结合本研究的结果和生产实际情况, 建议在饱食投喂条件下, 凡纳滨对虾亲虾繁殖期间营养强化的适宜投喂频率为 2 次/d。

**关键词** 投喂频率; 生长; 繁殖性能; 消化酶活力; 凡纳滨对虾亲虾

**中图分类号** S396 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)04-0074-09

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)具有生长快、抗应激能力强、肉味鲜美、易进行集约化养殖等优点, 是目前国际水产品市场和世界虾类养殖业者深受欢迎的品种。经过十几年的发展, 凡纳滨对虾已经成为我国最主要的对虾养殖品种(叶乐等, 2005)。但是, 制约对虾养殖产业持续稳定发展最大的难题是苗种生产(陈泳先, 2012)。

饲料营养和投饲策略是决定养殖企业生产效益的关键因素(纪文秀等, 2011)。确定适宜的饲料和投饲方法不仅有助于提高亲虾的摄食率、饲料利用率和苗种质量, 还能避免饵料的浪费, 从而减少对养殖环境

的污染(Burford *et al.*, 2001)。陈泳先(2012)研究表明, 亲虾在性腺发育和繁殖过程中, 需要消耗大量物质和能量, 并需要合成、积累大量卵黄物质供胚胎发育。因此, 提供合适的饵料才能保证亲虾正常繁殖的营养需求。目前, 沙蚕(*Nereis succinea*)是亲虾繁殖培育过程中最为常用的生物饵料, 日投喂量很大, 一般为亲虾体重的 20%~30%(张玉玲等, 2017)。在生产上一般投喂 4 次鲜活饵料, 由于其投喂量大, 不仅容易破坏水质、传染病原, 而且增加了工人的工作量。因此, 投喂频率成为关系到亲虾正常的生长繁育和苗种生产企业经济效益一项越来越重要的因素。如果投喂频

\* 中国水产科学研究院基本科研业务费(2016HY-ZD0401)资助 [This work was supported by the Special Scientific Research Funds for Central Non-Profit Institutes, Chinese Academy of Fishery Sciences(2016HY-ZD0401)]. 汪春玲, E-mail: 917438579@qq.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2017-06-09, 收修改稿日期: 2017-07-17

率过低,可能就不能满足亲虾繁殖期间的营养需求,亲虾的性腺成熟和正常的繁殖活动将受到严重阻碍,从而造成幼体质量下降,最终使得苗种生产难以继续;投喂频率过高则往往导致饵料系数上升、养殖成本增加以及养殖环境的恶化(Gershanovich *et al.*, 1992)。目前,国内外关于投喂频率已有不少报道,但主要集中在鱼、虾的生长阶段,如草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲇鱼(*Silurus meridionalis*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)、鳊鱼(*Elopichthys bambusa*)等(潘庆等, 1998; 何丽君等, 2003; 楼宝等, 2007; 宋大焯等, 2009; 孙丽慧等, 2010; 孙存军, 2011)。然而,投喂频率对亲虾繁殖阶段的影响尚未见详细的报道。为此,本研究比较分析了不同投喂频率对凡纳滨对虾亲虾的摄食、生长、繁殖性能、体组成和消化酶活力的影响,为苗种生产确定亲虾最佳投喂频率提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验亲虾

本研究于2016年6月5日~8月5日在河北黄骅市鑫海生物技术有限公司进行。实验选取420 d、大小均匀、体质健壮、卵巢未发育成熟的凡纳滨对虾亲虾。雌虾初始体重为(41.78±0.62) g,体长为(15.80±0.34) cm。雌虾暂养7 d,待其摄食正常、活力恢复后进行实验分组。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 实验设计** 实验开始前,对每尾亲虾的单侧眼柄套上眼标作为个体标记,并测定每尾雌虾的初始体长、体重。随机将亲虾分于3个养殖池内,每池40尾虾。实验设3种投喂频率进行人工投喂,即2、3、4次/d,分别以F2、F3和F4组表示。具体投喂频率及时间见表1。实验饵料为沙蚕(投喂前用高锰酸钾浸泡3 min后,清水洗净沥干),采取饱食投喂,

2 h后收集残饵并计算日摄食量。饲喂30 d后,测定未剪眼柄的亲虾的终末体长、体重。

**1.2.2 养殖管理** 养殖场利用海水循环系统进行水温控制和水体净化,控制养殖系统水温为(27±2)℃,盐度为30±2, pH为7.8~8.0,溶解氧≥5 mg/L,氨氮≤0.6 mg/L,亚硝酸盐≤0.1 mg/L,水深为35~40 cm,室内自然光照周期12 h。养殖池为室内圆形水泥池(容水量为3 m<sup>3</sup>,直径为2 m)。每天09:00换水1次,及时捞出残饵、粪便和蜕皮。

**1.2.3 亲虾的促熟和交配管理** 实验采用生产上常用的镊烫法摘除雌虾的单侧眼柄进行促熟。除眼柄是刺激虾蟹类性腺成熟和排卵的常用方法,普遍认为这是去除眼柄中的性腺抑制激素(王晓伟等, 2013)。雌虾在摘除单侧眼柄后,继续投饵培育3~5 d,就会出现性腺发育成熟个体。之后每天上午换水时,检查雌虾池中是否有性腺发育成熟即将产卵的个体,然后将性腺变成橘红色的雌虾选入到同一个雄虾池中进行交配。交配池为圆形跑道池,面积为20 m<sup>2</sup>左右,水深为0.4~0.5 m。性腺发育良好的雄虾约有100尾,有活力,反应灵敏,精荚呈白色且饱满凸出。

