

文章编号: 1004-2490(2021)04-0442-11

# 两种鱼粉水平对9个斑节对虾家系 生长性能及饲料利用的影响

陈振葆<sup>1,2</sup>, 周发林<sup>3</sup>, 姜松<sup>1,2</sup>, 杨其彬<sup>1</sup>,  
黄建华<sup>3</sup>, 杨丽诗<sup>1</sup>, 江世贵<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广州 510300;  
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 3. 中国水产科学研究院  
南海水产研究所深圳试验基地, 广东深圳 518121)

**摘要:** 研究了鱼粉水平分别为30%和20%的饲料对9个斑节对虾(*Penaeus monodon*)家系生长性能及饲料利用的影响, 结果表明, 9个斑节对虾家系在两种鱼粉水平饲料下的特定生长率、存活率、饲料系数及饲料干物质表观消化率差异均不显著( $P > 0.05$ )。20%鱼粉水平饲料组中, 1号、3号、5号、9号家系的存活率分别为 $(58.89 \pm 4.84)\%$ 、 $(55.56 \pm 10.94)\%$ 、 $(73.34 \pm 8.82)\%$ 、 $(64.44 \pm 5.88)\%$ , 显著高于其余家系( $P < 0.05$ )。双因素方差分析结果显示, 饲料鱼粉水平与斑节对虾家系不存在显著性交互作用( $P > 0.05$ ), 说明斑节对虾家系的生长性能及对饲料的利用率与饲料鱼粉水平无关, 而与斑节对虾遗传因素相关, 在饲料蛋白水平高时, 生长速度的差异缩小; 在饲料蛋白水平较低时, 生长遗传效应的显著差异便清楚地显现出来。研究结果可为通过家系选育筛选出适应低鱼粉水平饲料的优良品系提供理论依据及数据参考。

**关键词:** 鱼粉水平; 斑节对虾; 家系; 生长性能; 饲料利用

**中图分类号:** S 968.22 **文献标志码:** A

斑节对虾(*Penaeus monodon*)俗称草虾、九节虾, 具有个体大、适应性强、肉味鲜美等特点, 是世界三大养殖对虾种类之一, 也是我国重要的养殖对虾品种。近年来, 鱼粉价格的不断上涨致使饲料成本不断上升, 鱼粉的相对短缺制约了对虾养殖业的可持续发展, 因此, 寻求新型高效鱼粉替代物成为对虾养殖业亟待解决的问题之一。为了解决鱼粉依赖问题, 一些学者开展了植物蛋白替代鱼粉的研究, 以求降低对虾饲料中鱼粉的添加水平, 并取得了较好的效果<sup>[1-5]</sup>。和鱼粉相比, 植物蛋白的氨基酸组成不平衡, 缺乏蛋氨酸、赖氨酸等某些必需氨基酸, 当饲料中植物蛋白替

代鱼粉水平过高时, 会造成水产养殖对象摄食量下降<sup>[1, 6-7]</sup>、生长缓慢<sup>[6, 8-9]</sup>、饲料利用率降低<sup>[1, 6, 9-10]</sup>等一系列问题。已有的研究表明, 斑节对虾不同家系对饲料利用和饲料蛋白需求存在显著差异<sup>[11-12]</sup>, 黄忠等<sup>[11]</sup>对6个斑节对虾家系进行家系选育, 发现不同斑节对虾家系的生长、成活率及对饲料的利用存在差异; 姜松<sup>[12]</sup>比较研究了不同饲料蛋白水平对斑节对虾家系的影响, 选育出了若干个适应低蛋白水平饲料的斑节对虾家系。因此, 通过家系选育方法, 选育出适应植物蛋白替代部分鱼粉即低鱼粉水平饲料的斑节对虾良种, 为有效解决鱼粉成本问题的另

**收稿日期:** 2019-09-12

**基金项目:** 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-48); 广东省2018年促进经济发展专项(SDYY-2018-02); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费(NO. 2020TD30); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费(2021SD13)

**作者简介:** 陈振葆(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养研究。E-mail: 274595937@qq.com

**通信作者:** 江世贵, 研究员。E-mail: jiangsg@scsfri.ac.cn

外一种途径。

PARIPATANANONT 等<sup>[1]</sup>对斑节对虾的研究表明,大豆浓缩蛋白可以替代斑节对虾饲料中50%的鱼粉,而不会对对虾摄食量、生长、存活、及饲料利用产生不利的影响。在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的研究中,当饲料中发酵豆粕替代小于33.33%鱼粉时,对对虾的增重率、特定生长率、饲料系数和蛋白质效率无显著影响<sup>[13]</sup>。张加润等<sup>[5]</sup>对斑节对虾的研究表明,大豆浓缩蛋白和花生麸组合而成的混合植物蛋白可以替代饲料中20%的鱼粉。本研究利用9个斑节对虾家系为实验材料,比较分析正常鱼粉水平的饲料(饲料鱼粉水平为30%)和以豆粕和大豆分离蛋白为混合植物蛋白源替代33.33%鱼粉的饲料(饲料鱼粉水平为20%)对其生长性能及饲料利用的影响,旨在为进一步开展适应植物蛋白替代部分鱼粉蛋白饲料的斑节对虾良种选育提供基础数据和理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验虾家系构建

以“南海1号”、非洲品系以及泰国来源的种质群体斑节对虾为亲本,采用定向交配设计及人工授精技术,将雄虾成熟精荚移入蜕壳在24 h内的雌虾纳精囊内,建立全同胞家系。构建好的家系在室内水泥池中进行标粗。

### 1.2 实验饲料

实验饲料为2种等氮等脂饲料,分别为正常鱼粉水平饲料(饲料鱼粉水平为30%)和混合植物蛋白替代鱼粉饲料[饲料鱼粉水平为20%,以豆粕和大豆分离蛋白(10:3)为混合植物蛋白源替代正常鱼粉水平饲料配方中33.33%的鱼粉]。所有原料经粉碎后过60目筛,准确称重后按照逐级放大的原则混匀,然后加入油源和适量的水混合均匀,用F-26双螺杆挤条机(华东理工大学科技实业总厂,中国)加工成直径1.20 mm和直径1.50 mm的颗粒饲料,在90℃烘箱(烘箱内放

