

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)形态 性状与净肉重和出肉率的关系*

张倩^{1,2,3} 王全超¹ 于洋^{1①} 张成松¹ 黄皓⁴ 李富花^{1,2①} 相建海^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所实验海洋生物学重点实验室 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生物学与生物技术功能实验室 青岛 266237; 3. 中国科学院大学 北京 100049; 4. 海南广顺泰普海洋育种有限公司 文昌 571300)

摘要 为了探究凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)表型性状与净肉重、出肉率的关系,本研究以 5 月龄的 650 尾凡纳滨对虾为材料,测量了全长、体长、头胸甲和各体节的长宽高等 24 个表型性状,根据体重、净肉重计算净肉率,通过相关分析、逐步回归分析和通径分析,计算了各性状间的相关系数、通径系数和决定系数,分析了 24 个表型性状与净肉重和出肉率的关系。结果表明,相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$);通过逐步回归分析建立了以净肉重为因变量,13 个性状为自变量的回归方程;同时建立了以出肉率为因变量,9 个性状为自变量的回归方程。通径分析结果显示,体长对净肉重的直接影响最大,其次是第 3 腹节长和第 1 腹节宽;对出肉率的正向直接影响最大的是体长,其次是第 2 腹节高和第 3 腹节长,头胸甲长、宽、高以及尾节长与出肉率呈明显负相关。决定系数分析结果与通径分析结论基本一致,在所分析的 24 个形态性状中,体长和第 3 腹节长与净肉重和出肉率密切相关。在实际生产中,可以通过测量体长和第 3 腹节长等形态性状间接实现对净肉重、出肉率的选择,选育优良品种。

关键词 凡纳滨对虾;多元回归分析;通径分析;净肉重;出肉率;形态性状

中图分类号 S968; Q953 **doi:** 10.11693/hyh20171100288

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)俗称南美白对虾,因具有抗逆性强和生长速度快等优点,在我国对虾养殖业中占有重要地位,是目前世界养殖产量最高的对虾品种(熊建华等, 2011)。随着多年的大规模养殖,种质退化、环境恶化、病害频发等问题越来越严重,培育优良品种是解决产业困境,维持凡纳滨对虾养殖产业健康可持续发展的重要途径。对虾的可食用部分主要是腹部的肌肉,因此净肉重和出肉率是被普遍关注的目标性状,但是在选育过程中这两个性状必须在杀死动物的前提下才能进行度量,在遗传育种中应用难度较大,而通过形态性状对净肉重和出肉率进行相关分析、回归分析和通径分析,找出形态性状与净肉重、出肉率的关系,能够辅助实现这两个目标性状的遗传选择。

目前利用多元分析研究形态性状对体重的贡献率,已广泛应用于各种水产动物(刘小林等, 2002; Wang *et al.*, 2016; Zou *et al.*, 2017)。经过长期的实践,该分析方法也日趋成熟。在虾类中,使用类似的统计方法,通过形态性状预估体重的的工作在中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)(董世瑞等, 2007)、凡纳滨对虾(吴立峰等, 2010)、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)(张成松等, 2013)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)(孙苗苗等, 2013)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)(黄有辉等, 2016)中都有报道。以上研究均是描述形态性状对体重的影响和作用大小,然而约占体重 40%的头胸部无法食用(王锭安等, 2010),所以净肉重相较于体重,更能准确衡量养殖品种的品质。除了净肉重,出肉率也是衡量品种质量的一个重

*国家虾现代产业技术体系, CARS-48 号; 中国科学院 STS 重点部署项目“高效海洋生态牧场关键技术集成与示范”, KFZD-SW-106 号。张倩, 硕士研究生, E-mail: zhangqian715@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 于洋, 副研究员, E-mail: yuyang@qdio.ac.cn; 李富花, 研究员, E-mail: fhli@qdio.ac.cn

收稿日期: 2017-11-13, 收修改稿日期: 2018-02-20

要指标,较高的出肉率是选育和改良的理想目标。柴展等(2015)研究了多个凡纳滨对虾家系的出肉率,结果显示均值为(53.59±3.26)%,分布范围是 50.25%—59.51%。在实际工作中,若要获得净肉重和出肉率,需要对动物进行解剖,不仅操作不便而且样品无法用于下一代亲本,所以研究形态性状与净肉重、出肉率之间的关系必不可少(李刚等,2007)。

目前,关于体重与形态性状之间的分析较多,对净肉重、出肉率的分析较少,而且存在测量性状少、分析不够全面的问题。因此,本研究系统地分析了凡纳滨对虾 24 个形态性状与两者的关系,并建立了回归方程,以便更好地进行评估,为选择育种工作提供可度量的指标,用于指导遗传选育。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验在海南广顺泰普海洋育种有限公司进行,实验用虾为该公司在室外水泥池人工养殖 5 月龄的 700 余尾凡纳滨对虾。剔除畸形、额剑及尾节不完整的虾,共获得 650 尾实验用虾。

