

# 基于家系水平的凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)保种群体 出肉率与表型性状的相关性分析\*

柴展<sup>1,2</sup> 栾生<sup>2</sup> 罗坤<sup>2</sup> 孔杰<sup>2①</sup> 许圣钰<sup>3</sup>

(1. 大连海洋大学水产与生命学院 大连 116023; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室  
中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 3. 青岛海壬水产种业科技有限公司 青岛 266071)

**摘要** 本研究从家系水平上比较凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)保种群体出肉率的差异,评估出肉率性状的选择潜力,寻找替代出肉率的间接选择性状,可为出肉率性状的遗传改良提供技术参数。2012年,保种群体养殖350 d后,测定42个家系(2094尾凡纳滨对虾)的8个表型性状(净肉重、体重、头胸甲长、腹节长、头胸甲-腹节长、体长、全长、肥满度),然后将虾杀死,剖取虾肉,计算出肉率;利用单因素方差分析方法,比较不同家系间出肉率的差异;计算各表型性状与出肉率之间的相关系数,利用逐步回归方法构建表型性状对出肉率的多元线性回归方程。结果显示,凡纳滨对虾家系出肉率的均值为(53.59±3.26)%,分布范围为50.25%–59.51%,变异系数为6.08%,家系间差异达到极显著水平( $P<0.01$ );在8个表型性状中,与出肉率的相关性最高的3个性状分别为净肉重( $r=0.478$ )、头胸甲-腹节长( $r=0.376$ )和腹节长( $r=0.370$ );在表型性状对出肉率的多元线性回归方程中,包括头胸甲-腹节长、体重和头胸甲-腹节长/全长3个性状,预测方程的决定系数为0.172。本研究首次在家系水平上表明,凡纳滨对虾保种群体家系间出肉率差异显著,但遗传变异度较低,为提高遗传进展,需进一步持续收集外部种质资源群体,并对出肉率进行家系间和家系内选择,以便获得期望的遗传进展。已测定表型性状与出肉率均处于中低度线性相关水平,初步获得与出肉率中度相关的间接选择性状;已构建的多元线性回归方程预测出肉率的准确度较低,因此,应进一步采用新的技术如超声波、核磁共振等,测定肌肉横截面积、腹节周长等新的性状,提高预测出肉率的准确性。

**关键词** 凡纳滨对虾; 家系; 出肉率; 相关

**中图分类号** S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)06-0063-08

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是我国重要的对虾养殖品种,2012年海淡水养殖产量达145万t,占我国对虾总产量的90.4%(农业部渔业局,2013)。凡纳滨对虾壳薄体肥、肉质鲜嫩,深受国内外消费者的喜爱。然而,占凡纳滨对虾体重40%以上的头胸甲部

分无法食用,仅腹节部分可直接食用或加工为虾仁(王锭安等,2010)。因此,净肉重占体重比例(即出肉率)越高,其经济价值越大。不同物种的出肉率存在差异,罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*) (Hung *et al.*, 2014)、小龙虾和龙虾(Silva *et al.*, 2010)等其他甲壳类

\* 国家“863”项目“基于全基因组信息的对虾遗传选育”(2012AA10A404)和农业部948项目“基于高通量SNP信息的凡纳滨对虾分子辅助遗传评估技术引进”(2015-Z17)以及青岛市科技成果转化引导计划(青年专项)(14-2-4-52-jch)共同资助。

柴展, E-mail: shandongchaizhan@163.com

① 通讯作者: 孔杰, 研究员, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-11-19, 收修改稿日期: 2015-01-11

动物的出肉率分别为 37%–45%、15%–45%；即使是同一物种，不同研究者的报道也存在一定差异，如陈晓汉等(2001)测定了凡纳滨对虾的出肉率，其变化范围为 53.03%–53.81%，与 Kim 等(2011)报道的变化范围(52.1%–53.0%)相近，但低于 Briggs 等(2004)报道的范围(66%–68%)。