适量的清水)中烘烤2 h,在装有空调的房间内阴干后置于-20℃冰箱中保存备用。实验饲料配方见表1。

### 1.3 实验对象管理

实验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳基地室内养殖车间进行,试验虾苗来自产卵日期相近( $\pm 2$  d)的9个斑节对虾家系,每个家系随机挑选出大小均匀、体色正常、体质健康的试验对虾,随机分入玻璃纤维桶(500 L),每个鱼粉水平饲料组设置3个平行,每个平行放30尾,两个鱼粉水平所需试验对虾共计180尾,试验虾体长小于5 cm时,投喂直径1.2 mm的颗粒饲料,体长大于5 cm时,投喂直径1.5 mm的颗粒饲料,采用定时表观饱食法进行投喂(8:00、17:00和22:00),每次投喂后分别在1 h和1.5 h观察饵料台内的饲料剩余情况,在1 h内吃完的试验组则增加投喂量,1.5 h内还有剩余饵料的试验组则减少投喂量,每天投喂量为对虾体质量的6%~8%。养殖用水为沙滤海水,经水处理后使用。实验期间,水温27~32℃,盐度28~32,自然采光,24 h不断充氧曝气,养殖实验共计60 d。

### 1.4 生长性能指标测定

实验结束后,将试验虾饥饿24 h,用毛巾吸干试验虾体表水分,计算每个玻璃纤维桶试验虾的数量并称取总质量,用于计算每个家系试验虾的存活率、特定生长率及饲料系数,其计算公式如下:

$$\text{存活率 (survival rate, \%)} = N_t / N_i \times 100 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{特定生长率 (specific growth rate, \% \cdot d^{-1})} \\ = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{饲料系数 (feed conversion ratio)} = F / (W_t - W_0) \quad (3)$$

式(1)~式(3)中, $W_0$ 为实验开始时体质量(g); $W_t$ 为实验结束时质量(g); $t$ 为养殖实验天数(d); $N_t$ 为终末尾数; $N_i$ 为初始尾数; $F$ 为消耗的饲料干物质的质量(g)。

表1 饲料配方组成及营养成分

Tab.1 Composition and nutrient content of experimental diets

(%)

成分 Ingredients	饲料鱼粉水平 Fish meal level of diets	
	30.00%	20.00%
鱼粉 Fish meal	30.00	20.00
豆粕 Soybean meal	20.00	30.00
花生麸 Peanut meal	10.00	10.00
面粉 Wheat flour	19.79	15.69
啤酒酵母 Beer yeast	3.00	3.00
虾头粉 Shrimp head meal	5.00	5.00
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	5.00	5.00
大豆分离蛋白 Soybean protein isolate	0.00	3.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.00	1.00
鱼油 Fish oil	1.00	1.00
豆油 Soybean oil	0.50	1.30
维生素 C Vitamin C	0.10	0.10
胆固醇 Cholesterol	0.50	0.50
复合维生素 Vitamin premix	1.00	1.00
复合矿物质 Mineral premix	1.00	1.00
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.00	1.00
赖氨酸 Lysine	0.00	0.20
蛋氨酸 Methionine	0.10	0.20
羧甲基纤维素 CMC	1.00	1.00
三氧化二钇 $\text{Y}_2\text{O}_3$	0.01	0.01
总计 Sum	100.00	100.00
营养成分 Proximate composition		
水分/% Moisture	9.75	10.47
粗蛋白/% Crude protein	49.08	50.06
粗脂肪/% Crude lipid	8.13	8.18
粗灰分/% Crude ash	10.68	9.71

注:1. 复合维生素( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ):维生素 A,2.5; 维生素 D,6.25; 维生素 E,75; 维生素 K,2.5; 维生素  $\text{B}_1$ ,0.25; 维生素  $\text{B}_2$ ,1.0; 维生素  $\text{B}_3$ ,5.0; 维生素  $\text{B}_6$ ,0.75; 维生素  $\text{B}_{12}$ ,2.5; 叶酸,0.25; 生物素,2.5; 肌醇,379; 纤维素,500。2. 复合矿物质( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ):KCl,90;KI,0.04;NaCl,40;CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O,3;ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,4;CoSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,0.02;FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,20;MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O,3;MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,124;Ca(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O,500;CaCO<sub>3</sub> 215

Note:1. Vitamin premix ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ):VA,2.5; VD,6.25; VE,75; VK,2.5; VB<sub>1</sub>,0.25; VB<sub>2</sub>,1.0; VB<sub>3</sub>,5.0; VB<sub>6</sub>,0.75; VB<sub>12</sub>,2.5; folic acid,0.25; biotin,2.5; inositol,379; cellulose,500。2. Mineral premix ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ):KCl,90; KI 0.04; NaCl,40; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O,3; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,4; CoSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,0.02; FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,20; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O,3; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O,124; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O,500; CaCO<sub>3</sub>,215

## 1.5 粪便收集与饲料干物质表观消化率测定

### 1.5.1 粪便收集

投喂前虹吸干净试验桶中的残饵及粪便,投喂1 h后开始收集粪便,用虹吸法收集粪便至密网上,用镊子挑选新鲜、外表带有包膜的完整粪便,蒸馏水漂洗后用干净滤纸吸干水分,收集至塑料培养皿(湿重30 g),于-20℃冰柜保存备用。测定前粪便于60℃烘干,并使用破碎仪粉碎成粉状待测。

### 1.5.2 粪便和饲料中 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 含量测定

$\text{Y}_2\text{O}_3$  由于具有化学和生物学惰性,因此作为外源指示剂被广泛应用于营养物质表观消化率

的测定,一般在饲料中的添加量为0.01%,根据指示剂及营养成分在饲料和粪便中的含量便可测得营养成分的表观消化率<sup>[14]</sup>。粪便和饲料中  $\text{Y}_2\text{O}_3$  含量采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES法)测定。测定前,粪便和饲料用粉碎仪粉碎,用电子天平(0.0001 g)分别准确称取0.1 g粪便和饲料样品置于干净的凯氏烧瓶(100 mL),用移液枪吸取15 mL浓硝酸(65%~68%)加入瓶中,使样品浸润,同时做一个空白对照。将凯氏烧瓶置于通风橱内带石棉网的电炉上慢慢加热硝化,当溶液烧到仅剩2 mL左右并呈澄清透明时将烧瓶从电炉上取下冷却。冷却后加

