

大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)、星斑川鲽 (*Platichthys stellatus*)及其杂交种的形态学分析*

马海涛¹ 韩承慧^{1,2} 滕照军³ 刘相全¹ 杨建敏¹ 田玉秋³ 姜海滨¹

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006;

2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 3. 日照市海洋水产资源增殖站 日照 276805)

提要 利用方差分析、聚类分析、判别分析和主成分分析等多元分析方法, 对大菱鲂、星斑川鲽及其杂交种(大菱鲂♀×星斑川鲽♂)的可数性状和可量性状进行了分析。结果表明: (1) 可数性状中, 除腹鳍鳍条数外, 杂交种与母本大菱鲂差异不显著, 而与父本星斑川鲽差异极显著。(2) 可量性状中, 杂交种和大菱鲂差异不显著的性状占可量性状的45%, 而与星斑川鲽都为显著差异。可量性状的杂种指数平均值为15.56, 显示杂交种可量性状总体属于偏母本。(3) 聚类分析表明, 杂交种与大菱鲂形态较为接近, 先聚为一支, 再与星斑川鲽聚为一支。(4) 主成分分析表明, 共获得了4个主成分, 其累积总变异的贡献率为73.49%。主成分散点图表明杂交种在形态差异上独立于大菱鲂和星斑川鲽。(5) 判别分析表明, 利用10个对结果影响贡献率较大的参数分别构建了其判别函数, 对大菱鲂、星斑川鲽和杂交种的综合判别准确率达到98.9%, 判别效果非常显著。研究认为, 杂交种的形态与母本比较相似, 但可以通过形态判别分析将三者进行区分判别。

关键词 大菱鲂; 星斑川鲽; 杂交种; 形态差异; 多元分析

中图分类号 S965 **doi:** 10.11693/hyh20131200213

大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)和星斑川鲽(*Platichthys stellatus*)隶属于鲽形目(Pleuronectiformes), 但大菱鲂属于鲆科(Bothidae)、菱鲆属(*Scophthalmus*), 星斑川鲽属于鲽科(Pleuronectidae)、川鲽属(*Platichthys*)。大菱鲂是原产于欧洲的重要海水名贵养殖鱼种(雷霖霖等, 2003), 1992年由水产科学研究院黄海水产研究所首次引入中国, 目前已成为我国特别是北方地区的主要养殖品种(于飞等, 2008)。但该品种对水质要求高, 要求水质清澈, 水温较低, 最适宜水温为14—17℃(曹树香等, 2008)。另外近年来也出现比较严重的种质退化现象, 如成活率降低、生长速度减慢、抗逆性差、白化严重等(申雪艳等, 2004; 雷霖霖, 2005; 马爱军等, 2008)。星斑

川鲽主要分布于北太平洋的亚洲和美洲沿岸(尤锋等, 2007), 其生长速度较快, 抗病能力强, 广温(存活温度0—30℃), 广盐(5—40), 适应能力强(曹树香等, 2008)。在养殖实践中, 人们以大菱鲂为母本、星斑川鲽为父本进行了杂交, 获得了杂交种。杂交种在养殖生产中表现出了比较明显的杂种优势, 比如生长速度快、抗病抗逆性强等优点。目前已经在山东、辽宁等地进行了推广养殖, 并形成了一定的养殖规模, 显示出较好的经济开发潜力。

形态学特征作为杂交育种研究的重要指标, 是育种的直接选择参数(楼允东, 2001)。因此, 杂交种与父母本的形态学差异比较对深入研究大菱鲂与星斑川鲽杂交种和养殖具有重要的理论意义和实践意

*山东省良种工程项目“优质抗病速生鱼类良种选育”, 2005—2015; 现代农业产业技术体系项目, nycyt-50号; 烟台市科技发展计划, 2013ZH088号; 星斑川鲽性别的人工控制与健康养殖技术研究, 2011GHY11516号; 泰山学者岗位“水生动物营养与饲料”。马海涛, 博士, 助理研究员, E-mail: mahaitao26@163.com

