

DOI: 10.12264/JFSC2023-0021

不同大口黑鲈群体形态性状与体重和出肉率的相关性及通径分析

王庆春¹, 陶易凡², 李岩², 路思琪², 徐跑^{1,2}, 强俊^{1,2}

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, 农业农村部淡水渔业与种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081

摘要: 为探究大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)形态性状与体重和出肉率的相关关系, 便于通过形态性状分析筛选高体重和高出肉率的大口黑鲈群体, 本研究选择国内广泛养殖或选育的 4 个大口黑鲈品种(美国原种、优鲈 1 号、优鲈 3 号、台湾群体)为实验对象, 测定了体重(Y)、出肉率(Y_F)、全长(X_1)、体长(X_2)、体高(X_3)、体厚(X_4)、头长(X_5)、眼间距(X_6)、眼径(X_7)、吻长(X_8)、尾柄长(X_9)、尾柄高(X_{10}), 使用相关分析、通径分析、决定系数分析和多元线性回归分析, 筛选影响体重和出肉率的主要形态性状, 并构建了多元回归方程。结果显示, 对 4 个大口黑鲈群体体重影响最大的性状均为全长(X_1)或体高(X_3), 而对 4 个大口黑鲈群体出肉率影响最大的性状分别为尾柄高(X_{10})、尾柄长(X_9)、体长/尾柄长(X_2/X_9)、体重(Y)。美国原种形态性状与体重(Y)、出肉率(Y_F)的回归方程为: $Y=-622.778+21.21X_1+45.305X_3+16.633X_8+17.431X_{10}$, $Y_F=12.394+3.683X_{10}+24.152X_1/X_2$; 优鲈 1 号形态性状与体重、出肉率的回归方程为: $Y=-453.528+54.855X_3+5.913X_1+22.708X_5+41.194X_7$, $Y_F=69.985+3.144X_9-0.020Y-24.844X_1/X_2$; 优鲈 3 号形态性状与体重、出肉率的回归方程为: $Y=-531.600+56.933X_3+12.502X_1+28.466X_8$, $Y_F=120.795-3.221X_2/X_9-41.856X_1/X_2-2.495X_3/X_{10}$; 台湾群体形态性状与体重、出肉率的回归方程为: $Y=-660.952+20.889X_1+60.774X_3-10.605X_5+21.372X_4$, $Y_F=43.928+0.011Y+0.452X_9$ 。此外, 当 $2.60<$ 体长/体高(X_2/X_3) <3.10 , $4.30<$ 体长/尾柄长(X_2/X_9) <5.10 时, 可在体重与出肉率选育的同时, 进一步选育出体型表现为偏修长特征的大口黑鲈群体。本研究结果可以为大口黑鲈体重和出肉率的选育提供理论与数据参考。

关键词: 大口黑鲈; 形态性状; 体重; 出肉率; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)05-0617-13

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)原生于北美淡水流域, 具有生长快、抗逆性强、适应性广等特点, 现于全国广泛养殖^[1], 其肉质鲜美、风味独特, 深受消费者青睐^[2]。近年, 大口黑鲈在中国的年产量已达 70.2 万 t, 拥有广阔的市场前景。然而, 由于育种技术的缺乏, 导致其在养殖过程中出现生长速度降低, 性成熟提前等种质退化现象^[3], 降低了生产效益。因此, 大口黑鲈养殖产业持续健康发展需要选育优良品种。体重是鱼类选育的主要指标, 而在加工、销售过程中, 出肉率则是更具

经济价值的指标^[4]。然而, 在育种过程中, 出肉率的计算需要杀死选育个体, 即较高出肉率个体无法作为亲本进行子代的繁育。因此, 通过合理的方法对大口黑鲈的体重及出肉率进行评估、预测能有效促进大口黑鲈选育工作的开展。此外, 消费者更青睐体型修长、匀称的大口黑鲈个体, 而腹部肥胖、体型短圆的个体销售更为困难^[5]。因此, 在对体重及出肉率筛选的同时, 对体型的考量也不容忽视。

统计分析能有效研究多种性状间的关联性,

收稿日期: 2023-02-16; 修订日期: 2023-03-20.

基金项目: 江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目(JBGS[2021]130); 加州鲈产业重大技术协同推广计划项目(2022-ZYXT-07); 苏州市科技计划项目(SNG2021009).

作者简介: 王庆春(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产生物技术. E-mail: qc1159@foxmail.com

通信作者: 强俊, 研究员, 研究方向为水产生物技术. E-mail: qiangj@ffrc.cn

并能够拟合回归方程,在鱼类形态性状与生长指标(体重、出肉率)间建立联系,而形态性状的分析,也可以预测生长指标的变化趋势^[6]。体重及出肉率是选育的主要生长指标,与鱼类各形态性状密切相关^[7]。目前,在尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus* L.)^[8]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[9]、北极茴鱼(*Thymallus arcticus*)^[6]的研究中,报道了形态性状与体重、出肉率的相关性。而出肉率与形态性状的回归方程已经在海鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[10]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[11]、大盖巨脂鲤(*Colossoma macropomum*)^[12]的研究中建立。然而,该分析方法在大口黑鲈选育中的应用尚不完善,无法实现大口黑鲈选育工作中对体重与出肉率的筛选,限制了大口黑鲈育种产业的发展。

本研究选择目前普遍用于养殖或选育的 4 个大口黑鲈品种,进行形态数据与生长数据的测定及分析。通过相关性分析、通径分析和多元回归分析,研究形态性状与体重、出肉率的相关性,筛选与体重、出肉率显著相关的主要形态性状,并构建回归方程。通过本研究,可以为大口黑鲈体重及出肉率的筛选提供可测量的形态学指标,并为育种工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用的 4 个大口黑鲈群体(7 月龄)选自中国水产科学研究院淡水渔业研究中心室外养殖池,分别为:从美国引进的大口黑鲈北方亚种群体(美国原种)、台湾地区养殖群体(台湾群体)、由珠江水产研究所选育的新品种群体(优鲈 1 号、优鲈 3 号)。各群体分别随机选取 120 尾,共获得实验用大口黑鲈 480 尾,测量形态指标、体重并计算出肉率。数据测量前停喂 24 h,避免因吃食而产生的体重偏差,并使用 MS-222 进行麻醉,根据个体体型将样品鱼分为“修长型”、“偏短圆型”和“偏瘦型体型”后,进行形态数据的测量及样品采集。

1.2 数据测量

1.2.1 形态数据测量 使用直尺测量全长($X1$)、体长($X2$)、体高($X3$)、体厚($X4$)、头长($X5$)、尾柄长($X9$)、尾柄高($X10$),使用游标卡尺测量眼间距