1.2 测量方法

本研究测量凡纳滨对虾的 26 个性状包括:体重、净肉重(Y_1)、全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、第 1—6 腹节长(X_4 — X_9)、尾节长(X_{10})、头胸甲宽(X_{11})、第 1—6 腹节宽(X_{12} — X_{17})、头胸甲高(X_{18})、第 1—6 腹节高(X_{19} — X_{24})。

测量方法:按照杨长明等(2011)描述的办法,概括如下:用滤纸吸干虾体表面水分后,相机拍照,在虾体同一平面上放一把直尺。用 Photoshop 测量 24 个形态性状,测定图像上两点间的像素值 a ,再测定直尺上 1cm 的像素值 b , a/b 就是测定的两点间的实际距离。其中,全长是额剑前端至尾节末端的长度,用 X_1 表示;体长是眼柄基部至尾节末端的距离,用 X_2 表示;头胸甲长指眼窝后缘连线中央至头胸甲中线后缘的长度,用 X_3 表示;尾节长是第 6 腹节中线后缘到尾节末端的长度,用 X_{10} 表示;头胸甲宽是头胸甲最宽处的长度,用 X_{11} 表示;头胸甲高是头胸甲下沿到头胸甲背脊线的距离,用 X_{18} 表示;各体节的长宽高分别是其最大长度、宽度和高度。用电子天平称量体重,人工获取肌肉部分,称量净肉重,精确到 0.001g,该工作由一人熟练操作,避免人为因素产生的误差。

1.3 分析方法

使用 Excel 对测定的数据进行初步的统计整理,

获得各性状的表型参数,出肉率(Y_2)=(净肉重/体重)×100%。用软件 SPSS17.0 进行相关分析、逐步回归分析和通径分析(刘峰等,2016;刘红等,2016)。首先对净肉重(Y_1)和出肉率(Y_2)进行正态检验,符合正态分布可以进行统计分析。直接通径系数 P_{iy} 为标准化回归系数,间接通径系数为 $P_{ijy}=R_{ij} \times P_{jy}$ (P_{ijy} 为 X_i 通过 X_j 对 y 的间接通径系数, 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为 $D_i=P_{iy}^2$ (D_i 是 X_i 的决定系数, P_{iy} 是 X_i 的直接通径系数),两个性状对净肉重的共同决定系数 $D_{ij}=2R_{ij}P_{iy}P_{jy}$ (D_{ij} 是 X_i 、 X_j 的共同决定系数, R_{ij} 为 X_i 和 X_j 之间的相关系数, P_{iy} 是 X_i 的直接通径系数, P_{jy} 是 X_j 的直接通径系数)。

2 结果

2.1 表型数据的描述统计

凡纳滨对虾表型性状、净肉重和出肉率的基本统计值列于表 1。所有性状中,净肉重的变异系数最大,达 22.7%,其他性状的变异系数相对较小,出肉率的变异系数最小为 2.65%。

2.2 性状间的相关性分析

所测量的 650 尾凡纳滨对虾的净肉重和出肉率均符合正态分布($n=650$)。相关分析显示(表 2),凡纳滨对虾形态性状与净肉重、出肉率之间的相关性均达到极显著水平($P<0.01$)。其中,体长与净肉重的相关性最大,达到 0.972,其次是全长,第 6 腹节宽的相关系数最小,为 0.562。各形态性状与净肉重的相关性大小排序为:体长>全长>第 1 腹节宽>第 3 腹节高>第 2 腹节高>第 4 腹节高>头胸甲宽>第 5 腹节高>第 2 腹节宽>第 1 腹节高>第 6 腹节高>头胸甲长>第 4 腹节宽>第 3 腹节宽>第 5 腹节宽>第 1 腹节长>第 3 腹节长>尾节长>头胸甲高>第 6 腹节长>第 5 腹节长>第 2 腹节长>第 4 腹节长>第 6 腹节宽。此外,出肉率与体长的相关系数最高,为 0.526,其次是第 2 腹节高和第 3 腹节高,分别是 0.524 和 0.516。

2.3 逐步回归分析获得方程

在相关分析的基础上,采用逐步法构建多元回归方程,获得自变量的偏回归系数(非标准化回归系数),对其进行显著性检验,从表 3 和表 4 中可以看出,截距和偏回归系数均达到显著或极显著水平,说明每一个自变量与因变量的线性关系都是显著的。同时对构建的方程进行显著性检验(表 5), F 检验结果显示,两个回归方程均达到极显著水平($P<0.01$),说明建立

表 1 各性状的表型统计量($n=650$)
Tab.1 The apparent statistics of various traits ($n=650$)