**1.2.4 幼体的孵化和培育** 每天提前12 h准备200 L的产卵孵化桶,每桶加入100 L经消毒过滤没有余氯的新鲜海水,同时,加入6×10<sup>-6</sup>的EDTA-2Na络合水中的重金属离子,并保持24 h不间断地微充气。交配一般在15:00~23:00进行。交配后,及时将带有雄虾精荚的雌虾捞出,放在产卵孵化桶中,做好标记待其产卵。动作尽量轻捷,避免因雌虾弹跳而使精荚弹出。22:00左右,不管雌虾是否已经成功交配,均捞出放在产卵孵化桶中。亲虾产卵结束后,及时捞出并在2 h内完成计数。雌虾所产的卵继续留在孵化桶内,每隔1 h翻动1次,直至次日16:00孵化出无节幼体并计数。孵化桶内存活下来的无节幼体在次日18:00左右变态成为蚤状幼体后计数统计(陈泳先, 2012)。

### 1.3 繁殖性能指标的测定

**1.3.1 卵和幼体的计数** 计数前,用手轻轻搅动水体使卵子或幼体均匀地分散在水中。用100 ml的烧杯从桶内5个固定位点打取水样,5次计数的平均值乘以1000,将其作为亲虾单次的产卵量和相应幼体的产量。同时,记下雌虾的组别、编号、日期以便进行统计,并计算相对产卵量、孵化率和变态率。

**1.3.2 性腺指数和产卵情况的计算** 实验末期,适时地选取性腺成橘红色的、即将产卵的雌虾进行解剖,取性腺称重,计算性腺指数。根据记录的每天产卵孵化雌虾的编号、数目和日期,计算每个实验组的

表1 投喂频率及投喂时间

Tab.1 Feeding frequency and feeding time

组别 Groups	投喂频率(次/d) Feeding frequency (times/day)	投喂时间 Feeding time			
F2	2	06:00	—	18:00	—
F3	3	06:00	—	18:00	22:00
F4	4	06:00	12:00	18:00	22:00

初产时间、产卵间期。

#### 1.4 样品采集和分析方法

实验结束后, 每组各随机取 6 尾亲虾, 用于全虾主要营养成分分析; 投喂 2 h 后, 每个实验组取 9 尾亲虾, 置于冰盘上, 剥离出肝胰腺, 保存于 $-20^{\circ}\text{C}$ 冰箱中, 用于测定消化酶活性。

水分含量用 $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 常温干燥法; 粗灰分含量用马弗炉  $550^{\circ}\text{C}$  高温灼烧法; 粗脂肪含量用索氏抽提法测定(Foss Tecator, Hoganas, 瑞典); 粗蛋白的含量用凯氏定氮仪测定(VELP, UDK142 automatic distillation unit, VELP, Usmate, MB, 意大利)。

亲虾肝胰腺的胰蛋白酶、胃蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活力均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定, 实验步骤按照说明书进行操作。胰蛋白酶活性采用紫外分光光度计测定, 而胃蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活力均用酶标仪测定。胰蛋白酶活性单位定义: 在 pH、 $37^{\circ}\text{C}$  条件下, 每毫克蛋白中含有的胰蛋白酶每分钟使吸光度变化, 0.003 即为 1 个酶活力单位。胃蛋白酶活性单位定义: 每毫克组织蛋白质在  $37^{\circ}\text{C}$  下每分钟分解蛋白质生成  $1 \mu\text{g}$  氨基酸为 1 个酶活力单位。淀粉酶(AMS)活力单位定义: 每毫克蛋白在  $37^{\circ}\text{C}$  与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉为 1 个淀粉酶活力单位。脂肪酶活性单位定义: 在  $37^{\circ}\text{C}$  条件下, 每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min, 每消耗  $1 \mu\text{mol}$  底物为 1 个酶活力单位。

#### 1.5 实验数据的统计分析

有关指标计算公式如下:

日摄食量(Daily feeding amount, DFA, g) = (投喂量 - 残饵量) / 亲虾个体数

增重率(Weight gain rate WGR, %) = (终末体重 - 初始体重)  $\times 100$  / 初始体重

体长增长率(Growth length rate, GLR, %) = (终末体长 - 初始体长)  $\times 100$  / 初始体长

相对产卵量(Relative fecundity,  $10^3/\text{g}$ ) = 总产卵量 /

亲虾体重

孵化率(Hatching rate, %) = 各组无节幼体的计数平均数  $\times 100$  / 各组同一亲虾个体产卵量的计数平均数

无节幼体变态率(Metamorphosis rate, %) = 各组蚤状幼体的计数平均数  $\times 100$  / 各组相应的无节幼体的计数平均数

性腺指数(Gonadosamic index, GSI, %) = 性腺重  $\times 100$  / 亲虾体重

初产时间(First spawning time, h) = 亲虾初次产卵的时刻 - 亲虾摘除单侧眼柄的时刻

产卵间期(Spawning interval, h) = 各组中同一亲虾个体连续两次成熟产卵的时间差

采用 SPSS 17.0 统计分析软件对所有数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。当达到显著差异水平( $P < 0.05$ ), 则进行 Tukey 多重比较。所有数据均表示为平均值  $\pm$  标准误(Mean  $\pm$  SE)。