入1 mL高氯酸(70%~72%)继续加热,当烧瓶内充满白色烟雾且溶液仅剩1 mL左右时,继续加热5 min然后取下冷却。冷却后,用适量双蒸水洗涤凯氏烧瓶至少4次,用容量瓶(50 mL)定容至50 mL,使用干净漏斗和滤纸将所得溶液过滤,取10 mL过滤液装于塑料离心管(10 mL),所得样品送至中山大学测试中心大楼检测粪便和饲料中 $Y_2O_3$ 含量,用于计算饲料干物质的表观消化率。

其计算公式如下:

饲料干物质表观消化率(apparent feed dry matter digestibility, %) $= (1 - A/A') \times 100$  (4)

式(4)中, $A$ 为饲料中 $Y_2O_3$ 含量, $A'$ 为粪便中 $Y_2O_3$ 含量

## 1.6 数据统计分析

实验结果用平均值 $\pm$ 标准误差(mean $\pm$ SD)表示,数据统计使用SPSS 23.0分析软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并结合Duncan法进行多重比较,检验组间差异显著性( $P < 0.05$ ),采用独立样本 $t$ 检验,检验同一家系不同鱼粉水平饲料组间的差异显著性( $P < 0.05$ ),采用多因素方差分析,检验饲料鱼粉水平与家系间是否存在交互作用( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种鱼粉水平饲料对9个斑节对虾家系生长性能的影响

#### 2.1.1 30%饲料鱼粉水平对9个斑节对虾家系生长性能的影响

经过60 d的养殖实验,30%鱼粉水平下不同家系生长性能存在差异(表2)。1号、2号、7号家系生长较快,它们都显著高于3号、5号、9号家系( $P < 0.05$ );3号、4号、5号、9号家系生长速度较慢,它们的特定生长率都低于所有家系的平均特定生长率( $3.07 \pm 0.09$ )%(表2)。根据特定生长率结果,可以将1号、2号、7号家系确定为快速生长的家系,3号、4号、5号、9号家系的特定生长率低于所有家系的平均特定生长率,可以将它们确定为生长速度较慢的家系,6号、8号家系为中速生长家系。存活率方面,5号( $73.33 \pm 10.00$ )%、9号( $66.66 \pm 3.33$ )%、4号

( $58.89 \pm 1.11$ )%、3号( $55.56 \pm 2.94$ )%家系的存活率较高,它们的存活率都高于所有家系的平均存活率( $46.05 \pm 3.75$ )%(表2)。其中,5号、9号、4号家系都显著高于1号、2号、6号、8号家系( $P < 0.05$ );1号、2号、6号、7号、8号家系成活率较低,它们的存活率都低于所有家系的平均存活率,根据存活率结果,可将5号、9号、4号、3号家系确定为存活率高的家系。在饲料系数方面,4号家系最高( $3.06 \pm 0.12$ ),其显著高于除3号家系以外的其余家系( $P < 0.05$ )。其余家系间差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.2 20%饲料鱼粉水平对9个斑节对虾家系生长性能的影响

经过60 d的养殖实验,20%鱼粉水平下不同家系生长性能见表3。2号( $3.99 \pm 0.05$ )%和7号( $3.68 \pm 0.11$ )%家系生长速度最快,它们的特定生长率显著高于其余各家系( $P < 0.05$ ),3号、4号、5号、8号、9号家系的生长速度较慢,它们的特定生长率都低于所有家系的平均特定生长率( $3.06 \pm 0.10$ )%(表3)。根据特定生长率结果,在饲料鱼粉含量为20%时,可以将2号、7号家系确定为生长快速家系,3号、4号、5号、8号、9号家系确定为生长较慢家系,1号和6号家系为中速生长家系。在存活率方面,1号、3号、4号、5号、9号家系的存活率都高于所有家系的平均存活率( $49.01 \pm 3.72$ )%(表3),其中,5号和9号家系显著高于其余各家系( $P < 0.05$ ),1号、3号、4号家系显著高于2号、7号及8号家系( $P < 0.05$ ),其余家系间差异不显著( $P > 0.05$ )。根据存活率结果,可将5号、9号家系确定为存活率高的家系,1号、3号、4号家系为存活率较高家系。在饲料系数方面,3号家系最高( $2.39 \pm 0.05$ ),其显著高于1号、2号、7号家系( $P < 0.05$ ),其余家系间差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.3 同一斑节对虾家系在两种鱼粉水平饲料下生长性能的比较

根据表2、表3的结果,可以比较同一家系在两种鱼粉水平下的生长性能,如图1可见,同一家系的特定生长率、存活率和饲料系数在30%鱼粉水平饲料组和20%鱼粉水平饲料组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

表2 30%鱼粉水平饲料对9个斑节对虾家系生长性能的影响

Tab.2 Effects of diets of 30% fish meal levels on growth performance of 9 *P. monodon* families

家系编号 Family number	初均重/g Initial weight	末均重/g Final weight	特定增长率/% Specific growth rate	存活率/% Survival rate	饲料系数 Feed conversion ratio
1	0.76 ± 0.01	5.84 ± 0.92	3.36 ± 0.30 <sup>cd</sup>	35.56 ± 4.01 <sup>ab</sup>	1.89 ± 0.09 <sup>a</sup>
2	0.76 ± 0.01	6.70 ± 0.52	3.62 ± 0.12 <sup>d</sup>	40.00 ± 8.39 <sup>bc</sup>	2.04 ± 0.08 <sup>a</sup>
3	0.76 ± 0.01	3.84 ± 0.32	2.70 ± 0.13 <sup>ab</sup>	55.56 ± 2.94 <sup>cd</sup>	2.39 ± 0.16 <sup>ab</sup>
4	0.76 ± 0.01	4.67 ± 0.38	3.01 ± 0.13 <sup>abc</sup>	58.89 ± 1.11 <sup>d</sup>	3.06 ± 0.12 <sup>b</sup>
5	0.75 ± 0.00	3.55 ± 0.31	2.58 ± 0.16 <sup>a</sup>	73.33 ± 10.00 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.24 <sup>a</sup>
6	0.76 ± 0.00	4.85 ± 0.61	3.07 ± 0.21 <sup>abcd</sup>	37.78 ± 4.84 <sup>abc</sup>	2.23 ± 0.27 <sup>a</sup>
7	0.76 ± 0.01	6.19 ± 0.69	3.47 ± 0.20 <sup>cd</sup>	20.00 ± 5.09 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.24 <sup>a</sup>
8	0.76 ± 0.01	5.26 ± 0.58	3.20 ± 0.18 <sup>bcd</sup>	26.66 ± 6.67 <sup>ab</sup>	2.16 ± 0.53 <sup>a</sup>
9	0.75 ± 0.01	3.71 ± 0.23	2.65 ± 0.10 <sup>ab</sup>	66.66 ± 3.33 <sup>d</sup>	1.84 ± 0.08 <sup>a</sup>
平均值 ± 标准误差 Mean ± SD	--	--	3.07 ± 0.09	46.05 ± 3.75	2.20 ± 0.09

注:同列数据上标小写字母相同表示差异不显著( $P > 0.05$ )

Note: Values in the same column with a common superscript are not significantly different ( $P > 0.05$ )

表3 20%鱼粉水平饲料对9个斑节对虾家系生长性能的影响

Tab.3 Effects of diets of 20% fish meal levels on growth performance of 9 *P. monodon* families

家系编号 Family number	初均重/g Initial weight	末均重/g Final weight	特定增长率/% Specific growth rate	存活率/% Survival rate	饲料系数 Feed conversion ratio
1	0.76 ± 0.00	5.27 ± 0.20	3.22 ± 0.07 <sup>b</sup>	58.89 ± 4.84 <sup>bc</sup>	1.82 ± 0.07 <sup>a</sup>
2	0.76 ± 0.01	8.27 ± 0.17	3.99 ± 0.05 <sup>c</sup>	31.11 ± 8.89 <sup>a</sup>	1.81 ± 0.18 <sup>a</sup>
3	0.76 ± 0.01	4.69 ± 0.45	3.00 ± 0.15 <sup>ab</sup>	55.56 ± 10.94 <sup>bc</sup>	2.39 ± 0.05 <sup>b</sup>
4	0.76 ± 0.00	3.77 ± 0.17	2.67 ± 0.08 <sup>a</sup>	60.00 ± 3.85 <sup>bc</sup>	2.24 ± 0.18 <sup>ab</sup>
5	0.75 ± 0.01	3.63 ± 0.23	2.62 ± 0.10 <sup>a</sup>	73.34 ± 8.82 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.12 <sup>ab</sup>
6	0.76 ± 0.00	4.92 ± 0.30	3.11 ± 0.11 <sup>b</sup>	41.11 ± 4.84 <sup>ab</sup>	2.07 ± 0.06 <sup>ab</sup>
7	0.77 ± 0.00	7.05 ± 0.44	3.68 ± 0.11 <sup>c</sup>	25.56 ± 1.11 <sup>a</sup>	1.82 ± 0.24 <sup>a</sup>
8	0.76 ± 0.00	3.61 ± 0.26	2.59 ± 0.13 <sup>a</sup>	31.11 ± 8.68 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.17 <sup>ab</sup>
9	0.77 ± 0.00	3.90 ± 0.66	2.66 ± 0.29 <sup>a</sup>	64.44 ± 5.88 <sup>d</sup>	2.19 ± 0.06 <sup>ab</sup>
平均值 ± 标准误差 Mean ± SD	--	--	3.06 ± 0.10	49.01 ± 3.72	2.07 ± 0.06

注:同列数据上标小写字母相同表示差异不显著( $P > 0.05$ )

Note: Values in the same column with a common superscript are not significantly different ( $P > 0.05$ )

## 2.2 两种鱼粉水平饲料对9个斑节对虾家系饲料干物质表观消化率的影响

如表4所示,在投喂30%鱼粉水平的饲料时,3号家系的饲料干物质表观消化率显著低于1号、7号家系( $P < 0.05$ ),其余各组间差异不显著( $P > 0.05$ )。在投喂20%鱼粉水平的饲料时,2号家系的饲料干物质表观消化率(78.51 ± 0.53)%最高,其显著高于3号、6号、9号家系( $P < 0.05$ ),其余各组间差异不显著( $P > 0.05$ )。虽然同一鱼粉水平饲料下,不同家系之间表现存在差异,但是同一家系的饲料干物质表观消化率在30%鱼粉水平饲料组和20%鱼粉水平饲料组之间差异不显著( $P > 0.05$ )(图2)。

## 2.3 统计指标的主体间效应检验

如表5所示,特定增长率、存活率、饲料系

数、饲料干物质表观消化率等统计指标经双因素方差分析显示,饲料鱼粉水平和家系不存在显著性交互作用( $P > 0.05$ ),其与家系呈现显著相关( $P < 0.05$ ),其中特定增长率、存活率、饲料系数与家系呈现极显著相关( $P < 0.01$ )。

## 2.4 两种鱼粉水平饲料对斑节对虾生长性能及饲料利用的影响

把所有斑节对虾家系视为一个来源丰富的群体,就能得到斑节对虾在两种鱼粉水平饲料下生长性能及对饲料利用的情况,由表2~表4可以看出,斑节对虾在两种鱼粉水平饲料下的特定增长率、饲料效率及饲料干物质表观消化率不存在显著性差异( $P > 0.05$ )。