性状	参数		
	平均值	标准偏差	变异系数(%)
净肉重(Y_1, g)	5.573	1.266	22.7
出肉率($Y_2, %$)	59.023	1.561	2.65
全长(X_1, cm)	10.785	0.778	7.20
体长(X_2, cm)	9.324	0.675	7.20
头胸甲长(X_3, cm)	2.382	0.193	8.10
第 1 腹节长(X_4, cm)	1.021	0.100	9.80
第 2 腹节长(X_5, cm)	0.787	0.089	11.3
第 3 腹节长(X_6, cm)	1.054	0.121	11.5
第 4 腹节长(X_7, cm)	0.755	0.093	12.4
第 5 腹节长(X_8, cm)	0.702	0.072	10.3
第 6 腹节长(X_9, cm)	1.415	0.125	8.80
尾节长(X_{10}, cm)	1.192	0.095	7.90
头胸甲宽(X_{11}, cm)	1.322	0.109	8.20
第 1 腹节宽(X_{12}, cm)	1.130	0.094	8.30
第 2 腹节宽(X_{13}, cm)	1.039	0.097	9.30
第 3 腹节宽(X_{14}, cm)	0.842	0.094	11.1
第 4 腹节宽(X_{15}, cm)	0.747	0.076	10.2
第 5 腹节宽(X_{16}, cm)	0.655	0.068	10.3
第 6 腹节宽(X_{17}, cm)	0.567	0.080	14.1
头胸甲高(X_{18}, cm)	1.408	0.138	9.80
第 1 腹节高(X_{19}, cm)	1.259	0.107	8.50
第 2 腹节高(X_{20}, cm)	1.282	0.110	8.50
第 3 腹节高(X_{21}, cm)	1.313	0.109	8.30
第 4 腹节高(X_{22}, cm)	1.196	0.102	8.60
第 5 腹节高(X_{23}, cm)	1.054	0.092	8.70
第 6 腹节高(X_{24}, cm)	1.035	0.093	9.00

的方程成立。

由此得出, 以净肉重为因变量, 形态性状为自变量的回归方程(1)为:

$$Y_1 = -10.545 + 0.827X_2 + 1.352X_{12} + 0.883X_{21} - 0.863X_{10} + 1.260X_6 + 1.032X_5 + 0.936X_7 + 0.694X_4 + 0.621X_{23} + 0.550X_{14} + 0.563X_8 + 0.741X_{20} + 0.555X_{11};$$

以出肉率为因变量, 形态性状为自变量的回归方程(2)为:

$$Y_2 = 0.493 + 0.015X_2 - 0.028X_3 - 0.025X_{10} + 0.035X_{16} - 0.034X_{11} + 0.033X_{20} + 0.025X_6 + 0.027X_7 - 0.013X_{18}。$$

两个方程的决定系数 R^2 分别是 0.970 和 0.367, 经回归预测, 估计值和实际观测值差异不显著, 表明两个方程的拟合度较好。

2.4 形态性状与净肉重、出肉率的途径分析

对进入方程的性状进行途径分析, 结果列于表 6、表 7。自变量的标准化回归系数即途径系数, 代表直接作用, 不同形态性状的直接作用有较大差异。体

长对净肉重的直接影响最大, 为 0.441, 其次是第 3 腹节长和第 1 腹节宽, 分别为 0.120、0.101, 尾节长对净肉重的直接作用为负值。对出肉率直接作用最大的也是体长, 为 0.664, 其次是第 2 腹节高和第 3 腹节长, 分别是 0.233、0.192, 头胸甲长、宽、高和尾节长产生负的直接作用。大多数指标的间接作用均大于直接作用, 而且主要通过体长产生间接影响。

2.5 形态性状对净肉重、出肉率的决定程度

单个性状和两个性状对自变量的决定系数列于表 8、表 9, 表格对角线以上的数值是单个性状的决定系数, 以下为两个性状的共同决定系数。体长对净肉重的单独决定程度最大, 决定系数为 0.194, 尾节长起负决定作用。两个性状对净肉重的共同作用中, 体长和第 1 腹节宽的共同作用最大, 决定系数为 0.083, 其次为体长和第 3 腹节长。体长同样对出肉率起到最大的决定作用, 体长和第 2 腹节高产生的正向共同作用最大。

3 讨论

在动物选择育种中, 净肉重和出肉率通常作为经济性状的主要衡量指标, 因操作不便且必须杀死动物才能实现, 因而可以通过测量体长和体节长等形态性状实现间接选择。目前已有较多文献报道了形态性状与虾体重之间的关系。李玉虎等(2014)测量了凡纳滨对虾的 8 个性状, 得出体长对体重的直接影响程度最大, 其次是全长、第 3 腹节宽和第 1 腹节宽; 杨长明等(2011)测量了凡纳滨对虾的 9 个性状, 建立全长、体长、第 1 腹节背高、第 1 腹节背宽、头胸甲宽和头胸甲高与体重的多元回归方程; 刘小林等(2004)也认为体长对凡纳滨对虾体重的直接影响最大, 是影响体重的最主要因素。

鉴于虾类的头胸部不可食用且比重较大, 所以用体重作为因变量存在误差。另一方面, 有关虾类这方面的报道测量的性状多数是 10 个左右(边力等, 2013; 孙成波等, 2008; 张敏莹等, 2010), 为了进行更全面的分析, 本研究共选择了 24 个形态性状。此外, 生产中追求的目标是净肉重大且出肉率高, 因此除了净肉重外, 出肉率也是一个重要指标, 所以分别计算了净肉重、出肉率与可量性状之间的关系。本研究的所有性状中, 净肉重的变异系数最大, 说明不同个体存在一定差异, 有较大的变异选择空间, 这是进行选择育种的重要前提(安丽等, 2008)。本文中的出肉率平均值是 59.0%, 略高于相关文献报道的水平

表 2 凡纳滨对虾各性状间的相关系数
Tab.2 The correlation coefficient between traits of *L. vannamei*

性状	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
X ₁	0.949	0.972	0.844	0.756	0.693	0.742	0.665	0.697	0.699	0.734	0.889	0.944	0.872	0.791	0.836	0.785	0.562	0.725	0.866	0.92	0.937	0.9	0.874	0.857
X ₂	0.502	0.526	0.378	0.466	0.394	0.448	0.418	0.394	0.352	0.368	0.441	0.502	0.493	0.455	0.488	0.48	0.33	0.362	0.466	0.524	0.516	0.51	0.466	0.437
X ₃	1	0.971	0.844	0.727	0.672	0.708	0.649	0.695	0.736	0.791	0.871	0.917	0.845	0.755	0.806	0.76	0.54	0.716	0.838	0.888	0.914	0.882	0.859	0.863
X ₄	1	0.882	0.752	0.683	0.723	0.666	0.721	0.753	0.797	0.877	0.877	0.934	0.852	0.764	0.816	0.763	0.547	0.729	0.858	0.909	0.928	0.896	0.877	0.876
X ₅	1	0.577	0.537	0.483	0.559	0.516	0.493	0.633	0.674	0.665	0.773	0.821	0.734	0.645	0.693	0.637	0.472	0.641	0.757	0.794	0.807	0.782	0.783	0.783
X ₆	1	0.483	0.459	0.414	0.493	0.464	0.493	0.492	0.574	0.574	0.654	0.707	0.66	0.571	0.641	0.607	0.439	0.616	0.686	0.696	0.71	0.668	0.628	0.656
X ₇	1	0.332	0.422	0.464	0.436	0.422	0.464	0.436	0.514	0.514	0.622	0.68	0.613	0.535	0.601	0.56	0.402	0.514	0.619	0.677	0.671	0.667	0.61	0.622
X ₈	1	0.252	0.455	0.494	0.552	0.672	0.707	0.669	0.62	0.637	0.672	0.707	0.669	0.62	0.637	0.619	0.433	0.534	0.627	0.666	0.691	0.657	0.628	0.631
X ₉	1	0.438	0.453	0.497	0.589	0.637	0.589	0.637	0.597	0.548	0.59	0.567	0.597	0.525	0.563	0.498	0.367	0.446	0.625	0.639	0.663	0.653	0.659	0.651
X ₁₀	1	0.447	0.447	0.556	0.618	0.652	0.669	0.661	0.669	0.618	0.652	0.669	0.589	0.553	0.585	0.533	0.347	0.536	0.607	0.66	0.672	0.656	0.659	0.661
X ₁₁	1	0.669	0.722	0.676	0.607	0.633	0.59	0.574	0.661	0.669	0.722	0.676	0.607	0.633	0.633	0.59	0.454	0.564	0.652	0.697	0.721	0.696	0.689	0.71
X ₁₂	1	0.897	0.829	0.767	0.81	0.766	0.829	0.767	0.81	0.897	0.829	0.767	0.81	0.897	0.829	0.766	0.518	0.656	0.779	0.833	0.851	0.807	0.786	0.769
X ₁₃	1	0.889	0.822	0.861	0.822	0.861	0.822	0.861	0.822	0.861	0.822	0.861	0.822	0.861	0.822	0.861	0.581	0.718	0.845	0.895	0.903	0.863	0.828	0.835
X ₁₄	1	0.84	0.859	0.824	0.551	0.677	0.774	0.812	0.837	0.796	0.77	0.761	1	0.84	0.859	0.824	0.551	0.677	0.774	0.812	0.837	0.796	0.77	0.761
X ₁₅	1	0.858	0.832	0.59	0.611	0.666	0.736	0.779	0.795	0.75	0.72	0.739	1	0.858	0.832	0.59	0.611	0.666	0.736	0.779	0.795	0.75	0.72	0.739
X ₁₆	1	0.891	0.611	0.666	0.736	0.779	0.795	0.75	0.72	0.739	1	0.891	0.611	0.666	0.736	0.779	0.795	0.75	0.72	0.739	1	0.891	0.611	0.666
X ₁₇	1	0.607	0.633	0.711	0.732	0.758	0.703	0.646	0.687	1	0.607	0.633	0.711	0.732	0.758	0.703	0.646	0.687	1	0.607	0.633	0.711	0.732	0.758
X ₁₈	1	0.409	0.515	0.543	0.538	0.496	0.457	0.491	1	0.409	0.515	0.543	0.538	0.496	0.457	0.491	1	0.409	0.515	0.543	0.538	0.496	0.457	0.491
X ₁₉	1	0.699	0.707	0.728	0.677	0.663	0.693	1	0.699	0.707	0.728	0.677	0.663	0.693	1	0.699	0.707	0.728	0.677	0.663	0.693	1	0.699	0.707
X ₂₀	1	0.88	0.872	0.83	0.809	0.803	1	0.88	0.872	0.83	0.809	0.803	1	0.88	0.872	0.83	0.809	0.803	1	0.88	0.872	0.83	0.809	0.803
X ₂₁	1	0.933	0.889	0.856	0.837	1	0.933	0.889	0.856	0.837	1	0.933	0.889	0.856	0.837	1	0.933	0.889	0.856	0.837	1	0.933	0.889	0.856
X ₂₂	1	0.908	0.872	0.85	1	0.908	0.872	0.85	1	0.908	0.872	0.85	1	0.908	0.872	0.85	1	0.908	0.872	0.85	1	0.908	0.872	0.85
X ₂₃	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816	1	0.87	0.816
X ₂₄	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823	1	0.823

注: 所有性状间均表现为极为显著水平(P<0.01)

表 3 方程(1)中回归系数显著性检验
Tab.3 The significance test of regression coefficient in equation (1)

变量	非标准化回归系数	标准误差	标准化回归系数	显著性
(常量)	-10.545	0.13		0.000
体长(X_2)	0.827	0.065	0.441	0.000
第 1 腹节宽(X_{12})	1.352	0.332	0.101	0.000
第 3 腹节高(X_{21})	0.883	0.275	0.076	0.001
尾节长(X_{10})	-0.863	0.158	-0.065	0.000
第 3 腹节长(X_6)	1.260	0.140	0.120	0.000
第 2 腹节长(X_5)	1.032	0.158	0.072	0.000
第 4 腹节长(X_7)	0.936	0.155	0.069	0.000
第 1 腹节长(X_4)	0.694	0.135	0.055	0.000
第 5 腹节高(X_{23})	0.621	0.215	0.045	0.004
第 3 腹节宽(X_{14})	0.550	0.168	0.041	0.001
第 5 腹节长(X_8)	0.563	0.184	0.032	0.002
第 2 腹节高(X_{20})	0.741	0.244	0.064	0.003
头胸甲宽(X_{11})	0.555	0.191	0.048	0.004

注: 净肉重(Y_1)为因变量

表 4 方程(2)中回归系数显著性检验
Tab.4 The significance test of regression coefficient in equation (2)

变量	非标准化回归系数	标准误差	标准化回归系数	显著性
(常量)	0.493	0.007		0.000
体长(X_2)	0.015	0.003	0.664	0.000
头胸甲长(X_3)	-0.028	0.006	-0.345	0.000
尾节长(X_{10})	-0.025	0.009	-0.149	0.006
第 5 腹节宽(X_{16})	0.035	0.012	0.153	0.004
头胸甲宽(X_{11})	-0.034	0.010	-0.239	0.001
第 2 腹节高(X_{20})	0.033	0.011	0.233	0.003
第 3 腹节长(X_6)	0.025	0.007	0.192	0.000
第 4 腹节长(X_7)	0.027	0.008	0.164	0.001
头胸甲高(X_{18})	-0.013	0.005	-0.113	0.017

注: 出肉率(Y_2)为因变量

表 5 多元回归方程的方差分析
Tab.5 Analysis of variance of multiple regression equations

指数	平方和		自由度		均方		F 检验值		显著性	
	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
回归	1008.265	0.058	13	9	77.559	0.006	1566.228	41.377	0.000	0.000
残差	31.494	0.1	636	640	0.05	0				
总计	1039.76	0.158	649	649						

表 6 形态性状对净肉重的直接影响和间接影响
Tab.6 Direct and indirect effects of morphometric traits on net weight