($X6$)、眼径($X7$)、吻长($X8$)。全长表示吻前端至尾鳍末端的距离;体长表示吻前端至尾鳍基部的距离;体高表示鱼体背部至腹部最高的距离;体厚表示鱼体两侧腹部间的距离;头长表示吻前端至鳃盖末的距离;眼间距表示两侧眼之间的距离;眼径表示眼前端至末端的距离;吻长表示上颌前端至眼前端的距离;尾柄长表示臀鳍基部末端至尾鳍基部的距离;尾柄高表示尾柄上端至下端最小的距离(图 1)。此外,为更充分地考量大口黑鲈形态特征,将组合性状全长/体长($X1/X2$)、体长/体高($X2/X3$)、体长/尾柄长($X2/X9$)、体高/尾柄高($X3/X10$)纳入后续分析。

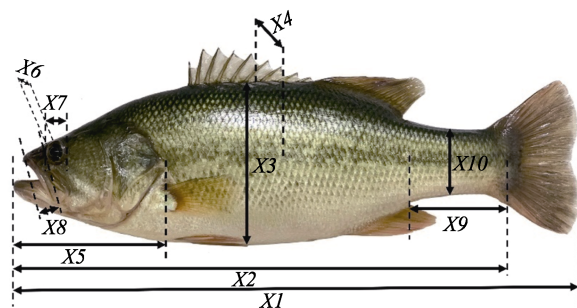


图 1 大口黑鲈形态指标测定方法图

$X1$: 全长; $X2$: 体长; $X3$: 体高; $X4$: 体厚; $X5$: 头长; $X6$: 眼间距; $X7$: 眼径; $X8$: 吻长; $X9$: 尾柄长; $X10$: 尾柄高。

Fig. 1 The method for determining morphological indices of *Micropterus salmoides*

$X1$: total length; $X2$: body length; $X3$: body height; $X4$: body thickness; $X5$: head length; $X6$: interocular distance; $X7$: eye diameter; $X8$: snout length; $X9$: caudal stalk length; $X10$: caudal stalk height.

1.2.2 体重与出肉率测定 使用精度为 0.01 g 的电子秤测量体重(Y)。去除鱼体两侧鱼鳞后,沿背鳍基部横切,以脊柱为界,切取鱼体两侧的肌肉,用滤纸吸干表面水分后称量得到净肉重(FW)。计算出肉率(Y_F):

$$Y_F = FW/Y \times 100\%$$

鱼肉切取由一人完成,减少因操作而造成的误差。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 统计所测得的数据,计算平均值(mean)、标准差(SD)及变异系数($SV = SD/\text{mean} \times 100\%$),整理不同体型大口黑鲈形态数据,归纳修长体型形态指标的区间。通过

SPSS 26.0 对体重和出肉率进行正态检验, 符合正态分布可用于后续统计分析。通过 Pearson 法对各性状进行表型相关分析, 并以体重和出肉率为因变量, 形态性状为自变量, 采用逐步回归的方法进行多元回归分析, 设置 0.05 为显著水平, 0.01 为极显著水平, 最后参考杜家菊等^[13]的方法进行通径分析。其中, 多元回归分析所得标准化回归系数为直接通径系数, 而间接通径系数和决定系数计算公式为:

$$P_{ijy}=R_{ij}\times P_{jy}$$
$$D_i=P_{iy}^2; D_{ij}=2R_{ij}P_{iy}P_{jy}$$

式中, P_{iy} 或 P_{jy} 是 X_i 或 X_j 的直接通径系数; 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; D_i 是 X_i 的决定系数; D_{ij} 是 X_i 、 X_j 的共同决定系数(X_i 和 X_j 分别表示两个随机形态性状)。

2 结果与分析

2.1 大口黑鲈形态性状表型参数统计

4 个品种大口黑鲈群体各性状参数的统计结果见表 1。4 个品种大口黑鲈群体体重(Y)的变异系数均大于各形态性状, 其中, 美国原种的体重变异系数最大, 为 24.85%。除优鲈 3 号外, 各群体出肉率变异系数均小于形态性状, 美国原种、优鲈 1 号、优鲈 3 号出肉率变异系数相近, 远大于台湾群体的 2.68%。

表 1 不同大口黑鲈群体形态性状和生长性状参数的描述统计
Tab. 1 Statistics of morphological traits and growth trait for four populations of *Micropterus salmoides*

指标 index	美国原种 Northern subspecies		优鲈 1 号 YouLu1		优鲈 3 号 YouLu3		台湾群体 China-Taiwan	
	平均值±标准差 mean±standard deviation	变异系数/% coefficient of variation	平均值±标准差 mean±standard deviation	变异系数/% coefficient of variation	平均值±标准差 mean±standard deviation	变异系数/% coefficient of variation	平均值±标准差 mean±standard deviation	变异系数/% coefficient of variation
Y/g	310.96±77.28	24.85	264.35±58.25	22.03	309.33±58.01	18.75	325.79±70.40	21.61
$Y_F/\%$	50.55±3.04	6.01	50.88±3.53	6.94	51.02±3.30	6.47	49.87±1.33	2.68
$X1/cm$	25.86±1.95	7.56	25.16±2.00	7.94	26.36±1.55	5.89	26.47±1.77	6.68
$X2/cm$	22.52±1.98	8.81	21.60±1.90	8.80	22.57±1.42	6.31	22.82±1.65	7.21
$X3/cm$	6.78±0.67	9.81	6.61±0.57	8.66	6.95±0.53	7.69	7.15±0.55	7.69
$X4/cm$	3.63±0.39	10.71	3.38±0.31	9.25	3.66±0.33	8.89	3.72±0.33	8.81
$X5/cm$	7.12±0.64	9.01	6.96±0.55	7.90	7.44±0.52	6.98	7.57±0.62	8.25
$X6/cm$	2.61±0.36	13.77	1.64±0.19	11.42	1.75±0.18	10.55	2.08±0.38	18.26
$X7/cm$	1.08±0.14	12.72	1.17±0.16	13.44	1.21±0.15	12.38	1.22±0.20	16.23
$X8/cm$	1.74±0.27	15.68	1.73±0.18	10.25	1.86±0.18	9.57	1.85±0.24	13.06
$X9/cm$	4.13±0.57	13.86	4.80±0.64	13.39	5.17±0.59	11.32	5.01±0.67	13.28
$X10/cm$	2.82±0.29	10.23	2.44±0.29	11.79	2.61±0.26	9.94	2.89±0.42	14.41

注: Y : 体重; Y_F : 出肉率; $X1$: 全长; $X2$: 体长; $X3$: 体高; $X4$: 体厚; $X5$: 头长; $X6$: 眼间距; $X7$: 眼径; $X8$: 吻长; $X9$: 尾柄长; $X10$: 尾柄高。
Note: Y : body weight; Y_F : fillet yield; $X1$: total length; $X2$: body length; $X3$: body height; $X4$: body thickness; $X5$: head length; $X6$: interocular distance; $X7$: eye diameter; $X8$: snout length; $X9$: caudal stalk length; $X10$: caudal stalk height.