为了准确测定鱼虾个体的出肉率，通常需要杀死受试个体，但这种方法意味着无法实施家系内个体选择，只能进行家系间选择，因为出肉率高的个体已经被杀死，只能选择它的同胞个体留种(Sang *et al.*, 2009)。由此可见，家系间选择通常意味着无法实现遗传进展最大化，因此，寻找与“出肉率”这一参数值相关的形态性状，建立准确的预测方程成为育种研究中的一个重要内容。目前，已在鲈鱼(Bosworth *et al.*, 1998)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*) (Cibert *et al.*, 1999)、养殖鲶鱼(Bosworth *et al.*, 2001)、罗非鱼(董在杰等, 2010)等物种中，报道了体重、体高、体长、体宽等性状与出肉率和净肉重的相关性；也已经报道了克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)、红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*) (安丽等, 2012)和凡纳滨对虾(李刚等, 2007)出肉率和形态性状的相关性，并建立了预测方程。

国内已报道的凡纳滨对虾出肉率测定结果，主要是从个体水平上进行分析，目前尚未见基于家系水平的大样本出肉率的测定报道。本研究选取了相同饲养条件下 42 个凡纳滨对虾家系，共计约 2094 尾凡纳滨对虾成虾，进行了出肉率和表型性状测定，从家系和个体水平上分析出肉率差异，尝试建立表型性状对出肉率性状的回归方程，以期开展凡纳滨对虾出肉率性状的遗传评估提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 凡纳滨对虾保种群体家系构建和养殖管理

奠基者群体为 2012 年引入国内的 8 个凡纳滨对虾亲本群体。将引进的亲虾进行免疫检验、隔离保种，每尾亲虾经过眼柄环标记后，放入虾池中强化培育。2012 年 3 月，挑选性腺发育成熟亲虾，利用定向交尾技术，通过巢式设计(2 尾雄虾与 1 尾雌虾交配；1 尾雌虾与 2 尾雄虾交配)成功建立全同胞家系。每个家系移入孵化车间独立的 170 L 孵化桶，水温 30℃孵化，全部家系生产周期为 24 d。

每个家系孵出幼体后，随机留取 1000 尾在 170 L 孵化桶内继续培育至仔虾。期间的饵料主要包括角毛藻、虾片、螺旋藻、卤虫和配合饲料等。每 4 h 喂 1 次，投喂量和投喂比例根据凡纳滨对虾不同发育阶段进行调整。每天换水，换水量逐渐增加，仔虾阶段

换水量达到 100%。仔虾平均体重达到 3 g 后，每个家系随机抽取 90 尾，单独移入 1 个正方形水泥池(1.2 m × 1.2 m × 0.8 m)养殖，作为保种群体。养殖期间，各家系水质控制、饵料投喂和日常管理等方面均按照标准化程序保持一致，降低各家系环境间的差异。家系个体平均日龄达到 350 d 时，随机选取 42 个家系(每个家系测定样本数大于 30 尾)，共计约 2094 尾凡纳滨对虾作为实验材料，测定表型性状和出肉率。

### 1.2 测量方法

**1.2.1 凡纳滨对虾保种群体表型性状的测量** 先将虾体用滤纸吸干表面水分，在电子天平上测定体重(*BW*)，然后使用直尺测量全长(*TL*)、体长(*BL*)、头胸甲长(*CL*)、腹节长(*SL*)和头胸甲-腹节长(*ESL*) 5 个表型性状。其中，体长是指从眼柄基部到尾脊末端的长度；全长是指从额剑前端到尾脊末端的长度；头胸甲长是指从眼柄基部到头胸甲后缘的长度；腹节长是指全部 6 个腹节的长度；头胸甲-腹节长是指从眼柄基部到第 6 腹节的长度。

肥满度(*CF*):  $CF = 100 \times BW / BL^3$

**1.2.2 凡纳滨对虾保种群体出肉率的测定** 去除虾壳、附肢、鳃、胃等非肌肉部分，用滤纸吸干肌肉表面的水分，然后在电子天平上称重，即净肉重(*FW*)，并计算出肉率(*Y<sub>F</sub>*):

$$Y_F = (FW / BW) \times 100\%$$

所有虾肉均为同一熟练工人剖取，避免人为因素导致净肉重不同。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 对实验数据进行初步整理，然后采用 SPSS 17.0 对凡纳滨对虾表型性状和出肉率进行统计性描述、方差分析、相关以及逐步回归分析，并建立多元线性回归方程。