## 2 结果

### 2.1 不同的投喂频率对亲虾摄食和生长的影响

不同实验组亲虾的 DFA、初始体重、终末体重、WGR、初始体长、终末体长和 GLR 见表 2。从表 2 可以看出, F4 组的 DFA 最高, 之后依次是 F3 和 F2 组。方差分析表明, F2 组的 DFA 显著低于 F4 组 ( $P < 0.05$ ), 但与 F3 组差异不显著 ( $P > 0.05$ ); WGR 最高的是 F3 组, 达 17.56%, F4 组次之, F2 组最低, 分别为 15.74% 和 15.17%。单因素方差分析表明, 3 组之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ ); 亲虾体长 GLR 与 WGR 有相似的变化趋势, 3 组之间也没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 不同的投喂频率对亲虾繁殖性能的影响

**2.2.1 单次产卵量、相对产卵量、无节幼体 I 期个体数、孵化率** 不同实验组亲虾的单次产卵量、相对产卵量、无节幼体 I 期个体数和孵化率见表 3。从表 3 可以看出, 随着投喂频率的增加, 亲虾的单次产卵量呈先上升后下降的趋势。其中, 最高的是 F3 组, 为

表 2 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾摄食和生长的影响

Tab.2 Effects of different feeding frequencies on the ingestion and growth of broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	日摄食量 DFA(g)	初始体重 IBW(g)	终末体重 FBW(g)	增重率 WGR(%)	初始体长 IBL(cm)	终末体长 FBL(cm)	体长增长率 GLR(%)
F2	9.33 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup>	41.60 $\pm$ 0.57	47.91 $\pm$ 0.99	15.17 $\pm$ 2.46	15.96 $\pm$ 0.31	16.61 $\pm$ 0.29	4.13 $\pm$ 1.62
F3	10.58 $\pm$ 0.30 <sup>ab</sup>	41.78 $\pm$ 0.67	49.09 $\pm$ 0.99	17.56 $\pm$ 1.92	15.80 $\pm$ 0.28	16.43 $\pm$ 0.50	4.28 $\pm$ 0.50
F4	11.83 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>	41.97 $\pm$ 0.61	48.58 $\pm$ 1.00	15.74 $\pm$ 3.08	15.63 $\pm$ 0.42	16.25 $\pm$ 0.19	4.25 $\pm$ 1.77

注: 同一列数值中右上角不同小写字母表示组间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 下同

Note: Data within the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ), the same as below

表 3 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾单次产卵量、相对产卵量、无节幼体 I 期个体数和孵化率的影响  
Tab.3 Effects of different feeding frequencies on the single fecundity, the relative fecundity, the number of nauplius stage I and hatching rate of broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	单次产卵量 Single fecundity( $\times 10^4$ )	相对产卵量 Relative fecundity( $10^3/g$ )	无节幼体 I 期个体数 Number of nauplius stage I( $\times 10^4$ )	孵化率 Hatching rate (%)
F2	12.42 $\pm$ 0.37	2.64 $\pm$ 0.34	8.61 $\pm$ 0.39	69.50 $\pm$ 2.38
F3	13.04 $\pm$ 0.30	2.66 $\pm$ 0.29	9.89 $\pm$ 0.46	74.81 $\pm$ 1.57
F4	12.93 $\pm$ 0.70	2.69 $\pm$ 0.58	9.43 $\pm$ 0.35	69.80 $\pm$ 4.36

13.04 $\times 10^4$ , F4 组次之, F2 组最低, 但 3 组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 相对产卵量逐渐增大, 但各组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 各组的无节幼体 I 期个体数与产卵量呈现相似的变化趋势, 3 组之间也无显著差异( $P>0.05$ ); 同样, 孵化率 F3 组最高, 为 74.81%, 高于 F4 组的 69.80%和 F2 组的 69.50%, 但 3 组之间无显著差异( $P>0.05$ )。

**2.2.2 蚤状幼体 I 期个体数和变态率** 不同实验组亲虾的蚤状幼体 I 期个体数和 N1~Z1(无节幼体 I 期到蚤状幼体 I 期)的变态率见表 4。从表 4 可以看出, 蚤状幼体 I 期个体数随着投喂频率的增加呈先增加后减小趋势, 即 F3 组的蚤状幼体 I 期个体数最高, 为 8.52 $\times 10^4$ , F4 组次之, F2 组最低, 分别为 7.85 $\times 10^4$ 和 6.65 $\times 10^4$ , 但 3 组之间没有显著性差异( $P>0.05$ ); N1~Z1 的变态率最高的也是 F3 组, F2 组次之, F4 组最低, 但 3 组之间没有显著性差异( $P>0.05$ )。

**2.2.3 性腺指数、初产时间、产卵间期** 不同实验组亲虾的性腺指数、初产时间和产卵间期见表 5。从表 5 可以看出, 各组亲虾的性腺指数随着投喂频率的增加而增大, F2、F3 和 F4 组的性腺指数分别为 6.31%、6.74%和 7.44%, 但 3 组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 初产时间也随着投喂频率的增加而减少, 即 F4 组的初产时间最短, 为 128.60 h, F3 组次之, F2 组最长, 但 3 组之间没有显著差异( $P>0.05$ ); 产卵间期 F3 组的最短, 为 72.00 h, F4 组次之, F2 组最低, 分别为 80.00 h 和 88.00 h, 但 3 组之间没有显著差异( $P>0.05$ )。