2.2 大口黑鲈各性状相关性分析

4 种大口黑鲈群体体重及出肉率与形态性状的相关系数如表 2 所示。除台湾群体的体重与眼间距($X6$)、尾柄长($X9$)未表现为显著相关($P>0.05$), 各群体的体重与形态性状均表现为极显著相关($P<0.01$)。体重与组合性状的相关分析结果显示, 美国原种的体重与全长/体长($X1/X2$)、体长/体高($X2/X3$)表现为显著相关($P<0.05$), 优鲈 1 号的体

重与体长/体高($X2/X3$)表现为显著相关($P<0.05$), 优鲈 3 号的体重与体长/体高($X2/X3$)、体高/尾柄高($X3/X10$)显著相关($P<0.05$), 台湾群体的体重与体长/体高($X2/X3$)、体长/尾柄长($X2/X9$)显著相关($P<0.05$)。

出肉率与各形态性状相关性较低, 除台湾群体外, 其余群体大口黑鲈的出肉率与大部分形态性状均未表现出显著相关($P>0.05$)。美国原种的出

表 2 不同大口黑鲈群体体重及出肉率与形态性状的相关系数

Tab. 2 Correlation analysis of four *Micropterus salmoides* between body weight, fillet yield and phenotypic traits

指标 index	美国原种 Northern subspecies		优鲈 1 号 YouLu1		优鲈 3 号 YouLu3		台湾群体 China-Taiwan	
	Y	Y _F	Y	Y _F	Y	Y _F	Y	Y _F
Y		0.140		-0.074		-0.094		0.621**
X1	0.952**	0.111	0.863**	-0.020	0.913**	-0.006	0.948**	0.615**
X2	0.923**	0.071	0.816**	0.109	0.879**	0.115	0.862**	0.597**
X3	0.932**	0.153	0.945**	-0.079	0.953**	-0.094	0.939**	0.605**
X4	0.862**	0.183*	0.849**	0.114	0.852**	0.101	0.818**	0.537**
X5	0.808**	0.057	0.895**	0.018	0.799**	-0.084	0.714**	0.468**
X6	0.510**	0.176*	0.533**	0.235**	0.483**	0.080	0.075	0.185*
X7	0.290**	0.030	0.578**	0.007	0.414**	0.070	0.432**	0.234**
X8	0.521**	-0.010	0.758**	-0.022	0.782**	-0.149	0.634**	0.314**
X9	0.457**	0.081	0.397**	0.555**	0.374**	0.499**	0.110	0.291**
X10	0.751**	0.278**	0.655**	0.277**	0.543**	0.212*	0.414**	0.353**
X1/X2	-0.418**	0.096	-0.134	-0.484**	-0.086	-0.453**	0.025	-0.081
X2/X3	-0.185*	-0.147	-0.179*	0.283**	-0.415**	0.338**	-0.201*	-0.069
X2/X9	0.062	-0.070	0.130	-0.530**	0.128	-0.506**	0.351**	0.045
X3/X10	0.162	-0.166	0.042	-0.398**	0.211*	-0.299**	0.148	-0.001

注: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; Y: 体重; Y_F: 出肉率; X1: 全长; X2: 体长; X3: 体高; X4: 体厚; X5: 头长; X6: 眼间距; X7: 眼径; X8: 吻长; X9: 尾柄长; X10: 尾柄高。

Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; Y: body weight; Y_F: fillet yield; X1: total length; X2: body length; X3: body height; X4: body thickness; X5: head length; X6: interocular distance; X7: eye diameter; X8: snout length; X9: caudal stalk length; X10: caudal stalk height.

肉率与体厚(X4)、眼间距(X6)和尾柄高(X10)显著相关($P<0.05$), 优鲈 1 号的出肉率与眼间距(X6)、尾柄长(X9)、尾柄高(X10)显著相关($P<0.05$), 优鲈 3 号的出肉率与尾柄长(X9)、尾柄高(X10)显著相关($P<0.05$)。然而, 台湾群体的出肉率与各形态性状均表现为显著相关($P<0.05$)。此外, 美国原种和台湾群体的出肉率与组合性状无显著相关性($P>0.05$), 而优鲈 1 号和优鲈 3 号的出肉率与各组合性状均表现为显著相关($P<0.05$)。

2.3 大口黑鲈各性状对体重和出肉率的通径分析

Kolmogorov-Smirnov 检验和 Shapiro-Wilk 检验方法对体重和出肉率的正态分布检验结果显示(表 3), 不同大口黑鲈群体体重(Y)和出肉率(Y_F)符合正态分布($P>0.05$), 可用于通径分析及多元回归分析。

以体重为因变量, 形态性状及形态性状组合为自变量, 经通径分析检验, 保留 4 个对体重影响最大的性状(表 4)。从直接作用来看, 影响美国原种体重直接作用系数最大的性状是全长(X1),

其次分别是体高(X3)、吻长(X8)、尾柄高(X10), 从间接作用看, 体高(X3)通过全长(X1)对体重的间接影响最大; 影响优鲈 1 号体重直接作用系数最大的性状是体高(X3), 其次分别为全长(X1)、头长(X5)、眼径(X7), 而头长(X5)通过体高(X3)对体重的间接影响最大; 影响优鲈 3 号体重直接作用系数最大的性状是体高(X3), 其次分别为全长(X1)、吻长(X8), 而全长(X1)通过体高(X3)对体重的间接影响最大; 影响台湾群体体重直接作用系数最大的是全长(X1), 其次为体高(X3)、头长(X5)、体厚(X4), 而体高(X3)通过全长(X1)对体重的间接影响最大。

以出肉率为因变量, 形态性状及形态性状组合为自变量, 经通径分析检验结果见表 5。影响美国原种出肉率直接作用系数最大的性状是尾柄高(X10), 其次是全长/体长(X1/X2), 全长/体长(X1/X2)通过尾柄高(X10)对出肉率的间接影响最大; 影响优鲈 1 号出肉率直接作用系数最大的性状是尾柄长(X9), 其次是体重(Y)、全长/体长

($X1/X2$), 全长/体长($X1/X2$)通过尾柄长($X10$)对出肉率的间接影响最大; 影响优鲈 3 号出肉率直接作用系数最大性状是体长/尾柄长($X2/X9$), 其次分别为全长/体长($X1/X2$)、体高/尾柄高($X3/X10$), 而全长/体长($X1/X2$)通过体长/尾柄长($X2/X9$)对出肉率的间接影响最大; 影响台湾群体出肉率直接作用系数最大的性状是体重(Y), 其次是尾柄长($X9$), 尾柄长($X9$)通过体重(Y)对出肉率的间接影响最大。

表 3 不同大口黑鲈群体体重和出肉率正态分布检验
Tab. 3 The normal distribution test of body weight and fillet yield of *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait	Kolmogorov-Smirnov 检验 Kolmogorov-Smirnov test			Shapiro-Wilk 检验 Shapiro-Wilk test		
		统计值 statistic value	df	P	统计值 statistic value	df	P
美国原种 Northern subspecies	Y	0.070	120	0.200	0.983	120	0.139
	Y_F	0.048	120	0.200	0.995	120	0.951
优鲈 1 号 YouLu1	Y	0.073	120	0.099	0.975	120	0.058
	Y_F	0.074	120	0.087	0.973	120	0.052
优鲈 3 号 YouLu3	Y	0.058	120	0.200	0.991	120	0.565
	Y_F	0.074	120	0.090	0.983	120	0.106
台湾群体 China-Taiwan	Y	0.075	120	0.117	0.978	120	0.067
	Y_F	0.066	120	0.200	0.987	120	0.286

注: Y : 体重; Y_F : 出肉率。
Note: Y : body weight; Y_F : fillet yield.