为进一步综合考虑不同表型性状，将各表型性状两两组合的比值作为新的性状，纳入相关和逐步回归分析中，主要包括 *SL/ESL*、*BL/TL*、*CL/TL*、*SL/TL*、*ESL/TL*、*CL/BL*、*SL/BL*、*ESL/BL* 和 *CL/SL* 等 9 个比值性状。

## 2 结果

### 2.1 凡纳滨对虾保种群体表型性状和出肉率的统计性描述

凡纳滨对虾保种群体出肉率和表型性状数据统计性描述值见表 1。净肉重和体重的分布范围分别为 3.20–31.60 g 和 6.80–56.10 g，变异系数分别为 31.91%

表 1 凡纳滨对虾保种群体表型和出肉率性状的统计性描述

Tab.1 Statistical description of phenotypic and fillet yield traits for the conservation population of *L. vannamei*

| 性状 Traits                                 | 均值 Mean | 极小值 Minimum | 极大值 Maximum | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Variable coefficient(%) |
|---|---------|-------------|-------------|------------------------|------------------------------|
| 出肉率 Fillet yield (%)                      | 53.59   | 33.17       | 68.46       | 3.26                   | 6.08                         |
| 净肉重 Fillet weight (g)                     | 14.21   | 3.20        | 31.60       | 4.54                   | 31.91                        |
| 体重 Body weight (g)                        | 26.37   | 6.80        | 56.10       | 7.72                   | 29.28                        |
| 头胸甲长 Carapace length (cm)                 | 3.51    | 2.30        | 4.80        | 0.36                   | 10.17                        |
| 腹节长 Segment length (cm)                   | 7.79    | 5.00        | 12.30       | 0.77                   | 9.87                         |
| 头胸甲-腹节长 ESL (cm)                          | 11.31   | 7.30        | 15.60       | 1.07                   | 9.43                         |
| 体长 Body length (cm)                       | 13.08   | 8.50        | 21.10       | 1.19                   | 9.11                         |
| 全长 Total length (cm)                      | 15.12   | 10.20       | 19.70       | 1.32                   | 8.73                         |
| 肥满度 Condition factor (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.16    | 0.87        | 1.92        | 0.09                   | 8.07                         |

和 29.28%，个体间有较大差异。出肉率的均值为 53.59%，标准差为 3.26%，变异系数为 6.08%，个体间差异小。从变异系数看，出肉率的遗传改良速度要低于体重和净肉重。

## 2.2 凡纳滨对虾保种群体家系出肉率性能的比较

凡纳滨对虾保种群体 42 个家系出肉率的统计性描述见表 2。每个家系出肉率的变异系数的分布范围在 3.10%–11.05%之间。家系出肉率均值分布范围在 50.25%–59.51%之间，均值为(53.57±1.94)%，变异系数为 3.52%。家系出肉率的单因素方差分析结果见表

3，家系间差异达到极显著水平( $P<0.01$ )，对出肉率进行家系间选择可能具有较大的选择潜力。

## 2.3 凡纳滨对虾保种群体表型与出肉率性状的相关性

从表 4 可以看出，净肉重与出肉率相关系数最大( $r=0.478$ )，其次为头胸甲-腹节长、腹节长、全长、体长、头胸甲长、体重( $0.314\leq r\leq 0.376$ )，肥满度与出肉率的相关性最低( $r=-0.064$ )。在比值性状中， $ESL/TL$ 、 $SL/TL$ 与出肉率的相关性最高，分别为 0.117、0.109，二者与净肉重的相关性也是比值性状中最高的，分别达到 0.195、0.164。

表 2 凡纳滨对虾 42 个全同胞家系出肉率性能比较

Tab.2 Comparison of fillet yield performance of different families of *L. vannamei*