### 2.3 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾全虾体组成的影响

不同的投喂频率对亲虾全虾体组成的影响见表 6。从表 6 可以看出, 亲虾全虾水分含量 F3 组最高, F4 组和 F2 组的水分含量非常接近, 单因素方差

表 4 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾蚤状幼体 I 期个体数和变态率的影响

Tab.4 Effects of different feeding frequencies on the number of zoea stage I and metamorphosis rate(N1~Z1)in broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	无节幼体 I 期个体数 Number of nauplius stage I( $\times 10^4$ )	蚤状幼体 I 期个体数 Number of zoea stage I( $\times 10^4$ )	变态率 Metamorphosis rate(N1~Z1) (%)
F2	8.61 $\pm$ 0.39	6.65 $\pm$ 0.56	78.86 $\pm$ 2.92
F3	9.89 $\pm$ 0.46	8.52 $\pm$ 0.51	85.43 $\pm$ 1.98
F4	9.43 $\pm$ 0.35	7.85 $\pm$ 0.79	76.79 $\pm$ 2.07

表 5 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾性腺指数、初产时间和产卵间期的影响

Tab.5 Effects of different feeding frequencies on the GSI, first spawning time and spawning interval in broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	性腺指数 GSI(%)	初产时间 First spawning time(h)	产卵间期 Spawning interval(h)
F2	6.31 $\pm$ 0.71	184.14 $\pm$ 16.39	88.00 $\pm$ 16.00
F3	6.74 $\pm$ 1.31	168.71 $\pm$ 19.88	72.00 $\pm$ 21.16
F4	7.44 $\pm$ 0.96	128.60 $\pm$ 18.31	80.00 $\pm$ 13.86

表 6 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾体组成的影响

Tab.6 Effects of feeding frequencies on the body composition of broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	水分 Moisture (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	灰分 Ash (%)
F2	74.26 $\pm$ 0.38	72.73 $\pm$ 1.04	3.46 $\pm$ 0.03	11.94 $\pm$ 0.21
F3	75.37 $\pm$ 1.08	74.95 $\pm$ 0.11	3.66 $\pm$ 0.05	12.41 $\pm$ 0.79
F4	74.29 $\pm$ 1.02	74.38 $\pm$ 0.59	3.55 $\pm$ 0.04	12.40 $\pm$ 0.44

分析表明, 3组之间没有显著差异( $P>0.05$ ); 全虾粗蛋白含量与水分含量有相似的结果; 粗脂肪含量也呈现相同的变化趋势, 即3组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 全虾灰分含量在3组之间也无显著差异( $P>0.05$ )。

#### 2.4 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾消化酶活力的影响

不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾肝胰腺消化酶活力的影响见表7。从表7可以看出, 胰蛋白酶活力随着投喂频率的增加而增大, F2、F3和F4组的胰蛋白酶

活力分别为543.32、958.27和983.46 U/mg·prot。单因素方差分析表明, F2组的胰蛋白酶活力与F3、F4组差异显著( $P<0.05$ ), 而F3和F4组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 脂肪酶活力也呈现相似的变化趋势, F2组的19.94 U/g·prot显著低于F3组的25.53 U/g·prot和F4组的26.54 U/g·prot( $P<0.05$ ), 但F3和F4组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 不同实验组的胃蛋白酶活力随着投喂频率的增加呈增长趋势, 但各组之间无显著性差异( $P>0.05$ ); 淀粉酶活力随着投喂频率的增加呈先增大后减少的趋势, 但各组之间无显著差异( $P>0.05$ )。

表7 不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾肝胰腺消化酶活力的影响

Tab.7 Effects of feeding frequencies on the digestive enzyme activities in hepatopancreas of broodstock *L. vannamei*

组别 Groups	胰蛋白酶 Trypsin (U/mg·prot)	胃蛋白酶 Pepsin (U/mg·prot)	脂肪酶 Lipase (U/g·prot)	淀粉酶 Amylase (U/mg·prot)
F2	543.32±17.21 <sup>a</sup>	26.08±1.32	19.94±0.96 <sup>a</sup>	0.38±0.02
F3	958.27±21.38 <sup>b</sup>	26.24±1.20	25.53±0.88 <sup>b</sup>	0.41±0.02
F4	983.46±8.74 <sup>b</sup>	27.79±0.84	26.54±0.68 <sup>b</sup>	0.39±0.02

### 3 讨论

#### 3.1 不同投喂频率对亲虾摄食和生长的影响

亲虾繁殖前需要积累大量营养物质以满足亲虾性腺发育、繁殖、产卵以及幼体正常发育和变态的需要(刘立鹤, 2005)。在苗种生产中, 一般会在亲虾剪眼柄前进行营养强化培育, 用以保证亲虾正常的繁殖活动。经过营养强化培育的亲虾, 由于机体的摄食、消化吸收等机能得到强化, 体内的营养物质得到了较充分的积累, 因此, 体长或体重会有所增加(陈永先, 2012)。营养强化期间, 投喂方法一般分为2种, 一种是固定日投饲率法, 另一种是饱食投喂法。当采用固定日投饲率法时, 适当地增加投饲频率可以促进鱼体的生长, 澳大利亚金赤鲷(*Pagrus auratus*)稚鱼和尖吻鲈(*Lates calcarifer*)稚鱼的WGR随着投喂频率的增加而不断增加(Tucker *et al*, 2006; Biswas *et al*, 2010); 但是, 在日投喂量不能满足鱼类生长的营养和能量需求时, 投饲频率的增加反而会抑制生长。这是由于养殖动物的摄食活动会消耗能量, 过高的投喂频率会消耗更多的能量, 从而降低生长速度(王华, 2009)。当采用饱食投喂时, 适当地增加投喂频率能够显著影响水产动物的生长。军曹鱼(*Raehycentron canadum*)和鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的研究表明, 增加投喂频率显著提高了饲料效率, 从而促进鱼体的生长; 在南方鲇(*Silurus meridionalis*)、刺参(*Apostichopus japonicus*)、杂交太阳鱼(*Lepomis gibbosus*)和北极红点鲑(*Salvelinus*