性状	相关系数	直接作用	间接作用													
			X_2	X_{12}	X_{21}	X_{10}	X_6	X_5	X_7	X_4	X_{23}	X_{14}	X_8	X_{20}	X_{11}	
X_2	0.972	0.441	0.530		0.082	0.063	-0.047	0.093	0.051	0.072	0.049	0.049	0.040	0.025	0.039	0.039
X_{12}	0.944	0.101	0.842	0.390		0.062	-0.042	0.091	0.053	0.071	0.047	0.048	0.037	0.023	0.037	0.040
X_{21}	0.937	0.076	0.860	0.387	0.079		-0.042	0.089	0.050	0.074	0.048	0.048	0.038	0.023	0.039	0.038
X_{10}	0.734	-0.065	0.799	0.329	0.062	0.049		0.071	0.040	0.055	0.036	0.036	0.030	0.019	0.030	0.029
X_6	0.742	0.120	0.622	0.305	0.062	0.048	-0.033		0.040	0.054	0.020	0.024	0.030	0.016	0.028	0.030
X_5	0.693	0.072	0.620	0.357	0.078	0.057	-0.040	0.086		0.065	0.044	0.044	0.035	0.021	0.034	0.037
X_7	0.665	0.069	0.596	0.380	0.078	0.064	-0.041	0.086	0.048		0.047	0.048	0.037	0.022	0.038	0.037
X_4	0.756	0.055	0.701	0.280	0.056	0.045	-0.029	0.035	0.036	0.050		0.031	0.028	0.015	0.027	0.026
X_{23}	0.874	0.045	0.828	0.288	0.060	0.046	-0.031	0.044	0.037	0.054	0.032		0.026	0.016	0.027	0.028
X_{14}	0.791	0.041	0.750	0.312	0.061	0.048	-0.034	0.072	0.039	0.055	0.038	0.034		0.017	0.028	0.029
X_8	0.697	0.032	0.665	0.302	0.058	0.046	-0.033	0.060	0.036	0.051	0.032	0.033	0.027		0.029	0.027
X_{20}	0.920	0.064	0.856	0.367	0.073	0.060	-0.040	0.081	0.046	0.068	0.044	0.044	0.034	0.023		0.035
X_{11}	0.889	0.048	0.841	0.366	0.078	0.058	-0.039	0.086	0.049	0.066	0.044	0.044	0.034	0.021	0.035	

表 7 形态性状对出肉率的直接影响和间接影响
Tab.7 Direct and indirect effects of morphometric traits on fillet yield

性状	相关系数	直接作用	间接作用									
			X_2	X_3	X_{10}	X_{16}	X_{11}	X_{20}	X_6	X_7	X_{18}	
X_2	0.526	0.664	-0.138		-0.304	-0.119	0.117	-0.210	0.212	0.139	0.109	-0.082
X_3	0.378	-0.345	0.723	0.586		-0.099	0.097	-0.185	0.185	0.118	0.093	-0.072
X_{10}	0.368	-0.149	0.516	0.529	-0.229		0.090	-0.160	0.162	0.106	0.082	-0.064
X_{16}	0.480	0.153	0.327	0.507	-0.220	-0.088		-0.183	0.171	0.119	0.093	-0.072
X_{11}	0.441	-0.239	0.679	0.582	-0.267	-0.100	0.117		0.194	0.129	0.097	-0.074
X_{20}	0.524	0.233	0.290	0.604	-0.274	-0.104	0.112	-0.199		0.128	0.103	-0.080
X_6	0.448	0.192	0.256	0.480	-0.212	-0.082	0.095	-0.161	0.155		0.041	-0.060
X_7	0.418	0.164	0.254	0.442	-0.195	-0.074	0.087	-0.141	0.147	0.048		-0.060
X_{18}	0.362	-0.113	0.474	0.484	-0.221	-0.084	0.097	-0.157	0.165	0.103	0.088	

表 8 形态性状对净肉重的决定系数
Tab.8 The determinant coefficients of morphometric traits on net weight

性状	X_2	X_{12}	X_{21}	X_{10}	X_6	X_5	X_7	X_4	X_{23}	X_{14}	X_8	X_{20}	X_{11}
X_2	0.194												
X_{12}	0.083	0.010											
X_{21}	0.062	0.014	0.006										
X_{10}	-0.046	-0.009	-0.007	0.004									
X_6	0.077	0.017	0.013	-0.009	0.014								
X_5	0.043	0.010	0.007	-0.005	0.006	0.005							
X_7	0.041	0.009	0.007	-0.004	0.003	0.004	0.005						
X_4	0.036	0.008	0.006	-0.004	0.004	0.004	0.004	0.003					
X_{23}	0.035	0.008	0.006	-0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002				
X_{14}	0.028	0.007	0.005	-0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002			
X_8	0.020	0.004	0.003	-0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001		
X_{20}	0.051	0.012	0.009	-0.006	0.003	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	
X_{11}	0.037	0.009	0.006	-0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002

表 9 形态性状对出肉率的决定系数
Tab.9 The determinant coefficients of morphometric traits on fillet yield

性状	X_2	X_3	X_{10}	X_{16}	X_{11}	X_{20}	X_6	X_7	X_{18}
X_2	0.441								
X_3	-0.404	0.119							
X_{10}	-0.158	0.068	0.022						
X_{16}	0.155	-0.067	-0.027	0.023					
X_{11}	-0.278	0.127	0.048	-0.056	0.057				
X_{20}	0.281	-0.128	-0.048	0.052	-0.093	0.054			
X_6	0.184	-0.081	-0.032	0.036	-0.062	0.060	0.037		
X_7	0.145	-0.064	-0.024	0.028	-0.046	0.048	0.016	0.027	
X_{18}	-0.109	0.050	0.019	-0.022	0.035	-0.037	-0.023	-0.020	0.013

(陈琴等, 2001; 田丽等, 2013)。

研究中的 24 个形态性状与净肉重的相关系数明显高于其与出肉率的相关系数, 两者都与体长的相关系数最高。回归方程中存留的自变量与因变量的相关系数和偏回归系数均达到显著或极显著的程度。需要指出的是, 相关系数很大, 偏回归系数不一定显著。在分析过程中, 相关系数达到极显著水平($P < 0.01$)的形态性状在回归分析中被剔除, 推测出现这种情况的原因是对因变量影响不够大且与其他变量存在多重共线性(吴立峰等, 2010)。

回归关系的显著性检验说明构建的方程具有统计学意义。净肉重和形态性状建立的方程 $R^2 = 0.85$, 说明影响因变量的主要自变量已经找到(Ma *et al.*, 2013)。而出肉率与形态性状建立的方程 $R^2 = 0.367$, 所以还存在对出肉率有影响的性状未包含的现象, 若要找到有作用的其他性状, 需要对凡纳滨对虾体型进行更加详细的描述。柴展等(2015)基于家系水平研究了凡纳滨对虾出肉率与表型性状之间的关系, 所得方程的决定系数 $R^2 = 0.17$ 。对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)和红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)出肉率与可量性状的相关性研究中, 克氏原螯虾的出肉率和第 1 腹节宽的相关性最高, 达到 0.370, 红螯螯虾的出肉率和体长的相关性最高, 达到 0.567, 尚未发现与出肉率高度线性相关的可直接测量性状($r = 0.8$)(安丽等, 2012)。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, Van Sang 等(2009)研究了水晶巴丁鱼(*Pangasianodon hypophthalmus*)的出肉率和 4 个形态性状之间的关系, 预测方程的决定系数达 0.77, 董在杰等(2010)发现尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)出肉率与可量性状间存在较强的线性关系, 拟合方程

相关系数为 0.985。

通径分析是进行相关系数分解的一种统计方法, 是回归分析的拓展(De Rodríguez *et al.*, 2001)。对偏回归系数达到显著水平的性状进行通径分析, 得出对因变量起主要作用的因素是体长, 其他性状通过体长产生间接影响。此外, 相关系数为正, 但通径分析中直接作用较小或为负值, 则表明间接效应是相关的主要原因。例如, 尾节长对净肉重有较小的负向作用, 但是它通过体长对净肉重产生的正向的间接作用较大, 抵消了负的直接作用, 这也是尾节长与净肉重呈正相关的原因。单个性状或两个性状对因变量的决定系数反映了各变量对因变量的综合作用的大小(袁志发等, 2001)。本文中决定系数的分析结果与通径分析结论一致, 体长对净肉重的决定作用最大, 两个性状对净肉重的共同作用中, 体长和第 3 腹节长的共同作用最大。对出肉率正向直接作用最大的前三个自变量是体长、第 2 腹节高和第 3 腹节长, 其中, 体长和第 3 腹节长对体重的影响也是最大的。此外, 头胸甲长、宽、高和尾节长越大, 出肉率越低, 它们对出肉率有较强的负作用。

本研究结果表明, 可以通过测量形态性状间接实现对不易获得的经济性状的选择。品种差异、测量性状、测量时间和解剖方法等因素都可能导致结果存在一定差异(Hung *et al.*, 2014)。如何更加详细地表述可量性状, 提高它们与出肉率的相关性是需要解决的问题。结合已有的报道, 本研究认为与凡纳滨对虾净肉重和出肉率有密切关系的性状是体长和第 3 腹节长, 这为选育工作提供了理想的测量指标。

参 考 文 献

- 王锐安, 吉宏武, 2010. 冷冻即食熟虾仁加工工艺. 食品科技, 35(4): 133—135

- 田 丽, 文 菁, 王 雁, 2013. 凡纳对虾斑节对虾及日本对虾含肉率的比较. 农业与技术, 33(5): 231
- 边 力, 钟声平, 刘洪涛等, 2013. 两月龄日本囊对虾形态性状对体质量的通径分析. 厦门大学学报(自然科学版), 52(3): 427—432
- 刘 红, 郝 敏, 孔丹丹等, 2016. 不同种群凡纳滨对虾形态性状对体质量的影响. 水产科学, 35(5): 466—472
- 刘 峰, 陈 琳, 楼 宝等, 2016. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析. 海洋与湖沼, 47(3): 655—662
- 刘小林, 吴长功, 张志怀等, 2004. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报, 24(4): 857—862
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 安 丽, 刘 萍, 李 健等, 2008. “黄海1号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析. 中国水产科学, 15(5): 779—786
- 安 丽, 孟庆磊, 董学飒等, 2012. 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, 2(12): 54—56, 61
- 孙成波, 邓先余, 李镇泉等, 2008. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系. 海洋与湖沼, 39(3): 263—268
- 孙苗苗, 陈百尧, 杨其彬等, 2013. 斑节对虾形态性状对体质量影响的分析. 海洋科学, 37(5): 50—54
- 李 刚, 刘小林, 黄 皓等, 2007. 凡纳滨对虾净肉质量的影响因素分析. 海洋科学, 31(6): 70—74
- 李玉虎, 张志怀, 宋芹芹等, 2014. 凡纳滨对虾新品系体形性状对其体质量的影响. 热带生物学报, 5(4): 307—311
- 杨长明, 何 铜, 刘小林等, 2011. 凡纳对虾形态性状对体质量的逐步回归分析. 西北农业学报, 20(2): 15—20
- 吴立峰, 张吕平, 沈 琪等, 2010. 凡纳滨对虾不同家系的形态性状对体重的影响. 海洋湖沼通报, (2): 37—48
- 张成松, 李富花, 相建海, 2013. 脊尾白虾形态性状对体质量影响的通径分析. 水产学报, 37(6): 809—815
- 张敏莹, 刘 凯, 段金荣等, 2010. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析. 中国农学通报, 26(21): 417—421
- 陈 琴, 陈晓汉, 谢达祥等, 2001. 不同盐度养殖的南美白对虾含肉率及其肌肉营养成分. 海洋科学, 25(8): 16—18
- 袁志发, 周静芋, 郭满才等, 2001. 决策系数——通径分析中的决策指标. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 29(5): 131—133
- 柴 展, 栾 生, 罗 坤等, 2015. 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. 渔业科学进展, 36(6): 63—70
- 黄有辉, 范 斌, 李一鸣等, 2016. 日本沼虾五群体形态性状对体质量的通径分析. 水产学报, 40(8): 1173—1185
- 董世瑞, 孔 杰, 万初坤等, 2007. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析. 海洋水产研究, 28(3): 15—22
- 董在杰, 梁政远, 徐 跑等, 2010. 尼罗罗非鱼出肉率与可量性状的相关性. 中国水产科学, 17(2): 212—217
- 熊建华, 赵永贞, 高永华等, 2011. 凡纳滨对虾良种培育研究进展. 南方农业学报, 42(5): 556—561
- De Rodríguez D J, Angulo-Sánchez J, Rodríguez-García R, 2001. Correlation and path coefficient analyses of the agronomic trait of a native population of guayule plants. Ind Crops Prod, 14(2): 93—103
- Hung D, Nguyen N H, 2014. Modeling meat yield based on measurements of body traits in genetically improved giant freshwater prawn (GFP) *Macrobrachium rosenbergii*. Aquacul Int, 22(2): 619—631
- Ma H Y, Ma C Y, Ma L B *et al*, 2013. Correlation of growth-related traits and their effects on body weight of the mud crab (*Scylla paramamosain*). Genet Mol Res, 12(4): 4127—4136
- Van Sang N, Thomassen M, Klemetsdal G *et al*, 2009. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). Aquaculture, 288(3—4): 166—171
- Wang W, Ma C Y, Chen W *et al*, 2016. Optimization of selective breeding through analysis of morphological traits in Chinese sea bass (*Lateolabrax maculatus*). Genet Mol Res, 15(3): gmr.15038285
- Zou X, Ma H Y, Lu J X *et al*, 2017. Mathematical analysis of morphological traits and their effects on body weight in the red crab (*Charybdis feriata*). Afr J Agric Res, 12(6): 429—434

CORRELATION OF MORPHOMETRIC ATTRIBUTES TO NET WEIGHT AND FILLET YIELD OF *LITOPENAEUS VANNAMEI*

ZHANG Qian^{1,2,3}, WANG Quan-Chao¹, YU Yang¹, ZHANG Cheng-Song¹, HUANG Hao⁴, LI Fu-Hua^{1,2}, XIANG Jian-Hai^{1,2}

(1. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Marine Biology and Biotechnology Laboratory, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Hainan Grand Suntop Ocean Breeding Co., Ltd, Wenchang 571300, China)

Abstract To determine the correlation of morphometric attributes to the net weight and fillet yield of *Litopenaeus vannamei*, 26 traits, including body weight, net weight, total length, body length, and the length, width, and height of each abdominal segment were measured from 650 individuals of five-month-old *L. vannamei*. The fillet yield was obtained by body weight and net weight. The correlation coefficients, path coefficients, determination coefficients among attributes were calculated in correlation analysis, multiple regression analysis, and path analysis. The results indicated that correlation achieved very significant levels ($P < 0.01$). In addition, multiple regression equation was established by taking the net weight as a dependent variable, and 13 other morphometric traits as independent variables. The prediction equation for fillet yield was established with 9 independent variables. Path analysis showed that the body length weighted the most with the net weight, and the third abdominal segment length and the first abdominal width followed. Body length had the highest direct correlation to fillet field, followed by the second abdominal segment height and the third abdominal segment length. The trend of determination coefficient analysis was similar to that of path analysis. The study draws a conclusion that body length and the third abdominal segment length have a predominant direct effect on net weight and fillet yield, which provide theoretical information for breeding of the species.

Key words *Litopenaeus vannamei*; multiple regression analysis; path analysis; net weight; fillet yield; morphometric traits