通讯作者: 姜海滨, 研究员, E-mail: haibinjiang326@163.com

收稿日期: 2013-12-19, 收修改稿日期: 2014-02-20

义。国内外学者已经将多元分析法广泛应用于鱼类杂交种分析(刘苏等, 2011; 张颖等, 2012)。但有关大菱鲆、星斑川鲷及其杂交种的形态差异比较及形态判别分析的研究还未见报道。本研究利用方差分析、聚类分析、判别分析和主成分分析等多元分析方法, 对三者的可数性状和可量性状进行了分析, 为人工养殖条件下大菱鲆、星斑川鲷及其杂交种的识别鉴定及野生种质资源保护利用提供依据。

表 1 本实验观测样本的数量和规格

Tab.1 Number of observed samples and specifications of *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

种类	样本数	体长指标(cm)		体重指标(g)	
		体长范围	平均值±标准差	体重范围	平均值±标准差
大菱鲆	30	13.4—16.0	14.39±0.73	70.53—125.56	98.66±15.64
杂交种	30	15.0—17.4	16.14±0.71	98.07—168.16	124.71±16.93
星斑川鲷	30	13.0—18.5	15.53±1.24	58.80—157.64	92.58±21.79

1.2 数据测量

试验样品经电子天平称重(精确到 0.01g)后对形态学数据进行了测量。形态学数据包括可数性状和可量性状, 可数性状有背鳍条数、胸鳍条数、腹鳍条数、臀鳍条数、尾鳍条数(共 5 项), 可量数据包括: 全长、躯干长、体宽、吻长、眼径、眼后头长、眼间距、胸鳍长、臀鳍长、背鳍长、尾鳍长、腹鳍长、尾柄长、尾柄高、体厚度、消化道长、肠长度、体重、内脏团重、消化道重、肝胰脏重(共 22 项)。

1.3 数据处理

将所测量的原始数据整理到 Microsoft Excel 中, 为了消除鱼体规格差异对形态分析的影响, 先将可量性状中所有长度数据除以体长, 所有重量数据除以体重进行校正, 再分别求出各组材料样品每个参数的平均比值, 得到 20 个可量性状的校正值和 5 个可数性状的数据。对可数性状数据和可量性状比值计算杂交种的杂种指数 HI (hybrid index) (Witkowski *et al*, 1980; Crivelli *et al*, 1987):

$$HI = 100 \times (H_i - M_{i1}) / (M_{i2} - M_{i1}),$$

其中, H_i : 杂交种平均值; M_{i1} : 母本平均值; M_{i2} : 父本平均值, HI 介于 45 与 55 之间属中间性状, HI<45 为偏母本性状, HI>55 为偏父本性状, HI>100 或 HI<0 为超亲偏离性状。

再利用 SPSS17.0 软件进行数据分析, 主要运用卡方检验、方差分析、聚类分析、判别分析及主成分分析 5 种分析方法。

1.3.1 卡方检验

对可数性状数据进行卡方检验,

1 材料与方法

1.1 材料

大菱鲆和杂交种样品均采自于烟台泰华海洋科技有限公司, 星斑川鲷样品采自于日照市海洋水产资源增殖站。样品采集前一天, 先进行停食处理, 然后活体运回山东省海洋水产研究所进行形态学测量。所采样品均为体型正常且健康无病的个体, 样品的数量和规格见表 1。

比较三者之间数据的差异显著性。

1.3.2 方差分析 对大菱鲆、星斑川鲷及杂交种共 90 个样本的 18 个比例可量性状, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 LSD 多重比较进行分析, 找出差异显著的性状。

1.3.3 聚类分析 运用校正后可量性状数据的平均值进行聚类分析, 计算群体间的欧氏距离, 并作聚类分析树状图。

1.3.4 判别分析 采用逐步判别法, 每步选择 Wilks 的 λ 统计量值最小的变量进入判别函数(赵建等, 2007)。

1.3.5 主成分分析 从所有的形态数据中筛选特征根值大于 1 的主成分, 计算各主成分负荷值和贡献率, 并根据各主成分绘制散点图。

2 结果

2.1 外形特征比较

杂交种的外部形态特征与大菱鲆的相似程度比较高, 与星斑川鲷的差别较大。杂交种的表面斑纹跟大菱鲆相似, 呈黑褐色, 而星斑川鲷有白色斑点。

杂交种和大菱鲆的体宽较宽, 而星斑川鲷的体宽较窄, 显得扁长。但杂交种与大菱鲆也有比较明显的不同, 杂交种整个背部的触感都有凹凸感, 而大菱鲆只有内脏团周围具有凹凸感。

