

孙梦玲, 薛 晖, 徐 宇, 等. 克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)形态性状与净肉重及出肉率的相关性[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(1): 126-133.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.01.015

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)形态性状与净肉重及出肉率的相关性

孙梦玲^{1,2}, 薛 晖¹, 徐 宇^{1,2}, 赵彦华¹, 李佳佳^{1,2}, 姜虎成¹, 许志强^{1,2}

(1. 农业农村部淡水虾蟹遗传育种与养殖重点实验室, 江苏 南京 210017; 2. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017)

摘要: 为探究克氏原螯虾形态性状与净肉重和出肉率之间的关系, 本研究以 194 尾成年克氏原螯虾为试验材料, 测量克氏原螯虾 12 个形态性状, 包括全长、体长、螯肢长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节长、第一腹节宽、第一腹节高、腹甲长、尾扇长和尾扇宽, 并进行相关性分析、多元回归分析和通径分析。相关性分析结果表明, 与雌虾出肉率呈极显著相关的性状有腹甲长与第一腹节长($P < 0.01$); 与雄虾出肉率呈极显著相关的性状有螯肢长、头胸甲宽及腹甲长($P < 0.01$), 呈显著相关的性状有体长、头胸甲高($P < 0.05$)。通径分析结果表明, 螯肢长对克氏原螯虾雌虾和雄虾出肉率具有负向直接效应; 腹甲长和第一腹节长对雌虾的净肉重和出肉率具有正向直接效应, 头胸甲高和头胸甲长对雄虾的净肉重和出肉率具有正向直接效应。本研究结果可为克氏原螯虾育种提供理论依据。

关键词: 克氏原螯虾; 形态性状; 多元回归分析; 通径分析; 净肉重; 出肉率

中图分类号: S917.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)01-0126-08

Correlation between the morphological traits and net meat weight, meat rate of *Procambarus clarkii*

SUN Mengling^{1,2}, XUE Hui¹, XU Yu^{1,2}, ZHAO Yanhua¹, LI Jiajia^{1,2}, JIANG Hucheng¹, XU Zhiqiang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Genetic Breeding and Cultivation for Freshwater Crustacean, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210017, China;

2. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China)

Abstract: In order to explore the relationships between the morphological traits of *Procambarus clarkii* and its net meat weight as well as meat rate, 194 adult *Procambarus clarkii* were used as experimental materials in this study. Twelve morphological traits of *Procambarus clarkii* were measured, including total length, body length, chelicera length, cephalothorax length, cephalothorax width, cephalothorax height, the first abdominal segment length, the first abdominal segment width, the first abdominal segment height, abdominal carapace length, tailfan length and tailfan width. And correlation analysis, multiple regression analysis and path analysis were carried out. The results of the correlation analysis showed that the traits that were extremely significantly correlated with the meat rate of female *Procambarus clarkii* were the abdominal carapace length and the

length of the first abdominal segment length ($P < 0.01$).

The traits that were extremely significantly correlated with the meat rate of male *Procambarus clarkii* were chelicera length, cephalothorax width and abdominal carapace length ($P < 0.01$), and the traits that were significantly correlated were body length and cephalothorax height ($P < 0.05$). The results of the path analysis indicated that the chelicera length had a negative direct effect on the meat rate of both female and male *Procambarus clarkii*. The abdominal cara-

收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目[JBGs(2021)119]; 江苏省现代农业(克氏原螯虾)产业技术体系项目[JATS(2023)372、JATS(2023)373]; 江苏现代农业重点项目(BE2020348)

作者简介: 孙梦玲(1988-), 女, 江苏常州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水产养殖及水产疫病防控研究。(E-mail) mengling-sun@163.com

通讯作者: 许志强, (E-mail) zhiqiangx@163.com

pace length and the first abdominal segment length had a positive direct effect on the net meat weight and meat rate of female *Procambarus clarkii*, and the cephalothorax height and cephalothorax length had positive direct effects on the net meat weight and meat rate of male *Procambarus clarkii*. This study provides a theoretical basis for the breeding of *Procambarus clarkii*.

Key words: *Procambarus clarkii*; morphometric attributes; multiple regression analysis; path analysis; net meat weight; meat rate

克氏原螯虾[*Procambarus clarkii* (Girard)], 俗称小龙虾, 原产于北美洲, 目前已成为遍布除澳洲及南极洲以外所有淡水水域的淡水螯虾种类^[1]。在中国, 克氏原螯虾的营养价值、经济价值在二十世纪八九十年代就引起了人们的广泛关注^[2]。随着居民生活水平的提高, 克氏原螯虾养殖业蓬勃发展^[3], 至 2022 年, 克氏原螯虾在中国的养殖面积已突破 $1.87 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 深受人们欢迎^[4]。

形态特征是水产动物选育的重要指标, 通过获取克氏原螯虾关键外部形态学特征数据, 并将其与育种目标性状进行相关性分析、回归分析及通径分析, 可揭示关键形态性状与育种目标性状间的关系, 这种方法有助于优化育种策略, 从而加快育种进程。多元回归分析常用于水产育种相关研究, 王志铮等^[5]利用该方法定量分析了日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)雌虾、雄虾 13 个表型性状对体重的影响。Hung 等^[6]测定了罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)的体重、体长等 5 个性状, 建立了罗氏沼虾出肉率预测模型。孙苗苗等^[7]测定了斑节对虾(*Penaeus monodon*)的体长、头胸甲长等 5 个性状, 结果表明体长对体重的影响最大。近年来, 克氏原螯虾种质退化问题已开始显现^[8], 育种者越来越关注高出肉率克氏原螯虾新品系的选育。克氏原螯虾的主要可食用部分为腹部肌肉, 腹部肌肉净重在体重中的占比(出肉率)是克氏原螯虾选育的重要目标性状。

本研究以 100 尾雄性成年克氏原螯虾和 94 尾雌性成年克氏原螯虾为研究对象, 拟测定全长、体长、螯肢长、头胸甲长、头胸甲宽等 12 个关键形态性状, 采用多元回归分析法建立回归方程, 并在此基础上进行通径分析, 探究克氏原螯虾关键性状与净肉重、出肉率之间的关系, 为克氏原螯虾遗传育种工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用克氏原螯虾样品采集自江苏省淡水

水产研究所浦口遗传育种基地。苗种为克氏原螯虾核心选育群体, 苗种投放时间为 2022 年 5 月初, 养殖 50 d 后, 用地笼随机捕捞成虾共 220 尾, 剔除体形不对称、螯肢或附肢残缺的虾 26 尾, 剩余 194 尾用于后续测量分析。其中包括雄性成年克氏原螯虾 100 尾, 雌性成年克氏原螯虾 94 尾。

1.2 试验方法

用吸水纸吸去克氏原螯虾体表水分, 如图 1 所示, 用游标卡尺测量每尾虾的全长(X_1)、体长(X_2)、螯肢长(X_3)、头胸甲长(X_4)、头胸甲宽(X_5)、头胸甲高(X_6)、第一腹节长(X_7)、第一腹节宽(X_8)、第一腹节高(X_9)、腹甲长(X_{10})、尾扇长(X_{11})、尾扇宽(X_{12}), 精确至 0.01 mm。用电子天平测量体重, 精确至 0.01 g, 剥出克氏原螯虾腹部肌肉, 测量净肉重(Y_1)并计算出肉率(Y_2)。出肉率 = 腹部肌肉净重/体重 $\times 100\%$ 。

1.3 分析方法

用 Excel 对数据进行初步统计整理, 获得各性状的均值、标准偏差及变异系数。用软件 SPSS23.0 对净肉重(Y_1)和出肉率(Y_2)进行正态分布检验, 再对各性状进行相关性分析。分别以净肉重和出肉率为因变量, 形态性状为自变量, 进行逐步回归分析和通径分析。采用多元回归分析筛选出显著性状作为方程变量, 对进入方程的性状进行通径分析。根据多元回归分析显著性与通径分析显著性的等价关系^[9], 自变量 X_i 对因变量 Y 的直接通径系数 P_{iy} 为标准化回归系数, 自变量 X_i 通过自变量 X_j 对因变量 Y 的间接通径系数 $P_{ijy} = R_{ij} \times P_{jy}$ (R_{ij} 为 X_i 和 X_j 之间的相关系数, P_{jy} 为 X_j 的直接通径系数)。单个性状对净肉重的决定系数 $D_i = P_{iy}^2$ (P_{iy} 为 X_i 的直接通径系数), 2 个性状对净肉重的共同决定系数 $D_{ij} = 2R_{ij}P_{iy}P_{jy}$ 。

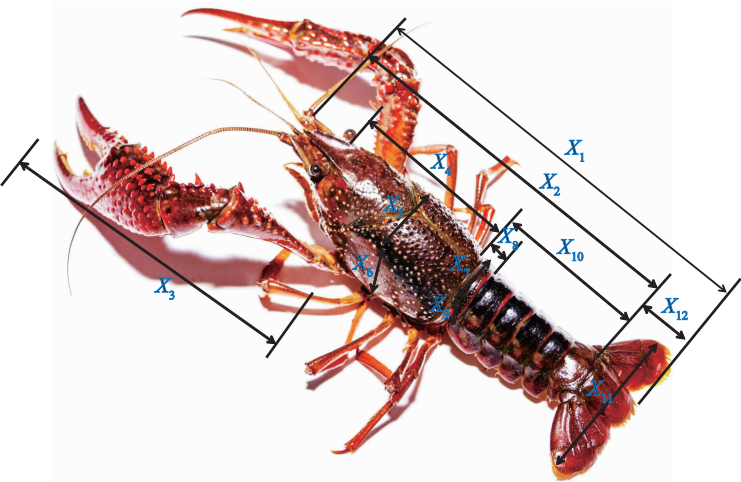
2 结果与分析

2.1 表型性状统计

本研究克氏原螯虾群体体重 (49.69 ± 7.90) g。雄虾体重 (52.63 ± 7.83) g, 雌虾体重 (46.75 ± 6.79) g,

表型性状、净肉重及出肉率如表 1、表 2 所示。12 个表型性状中,雄虾的螯肢长 $[(110.73\pm 9.64)\text{ mm}]$ 大于雌虾 $[(86.69\pm 7.05)\text{ mm}]$,雄虾的第一腹节宽 $[(8.11\pm 0.80)\text{ mm}]$ 大于雌虾 $[(7.55\pm 0.46)\text{ mm}]$,雌虾全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹

节长、第一腹节高、腹甲长、尾扇长均大于雄虾。雄虾的净肉重变异系数 $(25.16\%)>$ 出肉率变异系数 $(24.55\%)>$ 第一腹节宽变异系数 (9.81%) ,雌虾的净肉重变异系数 $(24.20\%)>$ 出肉率变异系数 $(19.26\%)>$ 尾扇宽变异系数 (17.13%) 。



X_1 :全长; X_2 :体长; X_3 :螯肢长; X_4 :头胸甲长; X_5 :头胸甲宽; X_6 :头胸甲高; X_7 :第一腹节长; X_8 :第一腹节宽; X_9 :第一腹节高; X_{10} :腹甲长; X_{11} :尾扇长; X_{12} :尾扇宽。

图 1 克氏原螯虾各形态性状
Fig.1 Morphological traits of *Procambarus clarkii*

表 1 雄性克氏原螯虾表型性状、净肉重及出肉率
Table 1 Morphological traits, net meat weight and meat rate of male *Procambarus clarkii*

性状	均值	标准差	性状	变异系数 (%)
净肉重(g)	5.74	1.44	净肉重	25.16
出肉率(%)	11.00	2.70	出肉率	24.55
全长(mm)	105.90	5.27	全长	4.98
体长(mm)	87.24	4.60	体长	5.28
螯肢长(mm)	110.73	9.64	螯肢长	8.70
头胸甲长(mm)	57.64	2.68	头胸甲长	4.65
头胸甲宽(mm)	26.46	1.27	头胸甲宽	4.79
头胸甲高(mm)	27.59	1.92	头胸甲高	6.94
第一腹节长(mm)	18.94	1.34	第一腹节长	7.05
第一腹节宽(mm)	8.11	0.80	第一腹节宽	9.81
第一腹节高(mm)	14.30	1.15	第一腹节高	8.02
腹甲长(mm)	30.21	2.65	腹甲长	8.78
尾扇长(mm)	15.76	1.27	尾扇长	8.04
尾扇宽(mm)	6.94	0.62	尾扇宽	8.87

表 2 雌性克氏原螯虾表型性状、净肉重及出肉率
Table 2 Morphological traits, net meat weight and meat rate of female *Procambarus clarkii*

性状	均值	标准差	性状	变异系数 (%)
净肉重(g)	6.15	1.49	净肉重	24.20
出肉率(%)	13.16	2.53	出肉率	19.26
全长(mm)	111.23	6.62	全长	5.96
体长(mm)	89.77	8.94	体长	9.96
螯肢长(mm)	86.69	7.05	螯肢长	8.13
头胸甲长(mm)	57.88	3.09	头胸甲长	5.34
头胸甲宽(mm)	26.79	2.38	头胸甲宽	8.88
头胸甲高(mm)	29.87	2.85	头胸甲高	9.55
第一腹节长(mm)	19.76	2.00	第一腹节长	10.14
第一腹节宽(mm)	7.55	0.46	第一腹节宽	6.03
第一腹节高(mm)	15.61	1.53	第一腹节高	9.82
腹甲长(mm)	34.00	2.27	腹甲长	6.67
尾扇长(mm)	17.63	1.37	尾扇长	7.77
尾扇宽(mm)	7.54	1.29	尾扇宽	17.13

2.2 性状间相关性分析

本研究中克氏原螯虾的净肉重与出肉率均符合正态分布。各性状间的相关性分析结果如表 3 所示,在 12 个表型性状中,雌性克氏原螯虾的净肉重与尾扇长、尾扇宽无显著相关性($P>0.05$),净肉重与第一腹节宽、第一腹节高呈显著相关($P<0.05$),相关程度为弱相关($0.200<r<0.400$),净肉重与全长、体长、螯肢长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节长、腹甲长呈极显著相关($P<0.01$),其中雌性克氏原螯虾

腹甲长与净肉重的相关程度为强相关($0.600<r<0.800$),全长、体长、头胸甲长、第一腹节长与净肉重的相关程度为中等程度相关($0.400<r<0.600$),螯肢长、头胸甲宽、头胸甲高与净肉重的相关程度为弱相关($0.200<r<0.400$)。雌性克氏原螯虾的出肉率与第一腹节长、腹甲长呈极显著相关($P<0.01$),相关程度为弱相关($0.200<r<0.400$),其余 10 项性状指标与雌性克氏原螯虾的出肉率均无显著相关性($P>0.05$)。

表 3 克氏原螯虾各表型性状与净肉重、出肉率的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between morphological traits and net meat weight, meat rate of *Procambarus clarkii*

性状	相关系数													
	净肉重	宽度 出肉率	全长	体长	螯肢长	头胸 甲长	头胸 甲宽	头胸 甲高	第一 腹节长	第一 腹节宽	第一 腹节高	腹甲长	尾扇长	尾扇宽
净肉重	1.000	0.771 *	0.557 **	0.460 **	0.372 **	0.437 **	0.357 **	0.324 **	0.548 **	0.228 *	0.255 *	0.620 **	0.174	-0.001
出肉率	0.777 **	1.000	0.121	0.151	-0.187	0.007	0.011	-0.010	0.301 **	-0.115	0.019	0.337 **	0.017	-0.062
全长	0.606 **	0.192	1.000	0.121	0.151	-0.187	0.007	0.011	-0.115	-0.010	0.301 **	0.019	0.337 **	0.017
体长	0.619 **	0.199 *	0.914 **	1.000	0.399 **	0.568 **	0.484 **	0.395 **	0.384 **	0.274 **	0.221 *	0.458 **	0.311 **	0.100
螯肢长	0.208 *	-0.363 **	0.452 **	0.424 **	1.000	0.550 **	0.420 **	0.415 **	0.354 **	0.346 **	0.314 **	0.367 **	0.273 **	0.187
头胸甲长	0.630 **	0.179	0.893 **	0.884 **	0.472 **	1.000	0.792 **	0.667 **	0.423 **	0.406 **	0.319 **	0.469 **	0.326 **	0.162
头胸甲宽	0.371 **	0.416 **	0.715 **	0.700 **	0.562 **	0.790 **	1.000	0.875 **	0.262 *	0.246 *	0.168	0.389 **	0.228 *	0.197
头胸甲高	0.025	-0.231 *	0.207 *	0.162	0.276 **	0.328 **	0.427 **	1.000	0.240 *	0.245 *	0.163	0.341 **	0.265 **	0.183
第一腹节长	0.058	-0.104	0.115	0.121	0.180	0.215 *	0.327 **	0.570 **	1.000	-0.048	0.258 *	0.318 **	0.135	0.002
第一腹节宽	0.279 **	0.018	0.467 **	0.433 **	0.232 *	0.464 **	0.405 **	0.127	0.114	1.000	0.271 **	0.334 **	0.059	0.039
第一腹节高	0.286 **	-0.081	0.531 **	0.458 **	0.488 **	0.536 **	0.542 **	0.241 *	0.265 **	0.248 *	1.000	0.223 *	0.247 *	0.178
腹甲长	0.424 **	0.284 **	0.612 **	0.633 **	0.085	0.478 **	0.350 **	-0.084	-0.035	0.194	0.211 *	1.000	0.317 **	0.086
尾扇长	0.148	-0.011	0.511 **	0.379 **	0.178	0.404 **	0.310 **	0.258 **	0.220 *	0.258 **	0.239 *	0.344 **	1.000	0.078
尾扇宽	0.309 **	0.091	0.371 **	0.416 **	0.228 *	0.413 **	0.455 **	0.179	0.383 **	0.036	0.403 **	0.229 *	0.153	1.000

* 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。表格对角线右上方数据表示雌性克氏原螯虾各性状间相关系数,对角线左下方数据表示雄性克氏原螯虾各性状间相关系数。

在 12 个形态性状中,雄性克氏原螯虾的净肉重与头胸甲高、第一腹节长及尾扇长相关性不显著($P>0.05$),与螯肢长呈显著相关($P<0.05$),相关程度为弱相关($0.200<r<0.400$),与全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、第一腹节宽、第一腹节高、腹甲长及尾扇宽呈极显著相关($P<0.01$),其中与全长、体长及头胸甲长呈强相关($0.600<r<0.800$),与腹甲长呈中等程度相关($0.400<r<0.600$),与头胸甲宽、第一腹节宽、第一腹节高及尾扇宽呈弱相关($0.200<r<0.400$)。雄性克氏原螯虾出肉率与螯肢长、头胸甲宽及腹甲长呈极显著相关($P<0.01$),其中与头胸甲宽呈中等程度相关($0.400<r<0.600$),与螯肢长及腹甲长呈弱相关($0.200<r<0.400$)。雄性克氏原螯虾出肉率与体长、头胸甲高呈显著相关($P<0.05$),

从相关程度上看,与头胸甲高呈弱相关($0.200<|r|<0.400$),与体长呈极弱相关($0<r<0.200$),其余性状与雄性虾出肉率无显著相关性($P>0.05$)。

2.3 构建多元回归方程

由表 4 可知,在回归分析中,进入净肉重($Y_{1\text{雌}}$)回归方程的性状有腹甲长(X_{10})及第一腹节长(X_7),进入出肉率($Y_{2\text{雌}}$)回归方程的性状有腹甲长(X_{10})、螯肢长(X_3)及第一腹节长(X_7)。在对雄性克氏原螯虾的分析中,进入净肉重($Y_{1\text{雄}}$)回归方程的性状有头胸甲长(X_4)及头胸甲高(X_6),进入出肉率($Y_{2\text{雄}}$)回归方程的性状有螯肢长(X_3)、头胸甲高(X_6)及头胸甲长(X_4)。

建立的雌雄虾的净肉重与出肉率的回归方程如下:

雌虾净肉重: $Y_{1\text{雌}} = -10.623 + 0.234X_{10} + 0.290X_7$,
 $R^2 = 0.510$;

雌虾出肉率: $Y_{2\text{雌}} = 0.38 + 0.04X_{10} - 0.02X_3 + 0.04X_7$, $R^2 = 0.297$;

表 4 克氏原螯虾形态性状与净肉重、出肉率的回归系数显著性检验

因变量		自变量	非标准化 回归系数	标准误差	标准化 回归系数	t-统计量	P 值
净肉重	$Y_{1\text{雌}}$	截距	-10.623	1.722		-6.169	0
		腹甲长	0.235	0.500	0.496	6.474	0
		第一腹节长	0.290	0.570	0.390	5.098	0
出肉率	$Y_{1\text{雌}}$	截距	-11.658	2.522		-4.623	0
		头胸甲长	0.376	0.044	0.698	8.630	0
		头胸甲高	-0.154	0.061	-0.204	-2.528	0.013
	$Y_{2\text{雌}}$	截距	0.038	0.038		1.008	0.316
		腹甲长	0.004	0.001	0.396	4.140	0
		螯肢长	-0.002	0	-0.451	-4.650	0
		第一腹节长	0.004	0.001	0.335	3.519	0.001
	$Y_{2\text{雌}}$	截距	0.076	0.051		1.481	0.142
		螯肢长	-0.002	0	-0.536	-5.662	0
		头胸甲高	-0.004	0.001	-0.252	-2.853	0.005
		头胸甲长	0.005	0.001	0.515	5.344	0

雄虾净肉重: $Y_{1\text{雄}} = -11.658 + 0.376X_4 - 0.154X_6$,
 $R^2 = 0.423$;

雄虾出肉率: $Y_{2\text{雄}} = 0.076 - 0.002X_3 - 0.004X_6 + 0.005X_4$, $R^2 = 0.325$ 。

对所建立的回归方程进行方差分析, 检验其显

著性。如表 5 所示, 雌虾净肉重的 F 值为 49.447, 出肉率的 F 值为 14.069, 雄虾净肉重的 F 值为 37.287, 出肉率的 F 值为 16.853, 4 个方程的 P 值均为 0, 说明这些方程具有良好的拟合效果, 可以用来分析和预测相应的指标。

表 5 克氏原螯虾形态性状与净肉重、出肉率的回归方程的方差分析

性别	类别	平方和		自由度		均方		P 值		F 检验值	
		净肉重	出肉率	净肉重	出肉率	净肉重	出肉率	净肉重	出肉率	净肉重	出肉率
雌	回归	107.080	0.019	2	3	53.540	0.006	0	0	49.447	14.069
	残差	98.532	0.041	91	90	1.083	0				
	总计	205.611	0.060	93	93						
雄	回归	89.726	0.025	2	3	44.863	0.008	0	0	37.287	16.853
	残差	116.709	0.047	97	96	1.203	0				
	总计	206.435	0.072	99	99						

2.4 形态性状对净肉重、出肉率的通径分析

以回归分析结果为基础进行通径分析^[10], 结果如表 6 所示。对于雌虾, 腹甲长对净肉重的正向直接效应最大($P_{jy} = 0.496$), 其次为第一腹节长($P_{jy} =$

0.390); 腹甲长对出肉率的正向直接效应最大($P_{jy} = 0.396$), 其次为第一腹节长($P_{jy} = 0.335$), 螯肢长对出肉率具有负向直接效应($P_{jy} = -0.451$)。对于雄虾, 影响净肉重的主要性状有头胸甲长和头

胸甲高,其中头胸甲长对净肉重具有正向直接效应($P_{jy}=0.698$),头胸甲高对净肉重具有负向直接效应($P_{jy}=-0.204$),但头胸甲高通过头胸甲长对净肉重具有正向间接效应($P_{ijy}=0.556$);头胸甲长对出肉率的正向直接效应最大($P_{jy}=0.515$),螯肢长与头胸甲高对出肉率具有负向直接效应,直接通径系数分别为-0.536和-0.252,头胸甲长通过螯肢长和

头胸甲高对出肉率具有负向间接效应。综上,螯肢长对克氏原螯虾雌虾和雄虾出肉率具有负向直接效应;腹甲长和第一腹节长对雌虾的净肉重和出肉率具有正向直接效应,头胸甲高对雄虾的净肉重和出肉率具有负向直接效应,头胸甲长对雄虾的净肉重和出肉率具有正向直接效应。

表 6 克氏原螯虾形态性状与净肉重、出肉率的通径分析

Table 6 Path analysis between the morphological traits and net meat weight, meat rate of *Procambarus clarkii*

性别	性状	指标	相关系数	直接通径系数	间接通径系数					
					Σ	螯肢长	头胸甲长	头胸甲高	第一腹节长	腹甲长
雌	净肉重	第一腹节长	0.548 **	0.390	0.158					0.158
		腹甲长	0.620 **	0.496	0.124				0.124	
	出肉率	螯肢长	-0.187	-0.451	0.264				0.119	0.145
		第一腹节长	0.301 **	0.335	-0.034	-0.160				0.126
		腹甲长	0.337 **	0.396	-0.059	-0.166			0.107	
雄	净肉重	头胸甲长	0.630 **	0.698	-0.162			-0.162		
		头胸甲高	0.371 **	-0.204	0.556		0.556			
	出肉率	螯肢长	-0.363 **	-0.536	0.101		0.243	-0.142		
		头胸甲长	0.179	0.515	-0.454	-0.253		-0.201		
		头胸甲高	-0.231 **	-0.252	0.109	-0.301	0.410			

* 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$), Σ 表示间接通径系数之和。

2.5 形态性状对净肉重、出肉率的决定系数

在通径分析中,决定系数可以表示自变量对因变量的影响程度。如表 7 所示,对于雌虾净肉重,腹甲长的决定系数最大($D_i=0.246$),其次为第一腹节长($D_i=0.152$),腹甲长与第一腹节长的共同决定系数($D_{ij}=0.123$)最小;对于雌虾出肉率,螯肢长的决定系数最大($D_i=0.203$),其次为腹甲长($D_i=$

0.157)。对于雄虾净肉重,头胸甲长的决定系数最大($D_i=0.487$),表明头胸甲长是影响雄虾净肉重的关键性状,头胸甲长与头胸甲高的共同决定系数($D_{ij}=-0.227$)为负;对于雄虾出肉率,螯肢长的决定系数最大($D_i=0.287$),其次为头胸甲长($D_i=0.265$),螯肢长与头胸甲长的共同决定系数($D_{ij}=-0.261$)为负。

表 7 克氏原螯虾形态性状对净肉重、出肉率的决定系数

Table 7 The determination coefficient of the morphological traits of *Procambarus clarkii* for net meat weight and meat rate

性别	性状	指标	决定系数				
			螯肢长	头胸甲长	头胸甲高	第一腹节长	腹甲长
雌	净肉重	第一腹节长				0.152	0.123
		腹甲长					0.246
	出肉率	螯肢长	0.203			-0.107	-0.131
		第一腹节长				0.112	0.084
		腹甲长					0.157
雄	净肉重	头胸甲长		0.487	-0.227		
		头胸甲高			0.042		
	出肉率	螯肢长	0.287	-0.261	0.152		
		头胸甲长		0.265	-0.079		
		头胸甲高			0.064		

3 讨论

目前,已有研究报道了利用多元回归分析探究克氏原螯虾形态性状与体重的关系。张小谷等^[11]测量了克氏原螯虾的 10 个性状,发现对体重影响最大的性状为头胸甲宽,其次为全长;何吉祥等^[12]测量了克氏原螯虾的 12 个表型性状,同样发现头胸甲宽对体重影响最大,并建立了基于头胸甲宽和尾节长的体重回归方程;张龙等^[13]分别对雌雄克氏原螯虾多项性状进行测定,结果表明头胸甲长对体重的影响最大,而头胸甲宽和全长对体重有一定影响。由于虾类的头部及外壳为不可食用部分,占体重的 40% 以上,仅仅关注体重不能全面反映其可食部分的占比,因此净肉重和出肉率更能体现虾的经济价值。本研究选取克氏原螯虾的 12 个性状进行分析,其中净肉重的变异系数最大,雌虾净肉重变异系数为 24.20%,雄虾净肉重变异系数为 25.16%,表明不同个体间可食用部分重量差异明显,具备较大的选育空间。本研究测得雌虾出肉率为 $13.16\% \pm 2.53\%$,雄虾出肉率为 $11.00\% \pm 2.70\%$,与已有研究结果存在差异,安丽等^[14]测得克氏原螯虾出肉率为 $14.36\% \pm 3.28\%$,周晖等^[15]测得雌虾出肉率为 $18.25\% \pm 4.95\%$,雄虾出肉率为 $16.53\% \pm 4.39\%$,出肉率均高于本研究结果。造成差异的原因可能是克氏原螯虾的生长阶段不同。周晖等^[15]试验所用的克氏原螯虾幼虾平均体重为 (14.05 ± 6.26) g 左右的幼虾,而本研究所用的克氏原螯虾为当年成虾,平均体重为 (49.69 ± 7.90) g,且成虾的外壳钙化充分,更加厚实坚硬,螯肢发育充分,这些非可食部分占体重的比重较大,从而导致出肉率下降。该结论与彭波等^[16]和费志良等^[17]对不同规格克氏原螯虾出肉率的研究结果一致。

简单相关性分析能够综合体现两个性状间的相关性,既包括两个性状间的直接相关性,也包括通过其他性状间接产生的相关性^[18-21]。在此基础上,通过多元回归分析剔除回归关系不显著的性状,从而构建回归方程。在本研究的简单相关性分析中,雌性克氏原螯虾的净肉重与螯肢长呈极显著相关,但螯肢长与出肉率相关性不显著。然而周晖等^[15]和彭波等^[16]的研究发现,螯肢大小对克氏原螯虾的出肉率有显著影响。因此,将螯肢长纳入回归分析中,结果表明螯肢长与出肉率具有显著的回归关系。在

简单相关性分析中,某些性状与净肉重或出肉率表现出显著或极显著的相关性,但在多元回归分析中未被纳入回归方程,可能有以下 2 个原因:在多元回归分析中,该性状对净肉重或出肉率没有显著影响;该性状与已被选入回归方程的性状之间存在较强的相关性,产生多重共线性问题,这些性状无法在同一回归方程中共存^[22]。

回归分析与通径分析结果表明,雌虾与雄虾的净肉重和出肉率受到不同性状的影响。对于克氏原螯虾雌虾,第一腹节长和腹甲长对净肉重及出肉率具有正向直接效应,螯肢长对出肉率具有负向直接效应。对于克氏原螯虾雄虾,头胸甲长对净肉重和出肉率具有正向直接效应,头胸甲高对净肉重具有负向直接效应。已有研究结果证明,螯肢重量、螯肢长、螯肢宽是影响克氏原螯虾出肉率的重要指标。周晖等^[15]发现,不同规格克氏原螯虾的出肉率均与螯重呈显著负相关,彭波等^[16]也得到类似结论。Craig 等^[23]的研究结果表明,对于成熟克氏原螯虾,雌虾出肉率与螯肢长呈高度负相关,雄虾出肉率与螯肢宽呈高度负相关。Lutz 等^[24]也认为,螯肢长和螯肢宽与出肉率呈高度负相关。

头胸甲高这一性状在克氏原螯虾育种中研究得较少,鲜有研究人员测量克氏原螯虾的头胸甲高并分析其与克氏原螯虾体重、肌肉重量及出肉率的相关性。本研究相关性分析中,成年克氏原螯虾雄虾的头胸甲高与雄虾的出肉率显著负相关($P < 0.05$);通径分析中,成年克氏原螯虾雄虾的头胸甲高对出肉率具有负向直接效应和正向间接作用,综合效应为负,与相关性分析结果一致。张倩等^[25]测量了凡纳滨对虾 26 个可量性状,并建立了基于这些可量性状的出肉率回归方程,其中包括凡纳滨对虾的头胸甲高。因此,头胸甲高这一性状在克氏原螯虾育种工作中应当被关注,值得研究人员进一步分析。

据现有研究结果可知,不同种、不同性别、不同生长时期的螯虾在身体构象上存在不同,因此加工特征(出肉率)存在显著差异^[26]。此外,克氏原螯虾在中国分布广泛,在不同气候及水域环境下,克氏原螯虾身体构象也有所不同^[27]。因此,下一步可以跟踪特定群体,定期测量性状指标,重点考察克氏原螯虾性别二态性及性成熟前后体型变化对出肉率的影响。

4 结 论

本研究以成年克氏原螯虾为研究对象,分别对雌虾和雄虾的12个形态性状进行测量和统计分析,排除个体差异对结果造成的影响。本研究发现,影响成年克氏原螯虾雌虾出肉率的主要性状有螯肢长、腹甲长及第一腹节长,影响雄性克氏原螯虾出肉率的主要性状有螯肢长、头胸甲长及头胸甲高。成年雌性克氏原螯虾的出肉率高于同等规格的雄虾,雌性的领地意识弱且螯肢较小,个体间发生的打斗少,因此可以利用克氏原螯虾的性别二态性,选育全雌群体,提高出肉率。

参考文献:

- [1] LONGSHAW M, STEBBING P. Biology and ecology of crayfish [M]. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [2] 戴爱云. 介绍一种水产资源——蜆蛄[J]. 动物学杂志, 1983, (3): 48-50.
- [3] GUI J F, TANG Q S, LI Z J, et al. Aquaculture in China: success stories and modern trends [M]. Washington DC: Wiley-Blackwell, 2018.
- [4] 于秀娟, 郝向举, 杨霖坤, 等. 中国小龙虾产业发展报告[J]. 中国水产, 2023, 7: 26-31.
- [5] 王志铮, 吴一挺, 杨 磊, 等. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 612-618.
- [6] HUNG D, NGUYEN N H. Modeling meat yield based on measurements of body traits in genetically improved giant freshwater prawn (GFP) *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Aquaculture International, 2013, 22(2): 619-631.
- [7] 孙苗苗, 陈百尧, 杨其彬, 等. 斑节对虾形态性状对体质量影响的分析[J]. 海洋科学, 2013, 40(5): 50-54.
- [8] 刘国锋, 徐增洪, 徐 跑, 等. 我国克氏原螯虾种苗产业发展现状[J]. 江苏农业科学, 2022, 90(9): 1-6.
- [9] 谢文采, 陆 强. 多元回归与通径分析在应用上的关系[J]. 山西农业大学学报, 1984, 4(2): 216-224.
- [10] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [11] 张小谷, 王建民, 曹 烈, 等. 克氏原螯虾形态与体重的通径分析[J]. 南昌大学学报(理科版), 2010, 34(2): 195-199.
- [12] 何吉祥, 丁凤琴, 宋光同, 等. 池养克氏原螯虾形态性状对体质量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(3): 352-357.
- [13] 张 龙, 石林林, 李艳和. 克氏原螯虾形态性状与体重的关系[J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 148-153.
- [14] 安 丽, 孟庆磊, 董学颀, 等. 克氏原螯虾和红螯螯虾出肉率与可量性状的相关性[J]. 农学学报, 2012, 2(12): 54-56.
- [15] 周 晖, 汤保贵, 龚汉夫, 等. 克氏原螯虾食性、形态学参数、质量参数和出肉率的相关性分析[J]. 动物营养学报, 2023, 35(4): 2455-2464.
- [16] 彭 波, 谭云飞, 蓬国辉, 等. 克氏原螯虾特征性状与肌肉质量的相关及通径分析[J]. 水产科学, 2021, 40(5): 718-725.
- [17] 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): 9-11.
- [18] 蒋 菲, 黄 倩, 何 珊, 等. 紫黑稻6号×糯稻89-1 F₂主要性状遗传变异及相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(7): 48-55.
- [19] 赵 莎, 李为萍, 冯 梁, 等. 亏缺灌溉对河套灌区向日葵土壤微生物群落结构多样性的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2024, 42(1): 71-78.
- [20] 王月平, 徐剑文, 赵 君, 等. 棉花抗旱性综合评价及其相关性分析[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(1): 1-13.
- [21] 彭仲韬, 郭嘉兴, 王艺璇, 等. 小兴安岭3种槭树不同生长期叶性状变异及相关性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(1): 131-139.
- [22] 吴立峰, 张吕平, 沈 琪, 等. 凡纳滨对虾不同家系的形态性状对体重的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2010(2): 37-48.
- [23] CRAIG R J, WOLTERS W R. Sources of variation in body size traits, dressout percentage and their correlations for the crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. Aquaculture, 1988, 72: 49-58.
- [24] LUTZ C G, WOLTERS W R. Mixed model estimation of genetic and environmental correlations in red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Girard) [J]. Aquaculture Research, 1999, 30(3): 153-163.
- [25] 张 倩, 王全超, 于 洋, 等. 凡纳滨对虾形态性状与净肉重和出肉率的关系[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 653-661.
- [26] LUTZ C G, WOLTERS W R. Estimation of heritabilities for growth, body size, and processing traits in red swamp crawfish, *Procambarus clarkii* (Girard) [J]. Aquaculture, 1989(78): 21-33.
- [27] YI S, ZHANG L, LI Y, et al. Genetic diversity and phenotypic variation of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Astacidea: Astacidae), in China [J]. Journal of Crustacean Biology, 2020, 40(5): 574-583.

(责任编辑:成纾寒)