

文章编号:1000-0615(2012)04-0489-08

DOI:10.3724/SP.J.1231.2012.27731

吉富罗非鱼家系选育3代后形态性状变异及其对体质量的影响

李灵玲¹, 董在杰², 苏胜彦², 徐跑^{1,2*}, 梁政远², 马良骁¹, 刘伟¹, 张建桥¹

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081)

摘要: 以吉富罗非鱼引进群体(P)及其家系选育第三代(F₃)为实验对象, 测定了群体的体质量(Y)、体长(X₁)、体宽(X₂)、体高(X₃)4个性状, 通过相关分析、通径分析和回归分析, 计算相关系数、通径系数和决定系数, 建立多元回归方程, 对P和F₃间形态性状及其对体质量的影响程度进行对比分析。结果显示: 1) 与亲本相比, F₃体质量、体长、体宽和体高4项指标都有显著提高, 同时变异系数有一定下降, 体型趋于一致, 其中雌性变化较大。2) F₃较P3项形态性状指标对体质量影响最大者均由体高×体长变为体长。3) 与P相比, F₃体长、体宽和体高3项形态性状对体质量的影响力有所下降。

关键词: 吉富罗非鱼; 相关分析; 通径分析; 多元回归

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

吉富罗非鱼(Genetically Improved Farmed Tilapia, GIFT)是遗传性状改良后的尼罗罗非鱼, 由国际水生生物资源管理中心(ICLARM), 通过四个非洲原产地直接引进的尼罗罗非鱼品系(埃及、加纳、肯尼亚、塞内加尔)和四个亚洲养殖较广泛的尼罗罗非鱼品系(以色列、新加坡、泰国、中国台湾)混合选育获得^[1]。经过近20年的种内群体杂交选育, 显示出优良的生长性能和潜能^[2-3], 引起了亚太地区的广泛兴趣和关注, 多国引种并启动了对其进一步改良和推广的国家育种计划^[4]。中国水产科学研究院淡水渔业研究中心于2006年8月从世界渔业中心(WorldFish Center)引进了60个家系的吉富罗非鱼, 该群体有较大的生长差异和遗传多样性^[5-6], 仍然具有较大的选育潜力。因而对该群体进行了连续3代的家系选育。

体质量作为衡量吉富罗非鱼遗传育种的重要经济指标, 很大程度上决定了生产性能, 而且受到多项形态性状的影响。当鱼类体质量遗传力较低时, 直接选育效果不好, 而选育与体质量存在较高遗

传相关形态性状的则能达到较好效果。因此, 开展形态性状与体质量间关系的研究对促进吉富罗非鱼育种具有十分重要的意义^[7]。

相关分析、多元回归分析等方法已广泛应用于畜牧选育目标性状的确定。在水产动物选育上亦有不少报道^[8-10], 但通常以表型相关分析为主, 在揭示自变量和因变量真实关系时还存在一定的局限性。本研究以P、F₃吉富罗非鱼为研究对象, 采用表型相关分析、通径分析及多元回归分析, 分析体宽、体高、体长3个形态性状对体质量的决定作用及其直接和间接作用, 建立估算体质量的多元回归方程, 对比分析选育产生的变化, 旨在为吉富罗非鱼选育指标的确立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验鱼养殖于中国水产科学研究院淡水渔业研究中心宜兴实验基地, 分家系进行选育, 依据BLUP法^[11]选留鱼体作为下一代亲本, 每代均保留

收稿日期: 2011-09-12 修回日期: 2011-12-05

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-49); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2007JBFA01); 农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室开放课题(BM2007-01)

通讯作者: 徐跑, E-mail: xup@ffrc.cn

60 个家系作为选育系,以防止家系数量变化影响实验结果。通过建立全同胞的方案来进行遗传参数估计、育种值计算和配种方案的确立等遗传评估工作,这样能够更加充分地利用个体的亲属信息(自身、祖先、兄妹、后裔等),估计的遗传参数和育种值会更精确。

雄鱼和雌鱼逐对放入配对网箱,7天后定期观察是否含卵,若有受精卵,从雌鱼嘴中取出卵,放入孵卵器孵化^[12]。成功配对鱼产出的子代(一次一条雄鱼配一条雌鱼)孵化 2~7 d 后将鱼苗移到单独的网箱,以气泵充氧。当鱼体长到 10 cm 左右时,对其进行 PIT(passive integrated transponder)个体标记识别。于 70%酒精中消毒 PIT 标记和注射器后,将 PIT 标记放入注射器针头。将针头从鱼腹后方以 45°角刺入腹腔,与腹壁平行轻推推杆约 1 cm,将 PIT 标记注入鱼体腹腔。抽出注射器,轻揉注射部位^[13]。标记后养殖于池塘,每天投喂 3 次,每次以喂饱为限。

1.2 数据测量

对 P 的 1 625 尾鱼,其中雄性 721 尾,雌性 904 尾;F₃ 的 2 680 尾鱼,其中雄性 1 222 尾,雌性 1 458 尾进行测量。鱼群均养殖于同一实验地点,采用同样的繁殖管理方法,于同一时段进行数据测量,以尽可能消除环境差异造成的影响。

在鱼养成收获时,测量生长数据。测量时使用丁香油进行麻醉,电子天平称量活体质量(精确到 1 g),标尺测量体长(吻端至侧线鳞最后一个鳞片末端长)、体宽(躯干部最厚处的垂直宽度)、体高(躯干部最高处的垂直高度)(精确到 1 mm)。

1.3 统计分析

运用 EXCEL 2003 和 SPSS 16.0 软件对实验数据进行统计分析。分别对数据进行表型相关分析(Pearson 相关)、形态性状对体质量的通径分析和决定系数计算,剖析各性状对体质量的直接影响和间接影响,运用逐步多元线性回归法建立形态性状对体质量的回归方程。

Pearson 简单相关系数(r_{xy})用来衡量定距变量间的线性关系。通径系数 P_i 为标准化的回归系数,多个变量情况下即为标准偏回归系数。一个自变量到应变变量通径系数的平方称为该自变量到应变变量的决定系数(d_{y,x_i}),两个自变量之间相关系数与

它们到应变变量的通径系数乘积的 2 倍称为该两个自变量共同对应应变变量的决定系数($d_{y,x_i x_j}$),多个自变量对应应变变量的决定系数为 R^2 。具体计算公式如下^[14-15]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$d_{y,x_i x_j} = 2r_{x_i x_j} P_{y,x_i} P_{y,x_j}$$

$$P_{y,x} = b_{y,x} \frac{\delta_x}{\delta_y}$$

$$d_{y,x_i} = P_{y,x_i}^2$$

$$R^2 = \sum P_i^2 + 2 \sum r_{ij} P_i P_j$$

2 结果

2.1 表型性状

如不考虑雌雄,F₃ 鱼体在体质量、体长、体宽和体高 4 个性状指标上较 P 鱼体均有极显著提高;同时变异系数出现一定下降。雄性体质量未发生显著变化,变异系数下降。雌性体质量、体长、体宽和体高 4 项性状指标均极显著上升,体质量变异系数下降(表 1)。

2.2 各性状间相关系数

P、F₃ 吉富罗非鱼各性状间相关系数(Pearson 系数)见表 2,表格对角线左下方表示的是各性状两两之间的相关系数。体长、体宽、体高性状指标与体质量的 Pearson 相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。数据显示 F₃ 较 P,性状指标与体质量的相关系数排序,总体由体高>体长>体宽变为体长>体高>体宽;雄性维持排序,但数值均有所减小;雌性由体高>体长>体宽变为体长>体宽>体高。此外,体长、体宽、体高 3 性状指标两两之间相关系数也达到极显著水平($P < 0.01$),说明三者之间可能存在着不同程度的多重共线性问题,因此,运用了通径分析解决这一问题^[16],并采用逐步多元回归法建立了体质量与形态性状指标的回归方程。

2.3 3 个形态性状对体质量的通径分析

根据通径分析原理,利用 SPSS 软件分析了体长、体宽、体高 3 个形态性状指标对体质量的通径系数(表 3)。经显著性检验发现,三者对体质量的

相关性都达到了显著水平。通径系数反应了不同形态性状指标对体质量的直接影响大小, F_3 较 P, 3 形态性状指标对体质量的直接作用排序总体由体高>体长>体宽变为体长>体高>体宽; 雄性维持排序, 但作用较大的体长、体高数值上升, 而体宽下降; 雌性由体高>体长>体宽变为体长>体高>体宽。

根据相关系数(r_{xy})的组成, 将吉富罗非鱼形态性状对体质量的表型相关系数分为两个部分: 直接作用(P_i)与各性状通过其他性状的间接作用($\sum r_{x_i x_j} P_j$), 即 $r_{xy} = P_i + \sum r_{x_i x_j} P_j$ [17]。从表 3 可以看出, 除 P 代总体外, 直接作用排序第一位的性状指标直接作用较大, 其余则为间接作用大于直接作用。

2.4 3 个性状对体质量的决定程度分析

根据单个性状对体质量的通径系数和两个性状间的相关系数, 计算得到表 4 中的 3 个形态性状指标对体质量的决定系数以分析不同性状指标对体质量的决定程度。根据表 4 可以发现, F_3 与 P 比较, 单个性状影响情况与通径分析结果一致。互作影响表现为体长×体宽雄性和总体下降, 雌性上升; 体长×体高雌性和总体上升, 雄性下降; 体宽×体高均下降。3 个生长性状指标对体质量的决定系数 P 为雄性 89.7%, 雌性 93.2%, 总体 92.0%, F_3 为雄性 85.3%, 雌性 90.5%, 总体 88.4%, 决定程度整体下降。

表 1 所测性状的表型统计量
Tab. 1 The apparent statistics of various traits

	性状 traits				变异系数/% CV			
	体质量 BW	体长 BL	体宽 BT	体高 BH	体质量 BW	体长 BL	体宽 BT	体高 BH
P 雄♂ (44.37%)	418.82±4.97 ^{ns}	227.10±0.83 ^{**}	44.30±0.21 ^{ns}	88.66±0.41 ^{ns}	31.84	9.81	12.63	12.37
F_3 雄♂ (45.60%)	416.41±3.22 ^{ns}	221.37±0.60 ^{**}	43.90±0.17 ^{ns}	89.12±0.30 ^{ns}	26.99	9.41	13.11	11.80
P 雌♀ (55.63%)	294.36±3.16 ^{**}	204.05±0.69 ^{**}	39.96±0.16 ^{**}	76.16±0.31 ^{**}	32.23	10.13	12.20	12.08
F_3 雌♀ (54.40%)	346.48±2.69 ^{**}	208.84±0.55 ^{**}	42.93±0.15 ^{**}	82.84±0.27 ^{**}	29.66	9.99	13.07	12.60
P 总体 total	349.58±3.21 ^{**}	214.28±0.60 [*]	41.89±0.14 ^{**}	81.71±0.29 ^{**}	36.98	11.33	13.45	14.43
F_3 总体 total	378.37±2.18 ^{**}	214.55±0.42 [*]	43.37±0.11 ^{**}	85.70±0.21 ^{**}	29.80	10.14	13.14	12.75

注: 体质量 BW: body weight; 体长 BL: body length; 体宽 BT: body thickness; 体高 BH: body height。
ns 表示差异不显著, *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)。

Notes: BW, body weight; BL, body length; BT, body thickness; BH, body height.
ns means no significant difference, * means significant difference($P<0.05$), ** means significant difference($P<0.01$).

表 2 性状间的相关系数
Tab. 2 The correlation coefficient between the traits

性状 traits	P				F_3			
	体质量/Y BW	体长/ X_1 BL	体宽/ X_2 BT	体高/ X_3 BH	体质量/Y BW	体长/ X_1 BL	体宽/ X_2 BT	体高/ X_3 BH
体质量/Y BW	1				1			
雄 体长/ X_1 BL	0.918 ^{**}	1			0.891 ^{**}	1		
♂ 体宽/ X_2 BT	0.805 ^{**}	0.740 ^{**}	1		0.780 ^{**}	0.761 ^{**}	1	
体高/ X_3 BH	0.903 ^{**}	0.885 ^{**}	0.759 ^{**}	1	0.840 ^{**}	0.768 ^{**}	0.830 ^{**}	1
雌 体质量/Y BW	1				1			
♀ 体长/ X_1 BL	0.921 ^{**}	1			0.926 ^{**}	1		
体宽/ X_2 BT	0.874 ^{**}	0.825 ^{**}	1		0.867 ^{**}	0.797 ^{**}	1	
体高/ X_3 BH	0.946 ^{**}	0.896 ^{**}	0.872 ^{**}	1	0.836 ^{**}	0.764 ^{**}	0.926 ^{**}	1
总体 体质量/Y BW	1				1			
total 体长/ X_1 BL	0.931 ^{**}	1			0.916 ^{**}	1		
体宽/ X_2 BT	0.858 ^{**}	0.818 ^{**}	1		0.807 ^{**}	0.769 ^{**}	1	
体高/ X_3 BH	0.937 ^{**}	0.915 ^{**}	0.840 ^{**}	1	0.852 ^{**}	0.785 ^{**}	0.866 ^{**}	1

注: **表示差异极显著($P<0.01$)

Note: ** means significant difference($P<0.01$)

表 3 3 个形态性状对体质量的影响
Tab. 3 The effects of three morphological traits on weight

	性状 traits	相关系数 correlation coefficient	直接作用/ P_i direct effect	间接作用 indirect effect			
				总和/ Σ total	体长/ X_1 BL	体宽/ X_2 BT	体高/ X_3 BH
P 雄♂	体长/ X_1 BL	0.918	0.485	0.433		0.152	0.281
	体宽/ X_2 BT	0.805	0.205	0.600	0.359		0.241
	体高/ X_3 BH	0.903	0.318	0.585	0.429	0.156	
F ₃ 雄♂	体长/ X_1 BL	0.891	0.590	0.301		0.023	0.278
	体宽/ X_2 BT	0.780	0.030	0.749	0.449		0.300
	体高/ X_3 BH	0.840	0.362	0.478	0.453	0.025	
P 雌♀	体长/ X_1 BL	0.921	0.338	0.583		0.119	0.464
	体宽/ X_2 BT	0.874	0.144	0.731	0.279		0.452
	体高/ X_3 BH	0.946	0.518	0.429	0.303	0.126	
F ₃ 雌♀	体长/ X_1 BL	0.926	0.634	0.292		0.203	0.089
	体宽/ X_2 BT	0.867	0.255	0.612	0.505		0.107
	体高/ X_3 BH	0.836	0.116	0.720	0.484	0.236	
P 总体 total	体长/ X_1 BL	0.931	0.400	0.532		0.140	0.392
	体宽/ X_2 BT	0.858	0.171	0.687	0.327		0.360
	体高/ X_3 BH	0.937	0.428	0.510	0.366	0.144	
F ₃ 总体 total	体长/ X_1 BL	0.916	0.632	0.284		0.042	0.242
	体宽/ X_2 BT	0.807	0.054	0.753	0.486		0.267
	体高/ X_3 BH	0.852	0.308	0.543	0.496	0.047	

表 4 3 个形态性状对体质量的决定系数
Tab. 4 The determinant coefficients of three morphological traits on the weight

	性状 traits	P			F ₃		
		体长/ X_1 BL	体宽/ X_2 BT	体高/ X_3 BH	体长/ X_1 BL	体宽/ X_2 BT	体高/ X_3 BH
雄性 ♂	体长/ X_1 BL	0.235			0.348		
	体宽/ X_2 BT	0.147	0.042		0.027	0.001	
	体高/ X_3 BH	0.273	0.099	0.101	0.328	0.018	0.131
雌性 ♀	体长/ X_1 BL	0.114			0.402		
	体宽/ X_2 BT	0.085	0.021		0.258	0.065	
	体高/ X_3 BH	0.314	0.130	0.268	0.112	0.055	0.013
总体 total	体长/ X_1 BL	0.160			0.399		
	体宽/ X_2 BT	0.112	0.029		0.052	0.003	
	体高/ X_3 BH	0.313	0.123	0.183	0.306	0.029	0.095

2.5 复相关与回归分析

复相关系数表示所有自变量和因变量关系的密切程度, 自变量个数越多, 复相关系数越大。复相关分析结果如表 5 所示, 所有的概率误差 $P=0.000<0.01$, 达到极显著水平, 说明了体长、体宽、体高 3 个形态性状指标对群体体质量的决定影响之大。F₃ 雄性群体, 第 3 步加入体宽自变量时, 概率误差 $P>0.05$, 未达到显著水平, 从模型中剔

除。相关指数 F₃ 较 P 均有所减小。

2.6 多元回归方程的建立

由 Pearson 相关系数发现, 体长、体高和体宽 3 个形态性状与不同群体吉富罗非鱼体质量均达到了极显著相关 ($P<0.01$), 运用通径分析和逐步多元回归分析, 剔除与体质量相关不显著的性状, 确定对体质量影响最显著的性状, 并以 3 个形态性状指标为自变量、体质量为因变量分别建立多元回归

表 5 3 个形态性状与体质量的复相关分析
Tab. 5 The multiple-correlation coefficients of three morphological traits to the weight

复相关分析 analysis mul- tiple-correlation		雄性♂			雌性♀			总体 total		
		相关指数 R square	校正相关指数 adjusted R square	标准误差 standard error	相关指数 R square	校正相关指数 adjusted R square	标准误差 standard error	相关指数 R square	校正相关指数 adjusted R square	标准误差 standard error
P	1	0.843	0.843	52.877	0.895	0.895	30.728	0.879	0.879	45.006
	2	0.881	0.880	46.160	0.922	0.922	26.527	0.912	0.912	38.393
	3	0.897	0.897	42.800	0.927	0.927	25.715	0.920	0.920	36.578
F ₃	1	0.794	0.794	51.075	0.857	0.857	38.905	0.839	0.839	45.249
	2	0.853	0.853	43.133	0.903	0.903	32.040	0.885	0.885	38.291
	3				0.905	0.905	31.741	0.885	0.885	38.185

注: 加入自变量顺序见表 6。
 Notes: Steps showed in tab. 6.

表 6 偏回归系数和回归常数表
Tab. 6 Partial regression and constant

回归步骤 regression step	变量 variables	P			F ₃		
		回归系数 coefficients		变量 variables	回归系数 coefficients		
		系数 B	标准误 SE		系数 B	标准误 SE	
雄 ♂	第一步 step 1	回归常数 constant	-829.893	20.194	回归常数 constant	-647.57	15.598
		体长/X ₁ BL	5.498	0.088	体长/X ₁ BL	4.806	0.07
	第二步 step 2	回归常数 constant	-777.324	17.973	回归常数 constant	-661.231	13.187
		体长/X ₁ BL	3.29	0.166	体长/X ₁ BL	3.232	0.092
		体高/X ₃ BH	5.063	0.337	体高/X ₃ BH	4.064	0.183
	第三步 step 3	回归常数 constant	-799.907	16.793	回归常数 constant		
		体长/X ₁ BL	2.904	0.158	体长/X ₁ BL		
		体高/X ₃ BH	3.863	0.332	体高/X ₃ BH		
		体宽/X ₂ BT	4.89	0.45	体宽/X ₂ BT		
雌 ♀	第一步 step 1	回归常数 constant	-448.544	8.523	回归常数 constant	-605.229	10.249
		体高/X ₃ BH	9.755	0.111	体长/X ₁ BL	4.557	0.049
	第二步 step 2	回归常数 constant	-534.335	8.828	回归常数 constant	-593.436	8.452
		体高/X ₃ BH	6.345	0.216	体长/X ₁ BL	3.163	0.067
		体长/X ₁ BL	1.693	0.096	体宽/X ₂ BT	6.507	0.247
	第三步 step 3	回归常数 constant	-540.407	8.594	回归常数 constant	-600.240	8.470
		体高/X ₃ BH	5.335	0.248	体长/X ₁ BL	3.122	0.066
		体长/X ₁ BL	1.55	0.095	体宽/X ₂ BT	4.668	0.423
		体宽/X ₂ BT	2.808	0.366	体高/X ₃ BH	1.138	0.213
总体 total	第一步 step 1	回归常数 constant	-490.19	7.817	回归常数 constant	-639.744	8.662
		体高/X ₃ BH	10.278	0.095	体长/X ₁ BL	4.745	0.040
	第二步 step 2	回归常数 constant	-635.338	8.895	回归常数 constant	-643.827	7.331
		体高/X ₃ BH	5.751	0.201	体长/X ₁ BL	3.341	0.055
		体长/X ₁ BL	2.403	0.097	体高/X ₃ BH	3.563	0.109
	第三步 step 3	回归常数 constant	-654.488	8.604	回归常数 constant	-643.584	7.311
		体高/X ₃ BH	4.691	0.208	体长/X ₁ BL	3.275	0.057
		体长/X ₁ BL	2.129	0.095	体高/X ₃ BH	3.180	0.145
		体宽/X ₂ BT	3.927	0.305	体宽/X ₂ BT	1.075	0.270

方程。方程系数得出过程见表6, 方程如下:

P: 总体: $Y_{total} = -654.488 + 2.129 X_1 + 3.927 X_2 + 4.691 X_3$

雌性: $Y_{\text{♀}} = -540.407 + 1.55 X_1 + 2.808 X_2 + 5.335 X_3$

雄性: $Y_{\text{♂}} = -799.907 + 2.904 X_1 + 4.89 X_2 + 3.863 X_3$

F₃: 总体: $Y_{total} = -643.584 + 3.275 X_1 + 1.075 X_2 + 3.180 X_3$

雌性: $Y_{\text{♀}} = -600.240 + 3.122 X_1 + 4.668 X_2 + 1.138 X_3$

经多元回归关系的显著性检验和各标准偏相关系数的显著性检验发现, 回归常数和标准偏回归系数都达到极显著水平($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 表型性状

经卡方检验, 两代雌雄比均不符合 1:1 假设, 雌性较多, F₃ 雄性率有所上升。经过 3 代选育, 雌性吉富罗非鱼体质量、体长、体宽和体高均有显著增长, 雄性鱼体未发生明显改变, 可能是由于引进品系雄性已达到生长稳定期。引进后, 随着环境及选育方法的改变, 雄性保持其原本的优良性状, 未发生退化; 而雌性体质量、体长等性状指标进一步上升。同时, 不论雄、雌还是总体, 体质量变异系数一致减小, 鱼体规格趋于统一。选育使性状较优良的雄性比例上升, 而雌性体质量增加, 总体性状进一步优化。

3.2 影响吉富罗非鱼体质量的重点形态性状指标

何杰等^[18]对 P 标记时的鱼体进行形态差异与分化研究, 发现 3 性状指标与体质量相关系数排序为体高>体宽>体长; Karisa 等^[19]研究与之相同, 为体高>体宽>体长; Rutten 等^[20]对表型相关的研究结果显示体高>体长>体宽; Nguyen 等^[21]研究结果则为体长>体宽>体高。本研究显示, 总体、雌性、雄性在相关分析上结果有所不同, 就总体而言, P 的 3 性状指标与体质量相关系数排序为体高>体长>体宽, 而 F₃ 发生改变, 为体长>体高>体宽。这可能是由于所选形态性状指标不同, 或鱼体在不同的生长阶段体型有所不同; P 和 F₃ 的差异可能由于选育使鱼体形态发生改变, 亦有可能由于幼时生长环境的不同。

F₃ 较 P 决定系数总值、相关指数均有所减小, 可以认为选育使鱼体形态性状产生了改变。对体质量的影响而言, 除体长、体宽、体高以外的其他形

态性状指标(如头长、尾柄长等)影响有所增加。F₃ 较 P 决定系数最大者均由体高×体长变为体长。这说明遗传改良后的吉富罗非鱼形态性状对体质量的影响强弱关系发生了改变。由于实验样本量较多, 而对鱼类体长、体宽、体高与体质量关系的研究较为广泛而成熟, 实验初始即选择此 3 项形态性状指标做研究。在今后的选育工作中, 需增加对其他形态性状指标(如尾柄厚)的观测, 以便更加精确地确立选育方案。

3.3 回归分析对比

目前, 多元回归分析法在其他鱼类^[22]、虾类^[23]及贝类^[24]等的选育上得到了广泛应用。该分析法要求自变量之间具有一定的互斥性, 虽然本实验所用的体长、体宽、体高间存在一定共线性关系, 但分析所得回归方程仅作对比使用, 该准则不影响对比结果。

在多元线性回归分析中, 相关指数 R^2 表示利用回归方程进行预测的可靠程度, 只有 R^2 大于或者等于 0.85 时, 才能表明影响变量的主要自变量已经找到。对于总体和雌性群体来说, 体长、体宽、体高 3 个性状是影响体质量的重点性状, 用这 3 个形态性状指标基本可以预测体质量, F₃ 和 P 保持一致。对于雄性群体来说, P 基本可以用这三项指标预测体质量, 而 F₃ 虽然体长和体高两个形态性状通径系数显著, 但是相关系数 R^2 小于 0.85, 因此无法用这两个性状来正确估计体质量, 应该还有其他的性状对吉富罗非鱼体质量产生重要影响。唐瞻杨等^[7]对尼罗罗非鱼研究的回归分析中保留体长、头长、躯干长等指标, 强俊等^[25]研究保留体长、体高、眼间距等指标。

今后在吉富罗非鱼的选育过程中, 以体质量为主要选育性状, 以体长、体高等性状作为辅助选择性状, 采用多性状选择法, 把形态性状纳入选择指标中, 将有效地提高选育效率。

参考文献:

- [1] WorldFish Center. GIFT technology manual: an aid to tilapia selective breeding [R]. WorldFish Center, Penang, Malaysia. 2004.
- [2] Eknath A E, Acosta B O. Genetic improvement of farmed tilapia (GIFT) project final report, March 1988 to December 1997[R]. Makati City, Philippines: Interna-

- tional Center for Living Aquatic Resources Management, 1998.
- [3] 胡国成, 李思发, 何学军, 等. 吉富品系尼罗罗非鱼选育 F6-F8 生长改良效果[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(3): 282-285.
- [4] Acosta B O, Williams M J. The role of an international research organization in tilapia aquaculture[C]. Proceedings of the tilapia 2001 International Technical Trade Conference on Tilapia, 28-30 May 2001, Kuala Lumpur, Malaysia. 2001, 49-64.
- [5] 董在杰, 何杰, 朱健, 等. 60 个家系吉富罗非鱼初期阶段的生长比较[J]. 淡水渔业, 2008, 38(3): 32-34.
- [6] 董在杰, 梁政远, 刘介奇, 等. 我国新引进吉富品系尼罗罗非鱼群体的遗传多样性分析[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 129-135.
- [7] 唐瞻杨, 林勇, 陈忠, 等. 尼罗罗非鱼的形态性状对体质量影响效果的分析[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 328-433.
- [8] Debowski P, Dobosz S, Robak S, *et al.* Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar L.*), and sea trout (*Salmo trutta L.*), and method of estimation from morphometric data [J]. Archives of Polish Fisheries, 1999, 7(2): 237-243.
- [9] Vandeputte M, Kocour M, Mauger S, *et al.* Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio L.*) [J]. Aquaculture, 2004, 235: 223-236.
- [10] Wang C H, Li S F, Xie S P, *et al.* Genetic parameter estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio var. color*)[J]. Aquaculture, 2006, 259: 103-107.
- [11] 孙寿永. 动物模型 Blup 法及其应用的综述[J]. 畜牧兽医杂志, 2008, 27(3): 56-62.
- [12] 董在杰, 徐跑, 朱志祥. 罗非鱼受精卵的人工孵化方法[P]. 中国专利: 200710133194, 2008-03-05.
- [13] 董在杰, 杨弘, 徐跑. 一种罗非鱼个体标记的方法[P]. 中国专利: 200810018667, 2008-08-13.
- [14] 李宁. 动物遗传学[M]. 北京: 农业出版社, 2003: 178.
- [15] 顾万春. 统计遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 320.
- [16] 何小燕, 刘小林, 白俊杰, 等. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 597-602.
- [17] 李朝霞. 紫石房蛤形态性状对体重的影响效果分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(05): 279-282.
- [18] 何杰, 徐跑, 董在杰, 等. 吉富品系尼罗罗非鱼(GIFT)群体内的形态差异与分化[J]. 中国水产科学, 2009, 16(1): 54-60.
- [19] Charo-Karisa H, Bovenhuis H, Rezk M A, *et al.* Phenotypic and genetic parameters for body measurements, reproductive traits and gut length of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for growth in low-input earthen ponds [J]. Aquaculture, 2007, 273: 15-23.
- [20] Rutten M J, Bovenhuis H, Komen H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus L.*)[J]. Aquaculture, 2004, 231: 113-122.
- [21] Nguyen H N, Hooi L K, Raul W P, *et al.* Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means [J]. Aquaculture, 2007, 272: S38-S46.
- [22] 佟雪红, 董在杰, 缪为民. 建鲤与黄河鲤的杂交优势研究及主要生长性状的通径分析[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(3): 159-163.
- [23] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857-862.
- [24] Huo Z M, Yan X W, Zhao L Q, *et al.* Effects of shell morphological traits on the weight traits of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5): 251-256.
- [25] 强俊, 李瑞伟, 赵红梅, 等. 罗非鱼体重最优回归方程的研究[J]. 海洋与渔业, 2008, 11(1): 28-30.

Morphological variation and mathematical analysis of effects of morphological traits on body-weight of GIFT tilapia after 3 generations of breeding

LI Ling-ling¹, DONG Zai-jie², SU Sheng-yan², XU Pao^{1,2*}, LIANG Zheng-yuan², MA Liang-xiao¹,
LIU Wei¹, ZHANG Jian-qiao¹

(1. Wuxi Fishery College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China;

2. Open Fund of Key Laboratory of Genetic Breeding and Aquaculture Biology of Freshwater Fishes, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center of Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) played an important role in world fishery. Several researches indicated that the growth performance of GIFT can still be improved. As an important indicator of breeding, body-weight was influenced by many morphological traits, and morphological traits that impact offspring body-weight might be changed after breeding, so comparative analyses of the impacts of morphological traits on body-weight between the offspring and parental generation became necessary. Sixty families of GIFT were introduced into FFRC as the parents (P) in 2006 for further study, three generations of offspring were bred (F₁, F₂, F₃). In order to observe the achievement of breeding, body-weight (Y), body-length (X₁), body-thickness (X₂) and body-height (X₃) of the P and F₃ were measured, variation of four morphological traits of P and F₃ were analyzed; correlation analysis, path analysis and regression analysis were used to calculate the correlation coefficient, path coefficient and the coefficient of determination, and the multiple regression equations between body-weight(Y) and morphological traits(X₁, X₂, X₃) were established and analyzed. Results showed that: 1) compared with P, body-weight, body-length and body-thickness of F₃ had a significant increase ($P < 0.01$), meanwhile a certain decline in the coefficient of variation (CV) was observed, body size of tilapia of F₃ showed a trend of being consistent. Male of F₃ had increased in some degree, significant increase of 4 traits of the male group was not observed. 2) Trait affected the body-weight most of F₃ converted to body-length, which was body-height × body-length in P. 3) The influence of body-length, body-thickness and body-height on body-weight declined more in F₃ than that in P. Results above indicated that, breeding made a positive effect on the growth speed of GIFT; for further study we should be more careful in selecting morphological traits, and some other morphological traits which might impact the body-weight should be taken into account for more accurate breeding project.

Key words: GIFT strain of Nile tilapia; correlation analysis; path analysis; multiple regression

Corresponding author: XU Pao. E-mail: xup@ffrc.cn