2.2 可数性状

大菱鲆、星斑川鲷和杂交种的可数性状均值与范围见表 2, 卡方检验结果见表 3。杂交种的背鳍鳍条

表 2 大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的可数性状
Tab.2 Meristic data from *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

性状	大菱鲂		杂交种		星斑川鲮		HI
	均值±标准差	范围	均值±标准差	范围	均值±标准差	范围	
背鳍鳍条数	61.97±4.45	49—70	63.57±2.94	57—72	59.83±2.13	55—64	-88.41
腹鳍鳍条数	6.00±0.00	6	6.00±0.00	6	6.00±0.00	6	—
臀鳍鳍条数	45.53±2.92	36—51	45.40±2.57	40—51	40.90±1.88	36—44	11.69
胸鳍鳍条数	10.50±1.14	7—12	11.13±0.78	10—12	10.10±0.89	7—11	-122.22
尾鳍鳍条数	13.57±2.30	9—17	15.33±1.30	12—19	14.93±0.83	13—16	106.77

表 3 大菱鲂、杂交种和星斑川鲮间可数性状的
卡方检验结果

Tab.3 Results of chi-square analysis for meristic data from *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

性状	大菱鲂-杂交种	大菱鲂- 星斑川鲮	杂交种- 星斑川鲮
背鳍鳍条数	18.796	28.939*	30.363**
臀鳍鳍条数	9.507	40.619**	41.000**
胸鳍鳍条数	7.543	11.000	19.269**
尾鳍鳍条数	13.863	57.333**	49.143**

*表示 $P<0.05$, 即差异显著; **表示 $P<0.01$, 即差异极显著

数、臀鳍鳍条数、胸鳍鳍条数、尾鳍鳍条数与父母本都有重叠, 不能利用可数性状将三者直观地区分, 在腹鳍鳍条数上三者一致(均为 6 个)。在杂交种指数方面, 除了背鳍鳍条数、胸鳍鳍条数、尾鳍鳍条数属于超亲偏离性状外, 杂交种的臀鳍鳍条数属于偏母本性状。

卡方检验后可知, 在分析的 4 个可数性状性状中, 杂交种与母本大菱鲂都为差异不显著, 而与父本星斑川鲮都为差异极显著。大菱鲂和星斑川鲮除胸鳍鳍条数外, 其它 3 个可数性状都为差异显著或极显著。

2.3 可量性状

大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的 20 个可量性状的均值、范围及方差分析结果见表 4。除腹鳍长/体长性状在三者中的差异都不显著外, 杂交种在吻长/体长、臀鳍长/体长、背鳍长/体长、腹鳍长/体长、尾柄高/体长、体厚度/体长、内脏团重/体重、消化道重/体重、肝胰脏重/体重 9 个性状中与大菱鲂差异不显著, 占所有可量性状的 45%, 而杂交种的 19 个可量性状与星斑川鲮都有显著差异。通过对 20 个可量性状计算杂种指数, 得到的偏母本性状有 13 个, 它们分别为: 全长/体长(HI=32.99)、躯干长/体长(HI=23.79)、体宽/体长(HI=29.1)、眼后头长/体长(HI=28.13)、臀鳍长/体长(HI=21.44)、背鳍长/体长(HI=24.86)、腹鳍长/体长(HI=13.96)、尾鳍长/体长(HI=32.99)、尾柄高/体长

(HI=15.10)、体厚度/体长(HI=18.03)、消化道长/体长(HI=29.39)、肠长度/体长(HI=16.61)、内脏团重/体重(HI=4.53)占可量性状总和的 65%; 偏父本性状 2 个, 分别是眼径/体长(HI=76.60)胸鳍长/体长(HI=68.23), 占可量性状总和的 10%; 超双亲性状有吻长/体长(HI=-11.40)、眼间距/体长(HI=-18.93)、尾柄长/体长(HI=-42.89)、消化道重/体重(HI=-23.71)、肝胰脏重/体重(HI=-25.04), 占据可量性状总和的 25%。而所有可量性状的杂种指数平均值为 15.56, 说明杂交种的性状倾向于与母本相似。

2.4 聚类分析

对大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的 20 个形态比例性状计算欧式距离(表 5), 用 UPGMA 法对其平均值进行聚类分析(图 1)。结果表明杂交种与大菱鲂形态较为接近, 先聚为一支, 欧氏距离为 1.005; 再与星斑川鲮聚为一支, 欧氏距离为 1.051; 大菱鲂与星斑川鲮最后聚为一支, 欧氏距离为 2.041。