*alpinus*)的研究表明, 增加投喂频率显著提高鱼的摄食率(何利军等, 2013; 王艺超等, 2016; 刘康等, 2010; Omar *et al*, 1987; 何利军等, 2003; Wang *et al*, 1998; Jobling, 1983)。

本研究采用饱食投喂法, 在亲虾繁殖前30d的营养强化培育中, 随着投喂频率的增加, 亲虾的DFA逐渐增大, 其中, F2与F3组差异不显著, 但显著低于F4组。而亲虾的生长呈先上升后下降的趋势, 但各实验组之间无显著性差异。冒树泉等(2014)研究表明, 在饱食投喂条件下, 许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)幼鱼获得的高生长速度是以较高的摄食量与较低的饲料转化率得来的。本研究不同处理组的WGR并没有因为摄食量的逐渐增加而呈显著上升的趋势, 这说明2次/d的摄食量已经满足了亲虾的生长需求, 而且, 投饲频率过高反而使得亲虾忙于摄食和消化, 这样会使得其体内的能量消耗过快, 生长速度就会降低。

#### 3.2 不同投喂频率对亲虾繁殖性能的影响

亲虾的繁殖性能与繁殖期间亲虾体内营养积累以及持续供给的饲料有很大关系(刘立鹤, 2005)。当食物的数量和质量不能很好地满足亲虾性腺发育时, 会极大地影响亲虾的产卵量、胚胎发育和幼体的成活率。目前, 鲜活或冰冻的天然饵料[沙蚕、鱿鱼(*Todarodes pacificus*)、牡蛎(*Ostrea gigas*)、双壳贝类等]一直是亲虾的首选饵料, 其中, 沙蚕是最常用的(Lytle *et al*, 1990; Wouters *et al*, 1999)。纪丽丽等(2008)分析沙蚕

的营养成分表明,其蛋白质含量极高,达到58.65%;体内不饱和脂肪酸质量分数高达62.21%,且EPA和ARA质量分数也较高。这不仅为凡纳滨对虾的生长繁殖提供丰富的营养物质,而且提高了对虾的免疫力和存活率。同时,特殊的呈味氨基酸(天冬氨酸 Asp、精氨酸 Arg、谷氨酸 Glu、甘氨酸 Gly 和丙氨酸 Ala)促进了亲虾的摄食。李爱杰等(1999)研究表明,人工饲养亲虾时,饲料充足则性腺发育较快,不足则发育慢,甚至可能导致发育不良。本研究选用沙蚕为投喂饵料,亲虾的单次产卵量、相对产卵量、无节幼体 I 期个体数、无节幼体孵化率、蚤状幼体 I 期个体数、无节幼体变态率、性腺指数、初产时间和产卵间期在各组之间均无显著差异,这可能是由于研究周期内不论是投喂 2 次/d, 还是投喂 3 次/d 及 4 次/d, 在一定程度上满足了亲虾繁殖的营养需求。其中, 2 次/d 的投喂频率不仅减少了养殖人员的劳动量,降低了养殖成本,而且对亲虾的繁殖性能并没有显著影响。

### 3.3 不同投喂频率对亲虾体组成的影响

本研究结果显示,不同投喂频率对亲虾体组成无显著性影响,表明 2、3、4 次/d 的投喂量适合亲虾的生长,提高投喂频率并不改变虾体的主要营养组成。这与周歧存等(2003)对南美白对虾幼虾的研究结果和宋大焯等(2009)对日本沼虾研究结果一致。投喂频率对鱼类体组成的影响在国内外已有较多研究。杜海明(2007)研究发现,投喂频率显著影响鳊鱼幼鱼的体组成,其蛋白质含量随投喂频率的增加呈先升高后下降的趋势,脂肪含量则逐渐上升,而水分和灰分含量逐渐下降。骆季安等(2007)研究发现,日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)的水分含量随饲喂频率的增高而降低,蛋白质含量随饲喂频率的增加呈先显著增高后下降的趋势,而脂肪含量显著升高。孙晓峰等(2011)对吉富罗非鱼幼鱼(*Oreochromis niloticus*)研究发现,随着投喂频率升高,脂肪和蛋白质含量逐步升高,鱼体水分含量逐渐降低。Baloi 等(2016)研究表明,投喂频率显著影响巴西沙丁鱼(*Sardinella brasiliensis*)脂肪含量,而蛋白和灰分含量无显著差异。Yu 等(2013)对胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)研究表明,随着投喂频率的增加,粗脂肪含量显著增加,而必需氨基酸含量无显著差异。Wu 等(2015)研究表明,随着投喂频率的增加,金鲳鱼(*Trachinotus ovatus*)的粗脂肪含量显著增加,而水分和灰分含量下降。可见,不同的投喂频率对鱼类的营养组成影响较大,对虾的体组成没有显著影响。这可能由于当沙蚕投饲量较适合亲虾生长时,即使提高投喂频率,也不会改变虾体的主要营养组成。