| 家系编号 Family No. | 个体数 Number of individuals (ind.) | 均值 Mean (%) | 极小值 Minimum (%) | 极大值 Maximum (%) | 标准差 Standard deviation (%) | 变异系数 Variable coefficient (%) |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| F31519          | 48                               | 59.51       | 50.72           | 63.41           | 2.53                       | 4.26                          |
| F31813          | 39                               | 58.87       | 49.09           | 64.34           | 2.83                       | 4.81                          |
| F31921          | 44                               | 57.04       | 48.17           | 61.89           | 3.44                       | 6.03                          |
| F31506          | 41                               | 56.93       | 51.55           | 61.43           | 2.45                       | 4.30                          |
| F31518          | 78                               | 55.67       | 48.45           | 68.46           | 2.67                       | 4.80                          |
| F31604          | 30                               | 55.59       | 50.49           | 61.66           | 3.18                       | 5.71                          |
| F31721          | 52                               | 55.38       | 45.14           | 61.61           | 2.72                       | 4.92                          |
| F31520          | 61                               | 54.92       | 49.13           | 59.20           | 1.78                       | 3.24                          |
| F31621          | 44                               | 54.71       | 49.22           | 61.18           | 2.67                       | 4.89                          |
| F32514          | 48                               | 54.18       | 49.46           | 65.27           | 2.57                       | 4.74                          |
| F32413          | 50                               | 54.14       | 42.32           | 60.00           | 2.78                       | 5.13                          |
| F32101          | 34                               | 53.96       | 50.20           | 57.55           | 2.16                       | 4.00                          |
| F32418          | 84                               | 53.95       | 48.43           | 66.49           | 2.51                       | 4.66                          |
| F31609          | 31                               | 53.76       | 50.22           | 59.33           | 2.00                       | 3.72                          |
| F31903          | 34                               | 53.71       | 49.59           | 58.82           | 2.18                       | 4.06                          |
| F31710          | 55                               | 53.70       | 47.21           | 59.09           | 2.35                       | 4.38                          |
| F31712          | 48                               | 53.66       | 49.84           | 66.26           | 2.79                       | 5.21                          |

续表 2

| 家系编号<br>Family No.           | 个体数<br>Number of<br>individuals (ind.) | 均值<br>Mean (%) | 极小值<br>Minimum (%) | 极大值<br>Maximum (%) | 标准差<br>Standard<br>deviation (%) | 变异系数<br>Variable<br>coefficient (%) |
|------------------------------|--|----------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| F31405                       | 69                                     | 53.63          | 48.31              | 59.43              | 2.33                             | 4.35                                |
| F31410                       | 47                                     | 53.58          | 47.38              | 58.69              | 2.18                             | 4.07                                |
| F31511                       | 53                                     | 53.52          | 46.93              | 61.00              | 2.56                             | 4.78                                |
| F31515                       | 69                                     | 53.40          | 47.57              | 60.91              | 2.26                             | 4.23                                |
| F32001                       | 47                                     | 53.25          | 48.53              | 59.23              | 2.20                             | 4.12                                |
| F31411                       | 65                                     | 53.22          | 46.47              | 57.43              | 1.93                             | 3.63                                |
| F32010                       | 45                                     | 53.21          | 50.00              | 57.04              | 1.81                             | 3.41                                |
| F31608                       | 60                                     | 53.02          | 49.24              | 64.90              | 2.37                             | 4.47                                |
| F31809                       | 54                                     | 52.99          | 47.67              | 60.15              | 2.36                             | 4.46                                |
| F31504                       | 48                                     | 52.85          | 47.01              | 57.14              | 2.44                             | 4.61                                |
| F31701                       | 41                                     | 52.57          | 48.11              | 58.02              | 2.41                             | 4.58                                |
| F32107                       | 71                                     | 52.53          | 42.64              | 57.21              | 2.75                             | 5.22                                |
| F32421                       | 68                                     | 52.45          | 37.82              | 59.07              | 3.01                             | 5.74                                |
| F31803                       | 35                                     | 52.29          | 39.08              | 58.66              | 3.43                             | 6.55                                |
| F31909                       | 79                                     | 52.19          | 46.86              | 66.67              | 3.04                             | 5.82                                |
| F31706                       | 55                                     | 52.15          | 42.86              | 67.11              | 3.73                             | 7.16                                |
| F32316                       | 30                                     | 52.14          | 48.65              | 56.61              | 1.87                             | 3.58                                |
| F32308                       | 41                                     | 52.10          | 43.73              | 59.49              | 3.63                             | 6.97                                |
| F31507                       | 48                                     | 52.07          | 43.22              | 63.08              | 3.04                             | 5.84                                |
| F31517                       | 40                                     | 51.89          | 48.45              | 55.18              | 1.61                             | 3.10                                |
| F32002                       | 53                                     | 51.81          | 47.50              | 56.14              | 2.01                             | 3.87                                |
| F31616                       | 46                                     | 51.23          | 36.90              | 59.12              | 4.19                             | 8.17                                |
| F32415                       | 45                                     | 51.22          | 43.59              | 58.10              | 3.41                             | 6.66                                |
| F32506                       | 34                                     | 51.03          | 43.75              | 57.91              | 3.59                             | 7.03                                |
| F31901                       | 30                                     | 50.25          | 33.17              | 64.97              | 5.55                             | 11.05                               |
| 均值 Mean                      | 50                                     | 53.57          | —                  | —                  | 2.70                             | 5.06                                |
| 变异系数<br>Variable coefficient |  | 3.52           |                    |                    |                                  |                                     |