2.5 判别分析

经过判别分析得到了 10 个对结果影响贡献率较大的参数, 它们分别是躯干长/体长、体宽/体长、眼径/体长、眼间距/体长、胸鳍长/体长、尾鳍长/体长、尾柄长/体长、尾柄高/体长、体厚度/体长、肠长度/体长。以 X_1-X_{10} 表示这 10 个参数, 可以构建如下判别公式:

大菱鲂:

$$Y_1 = -832.439 + 1162.638X_1 + 1076.735X_2 + 1167.425X_3 - 1103.543X_4 + 674.896X_5 - 131.331X_6 - 195.384X_7 + 902.332X_8 + 68.876X_9 + 57.444X_{10}$$

杂交种:

$$Y_2 = -795.786 + 1226.184X_1 + 946.525X_2 + 951.617X_3 - 868.999X_4 + 565.061X_5 - 158.362X_6 - 352.493X_7 + 910.495X_8 + 184.552X_9 + 67.579X_{10}$$

星斑川鲮:

$$Y_3 = -816.619 + 1353.818X_1 + 735.032X_2 + 1075.346X_3 - 1427.985X_4 + 780.916X_5 - 277.262X_6 + 106.779X_7 + 565.744X_8 + 690.680X_9 + 104.758X_{10}$$

表 4 大菱鲆、杂交种和星斑川鲷的可量性状数据
Tab.4 Proportional values of traditional metric characters of *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

项目	大菱鲆	杂交种	星斑川鲷	HI
全长/体长	1.2483—1.2691 (1.2587±0.02788) ^a	1.2145—1.2321 (1.2233±0.2354) ^b	1.1423—1.1637 (1.1530±0.02867) ^c	32.99
躯干长/体长	0.6150—0.6350 (0.6250±0.02688) ^a	0.6354—0.6513 (0.6433±0.02123) ^b	0.6935—0.7078 (0.7007±0.01911) ^c	23.79
体宽/体长	0.6909—0.7091 (0.7000±0.02435) ^a	0.6456—0.6678 (0.6567±0.02975) ^b	0.5464—0.5603 (0.5533±0.01863) ^c	29.1
吻长/体长	0.0780—0.0867 (0.0823±0.01165) ^a	0.0818—0.0915 (0.0867±0.01295) ^a	0.0433—0.0487 (0.0460±0.00724) ^b	- 11.4
眼径/体长	0.0561—0.0612 (0.0587±0.00681) ^a	0.0419—0.0474 (0.0447±0.00730) ^b	0.0375—0.0432 (0.0403±0.00765) ^c	76.6
眼后头长/体长	0.2262—0.2358 (0.2310±0.01296) ^a	0.2112—0.2208 (0.2160±0.01276) ^b	0.1723—0.1790 (0.1757±0.00898) ^c	28.13
眼间距/体长	0.0334—0.372 (0.0353±0.00507) ^a	0.0370—0.0423 (0.0397±0.00718) ^b	0.0125—0.0162 (0.0143±0.00504) ^c	-18.93
胸鳍长/体长	0.1111—0.1255 (0.1183±0.01931) ^a	0.1043—0.1150 (0.1097±0.01426) ^b	0.0974—0.1052 (0.1013±0.01042) ^c	68.23
臀鳍长/体长	0.1352—0.1481 (0.1417±0.0172) ^a	0.1328—0.1405 (0.1367±0.01028) ^a	0.1124—0.1210 (0.1167±0.01155) ^b	21.44
背鳍长/体长	0.1398—0.1535 (0.1467±0.01826) ^a	0.1384—0.1449 (0.1417±0.00874) ^a	0.1204—0.1276 (0.1240±0.00968) ^b	24.86
腹鳍长/体长	0.0793—0.0854 (0.0823±0.00817) ^a	0.0786—0.0848 (0.0817±0.00834) ^a	0.0756—0.0824 (0.0790±0.00923) ^a	13.96
尾鳍长/体长	0.2483—0.2691 (0.2587±0.02788) ^a	0.2145—0.2321 (0.2233±0.02354) ^b	0.1423—0.1637 (0.1530±0.02867) ^c	32.99
尾柄长/体长	0.0703—0.0824 (0.0763±0.01629) ^a	0.0595—0.0645 (0.0620±0.00624) ^b	0.1053—0.1147 (0.1100±0.01259) ^c	-42.89
尾柄高/体长	0.1235—0.1318 (0.1277±0.01104) ^a	0.1210—0.1277 (0.1243±0.00898) ^a	0.0963—0.1030 (0.0997±0.0089) ^b	15.10
体厚度/体长	0.0843—0.0910 (0.0877±0.00898) ^a	0.0859—0.0914 (0.0887±0.00730) ^a	0.0952—0.1008 (0.0980±0.00761) ^b	18.03
消化道长/体长	0.6633—0.7134 (0.6883±0.06716) ^a	0.7115—0.7778 (0.7447±0.08877) ^b	0.8415—0.9112 (0.8763±0.09327) ^c	29.39
肠长度/体长	0.4722—0.5238 (0.4980±0.06915) ^a	0.5155—0.5685 (0.5420±0.07102) ^b	0.7350—0.7983 (0.7667±0.0847) ^c	16.61
内脏团重/体重	0.0471—0.0525 (0.0498±0.0729) ^a	0.0468—0.0518 (0.04982±0.00729) ^a	0.0370—0.0405 (0.0388±0.00471) ^b	4.53
消化道重/体重	0.0258—0.0290 (0.0273±0.00430) ^a	0.0280—0.0304 (0.02921±0.00323) ^a	0.0183—0.0209 (0.0196±0.00343) ^b	-23.71
肝胰脏重/体重	0.0154—0.0184 (0.0169±0.00402) ^a	0.0163—0.0184 (0.0174±0.00286) ^a	0.0137—0.0165 (0.0151±0.00370) ^b	-25.04
平均值				15.56

