

文章编号: 1674-5566(2019)01-0058-09

DOI:10.12024/j.sou.20180702357

不同月龄大泷六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析

李 莉, 王 雪, 菅玉霞, 刘元文, 高凤祥, 潘 雷, 郭 文, 胡发文

(山东省海洋生物研究院 山东省海水养殖病害防治重点实验室, 山东 青岛 266104)

摘 要: 为了研究大泷六线鱼形态性状与体质量之间的关系, 随机选取 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼各 150 尾, 测量了体质量和 8 个形态性状, 包括全长、体长、体高、体宽、头长、躯干长、尾柄长、尾柄高, 运用相关分析、回归分析和通径分析的方法研究这 8 个形态性状与体质量的关系。结果表明: 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼的所有形态性状与体质量之间的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 不同月龄影响体质量的主要形态性状存在差异。采用逐步引入-剔除法进行多元回归分析, 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼分别筛选出体长、头长、体高、体宽, 全长、体高、尾柄高、体宽各 4 个形态性状, 并建立多元回归方程: $Y = -13.54 + 1.905X_2 + 1.222X_3 + 1.211X_4 + 1.499X_5$, $Y = -173.415 + 8.85X_1 + 11.18X_3 + 9.65X_4 + 20.749X_8$ 。通径分析结果显示, 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼对体质量直接作用最大的形态性状分别为体长(0.706)和全长(0.538), 其次分别为头长(0.150)和体高(0.188), 说明体长和头长、全长和体高分别对 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼体质量具有决定作用。除了上述的形态性状外, 还应结合体宽来进行选育。研究结果可为大泷六线鱼的形态性状在良种选育中的利用提供重要参考。

关键词: 大泷六线鱼; 形态性状; 相关分析; 回归分析; 通径分析

中图分类号: S 917 **文献标志码:** A

大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 隶属于鲷形目 (Scorpaeniformes)、六线鱼科 (Hexagrammidate)、六线鱼属 (*Hexagrammos*), 又名欧氏六线鱼, 主要分布于我国山东和辽宁近海多岩礁海区, 也见于朝鲜、日本和俄罗斯远东诸海, 是我国北方重要的海水经济鱼类^[1-2]。大泷六线鱼营养价值高, 深受广大消费者和养殖户的喜爱, 是我国北方网箱养殖、增殖放流以及资源修复的理想种类, 具有广阔的推广前景。近年来, 随着沿海捕捞强度的加大, 大泷六线鱼渔获量锐减, 资源衰退现象日益严重^[3]。为了尽快恢复该种类的资源量, 亟需开展大泷六线鱼人工繁育工作, 由于其繁育难度大, 早期诸多研究均未取得突破^[4-6]。有专家^[7-14]系统地开展了大泷六线鱼人工繁育技术的研究, 并于 2009 年取得了规模化人工繁育的成功。在鱼类繁育过程中, 亲鱼质量是人工繁育成功的关键。在良种选择的过

程中, 体质量性状是最直接, 最具有直观性和可度量性的性状^[15-16]。但在实际生产中, 由于体质量的测量容易受海水等诸多因素的影响, 而形态性状的测量相对更为准确和快捷, 且形态性状与体质量之间存在一定的关联性。所以, 可以通过形态性状的测量, 采用回归分析和通径分析等方法研究形态性状对体质量的影响方式和作用大小, 进而达到辅助选种的目的, 该方法已经在贝类^[17-19]、虾类^[20-21]、蟹类^[22]、鱼类^[23-26]等水产动物中开展了相关研究。本研究对人工繁育的大泷六线鱼群体进行体质量和形态性状的测量, 利用相关分析和通径分析, 研究形态性状与体质量的关联程度, 深入分析各形态性状对体质量的直接作用和间接作用, 确定对大泷六线鱼体质量起主要影响作用的形态性状, 建立大泷六线鱼形态性状与体质量的多元回归方程, 为大泷六线鱼选育、育种提供科学依据。

收稿日期: 2018-07-03 修回日期: 2018-10-10

基金项目: 山东省重点研究计划(2017GHY15109)