表 3 凡纳滨对虾 42 个全同胞家系的出肉率单因素方差分析  
Tab.3 ANOVA analysis of fillet yield among 42 full-sib families of *L. vannamei*

| 变异来源 Sources         | 平方和 Quadratic sum | 自由度 Degree of freedom | 均方 Mean square | F      | P |
|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------|--------|---|
| 家系间 Between families | 0.683             | 41                    | 0.017          | 22.204 | 0 |
| 家系内 Within families  | 1.540             | 2052                  | 0.001          |        |   |
| 总计 Total             | 2.223             | 2093                  |                |        |   |

#### 2.4 凡纳滨对虾保种群体出肉率多元线性回归方程的建立

选择 *BW*、*CL*、*SL*、*ESL*、*BL*、*TL*、*CF*、*SL/ESL*、*BL/TL*、*CL/TL*、*SL/TL*、*ESL/TL*、*CL/BL*、*SL/BL*、*ESL/BL*、*CL/SL* 等表型性状，通过逐步回归法，初步构建了 4 个多元线性回归方程。尽管净肉重与出肉率的相关性最高，但由于获得该性状值要杀死个体，因此，无法

作为间接选择性状纳入回归方程中。综合多重共线性、决定系数、偏回归系数、方程截距、标准回归系数、标准误差以及回归系数的显著性检验结果等参数，获得表型性状对出肉率的最优多元线性回归方程：

$$y = 0.440 + 0.032 \text{ ESL} - 0.003 \text{ BW} - 0.257 \text{ ESL/TL}$$

该方程决定系数为 0.172，*ESL*、*BW* 和 *ESL/TL* 这 3 个自变量偏回归系数的统计性检验均达到显著性水

表 4 凡纳滨对虾性状间表型相关系数  
Tab.4 The phenotype correlation coefficient between the morphometric traits of *L. vannamei*