同行数据中, 标有不同字母者表示有显著的统计学差异($P<0.05$)

表 5 大菱鲆、星斑川鲷和杂交种间的欧式距离
Tab.5 Euclidean distance values of *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

性状	大菱鲆	杂交种	星斑川鲷
大菱鲆	—	1.005	2.041
杂交种	1.005	—	1.051
星斑川鲷	2.041	1.051	—

上述判别式对大菱鲆、星斑川鲷和杂交种的综合判别准确率达到 98.9%(表 6), 判别效果显著。用于判断三种鱼属于哪个类别时, 将所测得的数据校正后代入判别公式中, 函数值最大的即为所属种类。

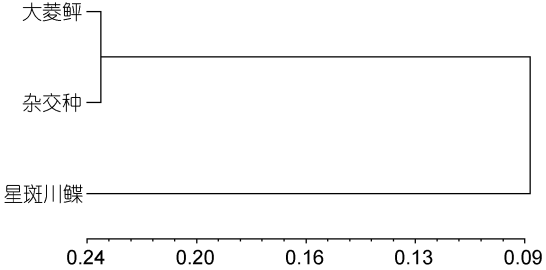


图 1 大菱鲆、杂交种和星斑川鲷形态可量性状的聚类分析图
Fig.1 Dendrogram of clustering conducting on metric of *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

表 6 判别式对大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的预测分类及判别准确率

Tab.6 Predicted classification of discriminant equations for *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

种类	预测种类			判别准确率(%)
	大菱鲂	杂交种	星斑川鲮	
大菱鲂	30	0	0	100.0
杂交种	1	29	0	96.7
星斑川鲮	0	0	30	100.0
综合判别准确率(%)				98.9

2.6 主成分分析

对大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的 20 个可量比例性状进行主成分分析, 共获得 4 个主成分(表 7)。其中, 主成分 1 的方差贡献率为 54.468%, 主成分 2 的

方差贡献率为 7.325%, 主成分 3 的方差贡献率为 6.139%, 主成分 4 的方差贡献率为 5.557%, 对变异的累积贡献率为 73.490%。在第一主成分中, 具有较大方差贡献率的变量主要取决于全长/体长、躯干长/体长、体宽/体长、吻长/体长、眼后头长/体长、眼间距/体长、尾鳍长/体长、尾柄长/体长、肠长度/体长, 因此大菱鲂、星斑川鲮和杂交种在这 9 种参数上存在较明显的差异。

为了更清晰地显示出大菱鲂、星斑川鲮和杂交种的差异情况, 利用提取的 4 个主成分绘制散点图, 其中第一主成分对第三主成分的散点图可以将三者清楚地区分开(图 2), 表明三者之间形态特征差异显著。

表 7 20 个性状对 4 个主成分的特征向量及主成分的贡献率
Tab.7 Eigenvectors and contributive proportion of four principal components from 20 morphological traits

比例性状	主成分			
	1	2	3	4
全长/体长	0.862	-0.210	0.105	0.098
躯干长/体长	-0.828	0.085	0.099	-0.014
体宽/体长	0.904	-0.199	0.171	0.008
吻长/体长	0.851	0.048	0.082	-0.283
眼径/体长	0.590	-0.356	0.109	0.475
眼后头长/体长	0.916	-0.164	0.092	-0.084
眼间距/体长	0.843	-0.022	0.016	-0.247
胸鳍长/体长	0.498	0.287	0.263	0.016
臀鳍长/体长	0.732	0.423	0.240	-0.113
背鳍长/体长	0.725	0.390	0.233	0.014
腹鳍长/体长	0.227	0.335	0.473	0.386
尾鳍长/体长	0.862	-0.210	0.105	0.098
尾柄长/体长	-0.812	-0.216	0.177	0.234
尾柄高/体长	0.798	-0.137	0.111	-0.182
体厚度/体长	-0.484	0.138	0.551	-0.158
消化道长/体长	-0.693	0.316	0.057	-0.247
肠长度/体长	-0.845	0.231	0.060	-0.088
内脏团重/体重	0.714	0.373	-0.398	0.078
消化道重/体重	0.736	0.130	-0.331	-0.285
肝胰脏重/体重	0.378	0.505	-0.335	0.535
各主成分贡献率(%)	54.468	7.325	6.139	5.557
各主成分累计贡献率(%)	54.468	61.793	67.933	73.490

3 讨论

4 个可数性状中, 杂交种与大菱鲂都为差异不显著, 而与父本星斑川鲮都为差异极显著; 杂种指数方面, 除超亲偏离性状外, 杂交种的臀鳍鳍条数属于偏

母本性状。20 个可量性状中, 除腹鳍长/体长性状在三者中的差异都不显著外, 杂交种有 9 个性状与大菱鲂差异不显著, 但其 19 个可量性状与星斑川鲮都为显著差异; 杂种指数方面, 除超亲偏离性状外, 偏母本性状有 13 个, 偏父本性状有 2 个, 而可量性状的杂

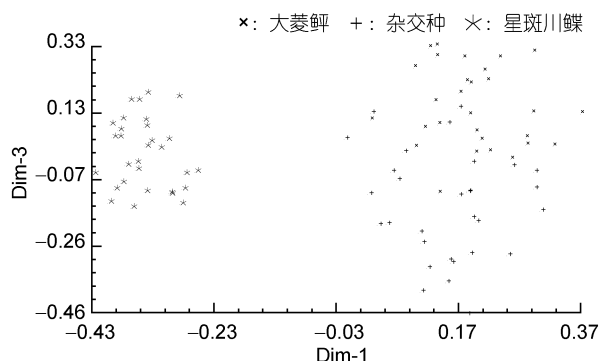


图2 大菱鲃、星斑川鲷和杂交种的第一、第三主成分散点图

Fig.2 Distribution of factor (3) × factor (1) coordinate in *S. maximus*, *P. stellatus*, and the hybrid

种指数平均值为 15.56, 显示杂交种可量性状总体属于偏母本。由以上结果可知, 杂交种更多继承了母本的形态特征, 外部形态与大菱鲃更为相似。另外对三者的 20 个可量性状进行了聚类分析, 结果发现杂交种先与大菱鲃聚为一支, 再与星斑川鲷聚为一支, 同样印证了上述结论。这也与大多数已有杂交育种试验结果相吻合, 大多数杂交后代的形态性状都偏向于母本, 如团头鲂(♀) × 三角鲂(♂)(杨怀宇等, 2002)、荷包红鲤鱼(♀) × 元江鲤(♂)(马仲波等, 1981)、鲫鱼(♀) × 禾花鱼(♂)(孙翰昌等, 2011)等。除了形态特征外, 一些杂交种的胚胎发育时间(夏仕玲等, 1990)、胚胎孵化时间(宓国强等, 2009)等也出现偏向于母本。原因可能与母体效应影响, 或者线粒体基因在杂交种受精卵在发育过程中发挥了重要作用有关(Bolnick *et al*, 2008; 吴常信, 2010; Andersson *et al*, 2011)。

在鱼类的分类上, 形态上的差异最为直观, 因此形态鉴别指标非常重要。传统的形态学分析是采用可数性状及可量性状的单一比较, 这种方法被广泛用于种间及种以上鱼类的鉴别(Cadrin, 2000)。本研究中, 杂交种的外部形态特征与星斑川鲷的差别较大, 与大菱鲃非常相似, 很难从外部形态上直接将杂交种与大菱鲃进行区分。在可数性状中, 除腹鳍鳍条数都一致外, 三者背鳍鳍条数、臀鳍鳍条数、胸鳍鳍条数和尾鳍鳍条数的均值存在较大差异, 但由于其区间范围存在着重叠, 因此无法作为区分三者的直接依据, 必须借助多元统计分析方法对三者进行分析。

判别分析主要应用于鉴定不同水系和不同杂交品系水产动物的鉴别分析, 通过建立判别公式正确区分不同水系和不同品系的水产动物, 对防止种质混杂具有重要的理论意义(张尧庭等, 1982; 李思发等,

1998; 吴常信, 2010)。本研究中, 贡献率最大的 10 个参数分别位于头部、躯干部和尾部, 差异性性状分布比较分散。利用这些参数分别构建了其判别函数, 对大菱鲃、星斑川鲷和杂交种的综合判别准确率达到 98.9%, 判别效果非常显著。

主成分分析通过将多参数综合成少数因子来说明不同种群的差异大小, 根据主成分值得出各群体在各主成分上差异较大的参数(张志强等, 2005)。本研究共获得了 4 个主成分, 其累积总变异的贡献率为 73.49%。其中第一主成分中具有较大方差贡献率的性状遍布全身, 这与判别分析得出的结果一致, 其可以将星斑川鲷与另外两种区分开, 但不能彻底区分大菱鲃和杂交种。大菱鲃和杂交种的形态差异主要表现在第三主成分上, 第三主成分上具有较大方差贡献率的性状为腹鳍长和体厚度, 说明杂交种在这两个性状上更多继承了星斑川鲷的特征。

本研究结果表明, 杂交种在形态上与大菱鲃非常相似, 但在生长速度、抗病性等性能上较父母本有优势, 杂交种在养殖业中的优势作用一定会越来越明显。本研究中, 采用多元分析方法鉴别大菱鲃、星斑川鲷和杂交种的形态, 结果证明该法比较有效。这对于养殖生产中杂交种的物种鉴定及养殖管理具有很重要的理论和实践意义。

参 考 文 献

- 于 飞, 张庆文, 孔 杰等, 2008. 大菱鲃 4 个进口群体的形态差异分析. 海洋水产研究, 29(5): 27—32
- 马仲波, 张兴忠, 仇潜如等, 1981. 元江鲤与荷包红鲤的生态类型及其杂交后代(荷元鲤)经济性状的分析. 水产学报, 5(3): 187—198
- 马爱军, 王新安, 雷霖霖等, 2008. 大菱鲃四个不同地理群体数量形态特征比较. 海洋与湖沼, 39(1): 24—29
- 尤 锋, 吴志昊, 李 军等, 2007. 星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)养殖群体的 RAPD 分析. 海洋科学进展, 25(1): 73—78
- 申雪艳, 宫庆礼, 雷霖霖等, 2004. 进口大菱鲃 *Scophthalmus maximus* L. 苗种的遗传结构分析. 海洋与湖沼, 35(4): 332—341
- 刘 苏, 朱新平, 陈昆慈等, 2011. 斑鳢、乌鳢及其杂交种形态差异分析. 华中农业大学学报, 30(4): 488—493
- 孙翰昌, 代 丽, 2011. 鲫(♀) × 禾花鱼(♂)杂交及杂交 F_1 亲本的形态特征研究. 淡水渔业, 41(1): 49—52
- 李思发, 李晨虹, 李家乐, 1998. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析. 动物学报, 44(4): 450—457
- 杨怀宇, 李思发, 邹曙明, 2002. 三角鲂与团头鲂正反交 F_1 的遗传性状. 上海水产大学学报, 11(4): 305—309

- 吴常信, 2010. 动物遗传学. 北京: 高等教育出版社, 327—394
- 张 颖, 刘晓勇, 曲秋芝等, 2012. 达氏鳇、施氏鲟及其杂交种(施氏鲟♂×达氏鳇♀)形态差异与判别分析. 淡水渔业, 42(6): 27—32
- 张尧庭, 方开泰, 1982. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 393—401
- 张志强, 王德华, 2005. 小型哺乳动物的母体效应及其在种群调节中的作用. 生态学杂志, 24(7): 812—816
- 宓国强, 练青平, 王雨辰等, 2009. 翘嘴鲌(♀)×斑鲌(♂)杂交子一代的胚胎发育. 上海海洋大学学报, 18(4): 421—427
- 赵 建, 朱新平, 陈永乐, 2007. 珠江卷口鱼不同地理种群的形态变异. 动物学报, 53(5): 921—927
- 夏仕玲, 余来宁, 吴作文, 1990. 鱼类卵细胞质对胚胎发育速度的调控. 淡水渔业, 3: 17—18
- 曹树香, 周书洪, 刘保中, 2008. 比目鱼类工厂化养殖及品种优选. 天津水产, 2: 26—29
- 楼允东, 2001. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 1—106
- 雷霖霖, 马爱军, 刘新富等, 2003. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)胚胎及仔稚幼鱼发育研究. 海洋与湖沼, 34(1): 9—18
- 雷霖霖编著, 2005. 海水鱼类养殖理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 647—665
- Andersson A M, Silva P I M, Steffensen J F *et al*, 2011. Effects of maternal stress coping style on offspring characteristics in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Hormones and Behavior, 60(5): 699—705
- Bolnick D I, Turelli M, López-Fernández H *et al*, 2008. Accelerated mitochondrial evolution and “Darwin’s corollary”: asymmetric viability of reciprocal F₁ hybrids in centrarchid fishes. Genetics, 178(2): 1037—1048
- Cadrin S X, 2000. Advances in morphometric identification of fishery stocks. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 10(1): 91—112
- Crivelli A J, Dupont F, 1987. Biometrical and biological features of *Alburnus alburnus* × *Rutilus rubilio* natural hybrids from Lake Mikri Prespa, northern Greece. Journal of Fish Biology, 31(6): 721—733
- Witkowski A, Blachutad J, 1980. Natural hybrids *Alburnus alburnus* (L.) × *Leuciscus* and *Biebrza*. Acta Hydrobiologica, 22(4): 473—487

MORPHOLOGICAL ANALYSIS TO *SCOPHTHALMUS MAXIMUS*, *PLATICHTHYS STELLATUS* AND THEIR HYBRID

MA Hai-Tao¹, HAN Cheng-Hui^{1, 2}, TENG Zhao-Jun³, LIU Xiang-Quan¹,
YANG Jian-Min¹, TIAN Yu-Qiu³, JIANG Hai-Bin¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Rizhao Proliferation Station of Marine Aquatic Resources, Rizhao 276805, China)

Abstract Meristic character and morphometric characteristics of *Scophthalmus maximus*, *Platichthys stellatus*, and their hybrid were analyzed using principle component analysis method, discriminatory analysis, variance analysis, and cluster analysis. The results show that the number of pelvic fin rays was consistent in the three species, and the chi-square analysis of meristic characters showed significant differences between *P. stellatus* and the hybrid, but between *S. maximus* and the hybrid. In morphometric characteristics, 45% morphometric measurements were not significantly different ($P>0.05$) between the hybrid and *S. maximus*, all traits were significantly different ($P<0.05$) between the hybrid and *P. stellatus*. Among 20 measurable characters, the average hybrid index was calculated to be 15.56, indicating the measurable character inclined to its female parent. The result of cluster analysis revealed that, characters of hybrid was more similar to *S. maximus* than *P. stellatus*. In principle component analysis, four principal components were constructed by factor loadings and the cumulative contribution ratio was 73.49%. Three discriminate function were established in discriminatory analysis, the average discriminant accuracy was 98.9%. Therefore, multivariate analysis on proportional morphological traits could be feasible to identify and distinguish the morphological differences among *S. maximus*, *P. stellatus*, and their hybrid.

Key words *Scophthalmus maximus*; *Platichthys stellatus*; the hybrid; morphological variation; multivariation analysis