表 4 不同大口黑鲈群体形态性状对体重的通径分析
Tab. 4 Path analysis of morphological traits on body weight of *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect				
				$X1$	$X3$	$X8$	$X10$	Σ
美国原种 Northern subspecies	$X1$	0.952**	0.537		0.343	0.028	0.046	0.417
	$X3$	0.932**	0.39	0.472		0.027	0.047	0.547
	$X8$	0.521**	0.058	0.263	0.185		0.030	0.478
	$X10$	0.751**	0.065	0.382	0.283	0.027		0.692
优鲈 1 号 YouLu1				$X3$	$X1$	$X5$	$X7$	Σ
	$X3$	0.945**	0.537		0.162	0.188	0.056	0.406
	$X1$	0.863**	0.203	0.428		0.170	0.061	0.658
	$X5$	0.895**	0.214	0.472	0.161		0.046	0.679
优鲈 3 号 YouLu3				$X3$	$X1$	$X8$		Σ
	$X3$	0.953**	0.608		0.282	0.063		0.345
	$X1$	0.913**	0.335	0.513		0.066		0.579
	$X8$	0.782**	0.087	0.439	0.256			0.695
台湾群体 China-Taiwan				$X1$	$X3$	$X5$	$X4$	Σ
	$X1$	0.948**	0.525		0.414	-0.066	0.075	0.424
	$X3$	0.939**	0.475	0.457		-0.074	0.082	0.465
	$X5$	0.714**	-0.094	0.366	0.373		0.069	0.809
	$X4$	0.818**	0.1	0.396	0.388	-0.094		0.689

注: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; $X1$: 全长; $X3$: 体高; $X4$: 体厚; $X5$: 头长; $X7$: 眼径; $X8$: 吻长; $X10$: 尾柄高。
Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; $X1$: total length; $X3$: body height; $X4$: body thickness; $X5$: head length; $X7$: eye diameter; $X8$: snout length; $X10$: caudal stalk height.

表 5 不同大口黑鲈群体形态性状对出肉率的通径分析

Tab. 5 Path analysis of morphological traits on fillet yield in *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect		
				<i>X10</i>	<i>X1/X2</i>	Σ
美国原种 Northern subspecies	<i>X10</i>	0.278**	0.345		−0.069	−0.069
	<i>X1/X2</i>	0.096	0.205	−0.116		−0.116
优鲈 1 号 YouLu1	<i>X9</i>	0.555**	0.573		−0.130	−0.019
	<i>Y</i>	−0.074	−0.327	0.228	0.025	0.253
	<i>X1/X2</i>	−0.484**	−0.186	−0.342	0.044	−0.298
优鲈 3 号 YouLu3	<i>X2/X9</i>	−0.506**	−0.400		−0.089	−0.106
	<i>X1/X2</i>	−0.453**	−0.259	−0.137		−0.194
	<i>X3/X10</i>	−0.299**	−0.173	−0.041	−0.085	−0.126
台湾群体 China-Taiwan	<i>Y</i>	0.621**	0.596		0.025	0.025
	<i>X9</i>	0.291**	0.225	0.066		0.066

注: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; *Y*: 体重; *X1*: 全长; *X2*: 体长; *X3*: 体高; *X9*: 尾柄长; *X10*: 尾柄高。
Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; *Y*: body weight; *X1*: total length; *X2*: body length; *X3*: body height; *X9*: caudal stalk length; *X10*: caudal stalk height.

2.4 大口黑鲈各性状对体重和出肉率的决定系数分析

大口黑鲈各性状对体重的决定系数列于表 6。不同大口黑鲈群体对体重起决定作用的性状不同,其中对美国原种和台湾群体体重决定系数最大的是全长(*X1*),而对优鲈 1 号和优鲈 3 号体重决定系数最大的是体高(*X3*)。在 2 个性状共同决定系数中,美国原种、优鲈 3 号、台湾群体的全长(*X1*)和体高(*X3*)的共同决定系数最大,优鲈 1 号的体高(*X3*)和头长(*X5*)的共同决定系数最大。

大口黑鲈各性状对出肉率的决定系数见表 7。对美国原种出肉率决定系数最大的是尾柄高(*X10*),而尾柄高(*X10*)和全长/体长(*X1/X2*)的共同决定系数最大;对优鲈 1 号出肉率决定系数最大的是尾柄长(*X9*),体重(*Y*)和尾柄长(*X9*)的共同决定系数最大;对优鲈 3 号出肉率决定系数最大的是体长/尾柄长(*X2/X9*),体长/尾柄长(*X2/X9*)和全长/体长(*X1/X2*)的共同决定系数最大;对台湾群体出肉率决定系数最大的是体重(*Y*),体重(*Y*)和尾柄长(*X9*)的共同决定系数最大。

2.5 大口黑鲈体重和出肉率多元回归方程构建

采用逐步法构建多元回归方程,将获得的偏回归系数进行显著性检验,检验结果如表 8、9 所

表 6 不同大口黑鲈群体形态性状对体重的决定系数分析

Tab. 6 Determination coefficients of morphological traits on body weight of *Micropterus salmoides*

品种 population		性状 trait				
		<i>X1</i>	<i>X3</i>	<i>X8</i>	<i>X10</i>	Σ
美国原种 Northern subspecies	<i>X1</i>	0.288				0.956
	<i>X3</i>	0.368	0.152			
	<i>X8</i>	0.031	0.021	0.003		
	<i>X10</i>	0.050	0.037	0.002	0.004	
优鲈 1 号 YouLu1	<i>X3</i>	0.288				0.937
	<i>X1</i>	0.174	0.041			
	<i>X5</i>	0.202	0.069	0.046		
	<i>X7</i>	0.060	0.025	0.020	0.013	
优鲈 3 号 YouLu3	<i>X3</i>	0.370				0.954
	<i>X1</i>	0.343	0.112			
	<i>X8</i>	0.076	0.045	0.008		
台湾群体 China-Taiwan	<i>X1</i>	0.276				0.957
	<i>X3</i>	0.434	0.226			
	<i>X5</i>	−0.069	−0.070	0.009		
	<i>X4</i>	0.079	0.078	−0.015	0.010	

注: *X1*: 全长; *X3*: 体高; *X4*: 体厚; *X5*: 头长; *X7*: 眼径; *X8*: 吻长; *X10*: 尾柄高; 对角线上的数据为该性状对体重的直接决定系数, 对角线以下的数据为两个性状对体重的共同决定系数。
Note: *X1*: total length; *X3*: body height; *X4*: body thickness; *X5*: head length; *X7*: eye diameter; *X8*: snout length; *X10*: caudal stalk height; The data on diagonal line is the direct determination coefficient of the character on body weight, and the data below the diagonal line is the co-determination coefficient of the two characters on body weight.

表 7 不同大口黑鲈群体形态性状对出肉率的
决定系数分析

Tab. 7 Determination coefficients of morphological
traits on fillet yield in *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait			
		$X10$	$X1/X2$	Σ
美国原种 Northern subspecies	$X10$	0.119		0.114
	$X1/X2$	-0.048	0.042	
优鲈 1 号 YouLu1	$X9$	0.329		0.432
	Y	-0.149	0.107	
	$X1/X2$	0.127	-0.016	0.035
优鲈 3 号 YouLu3	$X2/X9$	0.160		0.371
	$X1/X2$	0.071	0.067	
	$X3/X10$	0.014	0.030	0.030
台湾群体 China-Taiwan	Y	0.355		0.435
	$X9$	0.030	0.051	

注: Y : 体重; $X1$: 全长; $X2$: 体长; $X3$: 体高; $X9$: 尾柄长; $X10$: 尾柄高; 对角线上的数据为该性状对出肉率的直接决定系数, 对角线以下的数据为两个性状对出肉率的共同决定系数。
Note: Y : body weight; $X1$: total length; $X2$: body length; $X3$: body height; $X9$: caudal stalk length; $X10$: caudal stalk height; The data on diagonal line is the direct determination coefficient of the character on fillet yield, and the data below the diagonal line is the co-determination coefficient of the two characters on fillet yield.

示, 结果表明, 各性状对体重和出肉率的偏回归系数均达显著性水平($P<0.05$)。说明自变量与因变量存在显著的线性关系。以 4 个大口黑鲈群体体重和出肉率为因变量建立多元回归方程:

美国原种:

$$Y=-622.778+21.21X1+45.305X3+16.633X8+17.431X10, R^2=0.939$$

$$Y_F=12.394+3.683X10+24.152X1/X2, R^2=0.101$$

优鲈 1 号:

$$Y=-453.528+54.855X3+5.913X1+22.708X5+41.194X7, R^2=0.939$$

$$Y_F=69.985+3.144X9-0.020Y-24.844X1/X2, R^2=0.418$$

优鲈 3 号:

$$Y=-531.600+56.933X3+12.502X1+28.466X8, R^2=0.952$$

$$Y_F=120.795-3.221X2/X9-41.856X1/X2-2.495X3/X10, R^2=0.356$$

台湾群体:

$$Y=-660.952+20.889X1+60.774X3-10.605X5+21.372X4, R^2=0.956$$

$$Y_F=43.928+0.011Y+0.452X9, R^2=0.426$$

式中, Y 表示体重, Y_F 表示出肉率, $X1$ 表示全长,

表 8 不同大口黑鲈群体体重回归方程中回归系数显著性检验

Tab. 8 Significance test of regression coefficients of body weight regression equation of *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait	偏回归系数 partial regression coefficient		回归系数 regression coefficient	t	P
		B	标准误差			
美国原种 Northern subspecies	常量 constant	-622.778	19.934		-31.242	0.000
	$X1$	21.210	1.618	0.537	13.105	0.000
	$X3$	45.305	4.815	0.390	9.410	0.000
	$X8$	16.633	6.270	0.058	2.653	0.009
	$X10$	17.431	7.639	0.065	2.282	0.024
优鲈 1 号 YouLu1	常量 constant	-453.528	17.295		-26.223	0.000
	$X3$	54.855	5.139	0.540	10.674	0.000
	$X1$	5.913	1.188	0.203	4.977	0.000
	$X5$	22.708	5.271	0.214	4.308	0.000
	$X7$	41.194	9.953	0.112	4.139	0.000
优鲈 3 号 YouLu3	常量 constant	-531.600	19.950		-26.646	0.000
	$X3$	65.933	4.058	0.608	16.248	0.000
	$X1$	12.502	1.498	0.335	8.345	0.000
	$X8$	28.466	10.192	0.087	2.793	0.006
台湾群体 China-Taiwan	常量 constant	-660.952	19.998		-33.052	0.000
	$X1$	20.889	1.528	0.525	13.674	0.000
	$X3$	60.774	6.134	0.475	9.908	0.000
	$X5$	-10.605	3.427	-0.094	-3.095	0.002
	$X4$	21.372	7.057	0.100	3.028	0.003

注: $X1$: 全长; $X3$: 体高; $X4$: 体厚; $X5$: 头长; $X7$: 眼径; $X8$: 吻长; $X10$: 尾柄高。
Note: $X1$: total length; $X3$: body height; $X4$: body thickness; $X5$: head length; $X7$: eye diameter; $X8$: snout length; $X10$: caudal stalk height.

表 9 不同大口黑鲈群体出肉率回归方程中回归系数显著性检验

Tab. 9 Significance test of regression coefficients of fillet yield regression equation of *Micropterus salmoides*

品种 population	性状 trait	偏回归系数 partial regression coefficient		回归系数 regression coefficient	<i>t</i>	<i>P</i>
		B	标准误差			
美国原种 Northern subspecies	常量 constant	12.394	13.644		0.908	0.366
	<i>X</i> 10	3.683	0.974	0.348	3.780	0.000
	<i>X</i> 1/ <i>X</i> 2	24.152	10.862	0.205	2.224	0.028
优鲈 1 号 YouLu1	常量 constant	69.985	14.725		4.753	0.000
	<i>X</i> 9	3.144	0.508	0.573	6.193	0.000
	<i>Y</i>	−0.020	0.005	−0.327	−4.354	0.000
	<i>X</i> 1/ <i>X</i> 2	−24.844	11.421	−0.186	−2.175	0.032
优鲈 3 号 YouLu3	常量 constant	120.795	13.864		8.713	0.000
	<i>X</i> 2/ <i>X</i> 9	−3.221	0.616	−0.400	−5.230	0.000
	<i>X</i> 1/ <i>X</i> 2	−41.856	13.018	−0.259	−3.215	0.002
	<i>X</i> 3/ <i>X</i> 10	−2.495	1.099	−0.173	−2.271	0.025
台湾群体 China-Taiwan	常量 constant	43.928	0.766		57.384	0.000
	<i>Y</i>	0.011	0.001	0.596	8.778	0.000
	<i>X</i> 9	0.452	0.136	0.225	3.318	0.001

注: *Y*: 体重; *X*1: 全长; *X*2: 体长; *X*3: 体高; *X*9: 尾柄长; *X*10: 尾柄高。
Note: *Y*: body weight; *X*1: total length; *X*2: body length; *X*3: body height; *X*9: caudal stalk length; *X*10: caudal stalk height.

