

## 不同生长时期红螯螯虾表型性状差异分析

陈红林<sup>1</sup>, 秦高婵<sup>2</sup>, 楼宝<sup>1,\*</sup>, 钱豪杰<sup>3</sup>, 姚振海<sup>4</sup>

(1. 浙江省农业科学院 水生生物研究所, 浙江 杭州 310021; 2. 浙江海洋大学 水产学院, 浙江 舟山 316022; 3. 海宁市鸿海养殖有限公司, 浙江 海宁 314400; 4. 海宁市水产技术服务站, 浙江 海宁 314400)

**摘要:**为研究红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus* von Martens)不同生长时期的表型特征,统计了3月龄、4.5月龄和6月龄3个生长期红螯螯虾的体重 $Y_1$ 、肝胰腺质量 $Y_2$ 、全长 $X_1$ 、头胸甲长 $X_2$ 、头胸甲宽 $X_3$ 、腹节总长 $X_4$ 、第一腹节长 $X_5$ 、第一腹节宽 $X_6$ 和掌节长 $X_7$ 共9个性状,对比3个生长期各表型性状间的差异和相关性,分析不同生长时期各表型性状在雌性与雄性群体间的差异,采用多元回归分析分别研究了不同生长时期表型性状与体重的关系,并构建回归方程。结果显示,头胸甲和腹节的长度比例在幼虾和成虾中保持一致,而宽度指标(头胸甲宽、第一腹节宽)在6月龄阶段显著( $P < 0.05$ )增长。随着红螯螯虾的生长,大部分性状间的相关性降低,雌雄群体间表型性状的差异逐渐增加。3月龄阶段的回归方程为 $Y_1 = -31.33 + 0.73X_2 + 0.91X_3$ ;4.5月龄阶段的回归方程分别为 $Y_1 = -65.25 + 1.29X_3 + 0.89X_4 + 1.46X_6$ (雌性)、 $Y_1 = -69.67 + 1.17X_3 + 0.40X_7 + 1.77X_6 + 0.59X_4$ (雄性);6月龄阶段的回归方程分别为 $Y_1 = -79.77 + 1.01X_1 - 1.89X_6 + 1.15X_7$ (雌性)、 $Y_1 = -98.02 + 0.72X_1 + 1.22X_7$ (雄性)。从3个生长时期的回归方程可以看出,各表型性状在不同时期与体重的相关性差异较大。研究结果可为红螯螯虾的选育工作提供理论依据。

**关键词:**红螯螯虾;表型性状;雌雄差异;相关系数;回归分析

中图分类号:S966.12

文献标志码:A

文章编号:1004-1524(2020)12-2154-08

## Analysis on phenotypic traits of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in different growth stages

CHEN Honglin<sup>1</sup>, QIN Gaochan<sup>2</sup>, LOU Bao<sup>1,\*</sup>, QIAN Haojie<sup>3</sup>, YAO Zhenhai<sup>4</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 3. Honghai Culture Co., Ltd., Haining 314400, China; 4. Haining Aquaculture Technology Service Station of Zhejiang Province, Haining 314400, China)

**Abstract:** In order to study the phenotypic characteristics of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in different growth stages, nine phenotypic traits including body weight ( $Y_1$ ), hepatopancreas weight ( $Y_2$ ), full-length ( $X_1$ ), cephalothorax length ( $X_2$ ), cephalothorax width ( $X_3$ ), total abdominal segment length ( $X_4$ ), first abdominal segment length ( $X_5$ ), first abdominal segment width ( $X_6$ ), propodite length ( $X_7$ ) in three growth stages of 3 months, 4.5 months and 6 months were measured and analyzed. The differences of the phenotypic traits in the three stages were compared, and the correlations of the phenotypic traits in different growth stages were analyzed.

Multiple regression equations of phenotypic traits to body weight of male and female red claw crayfish populations in

收稿日期:2020-06-16

基金项目:浙江省农业科学院水产学科建设经费(SSS2019005)

作者简介:陈红林(1989—),女,辽宁铁岭人,博士,助理研究员,主要从事水产动物遗传育种研究。E-mail: chen honglin@ zaas. ac. cn

\* 通信作者, 楼宝, E-mail: loubao6577@163.com

different growth stages were constructed to measure the relevance of phenotypic traits and body weight. The results showed that the proportion of cephalothorax or abdominal segments to full-length remained the same in juvenile and adult stage, while the width index increased significantly ( $P < 0.05$ ) at 6 months of age. With the growth of red claw crayfish, the correlations among the majority of the traits decreased, and the differences in phenotypic characteristics between male and female populations gradually increased. The regression equation in 3 months of age was  $Y_1 = -31.33 + 0.73X_2 + 0.91X_3$ . The regression equation in 4.5 months of age was  $Y_1 = -65.25 + 1.29X_3 + 0.89X_4 + 1.46X_6$  for female and  $Y_1 = -69.67 + 1.17X_3 + 0.40X_7 + 1.77X_6 + 0.59X_4$  for male, respectively. The regression equation in 6 months of age was  $Y_1 = -79.77 + 1.01X_1 - 1.89X_6 + 1.15X_7$  for female and  $Y_1 = -98.02 + 0.72X_1 + 1.22X_7$  for male, respectively. These results could provide theoretical basis for the selective breeding of red claw crayfish.

**Key words:** red claw crayfish; phenotypic characters; sexual dimorphism; correlation coefficient; regression analysis

红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus* von Martens), 又称澳洲淡水龙虾, 隶属于节肢动物门, 软甲纲, 十足目, 拟螯虾科, 滑螯虾属。红螯螯虾原产于澳大利亚, 目前在东南亚、非洲、南美洲等地均有集约化或半集约化养殖<sup>[1]</sup>。红螯螯虾的生长速度快, 适宜条件下 6~9 月龄即可达到商品规格<sup>[2-3]</sup>, 其攻击性较低, 对环境条件的耐受性较强<sup>[4]</sup>, 出肉率明显高于克氏原螯虾<sup>[5]</sup>, 市场前景十分可观。

自 1992 年湖北省水产科学研究所将其引进国内至今, 红螯螯虾已经在我国多个地区大面积养殖。顾志敏等<sup>[6]</sup>研究总结了红螯螯虾的室内人工育苗技术, 育苗成活率达到 60% 以上; Cortés-Jacinto 等<sup>[7]</sup>研究了饲料中蛋白含量对红螯螯虾增重和成活率的影响; Gao 等<sup>[8]</sup>鉴定了 3 种白斑综合征病毒 (WSSV) 对红螯螯虾的致死率, 发现 WSSV-CN01 对红螯螯虾具有高毒性; Liu 等<sup>[9]</sup>通过使用白斑综合征病毒 (WSSV) 感染红螯螯虾 Hpt 细胞, 发现红螯螯虾的免疫应答通路、应激反应通路、细胞骨架系统和信号转导通路等均参与了抗病毒信号调节过程; Wang 等<sup>[10]</sup>通过对酶活性变化的分析, 探讨 WSSV 感染红螯螯虾的致病机理; Duan 等<sup>[11]</sup>发现 WSSV 病毒通过质膜微囊介导的胞吞作用侵入红螯螯虾的粒细胞。总的来看, 有关红螯螯虾繁殖习性、营养需求、人工繁育技术、免疫、抗病等方面的研究已经取得了一定的进展, 但是红螯螯虾的良种选育工作尚未开展。优良品种的缺乏会导致苗种数量少、品质不稳定, 从而阻碍红螯螯虾的产业化发展。同时, 关于红螯螯虾表型性状在各生长时期变化的研究至今仍鲜见报道, 而表型性状与养殖经济效益密切相关, 是良种选育的重要目标。

因此, 有必要对红螯螯虾的表型性状进行对比分析, 探索各表型性状之间, 以及与体重之间的关系, 为红螯螯虾的良种选育工作奠定基础。

由于具有坚硬的外壳, 因此甲壳类动物的生长集中在短暂的蜕壳期, 表现出阶段式的生长特点<sup>[12]</sup>。这种生长模式使得甲壳类动物在各发育阶段的形态变化较大。根据红螯螯虾的发育特征, 本研究选取 3 月龄、4.5 月龄和 6 月龄红螯螯虾作为研究对象。之所以选择这 3 个时间点, 是因为它们是红螯螯虾生长发育的重要节点, 其中: 3 月龄红螯螯虾的第二性征 (雄性螯肢外侧的红色薄膜, 雌性游泳足卵生刚毛) 未开始发育; 4.5 月龄红螯螯虾的第二性征开始发育; 6 月龄红螯螯虾的性征发育完全, 已达到性成熟。本研究对红螯螯虾各表型性状进行对比分析, 并研究各生长时期雌性和雄性群体之间的表型差异及其与体重的关系, 旨在了解红螯螯虾各生长时期, 及雌雄群体间表型性状的差异, 进而阐明红螯螯虾的生长特征, 为红螯螯虾的大规模推广养殖和良种选育工作打下基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本来源与数据采集

试验使用的红螯螯虾取自浙江省海宁市鸿海养殖有限公司, 分别随机选择健康、肢体完整的 3、4.5、6 月龄红螯螯虾 31 尾、94 尾和 85 尾。使用电子天平准确测量其体重  $Y_1$  (g) 和肝胰腺质量  $Y_2$  (g); 使用游标卡尺准确测量表型性状 (mm), 包括全长  $X_1$  (图 1 中 B 点到 H 点的直线距离)、头胸甲长  $X_2$  (图 1 中 B 点到 F 点的直线距离)、头胸甲宽  $X_3$  (图 1 中 D 点到 E 点的直线

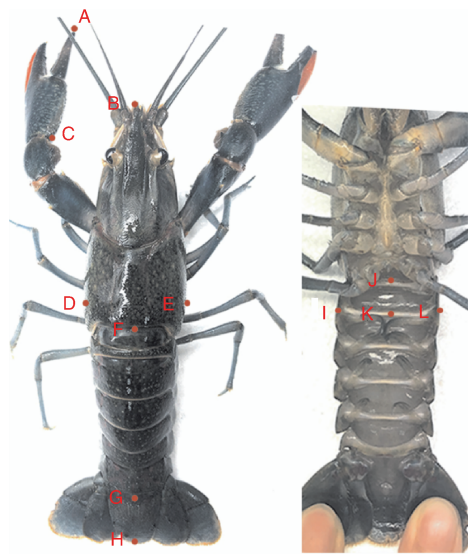


图 1 红螯螯虾表型性状测量示意图

Fig. 1 Measurement of phenotypic traits of red claw crayfish

距离)、腹节总长  $X_4$  (图 1 中 F 点到 G 点的直线距离)、第一腹节长  $X_5$  (图 1 中 J 点到 K 点的直线距离)、第一腹节宽  $X_6$  (图 1 中 I 点到 L 点的直线距离)和掌节长  $X_7$  (图 1 中 A 点到 C 点的直线距离)。

1.2 分析方法

使用 SPSS 19.0 软件对各生长时期的表型数据进行描述性统计和相关性分析。

由于不同月龄红螯螯虾的表型性状差异较大,因此在比较不同生长时期的表型性状时,需要对数据进行校正处理,即以  $X_1$  为参照,将  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  的数据分别除以  $X_1$ ;以  $Y_1$  为参照,用  $Y_2$  除以  $Y_1$ 。获得各性状的标准化数据之后,再进行比较分析。

对 3、4.5、6 月龄红螯螯虾的各性状进行描述性统计和单因素方差分析,对有显著 ( $P < 0.05$ ) 差异的,采用 Tukey 法进行多重比较。同时,分别对 3 个生长时期的雌性和雄性群体进行差异显著性检验。

对 3 个生长时期的红螯螯虾各性状进行皮尔逊 (Pearson) 相关分析,运用逐步引入-剔除法构建表型性状对体重的多元回归方程。

2 结果与分析

2.1 表型统计

将不同生长时期红螯螯虾各表型性状的平均值与变异系数列于表 1,其中,  $Y_2$ 、 $X_1$  和  $X_4$  的变异系数从大到小依次为 3 月龄  $>$  4.5 月龄  $>$  6 月龄,  $Y_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_6$  的变异系数从大到小依次为 3 月龄  $>$  6 月龄  $>$  4.5 月龄,以上性状均在幼虾期的个体差异最大,适合在幼虾期进行选择;  $X_5$  和  $X_7$  的变异系数在 6 月龄最大,说明  $X_5$  和  $X_7$  适合在成虾中进行选择。红螯螯虾在 3 ~ 4.5 月龄间的增重小于 4.5 ~ 6 月龄的增重,而  $X_1$  的变

表 1 不同生长时期红螯螯虾表型性状的统计结果

Table 1 Statistical analysis of phenotypic traits of red claw caryfish in different growth stages

性状 Trait	月龄 Month	平均值 Mean	变异系数 CV/%
$Y_1$ /g	3	19.30	28.03
	4.5	40.86	21.39
	6	62.75	24.57
$Y_2$ /g	3	1.32	0.29
	4.5	2.75	0.26
	6	4.30	0.24
$X_1$ /mm	3	94.44	10.11
	4.5	122.65	8.10
	6	138.72	7.76
$X_2$ /mm	3	45.67	9.81
	4.5	59.17	8.01
	6	67.66	8.20
$X_3$ /mm	3	18.93	12.04
	4.5	24.57	8.22
	6	29.10	8.52
$X_4$ /mm	3	32.93	9.75
	4.5	42.57	7.56
	6	48.14	7.19
$X_5$ /mm	3	7.62	10.37
	4.5	9.79	8.07
	6	11.72	14.51
$X_6$ /mm	3	18.13	9.93
	4.5	23.97	9.01
	6	27.99	9.90
$X_7$ /mm	3	28.44	11.60
	4.5	39.32	12.03
	6	50.35	12.95

$Y_1$ , 体重;  $Y_2$ , 肝胰腺质量;  $X_1$ , 全长;  $X_2$ , 头胸甲长;  $X_3$ , 头胸甲宽;  $X_4$ , 腹节总长;  $X_5$ , 第一腹节长;  $X_6$ , 第一腹节宽;  $X_7$ , 掌节长。下同。

CV, Coefficient of variation.  $Y_1$ , Body weight;  $Y_2$ , Hepatopancreas weight;  $X_1$ , Full length;  $X_2$ , Cephalothorax length;  $X_3$ , Cephalothorax width;  $X_4$ , Total abdominal segment length;  $X_5$ , First abdominal segment length;  $X_6$ , First abdominal segment width;  $X_7$ , Propodite length. The same as below.

化与之相反,说明红螯螯虾体重与体长的增长并不同步。

2.2 不同生长时期的表型性状比较

将校正后的红螯螯虾不同生长时期的表型性状差异比较结果列于表2。从表2可以得知,6月龄红螯螯虾的 $X_3/X_1$ 、 $X_5/X_1$ 、 $X_6/X_1$ 显著( $P < 0.05$ )高于3月龄和4.5月龄,说明在4.5~6月龄阶段红螯螯虾的宽度指标( $X_3$ 、 $X_6$ )增长迅速。 $X_7/X_1$ 随着月龄的增加显著( $P < 0.05$ )增长,说明 $X_7$ 的生长快于 $X_1$ 。而 $X_2/X_1$ 和 $X_4/X_1$ 在各生长时期均无显著差异,说明 $X_2$ 和 $X_4$ 在各生长时期的增长比例保持一致。同样的,肝胰腺比重( $Y_2/Y_1$ )也在3个生长时期保持稳定。

2.3 雌雄群体的表型性状比较

分别对3个生长时期红螯螯虾雌雄群体的

表型性状进行差异显著性分析。如表3所示,随着红螯螯虾的规格变大,雌雄群体间表型性状的差异逐渐增加。3月龄阶段雌雄群体之间各表型性状无显著差异;4.5月龄时,雌性个体的 $X_6$ 和 $Y_2$ 极显著( $P < 0.01$ )高于雄性;6月龄阶段,雄性个体的 $Y_1$ 和 $X_7$ 均显著( $P < 0.05$ )高于雌性,而 $X_5$ 和 $X_6$ 均极显著( $P < 0.01$ )小于雌性个体。在3个生长时期中, $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 和 $X_4$ 在雌雄群体间始终无显著差异。雌性红螯螯虾的 $X_6$ 在4.5、6月龄均极显著( $P < 0.01$ )大于雄性,且随着月龄增加差异增大。

2.4 相关分析

表4和表5列出了3个生长时期红螯螯虾各表型性状之间的相关性分析结果。3月龄和4.5月龄阶段各性状之间的相关关系大致相同,而6月

表2 不同发育阶段红螯螯虾的表型性状差异

Table 2 Phenotypic differences of red crayfish in different growth stages

生长时期	$X_2/X_1$	$X_3/X_1$	$X_4/X_1$	$X_5/X_1$	$X_6/X_1$	$X_7/X_1$	$Y_2/Y_1$
Growth stage							
3月龄 3 months	48.89 ± 0.97 a	20.31 ± 0.73 b	34.33 ± 0.99 a	7.99 ± 0.50 b	18.84 ± 0.63 b	31.26 ± 2.27 c	7.03 ± 1.05 a
4.5月龄 4.5 months	48.28 ± 1.11 a	20.05 ± 0.65 b	34.72 ± 1.08 a	7.99 ± 0.48 b	19.54 ± 0.74 b	32.07 ± 2.76 b	6.79 ± 1.29 a
6月龄 6 months	48.77 ± 1.54 a	21.00 ± 1.20 a	34.74 ± 1.30 a	8.47 ± 1.21 a	20.20 ± 1.55 a	36.21 ± 2.80 a	6.98 ± 1.20 a

同列数据后无相同字母的表示差异显著( $P < 0.05$ )。  
Data marked without the same letters in the same columne indicated significant difference at  $P < 0.05$ .

表3 不同生长时期红螯螯虾雌雄群体的表型性状差异

Table 3 Differences in phenotypic traits between male and female red crawfish in different growth stages

性状 Trait	性别 Sex	3月龄 3 months	4.5月龄 4.5 months	6月龄 6 months
$Y_1$	雌 Female	24.44 ± 7.07	41.04 ± 8.34	57.93 ± 17.24 *
	雄 Male	24.77 ± 6.70	40.44 ± 9.31	65.45 ± 13.92
$Y_2$	雌 Female	1.72 ± 0.61	2.96 ± 0.72 **	4.13 ± 0.99
	雄 Male	1.74 ± 0.50	2.53 ± 0.65	4.4 ± 1.03
$X_1$	雌 Female	103.02 ± 11.47	123.99 ± 9.44	137.94 ± 14.09
	雄 Male	103.05 ± 10.63	121.34 ± 10.41	139.42 ± 8.41
$X_2$	雌 Female	50.24 ± 5.82	59.48 ± 4.66	66.81 ± 6.30
	雄 Male	50.75 ± 5.78	58.79 ± 4.90	68.42 ± 4.62
$X_3$	雌 Female	20.87 ± 2.62	24.92 ± 1.94	29.25 ± 3.21
	雄 Male	21.17 ± 2.67	24.19 ± 2.10	29.04 ± 2.03
$X_4$	雌 Female	35.44 ± 3.53	42.94 ± 3.04	49.05 ± 4.43
	雄 Male	35.03 ± 3.33	42.06 ± 3.39	47.66 ± 2.74
$X_5$	雌 Female	8.21 ± 1.00	9.81 ± 0.81	12.66 ± 2.37 **
	雄 Male	8.24 ± 0.88	9.73 ± 0.79	11.19 ± 0.86
$X_6$	雌 Female	19.49 ± 2.02	24.65 ± 2.20 **	29.96 ± 3.40 **
	雄 Male	19.07 ± 1.74	23.23 ± 1.93	26.92 ± 1.57
$X_7$	雌 Female	31.92 ± 4.60	38.58 ± 4.74	48.16 ± 6.92 *
	雄 Male	32.95 ± 4.94	40.07 ± 4.78	51.60 ± 6.08

\* 和 \*\* 分别表示该项指标的雌雄群体间差异显著( $P < 0.05$ )和极显著( $P < 0.01$ )。  
\* and \*\* indicated significant difference for the corresponding index between male and female population at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level, respectively.

表 4 3 月龄(上三角)和 4.5 月龄(下三角)红螯螯虾表型性状的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of phenotypic traits of 3 months red crawfish (upper triangle) and 4.5 months red crawfish (lower triangle)

性状 Trait	$Y_1$	$Y_2$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$Y_1$	1.00	0.81	0.98 **	0.98 **	0.98 **	0.97 **	0.84	0.97 **	0.54
$Y_2$	0.79	1.00	0.79	0.79	0.82	0.72	0.63	0.77	0.47
$X_1$	0.96 **	0.70	1.00	0.98 **	0.95 **	0.97 **	0.84	0.97 **	0.46
$X_2$	0.95 **	0.68	0.97 **	1.00	0.96 **	0.97 **	0.84	0.98 **	0.49
$X_3$	0.94 **	0.70	0.94 **	0.94 **	1.00	0.94 **	0.81	0.95 **	0.52
$X_4$	0.96 **	0.79	0.94 **	0.92 **	0.91 **	1.00	0.87 **	0.98 **	0.44
$X_5$	0.82	0.71	0.81	0.82	0.78	0.86 **	1.00	0.87 **	0.39
$X_6$	0.94 **	0.80	0.94 **	0.91 **	0.90 **	0.95 **	0.84	1.00	0.44
$X_7$	0.77	0.79	0.81	0.76	0.70	0.68	0.70	0.52	1.00

\* 和 \*\* 分别表示相关性达到显著( $P < 0.05$ )和极显著( $P < 0.01$ )水平。表 5 同。  
\* and \*\* indicated significant correlation at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively. The same as in Table 5.

表 5 6 月龄红螯螯虾表型性状相关系数

Table 5 Correlation coefficient of phenotypic traits of 6 months red crawfish

性状 Trait	$Y_1$	$Y_2$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$Y_2$	0.68							
$X_1$	0.91 **	0.57						
$X_2$	0.90 **	0.66	0.94 **					
$X_3$	0.68	0.59	0.76	0.86 **				
$X_4$	0.75	0.53	0.88 **	0.87 **	0.87 **			
$X_5$	0.11	0.16	0.31	0.38	0.70	0.65		
$X_6$	0.44	0.33	0.65	0.63	0.80	0.85	0.80	
$X_7$	0.92 **	0.67	0.86	0.89 **	0.76	0.75	0.24	0.47

龄阶段性状之间的相关性明显降低。 $Y_1$  与  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_1$  与  $X_2$ 、 $X_2$  与  $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_3$  与  $X_4$  在 3 个生长时期均保持极显著( $P < 0.01$ )相关关系。3 月龄和 4.5 月龄中, $X_7$  与其他表型性状的相关性均未达到显著水平。6 月龄中, $X_7$  和  $Y_1$ 、 $X_2$  的相关性达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。各生长时期, $Y_2$  与其他表型性状均无显著相关关系。 $Y_1$  与  $X_7$  的相关系数随着月龄的增加而增加,其相关性在 6 月龄达到极显著水平,而  $Y_1$  与其他表型性状的相关系数随着月龄的增加而减小。这可能是由于雄虾发育后期螯肢会增大,直接导致体重增加,所以两者呈现出极显著相关性,但是其他表型性状在此期间并未发生较大变化,所以与不断增加的体重的相关性逐渐减小。

以 3 个生长时期雌、雄群体的体重( $Y_1$ )为因变量,各表型性状为自变量,进行多元回归。由于 3 月龄的红螯螯虾雌、雄群体之间各表型性状无显著差异,因此 3 月龄阶段不对雌、雄群体分别构建方程。3 月龄阶段的回归方程为  $Y_1 = -31.33 + 0.73X_2 + 0.91X_3$ ;4.5 月龄阶段雌性和

雄性的回归方程分别为  $Y_1 = -65.25 + 1.29X_3 + 0.89X_4 + 1.46X_6$  和  $Y_1 = -69.67 + 1.17X_3 + 0.4X_7 + 1.77X_6 + 0.59X_4$ ;6 月龄阶段雌性和雄性的回归方程分别为  $Y_1 = -79.77 + 1.01X_1 - 1.89X_6 + 1.15X_7$  和  $Y_1 = -98.02 + 0.72X_1 + 1.22X_7$ 。决定系数( $R^2$ )直接反映自变量对因变量的解释程度。本研究得到的 5 个回归方程的  $R^2$  在 0.89 ~ 0.97,说明自变量对因变量的解释程度较高。由回归方程可知, $X_7$  对体重的影响程度随着生长时期的推进而增加;3 月龄阶段  $X_7$  对体重无显著影响,4.5 月龄阶段  $X_7$  仅对雄性体重有显著( $P < 0.05$ )影响,6 月龄阶段  $X_7$  对雌性和雄性体重均有显著( $P < 0.05$ )影响。 $X_1$  仅在 6 月龄阶段对体重有显著( $P < 0.05$ )影响。对比雌性和雄性群体:4.5 月龄阶段, $X_7$  仅对雄性体重有显著( $P < 0.05$ )影响;6 月龄阶段, $X_6$  仅对雌性体重有显著( $P < 0.05$ )影响。

3 讨论

### 3.1 特定生长时期的选择

本研究根据红螯螯虾的生长发育特征, 选用了3个比较有代表性的生长时期进行试验。其中, 3月龄, 红螯螯虾第二性征未显现, 要通过生殖孔差异判别雌雄; 4.5月龄, 红螯螯虾的雄性第二性征开始显现, 雌性第二性征未显现; 6月龄, 红螯螯虾雌雄第二性征均完全显现, 性腺发育良好, 可进行繁殖。本研究发现, 6月龄红螯螯虾各表型性状的相关关系相比前2个生长时期发生了较大的变化, 表明在第二性征发育过程中红螯螯虾的外形发生了较大的改变。

### 3.2 雌雄生长差异

有研究认为, 雄性红螯螯虾的生长较雌性快<sup>[13]</sup>。本研究发现, 3月龄阶段红螯螯虾的体重和全长在雌雄群体之间无显著差异。随着生长时期的推进, 红螯螯虾雌雄群体的体重差异逐渐增大, 6月龄阶段雄性的体重显著高于雌性。此结果与 Jones<sup>[14]</sup>报道的7~10月龄雄性的成体规格高于雌性, 以及 Curtis 等<sup>[15]</sup>报道的10月龄雄性红螯螯虾的增重大于雌性的结果一致, 说明红螯螯虾的雌、雄规格差异一般出现在生长后期。本研究还发现, 各生长时期雄性红螯螯虾的掌节长均高于雌性, 结合多元回归方程的结果, 掌节长在6月龄对体重有显著影响, 说明掌节长可能是造成雌、雄红螯螯虾生长后期体重差异的重要因素。4.5月龄和6月龄阶段, 雌性红螯螯虾的腹节宽度极显著高于雄性, 这可能是由于更宽的腹节有利于雌性红螯螯虾的抱卵行为。

### 3.3 腹节与性腺发育

红螯螯虾的肌肉大多集中在腹节, 腹节占全长的比例决定了其出肉率, 头胸甲短而腹节长是高出肉率的重要标志<sup>[16]</sup>。本研究发现, 红螯螯虾的头胸甲和腹节的长度比例在成虾和幼虾中保持一致, 不会随其生长发育而变化, 因此针对头胸甲和腹节长度比例的选育在个体生长早期即可实施, 以便减少养殖和育种成本。红螯螯虾的宽度指标(包括头胸甲宽度和第一腹节宽度)在4.5月龄到6月龄之间显著增加, 即幼虾和成虾之间差异显著, 因此, 对宽度性状的选择应在4.5月龄之后进行。Niskanen 等<sup>[17]</sup>研究表明, 雌性螯虾的第一腹节宽度与格莱尔腺体的发育呈正相关, 而格莱尔腺体的发育与雌性螯虾的产卵

交配关系密切; 因此, 第一腹节宽度可在一定程度上反映雌性的产卵性能。本研究中雌性红螯螯虾的第一腹节宽度从4.5月龄开始显著大于雄性, 可能与此阶段雌性红螯螯虾性腺开始发育有关。

### 3.4 肝胰腺的发育

肝胰腺是甲壳动物脂类储备的主要器官, 而脂类是甲壳类动物的主要能量来源<sup>[18]</sup>。甲壳类的肝胰腺具有合成消化酶等功能, 并受到激素的调控<sup>[19-20]</sup>。由于卵巢发育和卵黄蛋白合成过程中需要大量的脂类, 因此雌性红螯螯虾肝胰腺内的脂类含量一般高于雄性<sup>[21-22]</sup>。本研究发现, 3月龄和6月龄雄性和雌性的红螯螯虾的肝胰腺质量无显著差异, 但4.5月龄阶段雌性红螯螯虾的肝胰腺质量显著大于雄性。推测是因为: 4.5月龄红螯螯虾处于第二性征发育期, 作为外源性卵黄蛋白的合成场所<sup>[23-24]</sup>, 肝胰腺受到激素调节而在此阶段大量储能; 6月龄时期雌性的卵巢开始发育, 卵黄蛋白大量向卵巢转移, 卵黄蛋白的合成消耗了大量脂类<sup>[25]</sup>, 同时卵子的形成需要肝胰腺的持续供能<sup>[21]</sup>, 从而导致肝胰腺减重。从上述结果可知, 此阶段应适当补充富含脂类的饲料, 以利于雌性红螯螯虾的卵巢发育, 提高雌虾卵量。

### 3.5 小结

本研究统计了各生长时期红螯螯虾各表型性状的变化, 对比了各生长时期红螯螯虾雌、雄群体的差异, 发现头胸甲与腹节的长度比例在生长过程中保持一致, 如果要选留头胸甲短的个体, 生长早期即可进行选择; 宽度性状在生长后期增长迅速, 宜在生长后期进行选择; 雌雄群体的显著差异出现在性成熟阶段, 雄虾在性成熟阶段增重较大, 可适当延长其养殖时间。本研究可为红螯螯虾的养殖和选育工作提供理论依据和实施方向。

### 参考文献(References):

- [1] MAC LOUGHLIN C, CANOSA I S, SILVEYRA G R, et al. Effects of atrazine on growth and sex differentiation, in juveniles of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, 131: 96-103.
- [2] ROUSE D B, AUSTIN C M, MEDLEY P B. Progress toward

- profits?: information on the Australian crayfish [J]. *Aquaculture Magazine*, 1991, 17(3): 46–56.
- [3] WICKINS J F, O'C LEE D. Crustacean farming, ranching and culture[J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34(3): 269–270.
  - [4] TIERNEY L J, WILD C H, FURSE J M. Total incombustible (mineral) content of *Cherax quadricarinatus* differs between feral populations in Central-Eastern Australia [J]. *PeerJ*, 2019, 7: e6351.
  - [5] 王广军, 孙悦, 郁二蒙, 等. 澳洲淡水龙虾与克氏原螯虾肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(9): 4339–4348.  
WANG G J, SUN Y, YU E M, et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus* and *Procambarus clarkii* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(9): 4339–4348. (in Chinese with English abstract)
  - [6] 顾志敏, 许谷星, 黄鲜明, 等. 红螯螯虾的室内人工育苗[J]. *水产学报*, 2003, 27(1): 32–37.  
GU Z M, XU G X, HUANG X M, et al. Indoor artificial breeding and juvenile nursing of *Cherax quadricarinatus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(1): 32–37. (in Chinese with English abstract)
  - [7] CORTÉS-JACINTO E, VILLARREAL-COLMENARES H, CIVERA-CERECEDO R, et al. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(4): 207–213.
  - [8] GAO M L, LI F, XU L M, et al. White spot syndrome virus strains of different virulence induce distinct immune response in *Cherax quadricarinatus* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 39(1): 17–23.
  - [9] LIU H P, CHEN R Y, ZHANG Q X, et al. Differential gene expression profile from haematopoietic tissue stem cells of red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in response to WSSV infection [J]. *Developmental and Comparative Immunology*, 2011, 35(7): 716–724.
  - [10] WANG D L, ZUO D, WANG L M, et al. Effects of white spot syndrome virus infection on immuno-enzyme activities and ultrastructure in gills of *Cherax quadricarinatus* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 32(5): 645–650.
  - [11] DUAN H, JIN S J, ZHANG Y, et al. Granulocytes of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* can endocytose beads, *E. coli* and WSSV, but in different ways [J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2014, 46(2): 186–193.
  - [12] BRYLAWSKI B J, MILLER T J. Temperature-dependent growth of the blue crab (*Callinectes sapidus*): a molt process approach [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2006, 63(6): 1298–1308.
  - [13] MANOR R, AFLALO E D, SEGALL C, et al. Androgenic gland implantation promotes growth and inhibits vitellogenesis in *Cherax quadricarinatus* females held in individual compartments [J]. *Invertebrate Reproduction & Development*, 2004, 45(2): 151–159.
  - [14] JONES C M. Production of juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens) (Decapoda, Parastacidae) I: development of hatchery and nursery procedures [J]. *Aquaculture*, 1995, 138(1/2/3/4): 221–238.
  - [15] CURTIS M C, JONES C M. Observations on monosex culture of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1995, 26(2): 154–159.
  - [16] 费志良, 宋胜磊, 唐建清, 等. 克氏原螯虾含肉率及蜕皮周期中微量元素分析[J]. *水产科学*, 2005, 24(10): 8–11.  
FEI Z L, SONG S L, TANG J Q, et al. Dressed crayfish and microelement levels in *Procambarus clarkii* during ecdysis [J]. *Fisheries Science*, 2005, 24(10): 8–11. (in Chinese with English abstract)
  - [17] NISKANEN H, MANNONEN A, JUSSILA J. Variation in pleonite width in wild noble crayfish, *Astacus astacus*, females in relation to glair gland development [J]. *Freshwater Crayfish*, 1996 (11): 378–383.
  - [18] HOLLAND D L. Lipid reserves and energy metabolism in the larvae of benthic marine invertebrates [M]//SARGENT D C, MALINS J R. Biochemical and biophysical perspectives in marine biology. London: Academic Press, 1978: 85–123.
  - [19] COCCIA E, DE LISA E, DI CRISTO C, et al. Effects of estradiol and progesterone on the reproduction of the freshwater crayfish *Cherax albidus* [J]. *The Biological Bulletin*, 2010, 218(1): 36–47.
  - [20] VOGT G. Functional cytology of the hepatopancreas of decapod crustaceans [J]. *Journal of Morphology*, 2019, 280(9): 1405–1444.
  - [21] RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ H, HERNÁNDEZ-LLAMAS A, VILLARREAL H, et al. Gonadal development and biochemical composition of female crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in relation to the gonadosomatic index at first maturation [J]. *Aquaculture*, 2006, 254(1/2/3/4): 637–645.
  - [22] RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ H, VILLARREAL H, GARCÍA-ULLOA M, et al. Dietary lipid requirements for optimal egg quality of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, 40(4): 531–539.
  - [23] SAGI A, KHALAILA I, ABDU U, et al. A newly established ELISA showing the effect of the androgenic gland on secondary-vitellogenic-specific protein in the hemolymph of the crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1999, 115(1): 37–45.

[ 24 ]

ABDU U, YEHEZKEL G, SAGI A. Oocyte development and polypeptide dynamics during ovarian maturation in the red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*[ J ]. *Invertebrate Reproduction & Development*, 2000, 37( 1 ): 75 – 83.

[ 25 ]

TSENG D Y, CHEN Y N, KOU G H, et al. Hepatopancreas is the extraovarian site of vitellogenin synthesis in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [ J ]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2001, 129( 4 ): 909 – 917.

(责任编辑 高 峻)

---