| $Y_F$    | $FW$    | $BW$    | $CL$    | $SL$    | $ESL$   | $BL$    | $TL$    | $CF$     | $SL/ESL$ | $BL/TL$  | $CL/TL$  | $SL/TL$  | $ESL/TL$ | $CL/BL$  | $SL/BL$  | $ESL/BL$ | $CL/SL$  |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $Y_F$    | 0.478** | 0.314** | 0.328** | 0.370** | 0.376** | 0.362** | 0.369** | -0.065** | 0.051*   | 0.037    | 0.021    | 0.109**  | 0.117**  | 0.005    | 0.079**  | 0.075**  | -0.054*  |
| $FW$     |         | 0.982** | 0.849** | 0.906** | 0.937** | 0.928** | 0.947** | 0.147**  | 0.049*   | 0.090**  | 0.067**  | 0.164**  | 0.195**  | 0.014    | 0.091**  | 0.090**  | -0.049*  |
| $BW$     |         |         | 0.857** | 0.911** | 0.943** | 0.936** | 0.956** | 0.172**  | 0.043    | 0.089**  | 0.068**  | 0.156**  | 0.188**  | 0.014    | 0.084**  | 0.083**  | -0.045*  |
| $CL$     |         |         |         | 0.763** | 0.885** | 0.878** | 0.879** | 0.011    | -0.383** | 0.143**  | 0.508**  | -0.036   | 0.238**  | 0.413**  | -0.119*  | 0.085**  | 0.384**  |
| $SL$     |         |         |         |         | 0.976** | 0.901** | 0.919** | 0.086**  | 0.300**  | 0.093**  | -0.057** | 0.468**  | 0.425**  | -0.108** | 0.362**  | 0.282**  | -0.296** |
| $ESL$    |         |         |         |         |         | 0.943** | 0.957** | 0.066**  | 0.088**  | 0.115**  | 0.129**  | 0.325**  | 0.386**  | 0.061**  | 0.221**  | 0.232**  | -0.085** |
| $BL$     |         |         |         |         |         |         | 0.960** | -0.101** | -0.001   | 0.309**  | 0.106**  | 0.126**  | 0.179**  | -0.059   | -0.067** | -0.090** | 0        |
| $TL$     |         |         |         |         |         |         |         | 0.061**  | 0.023**  | 0.032**  | 0.038**  | 0.084**  | 0.102**  | 0.017    | 0.054*   | 0.058**  | -0.022   |
| $CF$     |         |         |         |         |         |         |         |          | 0.106**  | -0.569** | -0.087** | 0.079**  | 0.030    | 0.321**  | 0.510**  | 0.619**  | -0.105** |
| $SL/ESL$ |         |         |         |         |         |         |         |          |          | -0.074** | -0.846** | 0.706**  | 0.232**  | -0.781** | 0.674**  | 0.252**  | -0.998** |
| $BL/TL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          | 0.238**  | 0.163**  | 0.287**  | -0.276** | -0.424** | -0.519** | 0.071**  |
| $CL/TL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          | -0.224** | 0.319**  | 0.843**  | -0.342** | 0.082**  | 0.848**  |
| $SL/TL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          | 0.852**  | -0.305** | 0.797**  | 0.589**  | -0.696   |
| $ESL/TL$ |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          | 0.157**  | 0.591**  | 0.617**  | -0.220** |
| $CL/BL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          | -0.073** | 0.403**  | 0.785**  |
| $SL/BL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          | 0.883**  | -0.663** |
| $ESL/BL$ |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          | -0.240** |
| $CL/SL$  |         |         |         |         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )  
\* means significant difference ( $P < 0.05$ ); \*\* means highly significant difference ( $P < 0.01$ )

平( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 凡纳滨对虾保种群体出肉率比较分析

本研究中, 凡纳滨对虾 2012 年保种群体出肉率的均值为(53.59±3.26)%, 接近 Jory(2012)报道的海水虾类出肉率范围(56%–63%)。同一种对虾, 处于不同的生长发育阶段, 其出肉率可能存在差异。在已报道的凡纳滨对虾出肉率研究中, 所分析样本的平均体重或平均净肉重分别为 4.55–9.31 g (陈晓汉等, 2001)、4.20–14.69 g (田丽等, 2013)、21.9–23.6 g (Kim *et al.*, 2011)和 6.26 g (李刚等, 2007), 低于本研究测定样品的规格[平均体重为(26.37±7.72)g, 最大值为 61.80 g]。而 20–25 g 是凡纳滨对虾性腺开始发育的一个临界点, 而本研究中超过 25 g 的对虾占总测试虾的 49.8%, 由此推测, 体重的值越大, 一部分能量可能转换为性腺, 导致出肉率降低。

在出肉率的测定过程中, 不同的工人由于其操作熟练程度、个人习惯差异等原因, 也会造成出肉率的差异。使用 6 种解剖方法测定尼罗罗非鱼的出肉率, 即使是同一种鱼, 不同的剖肉方法, 所获得的出肉率也不相同(Souza *et al.*, 2002)。即使是同一种对虾, 不同的品系之间, 出肉率也存在差异(Rutten *et al.*, 2004; Peterman *et al.*, 2012)。

在本研究中, 家系间差异达到极显著水平( $P<0.01$ ), 但是, 42 个家系出肉率均值分布范围在 50.25%–59.51% 之间, 家系间出肉率的变异系数仅为 3.52%, 表明凡纳滨对虾出肉率测定群体的遗传变异度较低。因此, 为进一步提高出肉率的遗传进展, 仍需进一步引入外部种质资源群体。