作者简介: 李 莉(1986—), 女, 助理研究员, 研究方向为海水鱼类繁育及生理学。E-mail: gzkllili@163.com

通信作者: 胡发文, E-mail: fwhu88@163.com

1 材料与方法

1.1 实验材料

以 2016 年山东省海洋生物研究院良种繁育中心自繁的大泷六线鱼后代群体为研究对象,待鱼苗长到 6 月和 18 月龄时,随机各选取 150 尾,用丁香油进行麻醉,然后用游标卡尺准确测量每一尾实验鱼的 8 个形态性状,包括全长(X_1)、体长(X_2)、体高(X_3)、体宽(X_4)、头长(X_5)、躯干长(X_6)、尾柄长(X_7)、尾柄高(X_8),单位为 cm,精确到小数点后 2 位,用电子天平准确测量体质量(Y),单位为 g。

1.2 统计分析

各性状表型测量值用 Excel 进行初步统计整理,然后利用 SPSS 19.0 软件对形态性状和体质量进行描述性统计,对各性状间进行相关性分析及以形态性状为自变量的多元回归分析。多元回归分析得到的偏回归系数即为相应形态性状对体质量的通径系数,结合各形态性状间的相关系数,可求得单性状的决定系数和两两性状间的共同决定系数。采用 Pearson 法对各性状进行表型相关分析;在表型相关分析的基础上运用逐步引入-剔除法(Stepwise)剔除检验不显著的性状自变量,取偏回归系数检验显著的自变量建立各形态性状与体质量的最优多元线性回归方程;参考杜家菊等^[27]的研究方法,进行形态性状对体质量的通径分析,研究各形态性状对体质量的直接作用(通径系数)和间接作用(间接通径系数),间接通径系数计算公式如下:

$$\sum r_{ij}P_j = r_{x_i x_j} \times P_{x_j} \quad (1)$$

式中: $\sum r_{ij}P_j$ 为间接通径系数; $r_{x_i x_j}$ 为形态性状 X_i 和 X_j 之间的 Pearson 相关系数; P_{x_j} 为性状 X_j 对体质量的通径系数。

利用相关系数和通径系数,根据下列公式计算形态性状对体质量的决定系数:

$$d_{x_i} = P_{x_i}^2 \quad (2)$$

$$d_{x_i x_j} = 2r_{x_i x_j} \times P_{x_i} \times P_{x_j} \quad (3)$$

式中: d_{x_i} 为形态性状 X_i 对体质量的决定系数; $d_{x_i x_j}$ 为某两个形态性状 X_i 和 X_j 对体质量的共同决定系数; $r_{x_i x_j}$ 为两个形态性状 X_i 和 X_j 之间的 Pearson 相关系数; P_{x_i} 为性状 X_i 对体质量的通径系数; P_{x_j} 为性状 X_j 对体质量的通径系数。

多元线性回归方程为

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (4)$$

式中: β_0 为常数项; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为偏回归系数; X_1, X_2, \dots, X_k 为偏回归系数所对应的自变量。

2 结果

2.1 形态性状表型数据描述性统计

对 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼各 150 尾样本的 8 个形态性状和体质量数据进行描述性统计,结果列于表 1。从表 1 可以看出,6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼的 8 个形态性状中,体质量的变异系数最大,分别为 26.26% 和 31.79%,其余形态性状变异系数都在 9%~18%。

2.2 形态性状之间的相关性分析

对 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼各形态性状进行表型相关性分析,获得各形态性状间的表型相关性系数(表 2)。6 月龄大泷六线鱼各性状间的表型相关性分析表明:体长与体质量的相关性最高,其相关系数为 0.917;全长与尾柄长的相关系数最低,仅为 0.104。各形态性状与体质量间的相关系数大小依次为:体长 > 全长 > 躯干长 > 体高 > 体宽 > 头长 > 尾柄高 > 尾柄长,除尾柄长外,其他性状均达到极显著水平($P < 0.01$)。18 月龄大泷六线鱼各形态性状的表型相关性分析表明:全长与体长的相关性最高,相关性系数为 0.967;头长与尾柄长的相关性最低,相关性系数为 0.381。各形态性状与体质量间的相关系数大小依次为:全长 > 体长 > 体高 > 体宽 > 躯干长 > 头长 > 尾柄高 > 尾柄长,各形态性状间的表型相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)。