*X*2 表示体长, *X*3 表示体高, *X*4 表示体厚, *X*5 表示头长, *X*7 表示眼径, *X*8 表示吻长, *X*9 表示尾柄长, *X*10 表示尾柄高。

2.6 大口黑鲈体型标准

将本实验所取 480 尾大口黑鲈按“短圆型”、“偏瘦型”和“修长型”进行分类(图 2), 笔者依据每条鱼的形态数据和体型, 确定了当 $2.60<\text{体长/体高}(X_2/X_3)<3.10$ 与 $4.30<\text{体长/尾柄长}(X_2/X_9)<5.10$ 时, 大口黑鲈显现出偏修长体型特征; 当体长/体高 $(X_2/X_3)<2.60$ 或体长/尾柄长 $(X_2/X_9)>5.10$ 时, 大口黑鲈显现出偏短圆型体型特征; 当体长/体高 $(X_2/X_3)>3.10$ 或体长/尾柄长 $(X_2/X_9)<4.30$ 时, 大口黑鲈可能过于偏瘦或生长畸形。

3 讨论

3.1 大口黑鲈表型性状变异系数分析

变异系数是衡量多个性状变异程度的统计学指标, 一般认为, 较大的变异系数意味着较大的育种潜力, 同时, 也意味着该性状较大的离散性。鱼类体重变异系数普遍较高, 尼罗罗非鱼体重的变异系数达 39.7%^[14]; 海鲈体重变异系数可达 29%~33%^[10], 叶尔羌高原鳅(*Triplophysa yarkandensis*)



图 2 大口黑鲈典型修长型、偏短圆型和偏瘦型体型个体
a. 修长型体型; b. 偏短圆型体型; c. 偏瘦型体型或畸形。

Fig. 2 *Micropterus salmoides* with elongated, short round and lean body shapes

a. The elongated body shapes; b. The short round body shapes; c. The lean body shapes or deformity.

体重的变异系数甚至达到 49%^[15]。本研究中, 4 个大口黑鲈群体体重的变异系数均大于各形态性状

的变异系数, 分别达 24.85%、22.03%、18.75%、21.61%, 是最具潜力的选育性状。其中, 美国原种体重的选育潜力最大, 优鲈 3 号选育潜力最小, 而美国原种(大口黑鲈北方亚种群)是本课题组于 2020 年从美国引进的大口黑鲈原种群体, 优鲈 3 号是由珠江水产研究所选育的新品种, 表明人工选育可以培育出各性状更为一致的新种群体, 因此通过数理统计的手段获得生长性状优良的亲本个体对于育种工作十分有意义。

出肉率是鱼类经济价值的重要指标, 然而, 本研究中各品种出肉率的变异系数均小于各形态性状的变异系数。在水产动物中, 出肉率的变异系数表现出较高的一致性, 尼罗罗非鱼出肉率变异系数为 3.4%~6.8%^[16], 虹鳟的出肉率变异系数仅 3%^[17], Vandeputte 等^[18]统计海鲈、金头鲷(*Sparus aurata*)、虹鳟和鲤(*Cyprinus carpio*)的出肉率变异系数均在 2.7%~6.2%之间, 表明将出肉率作为选育性状存在难度。目前, 育种学者通过遗传相关性分析, 研究如何通过出肉率的遗传参数来预测出肉率的遗传增益^[18-20], 以期获得具有高出肉率的养殖群体。本研究通过表型相关性分析方法, 研究出肉率与形态性状的关系, 对出肉率的高低进行评估预测, 从而获得高出肉率的亲本群体, 进而在育种工作中提高养殖群体出肉率, 该方法已在克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)^[4]、短盖肥脂鲤(*Piaractus brachypomus*)^[21]、尼罗罗非鱼^[8]等研究中成功应用。此外, 本研究中眼间距(X_6)、眼径(X_7)、吻长(X_8)、尾柄长(X_9)、尾柄高(X_{10})有相对较高的变异系数, 这些性状可能会影响体重或出肉率的选育^[15], 因此, 研究形态性状与体重及出肉率的关系, 通过形态性状的分析达到选育目标更为可靠。

3.2 与大口黑鲈体重相关的关键性状

体重是鱼类选育过程中最直接的目标性状。然而, 基因连锁、环境因素等均会造成体重的差异^[22], 因此直接以体重为目标性状进行选育效果不理想。研究表明, 鱼类形态性状与体重密切相关^[7], 形态性状的分析可在不同龄大口黑鲈群体体重的选育中起到重要作用。本研究中, 4 个大口

黑鲈群体的体重与大量形态性状表现为显著相关性, 表明利用形态性状达到间接选育体重的目的是可靠的。然而, 大量形态性状与体重存在较高相关性时, 易产生多重共线联系^[23], 因此仅以相关分析结果进行选育并不合理, 需进一步筛选出影响体重的关键性状。通径分析可研究多个性状间的多重线性关系, 将自变量与因变量的相关关系分为直接作用和间接作用^[24]。通径分析结果显示, 4 个大口黑鲈群体对体重直接作用系数最大的两个形态性状均为全长(X_1)和体高(X_3), 因此, 全长(X_1)和体高(X_3)可能是影响体重的最主要性状, 且该结果在不同的大口黑鲈群体中具有一致性。姜绪等^[25]关于 5 月龄大口黑鲈形态性状与体重的相关性分析同样发现全长和体高是与体重相关性最高的形态性状。因此, 体长和体高是大口黑鲈体重选育过程中不可忽视的性状。此外, 决定系数的大小反映形态性状对体重作用的大小, 除优鲈 1 号的体高(X_3)和头长(X_5)的共同决定系数最大外, 各群体最大的决定系数或共同决定系数均为全长(X_1)和体高(X_3), 该结果与通径分析结果一致, 表明全长和体高对大口黑鲈体重的重要决定作用。然而, 马凯等^[6]研究发现, 影响北极茴鱼体重的主要形态性状为体厚、体高和尾柄高, 李艳慧等^[15]研究表明体长、头长和尾柄长是影响叶尔羌高原鳅体重的主要形态性状, 造成分析结果差异的原因可能是鱼类品种不同而造成的体态差异。因此, 在不同鱼类体重与形态性状的研究中需具体情况具体分析。

在决定系数分析中, 当总决定系数(Σd)大于 0.85 时, 表明影响因变量的主要自变量已找到^[26]。本研究中, 体重的总决定系数均大于 0.85, 表明所选形态性状能有效预测体重。因此, 除全长(X_1)和体高(X_3)外, 美国原种的吻长(X_8)和尾柄高(X_{10}), 优鲈 1 号的头长(X_5)和眼径(X_7), 优鲈 3 号的吻长(X_8), 台湾群体的头长(X_5)和体厚(X_4)也是影响各自群体体重的重要形态性状, 这些性状在不同群体间各不相同, 可能是由品种来源或选育方法的差异造成的。在此基础上, 通过多元回归分析构建的体重多元回归方程的相关系数 R^2 均