#### 3.2 凡纳滨对虾保种群体出肉率和形态性状的相关性回归分析

本研究中, 与出肉率性状相关性最高的性状为净肉重( $r=0.478$ )。然而, 获取净肉重需要杀死个体, 出肉率高的个体无法作为候选亲本, 只能选择其同胞个体参与下一代家系构建, 降低了选择的准确度和遗传进展。因此, 获取除了净肉重外与出肉率相关性较高的可直接测量性状尤为关键。本研究中, 与出肉率相关性较高的表型性状依次是头胸甲-腹节长、腹节长、全长、体长、头胸甲-腹节长、腹节长与全长, 相关系数的范围为 0.314–0.378。在克氏原螯虾和红螯螯虾出肉率和可量性状的相关性分析中(安丽等, 2012), 发现第一腹节宽与克氏原螯虾出肉率的相关性最高

( $r=0.370$ ); 姜巨峰等(2010)在丁鱼岁、川鲶的出肉率与可量性状相关性研究中发现, 与丁鱼岁出肉率最相关的性状为鱼的体高( $r=0.577$ )。在已报道的凡纳滨对虾、克氏原螯虾和红螯螯虾(安丽等, 2012)以及尼罗罗非鱼(董在杰等, 2010)的出肉率研究中, 尚未发现与出肉率高度线性相关的可直接测量性状( $r\geq 0.8$ )。

本研究首次根据凡纳滨对虾表型性状及其比值建立了出肉率的多元线性回归方程, 尽管所得方程的决定系数较低( $R^2=0.17$ ), 略高于国外学者由 4 个变量(体长、体高、体宽和头长)得到预测尼罗罗非鱼方程的决定系数( $R^2=0.15$ ) (Rutten *et al.*, 2004)。然而, 在鱼类育种中, 已经建立了出肉率预测准确度较高的多元线性回归方程, Sang 等(2009)利用鱼体的 4 个部位的长、高、宽、体积、周长等性状研究了鲶鱼的出肉率, 得到出肉率的预测方程的决定系数  $R^2$  高达 0.77; 在养殖鲶鱼中利用超声图像方法得到出肉率的预测方程的决定系数  $R^2=0.56$  (Bosworth *et al.*, 2001), 比利用传统方法研究的尼罗罗非鱼出肉率预测方程的决定系数( $R^2=0.14$ ) (Pires *et al.*, 2006)要高得多。受测定性状和解剖方法限制, 本研究已构建的多元线性回归方程预测出肉率的准确度较低, 下一步应考虑采用新的技术如超声波、核磁共振等, 测定肌肉横截面积、腹节周长等新的性状。

### 参 考 文 献

- 王锭安, 吉宏武. 冷冻即食熟虾仁加工工艺. 食品科技, 2010(4): 133–135
- 田丽, 文菁, 王雁. 凡纳对虾斑节对虾及日本对虾含肉率的比较. 农业与技术, 2013, 33(5): 231
- 安丽, 孟庆磊, 董学飒, 等. 克氏原螯虾和红螯螯虾出肉率与可量性状的相关性. 农学学报, 2012, 2(12): 54–56
- 农业部渔业局. 2013 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2013
- 李刚, 刘小林, 黄皓, 等. 凡纳滨对虾净肉质量的影响因素分析. 海洋科学, 2007, 31(6): 70–74
- 陈晓汉, 陈琴, 谢达祥. 南美白对虾含肉率及肌肉营养价值的评定. 水产科技情报, 2001, 28(4): 165–168
- 姜巨峰, 王玉佩, 李春艳, 等. 丁鱼岁和川鲶含肉率与可量性状的相关性分析. 河北渔业, 2010, 3(10): 8–10
- 董在杰, 梁政远, 徐跑, 等. 尼罗罗非鱼出肉率与可量性状的相关性. 中国水产科学, 2010, 17(2): 212–217
- Bosworth BG, Holland M, Brazil BL, *et al.* Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. J Anim Sci, 2001, 79(6): 1483–1490
- Bosworth BG, Libey GS. Relationship among total weight, body shape, visceral components, and fillet traits in palmetto bass (Striped bass female *Morone saxatilis* × white bass male