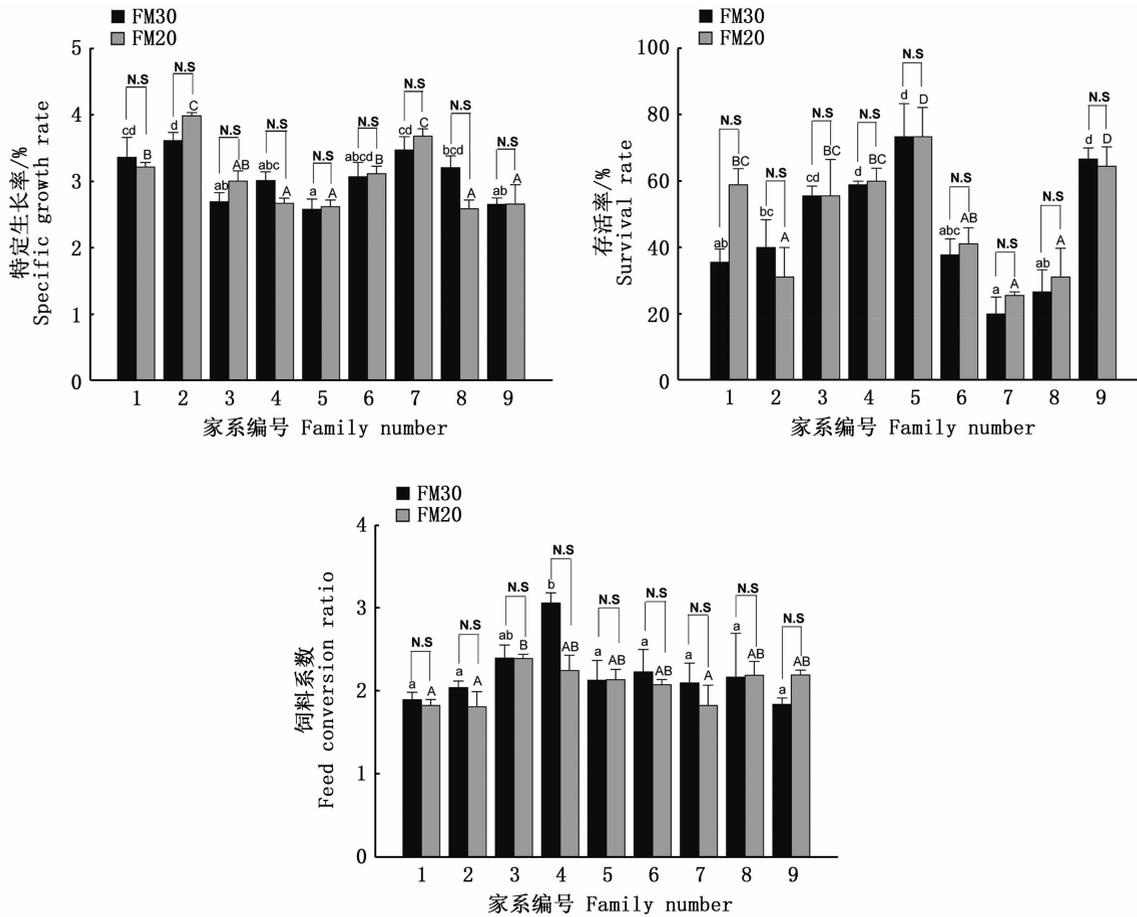


图 1 同一斑节对虾家系在两种鱼粉水平饲料下生长性能的比较

Fig. 1 Comparison of growth performance of the same *P. monodon* family under two dietary fish meal levels

注: FM30 表示饲料鱼粉水平为 30%, FM20 表示饲料鱼粉水平为 20%; 同一颜色柱子上相同小写字母表示组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 同一颜色柱子上相同大写字母表示组间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); N. S 表示组内差异不显著 ( $P > 0.05$ )

Note: FM30 indicates that feed fish meal level is 30%, FM20 indicates that feed fish meal level is 20%; the common lowercase letter on columns of the same color indicates that there is no significant difference between groups ( $P > 0.05$ ); the common capital letter on columns of the same color indicates that there is no significant difference between groups ( $P > 0.05$ ); N. S indicates that there is no significant difference between groups ( $P > 0.05$ )

表 4 两种鱼粉水平饲料对 9 个斑节对虾家系饲料干物质表观消化率的影响

Tab. 4 Effects of two dietary fish meal levels on apparent dry matter digestibility of 9 *P. monodon* families (%)

家系编号 Family number	饲料鱼粉水平 Dietary fish meal level	
	30%	20%
1	78.67 ± 0.77 <sup>b</sup>	77.22 ± 0.74 <sup>ab</sup>
2	77.04 ± 1.26 <sup>ab</sup>	78.51 ± 0.53 <sup>b</sup>
3	74.83 ± 0.66 <sup>a</sup>	75.35 ± 0.98 <sup>a</sup>
4	77.04 ± 0.72 <sup>ab</sup>	77.48 ± 1.32 <sup>ab</sup>
5	76.14 ± 0.94 <sup>ab</sup>	77.08 ± 0.76 <sup>ab</sup>
6	75.93 ± 0.89 <sup>ab</sup>	75.49 ± 0.33 <sup>a</sup>
7	78.45 ± 0.65 <sup>b</sup>	76.61 ± 0.97 <sup>ab</sup>
8	77.59 ± 0.99 <sup>ab</sup>	76.29 ± 0.30 <sup>ab</sup>
9	77.27 ± 0.99 <sup>ab</sup>	75.20 ± 1.42 <sup>a</sup>
平均值 ± 标准误差 Mean ± SD	77.00 ± 0.32	76.58 ± 0.32

注: 同列数据上标小写字母相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )

Note: Values in the same column with a common superscript are not significantly different ( $P > 0.05$ )