### 3.4 不同投喂频率对亲虾肝胰腺消化酶的影响

本研究表明,不同的投喂频率对凡纳滨对虾亲虾肝胰腺的胃蛋白酶和淀粉酶活力无显著影响,而 3、4 次/d 的胰蛋白酶、脂肪酶活力显著高于 2 次/d。这与在俄罗斯鲟幼鱼(*Acipenser gueldenstaedtii*)、条斑星鲽(*Verasper moseri*)、凡纳滨对虾幼虾阶段上的研究结果相一致,这可能因为投喂频率较高组通过减少单次摄食量达到一定的限食作用,而亲虾在限食条件下食欲会增加,从而提高了消化酶活力(崔超等, 2014; Amiya *et al*, 2012; 陈文霞等, 2013)。而强俊等(2009)等对奥尼罗非鱼仔稚鱼(*Oreochromis niloticus*×*O.aureus*)的研究发现,胃蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力随投喂频率的升高而显著下降,胰蛋白酶活力无显著差异,许氏平鲷幼鱼(*Sebastes schlegeli*)研究表明,1 次/d 组的胃蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性显著高于 2、3、4 次/d 的实验组(冒树泉等, 2014)。王武等(2007)研究发现,瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)投喂频率较高组虽然日摄食率高,但每次摄食率明显低于投喂频率较低组,因此,其胃和肠蛋白酶活力均较低。不同的投喂频率对消化酶活力的影响还有待进一步的研究。

## 4 结论

综上所述,2、3、4 次/d 这 3 个投喂频率对亲虾的生长、繁殖性能和体组成无显著影响;F2 组的摄食量显著低于 F4 组,但与 F3 组差异不显著。2 次/d 的实验组的胰蛋白酶和脂肪酶活力显著低于 3、4 次/d 的实验组,而不同实验组的胃蛋白酶和淀粉酶活力无显著差异。建议在饱食投喂条件下,凡纳滨对虾亲虾繁殖期间营养强化的适宜投喂频率为 2 次/d。

## 参 考 文 献

- Amiya N, Mizusawa K, Kobayashi Y, *et al*. Food deprivation increases the expression of the prepro-orexin gene in the hypothalamus of the barfin flounder, *Verasper moseri*. *Zoologicalence*, 2012, 29(1): 43–48
- Baloi M, Carvalho CVA, Sterzelecki FC, *et al*. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juveniles Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindacher 1879). *Aquaculture Research*, 2016, 47(2): 554–560
- Biswas G, Thirunavukkarasu AR, Sundaray JK, *et al*. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. *Aquaculture*, 2010, 305(1): 26–31