大于 0.85, 可以用于大口黑鲈体重的预测^[27]。

3.3 与大口黑鲈出肉率相关的关键性状

除体重外, 出肉率是鱼类另一重要的经济性状和加工性状, 在体重较大的基础上注重高出肉率的选育是目前育种的目标之一。本研究中, 除台湾群体外, 大口黑鲈出肉率仅与少数形态性状表现为显著相关, 在凡纳滨对虾、短盖肥脂鲤和大盖巨脂鲤的出肉率相关性分析中具有相同的结论^[9,21,28], 而造成台湾群体该分析结果与其他群体差异的原因可能是体型的差异, Reis Neto 等^[28]发现体型宽厚的鱼, 如罗非鱼的出肉率与形态性状间相关性更高。此外, 优鲈 1 号和优鲈 3 号的出肉率与形态性状的组合($X1/X2$ 、 $X2/X3$ 、 $X2/X9$ 、 $X3/X10$)均表现为显著相关, 因此, 对形态性状进行合理的组合, 能有效探寻与出肉率有显著相关性的性状。

通径分析结果显示, 影响 4 个大口黑鲈群体出肉率的主要性状各不相同, 其中, 全长/体长($X1/X2$)是影响美国原种、优鲈 1 号和优鲈 3 号出肉率的主要性状, 尾柄长($X9$)和体重(Y)是影响优鲈 1 号和台湾群体出肉率的主要性状。然而, 决定系数分析结果显示, 各群体总决定系数分别为 0.114、0.432、0.371、0.435, 均小于 0.85, 说明所选性状尚不能准确预测大口黑鲈出肉率。尽管如此, 在多元回归分析中, 各性状对出肉率的偏回归系数均达显著性水平, 且方程能够拟合形态性状与出肉率, 表明该回归方程虽不精确, 但仍有一定参考价值。在出肉率与形态性状的研究中, 线性回归方程无法准确预测出肉率的问题一直存在, 张倩等^[9]构建的凡纳滨对虾出肉率与形态性状的线性回归方程 $R^2=0.367$; Bosworth 等^[29]构建的鲇(*Silurus asotus*)出肉率与形态性状的线性回归方程 $R^2=0.56$, Ribeiro 等^[21]在短盖肥脂鲤出肉率分析中未发现能显著影响出肉率的形态性状, Rutten 等^[8]认为应使用肉重代替出肉率, 通过分析肉重与形态性状的相关关系进而预测鱼类出肉性能, 然而肉重随体重的变化而变化, 较高的肉重无法代表较高的出肉率。在出肉率与形态性状相关性的研究中, 也有较为精确的回归方程, Van Sang 等^[30]构建的巴丁鱼(*Pangasianodon hypophthalmus*)

出肉率与形态性状的线性回归方程 $R^2=0.77$, 已十分接近 0.85, 董在杰等^[31]构建尼罗罗非鱼出肉率与形态性状的线性回归方程 $R^2=0.985$ 。因此, 大口黑鲈出肉率的预测需探寻更多的形态性状, 并对这些性状进行合理的组合。

3.4 大口黑鲈体型标准的构建

市场的售卖过程中, 消费者喜爱体型修长、外观优美的大口黑鲈, 而体型短圆的个体销售更加困难。诸多因素如: 基因型、遗传差异、基因突变等均可能造成大口黑鲈腹部肥大或尾柄短小。目前大口黑鲈选育工作中主要以体重和出肉率为选育性状, 忽视了大口黑鲈生长过程中的体型差异, 降低了部分养殖收益。结合本研究的数据结果, 最终确定当 $2.60<\text{体长/体高}(X2/X3)<3.10$ 与 $4.30<\text{体长/尾柄长}(X2/X9)<5.10$ 时, 大口黑鲈体型表现为消费者喜爱的修长型。在体重与出肉率选育的同时, 应考量个体体型指标, 得到能够稳定遗传的修长型大口黑鲈群体, 有利于育种工作的发展。

4 结论

大口黑鲈群体体重与形态性状有较强的相关性, 对大口黑鲈体重的选育应首选全长和体高, 通过多元线性回归方程的构建, 可较为精准地预测体重状况。对 4 个大口黑鲈群体出肉率影响最大的性状分别为尾柄高、尾柄长、体长/尾柄长、体重, 对于大口黑鲈出肉率的选育, 应首选全长/体长、体重、尾柄长。然而, 大口黑鲈出肉率目前无法通过形态性状精准预测, 需在此基础上探寻更合适的性状。在体重和出肉率选育的同时, 控制 $2.60<\text{体长/体高}<3.10$ 与 $4.30<\text{体长/尾柄长}<5.10$, 可能选育出修长体型的大口黑鲈群体。

参考文献:

- [1] Hargrove J S, Weyl O L F, Zhao H G, et al. Using species-diagnostic SNPs to detail the distribution and dynamics of hybridized black bass populations in southern Africa[J]. *Biological Invasions*, 2019, 21(5): 1499-1509.
- [2] Song L M, Jiang J F, Wang Y, et al. Comparison of muscle nutritional components of *Micropterus salmoides* from 2 Populations under different culture modes[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(14): 118-123. [宋立

- 民, 姜巨峰, 王宇, 等. 不同养殖模式下 2 个群体大口黑鲈肌肉营养成分比较[J]. 中国农学通报, 2022, 38(14): 118-123.]
- [3] Zhang D, Qiang J, Fu J J, et al. Genetic analysis of five stocks of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) with microsatellite and mitochondrial D-loop sequences[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(9): 1277-1289. [张帝, 强俊, 傅建军, 等. 基于微卫星标记和线粒体 D-loop 序列的 5 个大口黑鲈群体遗传变异分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(9): 1277-1289.]
- [4] Wang H, Shi W J, Wang L, et al. Genetic determination of processing traits in the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard)[J]. Aquaculture, 2020, 529: 735602.
- [5] He Q W, Ye K, Han W, et al. Mapping sex-determination region and screening DNA markers for genetic sex identification in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Aquaculture, 2022, 559: 738450.
- [6] Ma K, Tong G X, Kuang Y Y, et al. Effect of morphological traits on body weight of *Thymallus arcticus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(6): 825-833. [马凯, 佟广香, 匡友谊, 等. 北极茴鱼形态性状对体重影响效果分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(6): 825-833.]
- [7] Luo W, Zeng C, Yi S K, et al. Heterosis and combining ability evaluation for growth traits of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) when crossbreeding three strains[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(9): 857-864.
- [8] Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.)(J). Aquaculture, 2004, 231(1-4): 113-122.
- [9] Zhang Q, Wang Q C, Yu Y, et al. Correlation of morphometric attributes to net weight and fillet yield of *Litopenaeus vannamei*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2018, 49(3): 653-611. [张倩, 王全超, 于洋, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)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.]
- [10] Vandeputte M, Puledra A, Tyran A S, et al. Investigation of morphological predictors of fillet and carcass yield in European Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) for application in selective breeding[J]. Aquaculture, 2017, 470: 40-49.
- [11] Haffray P, Bugeon J, Rivard Q, et al. Genetic parameters of in-vivo prediction of carcass, head and fillet yields by internal ultrasound and 2D external imagery in large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 2013, 410-411: 236-244.
- [12] Perazza C A, Ferraz J B S, Almeida-Val V M F, et al. Genetic parameters for loin eye area and other body traits of an important Neotropical aquaculture species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818)[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(10): 2907-2916.
- [13] Du J J, Chen Z W. The method of path analysis using SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6. [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.]
- [14] Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)(J). Aquaculture, 2005, 246(1-4): 125-132.
- [15] Li H Y, Chen S A, Cheng Y. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits and body weight of *Triplophysa yarkandensi*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(1): 49-57. [李艳慧, 陈生熬, 程勇. 叶尔羌高原鳅形态性状与体重的通径分析及曲线拟合[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 49-57.]
- [16] Gjerde B, Mengistu S B, Ødegård J, et al. Quantitative genetics of body weight, fillet weight and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)(J). Aquaculture, 2012, 342-343: 117-124.
- [17] Haffray P, Bugeon J, Pincent C, et al. Negative genetic correlations between production traits and head or bony tissues in large all-female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)(J). Aquaculture, 2012, 368-369: 145-152.
- [18] Vandeputte M, Frasin C, Haffray P, et al. How to genetically increase fillet yield in fish: Relevant genetic parameters and methods to predict genetic gain[J]. Aquaculture, 2020, 519: 734877.
- [19] Thodesen J, Rye M, Wang Y X, et al. Genetic improvement of tilapias in China: Genetic parameters and selection responses in fillet traits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after six generations of multi-trait selection for growth and fillet yield[J]. Aquaculture, 2012, 366-367: 67-75.
- [20] Frasin C, Dupont-Nivet M, Haffray P, et al. How to genetically increase fillet yield in fish: New insights from simulations based on field data[J]. Aquaculture, 2018, 486: 175-183.
- [21] Ribeiro F M, Lima M, da Costa P A T, et al. Associations between morphometric variables and weight and yields carcass in Pirapitinga *Piaractus brachipomus*[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(7): 2004-2011.
- [22] Han H Z, Jiang H B, Wang F, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(8): 1163-1172. [韩慧宗, 姜海