表 1 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼形态性状和体质量的描述性统计
 Tab.1 Descriptive statistics for morphometric traits and body mass of
Hexagrammos otakii at 6 and 18 months

月龄 Months of age	性状 Trait	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%
6	X ₁ /cm	10.44	6.35	8.60	0.72	8.38
	X ₂ /cm	9.98	5.36	7.56	0.69	9.17
	X ₃ /cm	2.34	1.18	1.81	0.21	11.48
	X ₄ /cm	1.38	0.48	1.02	0.17	16.15
	X ₅ /cm	2.35	1.22	1.88	0.19	9.96
	X ₆ /cm	2.52	1.34	2.04	0.22	10.97
	X ₇ /cm	1.18	0.31	0.81	0.12	15.44
	X ₈ /cm	0.93	0.13	0.63	0.08	13.38
	Y/g	13.37	3.39	7.13	1.87	26.26
18	X ₁ /cm	23.88	13.23	19.55	1.95	9.95
	X ₂ /cm	20.95	11.65	17.06	1.61	9.46
	X ₃ /cm	5.22	2.32	3.82	0.54	14.09
	X ₄ /cm	3.78	1.23	2.30	0.43	18.84
	X ₅ /cm	5.98	3.02	4.43	0.51	11.42
	X ₆ /cm	5.32	2.45	4.16	0.56	13.34
	X ₇ /cm	2.45	0.95	1.55	0.25	15.92
	X ₈ /cm	2.52	1.12	1.74	0.27	15.70
	Y/g	199.05	25.55	100.74	32.02	31.79

表 2 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼形态性状之间的相关性分析和显著性检验

Tab.2 Correlation analyses and significance test of phenotypic traits of *Hexagrammos otakii* at 6 and 18 months

月龄 Months of age		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	Y
6	X ₁	1	0.888 **	0.509 **	0.558 **	0.486 **	0.643 **	0.104	0.509 **	0.846 **
	X ₂		1	0.577 **	0.571 **	0.481 **	0.633 **	0.153	0.537 **	0.917 **
	X ₃			1	0.545 **	0.453 **	0.547 **	0.395 **	0.598 **	0.669 **
	X ₄				1	0.411 **	0.581 **	0.270 **	0.521 **	0.645 **
	X ₅					1	0.559 **	0.298 **	0.417 **	0.594 **
	X ₆						1	0.282 **	0.465 **	0.693 **
	X ₇							1	0.469 **	0.241 **
	X ₈								1	0.573 **
	Y									
18	X ₁	1	0.967 **	0.849 **	0.781 **	0.782 **	0.83 **	0.544 **	0.771 **	0.936 **
	X ₂		1	0.838 **	0.761 **	0.797 **	0.832 **	0.542 **	0.782 **	0.930 **
	X ₃			1	0.829 **	0.696 **	0.803 **	0.505 **	0.681 **	0.874 **
	X ₄				1	0.688 **	0.679 **	0.425 **	0.598 **	0.812 **
	X ₅					1	0.694 **	0.381 **	0.735 **	0.799 **
	X ₆						1	0.433 **	0.561 **	0.802 **
	X ₇							1	0.594 **	0.526 **
	X ₈								1	0.798 **
	Y									

注: ** 表示变量之间存在极显著差异($P < 0.01$)

Notes: ** means very significant difference between variables($P < 0.01$)

2.3 形态性状与体质量的多元回归分析

采用逐步法构建多元回归方程,得到各自变量的非标准化回归系数、方程截距、标准回归系数(即通径系数)及相对应的显著性检验结果,结果列于表 3,6 月龄大泷六线鱼形态性状对体质量

的通径系数为: $P_{X_2} = 0.706$ 、 $P_{X_3} = 0.136$ 、 $P_{X_4} = 0.107$ 、 $P_{X_5} = 0.150$,18 月龄大泷六线鱼形态性状对体质量的通径系数为: $P_{X_1} = 0.538$ 、 $P_{X_3} = 0.188$ 、 $P_{X_4} = 0.131$ 、 $P_{X_8} = 0.177$,对各偏回归系数的检验结果为所有形态性状的偏回归系数的显

著性均达到极显著水平($P < 0.01$);方差分析结果列于表4,6月龄与18月龄的F值分别为312.421、392.499,回归方程均达到极显著水平($P < 0.01$),说明自变量与因变量之间存在显著性差异,具有统计学意义都应留在方程中,采用逐步引入-剔除自变量的方法剔除不显著的形态性状自变量,取偏回归系数显著的自变量,建立最优

的回归方程。由此得出,以形态性状为自变量、体质量为因变量的多元回归方程分别为:

$$6 \text{ 月龄: } Y = -13.540 + 1.905X_2 + 1.222X_3 + 1.211X_4 + 1.499X_5;$$

$$18 \text{ 月龄: } Y = -173.415 + 8.850X_1 + 11.180X_3 + 9.650X_4 + 20.749X_8。$$

表3 6月龄和18月龄大泷六线鱼回归系数结果

Tab. 3 The calculation result of regression coefficient of *Hexagrammos otakii* at 6 and 18 months

月龄 Months of age	变量 Variable	非标准化回归系数 Nonstandardized coefficient		标准化偏回归系数 Standardized coefficient	t	显著性 Significance
		偏回归系数 (B)	标准误差 (Std. Error)			
6	(常量)	-13.540	0.625		-21.674	0.000
	X_2	1.905	0.098	0.706	19.362	0.000
	X_5	1.499	0.318	0.150	4.716	0.000
	X_3	1.222	0.318	0.136	3.837	0.000
	X_4	1.211	0.392	0.107	3.087	0.002
18	(常量)	-173.415	8.598		-20.169	0.000
	X_1	8.850	0.898	0.538	9.860	0.000
	X_3	11.180	3.163	0.188	3.535	0.001
	X_8	20.749	4.458	0.177	4.654	0.000
	X_4	9.650	3.311	0.131	2.914	0.004

表4 6月龄和18月龄大泷六线鱼多元回归方程的方差分析

Tab. 4 Analysis of variance of multiple regression equations of *Hexagrammos otakii* at 6 and 18 months

月龄 Months of age	组分 Component	总平方和 Sum of squares	自由度 Df	均方 Mean square	F 值	显著性 Significance
6	回归 regression	470.656	4	117.664	312.421	0.000
	残差 residual	54.610	145	0.377		
	总计 total	525.266	149			
18	回归 regression	140 824.773	4	35 206.193	392.499	0.000
	残差 residual	13 006.139	145	89.698		
	总计 total	153 830.911	149			

2.4 形态性状与体质量之间的通径分析

通径系数即为多元回归分析中获得的标准化偏回归系数,结果列于表5。6月龄大泷六线鱼形态性状的通径系数最大的达0.706,18月龄的通径系数最大为0.538,通径系数最小的分别为0.107和0.131,由此可知,不同形态性状对体质量的影响作用存在较大差别,采用通径分析方法对各形态性状对体质量的作用研究具有重要意义。

6月龄大泷六线鱼体长对体质量的通径系数最大为0.706,说明其对体质量的直接作用最大,体宽最小为0.107;在所有的间接作用中,体高通

过体长对体质量的间接作用最大为0.407,除了体长,其余3个性状通过其他形态性状对体质量的间接作用总和大于其自身对体质量的直接作用。18月龄大泷六线鱼全长对体质量的通径系数最大为0.538,体宽最小为0.131;在所有的间接作用中,体长通过全长对体质量的间接作用最大为0.457,除了全长,其余的形态性状通过其他形状对体质量的间接作用总和均大于其自身对体质量的直接作用。其他性状通过全长作用于体质量的间接作用均大于通过其他形态性状的作用。

表5 形态性状对6月龄和18月龄大泷六线鱼体质量的通径系数及作用分析

Tab. 5 Direct and indirect path coefficients of morphological trait of *Hexagrammos otakii* at 6 and 18 months to body mass

月龄 Months of age	变量 Variable	相关系数 Correlation coefficient	通径系数 Path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient				
				总和 Total	X_2	X_5	X_3	X_4
6	X_2	0.917 **	0.706	0.211		0.072	0.078	0.061
	X_5	0.5947 **	0.150	0.446	0.340		0.062	0.044
	X_3	0.6697 **	0.136	0.533	0.407	0.068		0.058
	X_4	0.6457 **	0.107	0.539	0.403	0.062	0.074	
18	X_1	0.9367 **	0.538	0.406		0.168	0.136	0.102
	X_3	0.8747 **	0.188	0.687	0.457		0.121	0.109
	X_8	0.7987 **	0.177	0.621	0.415	0.128		0.078
	X_4	0.8127 **	0.131	0.682	0.42	0.156	0.106	

注: ** 表示变量之间存在极显著差异($P < 0.01$)

Notes: ** means very significant difference between variables($P < 0.01$)

2.5 形态性状对体质量的决定程度

各形态性状对体质量的决定系数见表6。其中,对角线上是各形态性状对体质量的单独决定系数,对角线以上为两个形态性状对体质量的共同决定系数。6月龄和18月龄大泷六线鱼形态性状对体质量的总决定系数分别为0.899和0.916,说明对体质量有影响的形态性状除了本次研究的几个外,仍有其他因素能影响大泷六线鱼的体质量。6月龄大泷六线鱼体长的决定作用

最大,其决定系数为0.500,体宽的决定作用最小,决定系数为0.011;18月龄大泷六线鱼全长的决定作用最大,决定系数为0.290,体宽的决定作用最小,决定系数为0.017。在两个形态性状共同决定系数中,6月龄大泷六线鱼体长和体高对体质量的共同决定作用最大,决定系数为0.112,18月龄大泷六线鱼全长和体高对体质量的共同决定作用最大,决定系数为0.172。

表6 6月龄和18月龄大泷六线鱼形态性状对体质量的决定系数
Tab. 6 Determinant coefficients of morphometric traits to body mass in *Hexagrammos otakii* at 6 and 18 months

月龄 Months of age	性状 Trait	X_2	X_5	X_3	X_4	总决定系数 Total decision coefficient
6	X_2	0.500	0.102	0.112	0.086	0.899
	X_5		0.023	0.018	0.013	
	X_3			0.018	0.016	
	X_4				0.011	
18	X_1	0.290	0.172	0.147	0.11	0.916
	X_3		0.035	0.045	0.041	
	X_8			0.031	0.028	
	X_4				0.017	

3 讨论

3.1 不同月龄形态性状对体质量的影响

本研究对大泷六线鱼进行相关性分析,并在相关性分析的基础上进行通径分析和多元回归分析。结果显示,6月龄和18月龄大泷六线鱼与体质量相关性最高的性状分别为体长(0.917)和

全长(0.936)。研究表明,只有当各自变量对因变量的总决定系数(r^2)达到0.85时,才能初步判定影响因变量的主要形态性状已经找到^[28-30]。6月龄和18月龄大泷六线鱼进入回归方程的4个形态性状的总决定系数分别为0.899和0.916,表明本研究已找到影响体质量的主要形态性状。根据通径系数和决定系数的分析结果可知:6月

龄和 18 月龄的 4 个形态性状分别对体质量的直接作用均达到极显著水平 ($P < 0.01$); 6 月龄和 18 月龄对体质量决定程度最大的分别为体长和头长、全长和体高,且两个月龄中共同决定系数最大的形态性状中都有体高,说明在对不同月龄大泷六线鱼进行选育时,除了对决定程度大的形态性状进行重点把握外,还应考虑体高这一形态性状,保证亲本选择的有效性。这一结果与褐点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*)^[31]、圆斑星鲈 (*Verasper variegatus*)^[32]、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)^[33]、许氏平鲉 (*Sebastes schlegeli*)^[34] 的研究结果一致。

3.2 通径分析的必要性

形态性状之间的相关性分析表明 6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼的 8 个形态性状与体质量的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$),但经过回归分析和通径分析,6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼分别剔除了 4 个形态性状,筛选出了 4 个对体质量具有统计意义的形态性状,说明了相关系数虽然可反映形态性状与体质量之间的相互关系,但无法区分形态性状对体质量的直接作用和通过其他形态性状对体质量的间接作用,仅通过形态性状的表型相关性分析得到的系数判断各形态性状对体质量的影响结果不准确,通径分析能将自变量和因变量之间的相关系数剖分为直接作用和间接作用,能全面地反应原因对结果的相对重要性^[35],可以表现出形态性状间接作用大小^[36]。只有通过通径分析将相关系数分为直接作用和间接作用,才能进一步找出对体质量影响的主要形态性状^[37]。

3.3 通径分析对大泷六线鱼选择育种的指导意义

通过研究结果可以看出,在对不同月龄的大泷六线鱼进行选育时,要选用不同的形态性状作为选育标准。在所研究的 8 个形态性状中,体长、头长、体高、体宽 4 个形态性状对 6 月龄大泷六线鱼体质量具有较大影响作用,其中体长对体质量的影响最大,全长、体高、尾柄高、体宽 4 个形态性状对 18 月龄大泷六线鱼体质量具有较大影响作用,全长对体质量的影响较大。由此看出,在以体质量为目标性状对大泷六线鱼进行生长性状选择育种时,应结合体长和全长来进行间接选择。从两两决定系数来看,6 月龄体长和体

高的决定系数最大,18 月龄全长和体高的决定系数最大。同时,6 月龄和 18 月龄大泷六线鱼分别筛选出的对体质量有显著影响的 4 个形态性状中,都有体宽这一形态性状。因此,在对大泷六线鱼进行选育时,除了考虑全长和体长这两个重要的形态性状外,还应结合体高和体宽两个形态性状来进行间接选择,这与鲈的选育形态性状筛选结果一致^[38]。由于形态性状的变异系数较体质量小,可以降低仅以体质量为指标进行选择时而产生的误差,从而较好地保证选育效果。综上所述,在进行大泷六线鱼选择育种工作时,应以体质量为重点标准,以全长、体长、体高和体宽等形态性状为辅助进行选择,保证大泷六线鱼的选育效果。

参考文献:

- [1] 成庆泰. 中国经济动物志(海产鱼类)[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 135-137.
CHENG Q T. Animal spirits in China (Marine fish)[M]. Beijing: Science Press, 1962: 135-137.
- [2] 刘蝉馨. 辽宁动物志: 鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1987.
LIU C X. Liaoning zoology (fish)[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1987.
- [3] 冯昭信, 韩华. 大泷六线鱼资源合理利用的研究[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(2): 24-28.
FENG Z X, HAN H. Rational utilization of *Hexagrammos otakii* resources[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1998, 13(2): 24-28.
- [4] FUKUHARA O, FUSHIMI T. Development and early life history of the greenlings *Hexagrammos otakii* (pices: Hexagrammidae) reared in the laboratory[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1983, 49(12): 1843-1848.
- [5] 吴立新, 秦克静, 姜志强, 等. 大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)人工育苗初步试验[J]. 海洋科学, 1996, (4): 32-34.
WU L X, QIN K J, JIANG Z Q, et al. Preliminary experiment on the artificial breeding of the fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Marine Sciences, 1996, (4): 32-34.
- [6] 庄虔增, 于鸿仙, 刘岗, 等. 六线鱼苗种生产技术的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(1): 103-106.
ZHUANG Q Z, YU H X, LIU G, et al. Studies on the production techniques of greenling (*Hexagrammos otakii* Jordan & Stark) seed stock[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(1): 103-106.
- [7] 郭文, 于道德, 潘雷, 等. 六线鱼科鱼类特殊体色与繁殖特性[J]. 海洋科学, 2011, 35(12): 132-136.

- GUO W, YU D D, PAN L, et al. Special coloration changes and reproductive characteristics of greenlings (family Hexagrammidae) [J]. Marine Science, 2011, 35(12): 132-136.
- [8] 潘雷, 胡发文, 高凤祥, 等. 大泷六线鱼人工繁殖及育苗技术初步研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(12): 39-44.
PAN L, HU F W, GAO F X, et al. Study of artificial breeding and seedling culture technique for greenling *Hexagrammos otakii* [J]. Marine Sciences, 2012, 36(12): 39-44.
- [9] 胡发文, 潘雷, 高凤祥, 等. 大泷六线鱼胚胎发育及其与水温的关系[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 28-33.
HU F W, PAN L, GAO F X, et al. Embryonic development of *Hexagrammos otakii* and its relationship with incubation temperature [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(1): 28-33.
- [10] 高凤祥, 潘雷, 胡发文, 等. 大泷六线鱼的外形特征与消化系统结构[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 24-28.
GAO F X, PAN L, HU F W, et al. Morphological characteristics and structure of digestive system of *Hexagrammos otakii* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(2): 24-28.
- [11] 菅玉霞, 潘雷, 胡发文, 等. 温度和盐度对大泷六线鱼仔鱼存活与生长的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(5): 24-29.
JIAN Y X, PAN L, HU F W, et al. The effects of temperature and salinity on survival and growth of larval *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(5): 24-29.
- [12] 胡发文, 郭文, 潘雷, 等. 大泷六线鱼仔稚幼鱼形态发育与生长特性[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 16-22.
HU F W, GUO W, PAN L, et al. Morphological development and growth of larval and juvenile *Hexagrammos otakii* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(6): 16-22.
- [13] 潘雷, 房慧, 张少春, 等. 大泷六线鱼仔、稚、幼鱼期消化酶活力的变化[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(3): 54-60.
PAN L, FANG H, ZHANG S C, et al. The variation of digestive enzymes in larval and juvenile *Hexagrammos otakii* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(3): 54-60.
- [14] 胡发文, 张少春, 王雪, 等. 大泷六线鱼全人工繁育技术研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(3): 71-76.
HU F W, ZHANG S C, WANG X, et al. An artificial breeding technique for the fat greenling *Hexagrammos otakii* [J]. Marine Science, 2016, 40(3): 71-76.
- [15] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 3-5.
LOU Y D. Fish breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 3-5.
- [16] 张敏莹, 刘凯, 段金荣, 等. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 417-421.
ZHANG M Y, LIU K, DUAN J R, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight of *Exopalaemon modestus* in Taihu Lake [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(21): 417-421.
- [17] AHMED M, ABBAS G. Growth parameters of the finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhore, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2000, 32(1): 21-26.
- [18] 栗志民, 刘志刚, 王辉, 等. 企鵝珍珠贝 (*Pteria penguin*) 主要经济性状对体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(6): 798-803.
LI Z M, LIU Z G, WANG H, et al. Effect of main economic traits on body weight of *Pteria penguin* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(6): 798-803.
- [19] 张嘉丽, 王庆恒, 邓岳文, 等. 斧文蛤 (*Meretrix lamarchii*) 形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 110-113.
ZHANG J L, WANG Q H, DENG Y W, et al. Effects of morphological traits on the weight of *Meretrix lamarchii* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(6): 110-113.
- [20] 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.
WANG Z Z, WU Y T, YANG L, et al. Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponensis* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 612-618.
- [21] 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.
LIU X L, WU C G, ZHANG Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857-862.
- [22] 耿绪云, 王雪惠, 孙金生, 等. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(1): 49-54.
GENG X Y, WANG X H, SUN J S, et al. Morphometric attributes to body weight for juvenile crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(1): 49-54.
- [23] KORA H A, TSUCHIMOTO M U, Miyata K A, et al. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured Red Sea bream [J]. Fisheries Science, 2000, 66(2): 365-371.
- [24] 王凯, 刘海金, 刘永新, 等. 牙鲆形态性状对体重的影响效果分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 655-660.
WANG K, LIU H J, LIU Y X, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributions on body weight for *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(6): 655-660.
- [25] 刘峰, 陈琳, 楼宝, 等. 小黄鱼 (*Pseudosciaena polyactis*) 形

- 态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662.
- LIU F, CHEN L, LOU B, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(3): 655-662.
- [26] 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.
- 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.
- [27] 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.
- DU J J, CHEN Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2): 4-6.
- [28] 刘春雷, 常玉梅, 梁利群, 等. 转大麻哈鱼生长激素基因鲤表型性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1893-1899.
- LIU C L, CHANG Y M, LIANG L Q, et al. Correlation and path analyses of phenotypic traits and body mass of transgenic carp with growth hormone gene of salmon [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1893-1899.
- [29] 朱波, 青长乐, 牟树森. 紫色土外源锌、镉形态的生物有效性[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 555-558.
- ZHU B, QING C L, MU S S. Bioavailability of exotic zinc and cadmium in purple soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 555-558.
- [30] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 673-678.
- LIU X L, CHANG Y Q, XIANG J H, et al. Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6): 673-678.
- [31] 黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 褐点石斑鱼不同月龄形态性状的主成分及通径分析[J]. 水产学报, 2017, 41(7): 1105-1115.
- HUANG J S, CHEN G, ZHANG J D, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(7): 1105-1115.
- [32] 边力, 刘长琳, 陈四清, 等. 不同生长期圆斑星鲷形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1168-1175.
- BIAN L, LIU C L, CHEN S Q, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(6): 1168-1175.
- [33] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 不同生长时期大黄鱼形态性状与体重的相关性分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 159-163.
- LIU X D, CAI M Y, WANG Z Y, et al. Correlation analysis of morphometric traits and body weight of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* at different growth stage[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(5): 159-163.
- [34] 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.
- 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.
- [35] 王标, 虞木奎, 孙海菁, 等. 盐胁迫对不同种源麻栎叶片光合特征的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1817-1824.
- WANG B, YU M K, SUN H J, et al. Photosynthetic characters of *Quercus acutissima* from different provenances under effects of salt stress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 1817-1824.
- [36] 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): 597-603.
- HE X Y, LIU X L, BAI J J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(4): 597-603.
- [37] 区又君, 吉磊, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹不同月龄选育群体主要形态性状与体质量的相关性分析[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969.
- OU Y J, JI L, LI J E, et al. Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(7): 961-969.
- [38] 刘峰, 楼宝, 陈睿毅, 等. 鲩形态性状与体质量的关系[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 4059-4066.
- LIU F, LOU B, CHEN R Y, et al. Relationship between morphological traits and body mass of *Müchthys müüy* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(12): 4059-4066.

Correlation and path analysis between morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii* at different months of age

LI Li, WANG Xue, JIAN Yuxia, LIU Yuanwen, GAO Fengxiang, PAN Lei, GUO Wen, HU Fawen

(Key Laboratory of Disease Control for Aquaculture in Shandong Province, Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, Shandong, China)

Abstract: In order to research the relationship between the morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii*, 150 tails of six-month and eighteen-month *Hexagrammos otakii* were randomly sampled for measuring body mass and eight morphological traits including full length, body length, body height, body width, head length, trunk length, length of tail stalk, height of tail stalk, and correlation analysis, regression analysis and path analysis were used to study the eight morphological traits on the impact of the body mass. A significant positive correlation between morphological traits and body mass of six and eighteen months of *Hexagrammos otakii* were observed, with extreme significance ($P < 0.01$), and the main morphological traits of body mass affected by different age of month were different. Six-month and eighteen-month *Hexagrammos otakii* were selected for the four morphological traits of body length, head length, body height, body width and full length, body height, height of tail stalk and body width by gradual introduction and gradual elimination method and the multiple regression equations were established: $Y = -13.54 + 1.905X_2 + 1.222X_3 + 1.211X_4 + 1.499X_5$, $Y = -173.415 + 8.85X_1 + 11.18X_3 + 9.65X_4 + 20.749X_8$. The results of path analysis showed that the morphological traits with the greatest direct effect on body mass of the 6-month-old and 18-month-old greenling were body length (0.706) and full length (0.538), respectively, and body length, head length, full length and body height had a decisive effect on the body mass of greenling at 6 months and 18 months. In addition to the morphological traits of the above, it should be combined with body width for breeding. The results of the study could provide important reference for the use of the morphological traits of *Hexagrammos otakii* for breeding.

Key words: *Hexagrammos otakii*; morphological character; correlation analysis; regression analysis; path analysis