- Burford MA, Williams KC. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture*, 2001, 198(1-2): 79-93
- Chen YX. The effect of several diets on *Litopenaeus vannamei* broodstock reproductive performance. Master's Thesis of Guangxi University, 2012 [陈泳先. 几种饵料对凡纳滨对虾亲虾繁殖性能的影响. 广西大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Chen WX, Shen YC, Li ZL, *et al.* The effect of feeding frequency on growth, digestive enzymes, immune enzyme and N budget of *Litopenaeus vannamei*. *Marine Science*, 2013, 37(9): 49-53 [陈文霞, 申玉春, 李再亮, 等. 投喂频率对凡纳滨对虾生长、消化酶和免疫酶活力以及氮收支的影响. *海洋科学*, 2013, 37(9): 49-53]
- Cui C, Yu N, Long LN, *et al.* Effects of feeding frequency on growth, digestive enzymes activities and ammonia excretion of juvenile Russian sturgeon, *Acipenser gueldenstaedtii*. *Marine Fisheries*, 2014, 36(1): 35-43 [崔超, 禹娜, 龙丽娜, 等. 投喂频率对俄罗斯鲟幼鱼生长、消化酶活力和氨氮排泄的影响. *海洋渔业*, 2014, 36(1): 35-43]
- Du HM. Effect of feeding strategy on feeding growth and biochemical composition of *Elopichthys bahbusa* Richardson juveniles. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2007 [杜海明. 投喂策略对鳊幼鱼摄食、生长及体成分的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2007]
- Gershanovich AD, Taufik LR. Feeding dynamics of sturgeon fingerlings (*Acipenseridae*) depending on food concentration and stocking density. *Journal of Fish Biology*, 1992, 41(3): 425-434
- He LJ, Xie XJ, Ai QH. Effects of feeding frequency on feeding rate, growth and feed conversion efficiency for southern catfish, *Silurus meridionalis*. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 2003, 27(4): 434-436 [何利君, 谢小军, 艾庆辉. 投喂频率对南方鲇的摄食率、生长和饲料转化效率的影响. *水生生物学报*, 2003, 27(4): 434-436]
- Ji LL, Huang XH, Li H, *et al.* Nutrition analysis of nereis in *Penaes vannamei* feed. *Amino Acids and Biotic Resources*, 2008, 30(4): 63-65 [纪丽丽, 黄翔鹤, 李活, 等. 南美白对虾饲料中沙蚕的营养成分分析. *氨基酸和生物资源*, 2008, 30(4): 63-65]
- Ji WX, Wang Y, Li BY. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus waste output of malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*, reared in net pens. *Journal of Zhejiang University (Agricultural and Life Sciences)*, 2011, 37(4): 432-438 [纪文秀, 王岩, 厉珀余. 不同投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼生长、食物利用及氮磷排放的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(4): 432-438]
- Jobling M. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *Journal of Fish Biology*, 1983, 23(2): 177-185
- Liu K, Wang XJ, Ai QH. Effect of feed frequency on growth, feeding rate and feed conversion rate of *Raehycentron canadum*. *Feed Industry*, 2010, 31(12): 1-3 [刘康, 王小洁, 艾庆辉. 饲料频率对军曹鱼生长、摄食率和饲料转化率的影响. *饲料工业*, 2010, 31(12): 1-3]
- Liu LH. Lipid nutrition and regulation of reproduction of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis*, female. Master's Thesis of East China Normal University, 2005 [刘立鹤. 中华绒螯蟹雌体脂质营养及生殖调控研究. 华东师范大学硕士研究生学位论文, 2005]
- Luo JA, Lou B, Shi HL, *et al.* Effects of feeding frequency on growth and body biochemical composition of *Nibea japonica*. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2007, 26(1): 37-40 [骆季安, 楼宝, 史会来, 等. 饲喂频率对日本黄姑鱼生长及鱼体生化成分的影响. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2007, 26(1): 37-40]
- Lou B, Shi HL, Mao GH, *et al.* Effects of feeding frequency on growth and body biochemical composition of *Lateolabrax japonicus*. *Journal of Ningbo University (Technical Edition)*, 2007, 20(4): 455-458 [楼宝, 史会来, 毛国民, 等. 饲喂频率对鲈鱼生长及体生化成分的影响. *宁波大学学报(理工版)*, 2007, 20(4): 455-458]
- Lytle JS, Lytle TF, Ogle JT. Polyunsaturated fatty acid profiles as a comparative tool in assessing maturation diets of *Penaes vannamei*. *Aquaculture*, 1990, 89(3-4): 287-299
- Mao SQ, Zou MY, Wang CS, *et al.* Optimal feeding frequency for *Sebastes schlegeli* juveniles. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(8): 2379-2385 [冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲈幼鱼适宜投喂频率的研究. *动物营养学报*, 2014, 26(8): 2379-2385]
- Omar LA, Gunther KD. Studies on feeding of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) in intensive aquaculture. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1987, 57(1): 80-172
- Pan Q, Liu S, Liang GY, *et al.* Effects of feeding frequencies on growth, body composition and nutrient composition of *Ctenopharyngodon idellus*. *Journal of Shanghai Ocean University*, 1998, 7(S1): 186-190 [潘庆, 刘胜, 梁桂英, 等. 投喂频率对草鱼鱼种的生长、鱼体和组织营养成分组成的影响. *上海海洋大学学报*, 1998, 7(S1): 186-190]
- Qiang J, Wang H, Li RW, *et al.* Effects of feeding frequencies on the growth, body biochemical composition and digestive enzyme of larvae and juvenile of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(4): 79-83 [强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 饲喂频率对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长、体成分和消化酶活力的影响. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(4): 79-83]
- Song DY, Zhang YX, Zhao WH, *et al.* A preliminary study on the effect of different feeding frequencies on *Macrobrachium nipponense*. *Agriculture and Science Technology of Shanghai*, 2009(5): 78-80 [宋大焯, 张余霞, 赵卫红, 等. 不同投喂频率对日本沼虾影响的初步研究. *上海农业科技*, 2009(5): 78-80]
- Sun CJ. Effect of different diets and feeding frequency on the