- M. chrysops*) and paradise bass (Striped bass female *Morone saxatilis* × yellow bass male *M. mississippiensis*). J World Aquacult Soc, 1998, 29(1): 40–50
- Briggs M, Funge-Smith S, Subasinghe R, *et al.* Introduction and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. FAO: Publication, RAP, 2004
- Cibert C, Fermon Y, Vallod D, *et al.* Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. Aquat Living Resour, 1999, 12(1): 1–10
- Hung D, Nguyen NH. Modeling meat yield based on measurements of body traits in genetically improved giant freshwater prawn (GFP) *Macrobrachium rosenbergii*. Aquaculture International, 2014, 22(2): 619–631
- Jory DTC. Marine Shrimp. In: Lucas JS, Southgate PC (eds) Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants, 2nd edn. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012, 648
- Kim JD, Nhut TM, Hai TN, *et al.* Effect of dietary essential oils on growth, feed utilization and meat yields of white leg shrimp *L. vannamei*. Asian-Australas J Anim Sci, 2011, 24(8): 1136–1141
- Peterman MA, Phelps RP. Fillet yields from four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a red variety. J Appl Aquacult, 2012, 24(4): 342–348
- Pires AV, Fonseca AM, Silva LHS, *et al.* Modeling fillet weight and fillet yield on body traits in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Brazil: Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006
- Rutten JM, Bovenhuis H, Komen H, *et al.* Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture, 2004, 231(1–4): 113–122
- Sang NV, Thomassen M, Klemetsdal G, *et al.* Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). Aquaculture, 2009, 288(3–4): 166–171
- Silva JL, Philips H, Madrid RMM. Post-harvest handling and processing. In: New MB, Valenti WC, Tidwell JH, *et al.* (eds) Freshwater Prawns: Biology and Farming. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010, 400–419
- Souza MLR. Comparison of six filleting methods and their relation with fillet yield and by-products of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) processing. Revista Brasileira de Zootecnia, 2002, 31(3): 1076–1084

(编辑 冯小花)

## Correlation Analysis of Fillet Yield with Phenotypic Traits for Families from Conservation Population of *Litopenaeus vannamei*

CHAI Zhan<sup>1,2</sup>, LUAN Sheng<sup>2</sup>, LUO Kun<sup>2</sup>, KONG Jie<sup>2①</sup>, XU Shengyu<sup>3</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Qingdao Higen Aquabreeding Technology CO., LTD, Qingdao 266071)

**Abstract** The objective of this study on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) was to evaluate the fillet yield performance of different families in the conservation population. A multivariate linear regression equation of fillet yield was established to find alternative indirect traits of fillet yield. A total of 2094 shrimps from 42 full-sib families were randomly sampled for measuring phenotypic traits and fillet yield in the conservation population after rearing 350 days. These traits were measured for each shrimp: fillet weight(*FW*), body weight(*BW*), carapace length(*CL*), segment length(*SL*), the length from the base of eye stalk to the 6th segment(*ESL*), body length(*BL*), total length(*TL*) and condition factor(*CF*). Fillet yield was obtained after anatomizing the shrimp and taking the meat. Differences of fillet yield between different families were analyzed using the ANOVA method. The component of variance and heritability of fillet yield trait were estimated using REML method and an individual animal model. Correlation coefficients between the phenotypic traits and fillet yield were calculated, and the prediction equations for fillet yield were established using step-wise regression analysis method. The results showed that the average fillet yield was 53.59% in *L. vannamei*. The mean of fillet yield between families ranged from 50.25% to 59.51%. The variation coefficient of fillet yield was 6.08% and there were significant differences between families ( $P < 0.01$ ). Three traits having strong correlation with fillet yield were *FW* ( $r=0.478$ ), *ESL* ( $r=0.376$ ) and *SL* ( $r=0.370$ ). The multivariate linear regression equation for fillet yield was composed of *ESL*, *BW* and *ESL/TL*, and the coefficient of determination of the equation was 0.172. This study first implied that difference between families for fillet yield was significant. Although genetic variation for fillet yield was poor at the family level in the conservation population of *L. vannamei*, improved strains or populations will be introduced to increase genetic gain of fillet yield, and desirable genetic gain will be obtained using inter-family and within-family selections. Indirect selection traits with moderate correlation with fillet yield were found because correlation coefficient between phenotypic traits and fillet yield varied from low to moderate. In this study, the prediction accuracy of the constructed multiple linear regression equation for predicting fillet yield was low. Therefore, new technologies including ultrasound, magnetic resonance imaging should be developed, and new traits including cross-sectional area of muscle, circumference of segment should be measured in the future study.

**Key words** *Litopenaeus vannamei*; Family; Fillet yield; Correlation

① Corresponding author: KONG Jie, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn