

大竹蛏表型性状通径和回归分析

吴杨平 陈爱华 姚国兴 张志伟

(江苏省海洋水产研究所 江苏 南通 226007)

[摘要] 随机抽取野生大竹蛏(*Solen grandis*) 63个,测定壳长等9个表型性状和活体质量,运用相关分析、通径分析定量分析大竹蛏表型性状对质量性状的影响效果。结果表明,9个表型性状与活体质量均呈现极显著正相关关系($P < 0.01$)。壳长对活体质量的直接影响最大、间接影响最小,且直接影响大于间接影响;壳宽的直接影响亦大于间接影响;其余表型性状对活体质量的间接影响均大于直接影响,并主要通过壳长和壳宽间接影响活体质量。9个单独的决定系数和36个两两共同决定系数的总和 $\Sigma d = 0.933 > 0.850$,表明表型性状是影响活体质量的重点性状。壳长对活体质量的决定程度最大($d_i = 0.8271$);在共同决定系数中,壳长和壳宽对活体质量的共同决定程度最大($d_{ij} = 0.5809$)。经多元回归分析,建立了表型性状与活体质量的回归方程: $Y = -56.969 + 0.282X_1 + 2.601X_2 + 0.997X_6 - 0.191X_9$ 。因此,在大竹蛏选择育种及亲本挑选中,壳长和壳宽是最主要的测量指标。

[关键词] 大竹蛏 表型性状 相关分析 通径分析 多元分析

[中图分类号] S968.3 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2012)02-0097-06

Path and Regression Analysis of the Phenotypic Characters of *Solen Grandis*

Wu Yangping, Chen Aihua, Yao Guoxing, Zhang Zhiwei

(Jiangsu Institute of Marine Fisheries, Nantong 226007, China)

Abstract: To evaluate the effects of phenotypic characters on the body weight in *Solen grandis*, 9 phenotypic characters and body weight were measured in 63 randomly sampled *S. grandis* individuals. With this dataset the correlation and path analysis were conducted. The results showed that the body weight was significantly or positively correlated with the selected phenotypic traits (in all cases $P < 0.01$). Shell length showed the most direct but the least indirect effects on the body weight. The direct effect of shell length or shell width were more significant than their respective indirect effect. The indirect effect of any other phenotypic trait on the body weight, mostly through shell length and shell width, was larger than direct one. The determination coefficient reveals that $\Sigma d = 0.933 > 0.850$, showing that these traits were critical in the explanation of body weight. Shell length had the largest determination coefficient on the live body weight ($d_i = 0.8271$), while shell length and shell width had the largest determination coefficient ($d_{ij} = 0.5809$) in terms of code-termining coefficient. We established a multiple regression equation $Y = -56.969 + 0.282X_1 + 2.601X_2 + 0.997X_6 - 0.191X_9$. This work suggested in selective breeding and parents selecting of *S. grandis*, the shell length and width were most important indicative traits.

Key words: *Solen grandis*, phenotypic characters, correlation analysis, path analysis, multiple regression equation

大竹蛏(*Solen grandis*) 隶属瓣鳃纲、贫齿亚目、竹蛏科、竹蛏属,北起辽东半岛,南至海南均有分布。大竹蛏个大、味美、营养丰富,深受广大消费者青睐,市场需求量大。由于目前商品大竹蛏仅靠采捕自然资源,导致资源量逐年下降,价格随之上涨。但随着大竹蛏的人工育苗^[1]、稚贝培育^[2,3]等工艺的突破,有望成为百姓菜篮子中的常见品种。

多元分析已广泛应用到农业生产的选择育种中,在水产养殖领域也有不少研究报道。杨贵强等^[4]研

收稿日期: 2012-02-12.

基金项目: 江苏省科技厅高新技术研究项目(BG2006335)、江苏省海洋与渔业局公益性增殖放流项目(2010-2011)。

通讯联系人: 吴杨平,助理研究员,研究方向: 贝类遗传育种及生理生态。E-mail: uyping@163.com

究了硬头鳊(*Oncorhynchus mykiss*) 幼鱼部分形态性状和体质量的关系,由学策等^[5]分析了缢蛭(*Sinonovacula constricta*) 体形性状对活体质量和肉质量的影响效果,Ahmed 等^[6]利用多元相关分析了鱼、鲸和贝类幼龄期体长、体质量相关的生长参数.此外,在短沟对虾(*Penaeus semisulcatus*)^[7]、真鲷(*Pagrus major*)^[8]、大扇贝(*Pecten maximus*)^[9]、松江鲈(*Trachidermus fasciatus*)^[10]、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[11]、凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)^[12]、紫石房蛤(*Saxidomus purpuratus*)^[13]等多种水产经济种类中亦有多元分析的报道.而目前有关大竹蛭表型性状对活体质量影响效果的研究未见报道.为此,文章拟利用相关分析、通径分析和回归分析方法,对大竹蛭表型性状与活体质量之间的关系进行分析,建立了活体质量的多元回归方程,为大竹蛭的选育工作提供了理论依据.

1 材料与方法

1.1 实验材料

自吕四渔场海区采集 63 个成体大竹蛭,在水族箱内加砂滤海水暂养,待其吐沙干净后取出,在塑料篮中控干 2 h.考虑到大竹蛭受刺激后水管极易发生自切而影响到称重的准确性,因此实验时应尽量去除水管再行形态测量及称重.

1.2 测量方法

采用游标卡尺,精确到 0.01 mm,测量壳长(CG)、壳宽(RL)、壳高(AE)、壳顶到背前端(AB)、壳顶到体前端(AC)、壳顶到腹前端(AD)、壳顶到腹后端(AF)、壳顶到体后端(AG)和壳顶到背后端(AH)共 9 个可量性状,分别依次记作 $X_1 \sim X_9$;同时用电子天平称质量 W ,记作 Y ,共获得 63 组数据.测量部位与参数见图 1.

1.3 分析方法

运用 SPSS17.0 软件计算壳长等 9 个表型性状及活体质量的平均值、标准差、变异系数和偏度系数,然后进行表型相关分析及表型性状对活体质量的通径分析和决定系数计算,剖析这些性状对活体质量的直接作用和间接影响,并建立多元回归方程,进一步对方程进行拟合度检验.相关系数(r_{ij})的计算公式为:

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

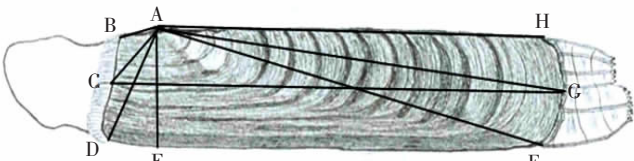
通径系数(P_i)的计算公式为: $P_i = b_{xi} \times \frac{\sigma_{xi}}{\sigma_y}$,式中 b_{xi} 为自变量的回归系数, σ_{xi} 为自变量的标准差, σ_y 为依变量的标准差.

单个性状对活体质量的决定系数方程为: $d_i = P_i^2$ 2 个性状对活体质量的共同决定系数为: $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$.

2 结果与分析

2.1 大竹蛭表型参数的统计分析

63 个大竹蛭的平均壳长、壳宽和壳高分别为 (86.31 ± 4.82) mm、 (18.88 ± 1.83) mm 和 (19.39 ± 1.09) mm,活体质量为 (32.17 ± 7.25) g.各表型参数的偏度系数均很小(趋于 0),且单样本 $K-S$ 检验发现所有参数的 $P > 0.05$,因此满足正态分布,可进行相关、回归和通径分析.而活体质量的变异系数最大(表 1).



A. 壳顶;B. 背前端;C. 体前端;D. 腹前端;E. 腹缘底端;F. 腹后端;G. 体后端;H. 背后端
A. Umbo;B. Anterior dorsal point;C. Anterior of body;D. Anterior ventral point;E. Bottom of ventral;F. Posterior ventral point;G. Posterior of body;H. Posterior dorsal point

图 1 大竹蛭形态学测量位点

Fig.1 Landmark points for morphological measurement of *S. grandis*

表1 大竹蛭表型性状的统计量($n = 63$)
Table 1 Statistics of the phenotypic traits of *S. grandis* ($n = 63$)

性状	平均数	标准差(SD)	变异系数 /%	偏度系数	1 - Sample $K - S$ test 正态分布检验	
					Sig	符合正态分布($P > 0.05$)
CG	86.31	4.82	5.50	-0.18	0.135	$P > 0.05$
RL	18.88	1.83	9.57	-0.12	0.062	$P > 0.05$
AE	19.39	1.09	5.51	-0.35	0.104	$P > 0.05$
AB	18.78	2.38	12.48	0.01	0.084	$P > 0.05$
AC	24.03	2.47	10.10	-0.11	0.162	$P > 0.05$
AD	28.30	2.49	8.66	-0.46	0.109	$P > 0.05$
AF	67.13	5.16	7.57	-0.51	0.080	$P > 0.05$
AG	70.57	5.51	7.68	-0.11	0.158	$P > 0.05$
AH	65.54	5.86	8.80	-0.32	0.052	$P > 0.05$
W	32.17	7.25	22.18	0.08	0.105	$P > 0.05$

2.2 表型性状间的相关分析

对大竹蛭各表型性状进行相关分析,结果表明其表型性状间及各性状与活体质量间均达到极显著相关($P < 0.01$)(表2),其中9个表型性状($X_1 \sim X_9$)与活体质量(Y)的相关系数 $r_{x_{iy}}$ (即 $r_{1y} \sim r_{9y}$)的相关程度依次为: $r_{3y} < r_{1y} < r_{9y} < r_{7y} < r_{8y} < r_{6y} < r_{5y} < r_{2y} < r_{4y}$ 。从相关程度的大小来看,各性状间呈高度($|r| \geq 0.7$)或中度($0.4 < |r| < 0.7$)正相关,尤其是各表型性状与活体质量的相关程度均呈高度正相关($|r_{x_{iy}}| > 0.7$)。

表2 大竹蛭表型性状间的线性相关
Table 2 Linear correlation coefficients of trait pairs

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Y
X_1	1	0.651**	0.994**	0.665**	0.745**	0.740**	0.675**	0.744**	0.656**	0.769**
X_2		1	0.635**	0.918**	0.831**	0.803**	0.855**	0.831**	0.878**	0.920**
X_3			1	0.655**	0.735**	0.745**	0.673**	0.739**	0.649**	0.755**
X_4				1	0.945**	0.895**	0.875**	0.842**	0.860**	0.921**
X_5					1	0.935**	0.874**	0.871**	0.847**	0.891**
X_6						1	0.785**	0.852**	0.844**	0.880**
X_7							1	0.903**	0.892**	0.842**
X_8								1	0.960**	0.843**
X_9									1	0.836**
Y										1

注: * 差异显著($P < 0.05$); ** 差异极显著($P < 0.01$);后表同此。

表3为贝壳的其他多个性状与活体质量的偏相关。由偏相关系数可见,壳宽、壳顶到腹前端与活体质量的偏相关达到极显著水平($P < 0.01$),壳长、壳顶到后端与活体质量的偏相关达到显著水平($P < 0.05$),表明壳长、壳宽、壳顶到腹前端和壳顶到后端这些表型性状对活体质量有很大的影响。

2.3 通径分析

根据通径分析原理,利用SPSS 17.0软件得到9个性状($X_1 \sim X_9$)对活体质量 Y ——对应的通径系数 $P_1 \sim P_9$,即 $P_1 = 0.909$ 、 $P_2 = 0.491$ 、 $P_3 = -0.750$ 、 $P_4 = 0.265$ 、 $P_5 = -0.261$ 、 $P_6 = -0.426$ 、 $P_7 = 0.142$ 、 $P_8 =$

0.195 和 $P_9 = -0.385$ 。壳长 X_1 对活体质量的直接作用达到显著水平($P < 0.05$),且 $P_1 = 0.909$ 最大,说明大竹蛭壳长对活体质量的直接影响最大;壳宽 X_2 ($P_2 = 0.491$)和壳顶到腹前端 X_6 ($P_6 = 0.426$)达到极显著水平($P < 0.01$),壳顶到后端 X_9 ($P_9 = -0.385$)达到显著水平($P < 0.05$),说明此3种壳表型性状特别是壳宽对活体质量直接影响较大(表4)。 P_3 、 P_6 和 P_9 对活体质量的通径系数为负值,说明其对活体

表3 各测量性状之间的偏相关系数

Table 3 Partial correlation coefficients of trait pairs										
性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Y
X_1	1									0.282*
X_2		1								0.475**
X_3			1							-0.237
X_4				1						0.199
X_5					1					-0.176
X_6						1				0.374**
X_7							1			0.159
X_8								1		0.153
X_9									1	-0.293*
Y										1

质量的直接影响为负向作用. 由上述通径系数 P_i 及相关系数 r_{xiy} 进而求得相关指数 $R^2 = \sum P_i r_{xiy} = 0.933$,表明因变量 93.30% 的变异可由线性回归部分来解释,误差仅占 6.70%. 下表 4 即利用通径原理给出各表型性状对活体质量所产生不同影响的各种来源分解.

2.4 表型性状对大竹蛭活体质量的影响

根据相关系数的组成效应,可将表型性状与活体质量的相关系数剖分为各性状的直接影响 P_i 和各性状通过其他性状的间接影响 2 部分,即 $r_{xiy} = P_i + \sum r_{ij} P_j$ ^[14] (表 4). 大竹蛭的表型性状中,壳长的直接影响最大,壳宽的直接影响次之,同时它们也相互作为间接因素对活体质量产生影响;除两者的直接影响大于间接影响外,其余表型性状对活体质量的间接影响均大于直接影响,表明壳长和壳宽直接影响活体质量,其他表型性状间接影响活体质量. 壳高、壳顶到腹前端和壳顶到背后端的通径系数为负值,说明壳高等 3 个因素对活体质量的直接影响是负向作用,但其对活体质量产生的间接作用较大,分别为 1.504 9、1.150 8 和 1.220 7,从而抵消了负向作用,相关系数结果表现为极显著正相关,因此其主要通过壳长和壳宽间接影响活体质量. 壳顶到背前端、壳顶到腹前端、壳顶到腹后端及壳顶到体后端距离大小的直接作用和间接作用均较小,它们是影响活体质量的次要因素.

表 4 大竹蛭表型性状对活体质量的影响
Table 4 The effects of morphologic traits on body weight

性状	相关系数 r_{xiy}	直接作用 P_i	间接作用 $r_{ij} \times P_j$									
			\sum	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.769**	0.909*	-0.140 7		0.319 3	-0.746 0	0.176 1	-0.194 4	0.315 2	0.095 9	0.145 3	-0.252 2
X_2	0.920**	0.491**	0.430 0	0.592 0		-0.476 5	0.243 1	-0.216 8	0.342 1	0.121 5	0.162 3	-0.337 6
X_3	0.755**	-0.750	1.504 9	0.904 0	0.311 5		0.173 5	-0.191 8	0.317 4	0.095 6	0.144 3	-0.249 5
X_4	0.921**	0.265	0.656 3	0.604 8	0.450 3	-0.491 6		-0.246 6	0.381 3	0.124 3	0.164 4	-0.330 7
X_5	0.891**	-0.261	1.150 8	0.677 5	0.407 6	-0.551 6	0.250 3		0.398 3	0.124 2	0.170 1	-0.325 7
X_6	0.880**	0.426**	0.454 2	0.673 0	0.393 9	-0.559 1	0.237 0	-0.244 0		0.111 5	0.166 4	-0.324 5
X_7	0.842**	0.142	0.699 7	0.613 9	0.419 4	-0.505 1	0.231 7	-0.228 1	0.334 4		0.176 3	-0.343 0
X_8	0.843**	0.195	0.647 5	0.676 6	0.407 6	-0.554 6	0.223 0	-0.227 3	0.363 0	0.128 3		-0.369 1
X_9	0.836**	-0.385*	1.220 7	0.596 6	0.430 7	-0.487 0	0.227 8	-0.221 0	0.359 5	0.126 7	0.1875	

2.5 表型性状对大竹蛭活体质量的决定程度分析

根据公式 $d_i = P_i^2$ 和 $d_{ij} = 2r_{ij} P_i P_j$ 计算表型性状间协同对活体质量的决定系数^[14]. 9 个单独的决定系数和 36 个两两共同决定系数的总和为 $\sum d = 0.933$,表明该研究所列表型性状是影响活体质量的重点性状 (表 5). 壳长对活体质量的决定程度最大(0.827 1);在共同决定系数中,壳长和壳宽对活体质量的共同决定程度最大(0.580 9).