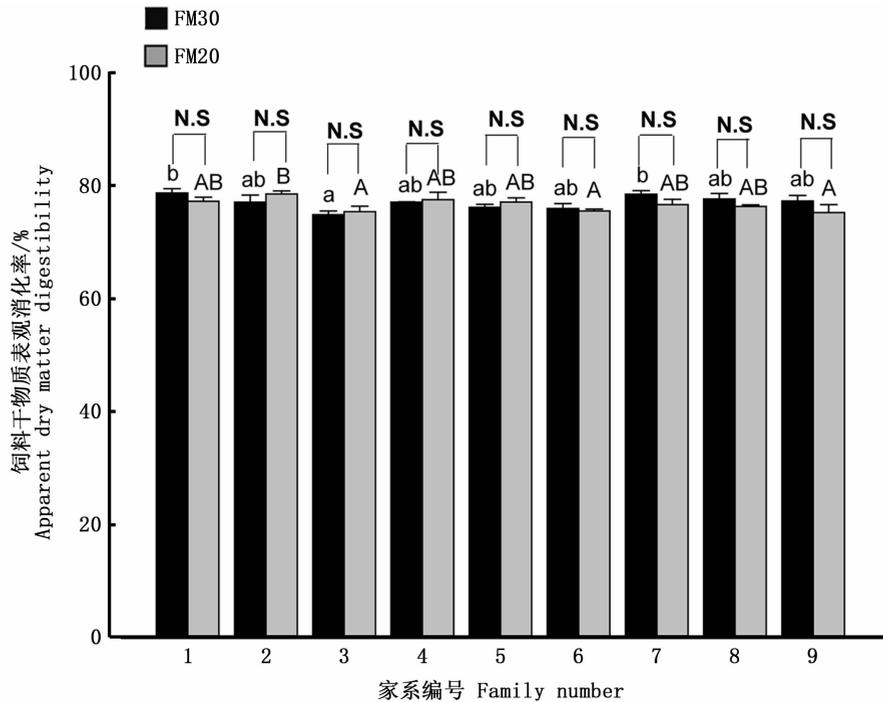


图2 同一斑节对虾家系在两种鱼粉水平饲料下饲料干物质表观消化率比较

Fig. 2 Comparison of apparent feed dry matter digestibility of the same *P. monodon* family under two dietary fish meal levels

注:FM30表示饲料鱼粉水平为30%,FM20表示饲料鱼粉水平为20%;同一颜色柱子上相同小写字母表示组间差异不显著( $P > 0.05$ );同一颜色柱子上相同大写字母表示组间差异不显著( $P > 0.05$ );N.S表示组内差异不显著( $P > 0.05$ )

Note:FM30 indicates that feed fish meal level is 30%,FM20 indicates that feed fish meal level is 20%;the common lowercase letter on columns of the same color indicates that there is no significant difference between groups ( $P > 0.05$ );the common capital letter on columns of the same color indicates that there is no significant difference between groups ( $P > 0.05$ );N.S indicates that there is no significant difference between groups( $P > 0.05$ )

表5 统计指标主体间效应检验

Tab. 5 Test of intersubjective effect of statistical index

	特定增长率/% Specific growth rate	存活率/% Survival rate	饲料系数 Feed conversion ratio	饲料干物质表观消化率/% Apparent feed dry matter digestibility
饲料 Diet	0.85	0.337	0.177	0.315
家系 Family	0.00	0.00	0.008	0.028
饲料*家系 Diet*family	0.087	0.513	0.295	0.356

### 3 讨论

饲料中鱼粉水平从30%下降至20%不会影响对虾的生长性能及饲料利用<sup>[5, 15-16]</sup>。ALVAREZ等<sup>[15]</sup>使用豆粕替代的鱼粉,使得鱼粉水平从29%降至22%后,不影响凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的生长及饲料系数。同样的,LIM等<sup>[16]</sup>使用豆粕替代的鱼粉,使得鱼粉水平从32%降至21.3%后,不影响凡纳滨对虾的生长、饲料系数及蛋白质效率。在本研究中,同一家系在两种鱼粉水平下的特定增长率、饲料系数无显著性差异(图1)。并且,在特定增长率方面,

在20%鱼粉水平下,9个家系中有6个家系的特定增长率在数值上高于30%鱼粉水平饲料组。在饲料系数方面,有研究表明,在低鱼粉替代的情况下,饲料系数降低<sup>[11]</sup>;在本实验中,鱼粉水平从30%下降至20%时,除了8号、9号家系数值升高,其余家系的饲料系数降低,8号、9号家系数值升高的可能原因是家系本身不能适应饲料中增加的大豆蛋白,因为大豆蛋白中含有抗营养因子<sup>[17]</sup>,而大豆蛋白中的某些抗营养因子会降低斑节对虾对饲料中营养物质的利用,导致斑节对虾不得不加大摄食量来弥补机体对营养物质的需求,因此造成了饲料系数指标升高,但具体原因

有待进一步的研究。在饲料利用方面,实验结果表明,同一家系在两种鱼粉水平饲料投喂的情况下,干物质表观消化率数值相近,没有呈现出显著差异性(图2)。综上,说明在本实验条件下,使用豆粕和大豆分离蛋白组成的混合植物蛋白替代斑节对虾饲料中33.33%的鱼粉并不影响斑节对虾的生长及对饲料的利用能力,斑节对虾饲料中使用豆粕和大豆分离蛋白组成的混合植物蛋白替代33.33%的鱼粉具有可行性。

饲料中鱼粉的替代水平与试验虾大小密切相关,试验虾规格越小,对饲料中鱼粉的依赖程度越高。在对初始体质量为1.13 g 凡纳滨对虾的研究中,发现发酵豆粕可以替代1/3的鱼粉(基础饲料中鱼粉含量30%),而在初始体质量为0.10 g 的凡纳滨对虾实验中,发现发酵豆粕替代鱼粉(基础饲料中鱼粉含量33%)的比例不宜超过20%<sup>[18]</sup>。鱼粉替代水平不仅跟试验动物大小有关,还跟饲料鱼粉替代水平有关。当饲料中鱼粉替代水平为100%时,星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)的增重率和特定生长率显著降低<sup>[19]</sup>,在对凡纳滨对虾<sup>[2]</sup>的研究中也发现,鱼粉替代水平过高而增重率和特定生长率降低的情况。本实验中,实验斑节对虾规格较大,体质量在0.76 g左右,鱼粉水平从30%降低到20%没有影响斑节对虾的特定生长率、存活率、饲料系数及饲料干物质表观消化率,说明使用鱼粉水平为20%的饲料投喂体质量为0.76 g的斑节对虾时,不会对其生长造成不良影响。

在本实验中,同一鱼粉水平饲料在投喂不同斑节对虾加锡时生长性能存在显著性差异,这与前人对斑节对虾的研究结果一致<sup>[11, 20-21]</sup>,孔天平等<sup>[22]</sup>对中国对虾家系的研究也得到了相似的成果,不同中国对虾家系在养成期的生长存在显著性差异,造成这种现象的原因是家系之间的遗传物质不同<sup>[12]</sup>。对特定生长率、存活率、饲料系数及饲料干物质表观消化率的多因素方差分析表明(表5),饲料鱼粉水平与斑节对虾家系不存在显著性交互作用,斑节对虾家系的特定生长率、存活率、饲料系数、饲料干物质表现消化率与饲料鱼粉水平无显著性相关,而与家系本身显著性相关,说明特定生长率、存活率、饲料系数及饲料干物质表观消化率受对虾本身的遗传物质主导,从侧面说明了随着饲料中鱼粉水平的降低,

不同斑节对虾的表现型差异就会显现出来,本实验结果说明,斑节对虾不同家系之间具有基因水平的差异性,因此,不同的家系是良好的育种选育材料,通过家系选育的方法选育出适应低鱼粉水平饲料斑节对虾新品种具有可行性。本实验是通过使用10%的豆粕和3%的大豆分离蛋白替代饲料配方中33.33%的鱼粉来降低鱼粉水平,因此,接下来可以考虑进一步降低饲料中的鱼粉水平,增加饲料中大豆蛋白含量,加大饲料中抗营养因子含量的水平变化,加大对斑节对虾的选育强度。

本次实验对虾成活率差异大,投喂鱼粉水平为30%的饲料时,成活率在20.00%~73.33%;投喂鱼粉水平为20%的饲料时,成活率在25.56%~73.34%,同一饲料投喂下,个别家系存活率偏低,与其他家系间存在显著性差异,甚至与个别家系间存在极显著性差异。造成这种现象的原因是由于家系亲本来源地域不同,种质存在差异<sup>[23]</sup>,研究发现,相比较于其他地域来源的亲本,非洲海域来源的亲本产生的家系后代成活率偏低<sup>[24]</sup>。孙苗苗等<sup>[25]</sup>在关于斑节对虾家系抗逆性的研究中发现,家系氨氮抗性的强弱跟母本地域来源有关。姚雪梅<sup>[26]</sup>在凡纳滨对虾杂交系子一代存活率的研究中也发现类似结果。在本次实验中,家系亲本来源有本课题组保种的“南海1号”以及引进的非洲品系和泰国品系,对存活率多因素方差分析也表明,饲料鱼粉水平与斑节对虾家系不存在显著性交互作用,说明斑节对虾的存活率属于遗传效应,跟家系本身的遗传物质相关,但是家系亲本地域来源跟子代死亡率的关系有待进一步研究。

根据本实验结果,在低鱼粉水平饲料投喂的情况下,1号、3号、4号、5号、9号家系的成活率为 $(58.89 \pm 4.84)\%$ 、 $(55.56 \pm 10.94)\%$ 、 $(60.00 \pm 3.85)\%$ 、 $(73.34 \pm 8.82)\%$ 、 $(64.44 \pm 5.88)\%$ ,它们的存活率高于所有家系的平均成活率(49.01%),与30%鱼粉水平饲料组相比不存在显著性差异( $P > 0.05$ ),其中5号和9号家系存活率显著高于其余各家系,因此可以考虑将5号、9号家系作为低鱼粉水平饲料(饲料鱼粉水平为20%)条件下存活率高的亲本留种;在特定生长率方面,2号和7号家系显著高于其他家系,可作为低鱼粉水平饲料条件下生长快速的亲本

留种;在饲料系数和干物质表观消化率方面,家系之间差异较小,可暂时不予考虑。综上,可将2号、5号、7号、9号进行保种。对这些家系进行分子标记,将体内某些适应低鱼粉水平饲料的基因保留下来,并通过定向交配设计及人工授精技术,将具有优良性状的基因遗传给子代并积累下来,然后通过杂交、自交等育种手段把优良性状聚合,培育出可以稳定遗传、经济性状优良的品系。

#### 参考文献:

- [1] PARIPATANANONT T, BOONYARATPALIN M, PENGSENG P, *et al.* Substitution of soy protein concentrate for fishmeal in diets of tiger shrimp *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture Research*, 2015, 32(s1):369-374.
- [2] SUÁREZ J A, GAXIOLA G, MENDOZA R, *et al.* Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) [J]. *Aquaculture*, 2009, 289(1):118-123.
- [3] SUDARYONO, TSVETNENKO, NUTRITION E J A. Evaluation of potential of lupin meal as an alternative to fish meal in juvenile *Penaeus monodon* diets[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 5(4):277-285.
- [4] 韩 斌, 黄旭雄, 华雪铭, 等. 玉米蛋白粉替代部分鱼粉对凡纳滨对虾摄食量、生长和肌肉成分的影响[J]. *水产学报*, 2009, 33(4):658-665.  
HAN B, HUANG X X, HUA X M, *et al.* Effects of corn gluten meal replacing part of fish meal on feed intake, growth and muscle composition of *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of Fisheries*, 2009, 33(4):658-665.
- [5] 张加润, 林黑着, 黄 忠, 等. 饲料中用混合植物蛋白并添加氨基酸替代鱼粉对斑节对虾生长及免疫力的影响[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(5):44-50.  
ZHANG J R, LIN H Z, HUNG Z, *et al.* Effects of mixed vegetable protein and amino acid substituted for fish meal in feed on growth and immunity of *Penaeus monodon* [J]. *Southern Aquatic Science*, 2013, 9(5):44-50
- [6] 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.
- [7] LIM C. Substitution of cottonseed meal for marine animal protein in diets for *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 27(4):402-409.
- [8] NENGAS I, ALEXIS M N, DAVIES S J. Partial substitution of fishmeal with soybean meal products and derivatives in diets for the gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 27(3):147-156.
- [9] JOSEFASUSANA A, ALFREDO H N, JOSE G, *et al.* Substitution of fishmeal with soybean meal in practical diets for juvenile white shrimp *Litopenaeus schmitti* (Perez-Farfante & Kensley 1997) [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 38(7):689-695.
- [10] OPSTVEDT J, AKSNES A, HOPE B, *et al.* Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins [J]. *Aquaculture*, 2003, 221(1):365-379.
- [11] 黄 忠, 林黑着, 黄建华, 等. 斑节对虾6个家系生长、饲料利用和全虾营养成分的比较[J]. *南方水产科学*, 2009, 5(1):42-47.  
HUANG Z, LIN H Z, HUANG J H, *et al.* Comparison of growth, feed utilization and total shrimp nutrients in six families of *Penaeus monodon* [J]. *Southern Aquatic Science*, 2009, 5(1):42-47.
- [12] 姜 松. 饲料蛋白水平对斑节对虾家系的影响[D]. 上海, 上海海洋大学, 2013.  
JIANG S. Effects of dietary protein levels on families of *Penaeus monodon* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [13] 符广才. 凡纳滨对虾饲料中不同大豆蛋白源替代鱼粉蛋白的研究[D]. 广州: 中山大学, 2004.  
FU G C. Study on the substitution of fish meal protein with different soybean protein sources in shrimp feed [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2004.
- [14] 李爱杰. 水产动物营养与饲料[J]. *饲料工业*, 2010, 3(1):14-21.  
LI A J. Aquatic animal nutrition and feed [J]. *Feed Industry*, 2010, 3(1):14-21.
- [15] ALVAREZ J S, HERNÁNDEZ-LLAMAS A, GALINDO J, *et al.* Substitution of fishmeal with soybean meal in practical diets for juvenile white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) Pérez-Farfante & Kensley 1997[J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38(7):689