- 滨, 王斐, 等. 许氏平鲈不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析[J]. 水产学报, 2016, 40(8): 1163-1172.]
- [23] Zhang X M, Cheng S F, Zhang M. Analysis of the influence of the morphological characteristics on the weight characteristics of *Blepharipoda liberate* Shen[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(1): 62-74. [张新明, 程顺峰, 张敏. 解放眉足蟹形态性状对重量性状影响的效果分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(1): 62-74.]
- [24] Zhao L Q, He Y Y, Yang F, et al. Correlation and path analysis of morphological and weight traits in marine gastropod *Glossaulax reiniana*[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2014, 32(4): 821-827.
- [25] Jiang X, Lin X Q, Ma H, et al. Correlation and path analysis on body weight and morphometric traits of 5-month-old *Micropterus salmoides*[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(5): 124-129. [姜绪, 林香青, 马惠, 等. 5月龄大口黑鲈形态性状与体重的相关及通径分析[J]. 山东农业科学, 2020, 52(5): 124-129.]
- [26] Liu X L, Wu C G, Zhang Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857-862. [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.]
- [27] Ma H Y, Ma C Y, Ma L B, et al. Correlation of growth-related traits and their effects on body weight of the mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. Genetics and Molecular Research: GMR, 2013, 12(4): 4127-4136.
- [28] Reis Neto R V, de Freitas R T F, Serafini M A, et al. Interrelationships between morphometric variables and rounded fish body yields evaluated by path analysis[J]. Revista Brasileira De Zootecnia, 2012, 41(7): 1576-1582.
- [29] Bosworth B G, Holland M, Brazil B L. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish[J]. Journal of Animal Science, 2001, 79(6): 1483-1490.
- [30] Van Sang N, Thomassen M, Klemetsdal G, et al. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)[J]. Aquaculture, 2009, 288(3-4): 166-171.
- [31] Dong Z J, Liang Z Y, Xu P, et al. Correlation between fillet yield and body measurements in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 212-217. [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[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 212-217.]

Effects of morphological traits on body weight and fillet yield of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

WANG Qingchun¹, TAO Yifan², LI Yan², LU Siqi², XU Pao^{1,2}, QIANG Jun^{1,2}

1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fishes and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China

Abstract: This study aimed to investigate the relationship between morphological traits and body weight and fillet yield in largemouth bass, with the goal of selecting individuals with a high weight gain rate and fillet yield. Largemouth bass widely used for breeding in China (Northern subspecies, YouLu1, YouLu3, and China-Taiwan) were selected for the experiment. Body weight (Y), fillet yield (Y_F), total length (X1), body length (X2), body height (X3), body thickness (X4), head length (X5), interocular distance (X6), eye diameter (X7), snout length (X8), caudal stalk length (X9), and caudal stalk height (X10) were measured. Correlation analysis, path analysis, coefficient of determination analysis, and multiple linear regression analysis were conducted to identify the morphological traits affecting body weight and fillet yield. The results show that total length (X1) and body height (X3) have the greatest influence on body weight, while caudal stalk height (X10), caudal stalk length (X9), body length/caudal stalk length (X2/X9), and body weight (Y) have the greatest influence on fillet yield. Multiple regression equations were constructed for each subspecies, and their influence on body weight and fillet yield were determined for four largemouth bass subspecies: Northern subspecies, YouLu1, YouLu3, and China-Taiwan. For the Northern subspecies, the regression equation for body weight was $Y = -622.778 + 21.21X_1 + 45.305X_3 + 16.633X_8 + 17.431X_{10}$, and for fillet yield, it was $Y_F = 12.394 + 3.683X_{10} + 24.152X_1/X_2$. The regression equation for YouLu1 was $Y = -453.528 + 54.855X_3 + 5.913X_1 + 22.708X_5 + 41.194X_7$ for body weight, and $Y_F = 69.985 + 3.144X_9 - 0.020Y - 24.844X_1/X_2$ for fillet yield. The regression equation for YouLu3 was $Y = -531.600 + 56.933X_3 + 12.502X_1 + 28.466X_8$ for body weight, and $Y_F = 120.795 - 3.221X_2/X_9 - 41.856X_1/X_2 - 2.495X_3/X_{10}$ for fillet yield. Finally, for China-Taiwan, the regression equation for body weight was $Y = -660.952 + 20.889X_1 + 60.774X_3 - 10.605X_5 + 21.372X_4$, and for fillet yield, it was $Y_F = 43.928 + 0.011Y + 0.452X_9$. These equations enable the selection of largemouth bass with a high weight gain rate and fillet yield. In addition, the study suggests that largemouth bass with a slender body type index ($2.60 < X_2/X_3 < 3.10$, $4.30 < X_2/X_9 < 5.10$) are preferred by consumers. In addition to selecting for body weight and fillet yield, it is also advantageous to breed largemouth bass with a stable inheritance of desirable body characteristics that are favored by consumers. Screening individual body type indices can facilitate this process. The results of this study provide theoretical and data-driven guidance for breeding and selecting largemouth bass.

Key words: *Micropterus salmoides*; morphological traits; body weight; fillet yield; correlation analysis; path analysis

Corresponding author: QIANG Jun. E-mail: qiangj@ffrc.cn