表 5 大竹蛭各性状对活体质量的决定系数
Table 5 The determinant coefficients of traits effecting on the body weight

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.827 1	0.580 9	-1.356 8	0.320 3	-0.353 6	0.573 4	0.174 4	0.264 3	-0.458 8
X_2		0.240 6	-0.467 5	0.238 5	-0.212 7	0.335 6	0.119 2	0.159 2	-0.331 2
X_3			0.563 2	-0.260 4	0.287 9	-0.476 4	-0.143 5	-0.216 6	0.374 6
X_4				0.070 1	-0.130 6	0.201 9	0.065 8	0.087 1	-0.175 1
X_5					0.068 1	-0.207 9	-0.064 8	-0.088 8	0.170 0
X_6						0.181 5	0.095 0	0.141 8	-0.276 5
X_7							0.020 2	0.050 1	-0.097 5
X_8								0.038 1	-0.144 2
X_9									0.1478

2.6 最优回归方程的建立及显著性检验

对各表型性状的偏回归系数进行显著性检验,结果见表 6. 逐步去除偏回归系数不显著的性状,保留显著的性状,由此建立多元回归方程: $Y = -56.969 + 0.282X_1 + 2.601X_2 + 0.997X_6 - 0.191X_9$. 式中 Y 、 X_1 、 X_2 、 X_6 和 X_9 分别为活体质量(g)、壳长(mm)、壳宽(mm)、壳顶到腹前端(mm)和壳顶到背后端(mm),上

述回归方程的决定系数为 $R^2 = 0.923$ 。方差分析结果表明,回归关系达到极显著水平($P < 0.01$) (表 7)。

表 6 大竹蛭表型性状的偏回归系数检验

Table 6 The test of partial regression coefficients for morphologic traits

参数	偏回归系数	<i>t</i> 值	显著性 Sig.	参数	偏回归系数	<i>t</i> 值	显著性 Sig.	参数	偏回归系数	<i>t</i> 值	显著性 Sig.
常数	-57.449	-9.784	0.000**	X_4	0.806	1.482	0.144	X_8	0.257	1.130	0.264
X_1	1.367	2.137	0.037*	X_5	-0.766	-1.303	0.198	X_9	-0.475	-2.230	0.030*
X_2	1.937	3.925	0.000**	X_6	1.239	2.934	0.005**				
X_3	-5.005	-1.776	0.081	X_7	0.199	1.170	0.247				

表 7 大竹蛭表型性状多元回归方程的方差分析

Table 7 The ANOVA analysis on phenotypic traits and the body weight

项目	平方 SS	<i>df</i>	均方 MS	<i>F</i> 检验值	显著性 Sig.
回归	3 003.176	4	750.790	172.964	0.000
残差	251.764	58	4.341		
总计	3254.940	62			
多元相关	$R = 0.961$	$R^2 = 0.923$	调整 $R^2 = 0.917$	标准误差 = 2.083	

3 讨论

3.1 通径分析特点和影响活体质量的重点性状的确定

许多研究通过相关分析得出海洋贝类的表型性状存在显著相关性,但仅从相关系数中很难反映某个自变量对因变量的影响程度^[15]。如宋春妮等^[16]报道日本蟳(*Charybdis japonica*) 甲长与体质量的相关系数为 0.912,通径系数为 1.060,两者均达到了极显著水平;但第 1 步足长节长与体质量的相关系数为 0.928,达到显著水平,通径系数为 0.237,却未达到显著水平。对虾夷马粪海胆(*Strongylocentrotus intermedius*) 类似研究中也发现两者显著性存在不一致性^[17],可见相关分析仅是进行多元分析的基础,只有进一步通过多元分析才能确切阐明 2 个变量间的真实关系。在表型相关分析的基础上,进行通径系数分析和决定系数分析时,只有当各自变量对因变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总和在数值上 ≥ 0.85 时,表明影响因变量的主要自变量已经找到^[14]。该研究中所选取的 9 个表型性状对活体质量的总决定系数为 $\Sigma d = 0.933 > 0.85$,与相关指数 R^2 的数值相等,说明影响活体质量的表型性状已经明确。该研究通过相关分析、通径分析和多元回归分析找出影响大竹蛭活体质量的主要表型性状,并且建立了多元回归方程,进一步明确了大竹蛭壳长等性状与活体质量的关系。分析结果表明表型性状主要通过壳长和壳宽影响活体质量,壳顶到腹前端、壳顶到后端对活体质量的影响虽达到显著水平,并在剔除不显著性状后纳入了多元回归方程,但就实际操作而言,目标性状的选择策略应考虑为首先选择壳长、其次选择壳宽,且注重两者的协同性。此结果可为其育种工作的开展提供测量的依据。

3.2 大竹蛭贝壳形态研究的意义

大竹蛭是重要的海产经济贝类,与蛤类、牡蛎、扇贝等相比,具有出肉率高的优势。随着大竹蛭市场需求的增加,天然产量已不能满足市场需求。因此,通过增殖放流及推广人工养殖增加大竹蛭的产量势在必行。而在大竹蛭的人工育苗中,亲本的选择对产卵量、受精卵孵化及幼虫生长存活等一系列质量问题至关重要。在生产实践中,往往挑选性腺饱满,大小达到 10 cm 左右个体作为亲本。其中壳长简便易测,而性腺发育程度的判别在实际操作中有一定的困难,因此不太适合作为直观的挑选性状。长期观察发现性腺饱满个体壳宽均较大,壳宽又为易测性状。本研究结果也表明,壳宽是度量大竹蛭活体质量最重要的指标之一。因此,可以将其作为挑选的目标性状加以选择。而壳顶到腹前端、壳顶到后端这 2 个性状在批量挑选时操作性较差,因此实际意义不大。综上所述,在亲本挑选时,以壳长和壳宽为指标选择即可简便地获得理想亲本。目前在选择育种中,绝大多数研究均以增加生长速度、个体质量等数量性状作为育种的主要目标,但由于质量可能遗传力较低^[18]或者有时质量难以准确获取,就要考虑通过其他相关性较高的目标性状加以间接选择,以达到更好的选育效果。目前这方面工作已在青蛤(*Cyclina sinensis*)^[19]、华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)^[20]等研究中开展。因此,今后开展大竹蛭高产品种培育及良种的选育应考虑这些问题并将结果加以应用。

[参考文献]

- [1] 陈爱华,姚国兴,张志伟. 大竹蛏生产性人工繁育试验[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 66-72.
- [2] 陈爱华,张志伟,姚国兴,等. 环境因子对大竹蛏稚贝生长及存活的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(5): 259-263.
- [3] 陈爱华,姚国兴,张志伟,等. 温度、盐度和底质对大竹蛏稚贝生长及存活的影响[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 94-97.
- [4] 杨贵强,徐绍刚,王跃智,等. 硬头鲂幼鱼部分形态性状和体重的关系[J]. 动物学杂志, 2011, 46(1): 16-22.
- [5] 由学策,尹东红,曹淑青,等. 缢蛏体形性状对活体重和肉重的影响效果分析[J]. 安徽农业大学学报: 自然科学版, 2011, 38(3): 363-367.
- [6] Ahmed M, Abbas G. Growth parameters of finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhora, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2000, 32(1): 21-26.
- [7] Thomas M M. Age and growth, length-weight relationship and relative condition factor of *Penaeus semisulcatus* de Haan[J]. Indian Journal of Fisheries, 1975, 22(1): 133-142.
- [8] Kore H, Tsuchimutu M, Miyata K, et al. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on culture red sea bream[J]. Fishers Sciences, 2000, 66(2): 365-371.
- [9] Robert R, Nicolas L, Moisan C, et al. Morphological and biochemical characterizations of the great scallop *Pecten maximus* metamorphosis[J]. C R Acad Sci (Sci Vie/Life Sci), 1999, 322(10): 847-853.
- [10] 杨培民,刘义新,金广海,等. 鸭绿江野生松江鲈形态性状与体重之间的关系[J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2011, 34(3): 356-362.
- [11] 董世瑞,孔杰,万初坤,等. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 15-22.
- [12] 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.
- [13] 黎筠,王昭萍,于瑞海,等. 紫石房蛤壳性状对活体重影响的定量分析[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(6): 71-77.
- [14] 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.
- [15] 袁志发,周敬芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 130-131.
- [16] 宋春妮,李健,刘萍,等. 日本蟳形态性状对体重的影响效果[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(4): 365-369.
- [17] 杨小刚,常亚青,刘小林. 虾夷马粪海胆壳性状对活体质量的影响效果分析[J]. 水产科学, 2010, 29(2): 83-86.
- [18] 李思发,王成辉,刘志国,等. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 175-180.
- [19] 杨彦鸿,李朝霞,郑怀平,等. 南澳青蛤野生群体数量性状间的相关及通径分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 550-553.
- [20] 刘志刚,章启忠,王辉. 华贵栉孔扇贝主要经济性性状对闭壳肌重的影响效果分析[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(1): 61-66.

[责任编辑: 黄 敏]