- 695.
- [16] LIM C, DOMINY W. Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Aquaculture, 1990, 87(1):53-63.
- [17] FRANCIS G, MAKKAR H P S, BECKER K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199(3-4):197-227.
- [18] 冷向军, 王文龙, 李小勤. 发酵豆粕部分替代鱼粉对凡纳滨对虾的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2007, 2007(3):40-41.  
LENG X J, WANG W L, LI X Q. Effects of partial substitution of fermented soybean meal for fish meal on *Penaeus vannamei* [J]. Food and Feed Industry, 2007, 2007(3):40-41.
- [19] SONG Z, LI H, WANG J, et al. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture, 2014, 426-427(1):96-104.
- [20] COMAN G I, CROCOS P I, ARNOLD S J, et al. Growth, survival and reproductive performance of domesticated Australian stocks of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*, reared in tanks and raceways [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4):464-479.
- [21] ARGUE B J, ARCE S M, LOTZ J M, et al. Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura syndrome virus [J]. Aquaculture, 2002, 204(3):447-460.
- [22] 张天时, 孔杰, 刘萍, 等. 中国对虾家系建立及不同家系生长发育的初步研究[J]. 海洋学报. 2007, 29(3):120-124.  
ZHANG T S, KONG J, LIU P, et al. A preliminary study on the establishment and growth of different families of *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Oceanography, 2007, 29(3):120-124.
- [23] MAHIDOL C, NA-NAKORN U, SUKMANOMON S, et al. Mitochondrial DNA diversity of the Asian moon scallop, *Amusium pleuronectes* (Pectinidae), in Thailand [J]. Marine biotechnology, 2007, 9(3):352-359.
- [24] 姜松, 黄建华, 林黑着, 等. 不同饲料蛋白水平下斑节对虾家系生长和存活比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(3):349-356.  
JIANG S, HUANG J H, LIN H Z, et al. Comparative study on growth and survival of *Penaeus monodon* families under different feed protein levels [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(3):349-356.
- [25] 孙苗苗, 黄建华, 杨其彬, 等. 13个斑节对虾家系的生长及抗氨氮特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4):510-516.  
SUN M M, HUANG J H, YANG Q B, et al. Growth and ammonia-resistant characteristics of 13 families of *Penaeus monodon* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4):510-516.
- [26] 姚雪梅. 凡纳滨对虾自交系与杂交系早期生长和存活比较[J]. 水产学报, 2006, 30(6):791-795.  
YAO X M. Comparison of early growth and survival of inbred line and hybrid line of *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Fisheries, 2006, 30(6):791-795.

## Effects of two dietary fish meal levels on growth performance and feed utilization of 9 *Penaeus monodon* families

CHEN Zhenbao<sup>1,2</sup>, ZHOU Falin<sup>3</sup>, JIANG Song<sup>1,2</sup>,

YANG Qibin<sup>1</sup>, YANG Lishi<sup>1</sup>, JIANG Shigui<sup>1</sup>

(1 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Lab of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China; 2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3 Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shenzhen Guangdong 518121, China)

**Abstract:** Effects of dietary fish meal levels (30%, 20%) on growth performance and feed utilization of *Penaeus monodon* from 9 families were conducted under laboratory conditions. Results showed that there was no significant difference in specific growth rate (SGR), survival rate (SR), feed conversion ratio (FCR) and apparent feed dry matter digestibility between 9 *Penaeus monodon* families fed with two dietary fish meal levels. Survival rates of families No. 1, No. 3, No. 5 and No. 9 in 20% fish meal level diet group were  $(58.89 \pm 4.84)\%$ ,  $(55.56 \pm 10.94)\%$ ,  $(73.34 \pm 8.82)\%$ ,  $(64.44 \pm 5.88)\%$ , respectively, which were significantly higher than those of other families. Two-way ANOVA analysis showed that there was no significant interaction between dietary fish meal levels and *P. monodon* families. The growth performance and feed utilization of *P. monodon* families were not related to dietary fish meal levels, but to genetic factors of *P. monodon*, when the diet protein level was high, the phenotypic difference reduced, and when the diet protein level was low, the significant difference of the genetic effect of growth was obvious. The results provide a theoretical basis and data reference for screening fine strains adapted to low dietary fish meal level through family breeding.

**Keywords:** fish meal level; *Penaeus monodon*; families; growth performance; feed utilization