- feeding, growth, muscle composition and digestive enzyme activities of juvenile *Elopichthys bambusa*. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2011 [孙存军. 饵料类型和投喂频率对鳊幼鱼摄食、生长、肌肉成分和消化酶活力的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2011]
- Sun LH, Wang JY, Ding LY, *et al.* Effects of feeding frequency on growth and body composition of juvenile *Platichthys stellatus*. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 190–195 [孙丽慧, 王际英, 丁立云, 等. 投喂频率对星斑川鲮幼鱼生长和体组成影响的初步研究. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 190–195]
- Sun XF, Feng J, Chen JH, *et al.* Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth benefit and body composition of juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1667–1773 [孙晓峰, 冯健, 陈江虹, 等. 投喂频率对尼罗罗非鱼幼鱼胃排空生长性能及体组成的影响. 水产学报, 2011, 35(11): 1167–1673]
- Tucker BJ, Booth MA, Allan GL, *et al.* Effects of photoperiod and feeding frequency on performance of newly weaned Australian snapper *Pagrus auratus*. Aquaculture, 2006, 258(1): 514–520
- Tycjer BJ, Booth MA, Allan GL, *et al.* Effects of photoperiod and feeding frequency on performance of newly weaned Australian snapper *Pagrus auratus*. Aquaculture, 2006, 258(1): 514–520
- Wang H. The effect of feeding regime on *Cynoglossus semilaevis* Günther and the building of feeding mathematical model. Master's Thesis of Chinese Academy of Sciences University (Institute of Oceanology), 2009 [王华. 投喂策略对工厂化养殖半滑舌鳎的效应特征与投喂模型构建. 中国科学院研究生院 (海洋研究所) 硕士研究生学位论文, 2009]
- Wang N, Hayward RS, Noltie DB. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture, 1998, 165(3): 261–267
- Wang W, Zhou XX, Ma XZ, *et al.* Effect of feeding frequency on the growth and protease activities of *Pelteobagrus vachelli*. Journal of Shanghai Ocean University, 2007, 16(3): 224–229 [王武, 周锡勋, 马旭洲, 等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及蛋白酶活力的影响. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 224–229]
- Wang XW, Zhang ZP, Wang YL, *et al.* Research progress on regulation mechanism of ovary development in shrimps and crabs. Biotechnology Bulletin, 2013(7): 29–35 [王晓伟, 张子平, 王艺磊, 等. 虾蟹类卵巢发育调节机制研究进展. 生物技术通报, 2013(7): 29–35]
- Wang YC, Liang MQ, Zheng KK. Effects of different ration levels on growth, activities of digestive enzymes and immunity-related enzymes in *Apostichopus japonicus* Selenka. Progress of Fishery Science, 2016, 37(1): 87–92 [王艺超, 梁萌青, 郑珂珂. 不同投喂水平对刺参 (*Apostichopus japonicus* Selenka) 生长、消化酶及免疫相关酶活性的影响. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 87–92]
- Wouters R, Gomez L, Lavens P, *et al.* Feeding enriched Artemia biomass to *Penaeus vannamei* broodstock: Its effect on reproductive performance and larval quality. Journal of Shellfish Research, 1999, 18(2): 651–656.
- Wu YB, Han H, Qin JG, *et al.* Effect of feeding frequency on growth, feed utilization, body composition and waste output of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) reared in net pens. Aquaculture Research, 2015, 46(6): 1436–1443
- Ye L, Lin HZ, Li ZJ, *et al.* The effect of feeding frequency on growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) and water quality. South China Fisheries Science, 2005, 1(4): 55–59 [叶乐, 林黑着, 李卓佳, 等. 投喂频率对凡纳滨对虾生长和水质的影响. 南方水产, 2005, 1(4): 55–59]
- Yu DH, Gong SY, Yuan YC, *et al.* Effect of partial replacement of fish meal with soybean meal and feeding frequency on growth, feed utilization and body composition of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* (Bleeker). Aquaculture Research, 2013, 44(3): 388–394
- Zhou QC, Zheng SX, Gao L, *et al.* Preliminary study on the effects of feeding frequency on growth, feed utilization and body composition of *Penaeus vannamei* Boone. Transactions of Oceanology and Limnology, 2003(2): 64–68 [周歧存, 郑石轩, 高雷, 等. 投喂频率对南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 生长、饲料利用及虾体组成影响的初步研究. 海洋湖沼通报, 2003(2): 64–68]
- Zhang YL, Luo K, Kong J, *et al.* A comparative study on growth and gonadal development of *Litopenaeus vannamei* broodstock fed different formulated feeds. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 306–316 [张玉玲, 罗坤, 孔杰, 等. 饲料中添加南极磷虾粉对凡纳滨对虾亲虾生长, 性腺发育及脂肪酸积累的影响. 中国水产科学, 2017, 24(2): 306–316]

## Optimum Feeding Frequency for *Litopenaeus vannamei* During the Breeding Period

WANG Chunling<sup>1,3</sup>, LIANG Mengqing<sup>2,3</sup>①, XU Houguo<sup>2,3</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao 266071; 3. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**Abstract** A study was conducted to investigate the effect of feeding frequency on growth, reproductive performance, body composition and digestive enzyme of broodstock *Litopenaeus vannamei*. Experimental broodstock were fed with *Nereis succinea* for 60 days. Before the start of the experiment, the unilateral eye socket of each broodstock was placed on the eye as an individual marker and the initial body length and weight of each female were determined. The average initial body weight was 41.78 g and the average initial body length was 15.80 cm. The broodstock were randomly divided into three round pools, each with 40 shrimps. Three groups of broodstock were fed to satiation in two times per day, three times per day and four times per day, which were represented by F2, F3 and F4 groups, respectively. Results showed that the feeding amount of broodstock increased gradually with the increase of feeding frequency, and the F2 group was significantly lower than that in group F4 ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the F3 group and the F2 group ( $P > 0.05$ ). The weight gain and body length growth of broodstock increased first and then decreased with the increase of feeding frequency, but there was no significant differences among treatments ( $P > 0.05$ ). Reproductive performances of *Litopenaeus vannamei* were not affected by different feeding frequency in current study ( $P > 0.05$ ). There were no significant differences in single fecundity, relative fecundity, the number of nauplius stage I, hatching rate, the number of zoea stage metamorphosis rate (N1-Z1), gonadosomatic index(GSI), first spawning time and the spawning intervals ( $P > 0.05$ ). The body composition of *Litopenaeus vannamei* including moisture, crude protein, crude Lipid and ash were not affected by feeding frequency ( $P > 0.05$ ). The results showed that the activity of trypsin and lipase of hepatopancreas in the F2 group was significantly lower than that in the F3 and F4 groups ( $P < 0.05$ ), but there was no significant differences among the activity of pepsin and amylase in different experimental groups ( $P > 0.05$ ). Based on the results of this experiment and the actual production conditions, the optimum feeding frequency of nutrient fortification in *Litopenaeus vannamei* broodstock is suggested to be 2 times per day.

**Key words** Feeding frequency; Growth; Reproductive performance; Digestive enzyme activity; Broodstock *Litopenaeus vannamei*

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn