

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180730001

http://www.yykxjz.cn/

李振通, 成美玲, 田永胜, 唐江, 马文辉, 侯云霞, 王晓梅, 翟介明. 杂交种“云龙石斑鱼”与亲本的形态差异分析. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 73-83

Li ZT, Cheng ML, Tian YS, Tang J, Ma WH, Hou YX, Wang XM, Zhai JM. Analysis of the morphological differences between hybrid “*Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” and its parents. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 73-83

杂交种“云龙石斑鱼”与亲本的形态差异分析*

李振通^{1,2} 成美玲^{2,4} 田永胜^{2,3①} 唐江^{1,2}
马文辉⁵ 侯云霞⁵ 王晓梅⁵ 翟介明⁵

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 4. 大连海洋大学水产与生命学院 大连 116023; 5. 莱州明波水产有限公司 莱州 261400)

摘要 对杂交种“云龙石斑鱼”及其亲本鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*, ♂)和云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*, ♀) 3个群体的7个可数性状和20个可量性状进行统计与测定, 采用聚类分析、主成分分析、判别分析和方差分析法进行比较分析。卡方检验结果显示, 3个石斑鱼群体之间可数性状差异不显著。聚类分析结果显示, 云龙石斑鱼与母本云纹石斑鱼的差异较小, 与父本鞍带石斑鱼的差异较大。主成分分析构建了6个反映形态特征信息的综合性指标, 贡献率分别为24.585%、17.985%、10.410%、9.970%、6.542%和5.542%, 累积贡献率为74.945%, 3个群体之间在形态特征方面存在明显偏离, 云龙石斑鱼有其独特的形态特征。通过判别分析筛选出对判别石斑鱼贡献率最大的4个形态特征, 分别为 X_3 (吻长/头长)、 X_6 (体高/体长)、 X_8 (尾柄高/体长)与 X_{14} (腹鳍基部至臀鳍基部前端/体长), 以此拟合出能够判别以上3个群体的典型判别函数($F_1=21.108X_3+38.413X_6-97.206X_8+2.223X_{14}-6.849$, $F_2=-10.344X_3+21.570X_6+21.931X_8+26.901X_{14}-17.406$)与分类判别函数($Y_1=217.572X_3+750.765X_6+1425.499X_8+413.410X_{14}-336.464$, $Y_2=318.678X_3+839.713X_6+1020.377X_8+358.203X_{14}-319.723$ 与 $Y_3=258.526X_3+672.660X_6+1334.033X_8+311.962X_{14}-269.278$), 综合判别率为96.43%, 认为由逐步判别分析法筛选出的4个形态性状对3个群体的初步鉴定是可行的。方差分析多重比较显示, 除 X_{11} (胸鳍基部至腹鳍基部长/体长)外, 3个石斑鱼的形态差异均达到显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$), 云龙石斑鱼与鞍带石斑鱼有14个形态性状达到极显著($P<0.01$), 云龙石斑鱼与云纹石斑鱼有12个形态性状达到差异极显著($P<0.01$)。本研究结果为石斑鱼杂交种“云龙石斑鱼”与云纹石斑鱼和鞍带石斑鱼的种质鉴别提供了丰富的生物学基础数据。

关键词 云龙石斑鱼; 云纹石斑鱼; 鞍带石斑鱼; 形态差异; 多元统计分析

中图分类号 S965 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)04-0073-11

* 山东省育种工程(2016LZGC009)、烟台市科技发展计划(2016JH021)、烟台市“双百计划”人才项目和黄海水产研究所科研业务费(20603022017013)共同资助 [The work was supported by Shandong Province Agricultural Variety Engineering (2016LZGC009), Yantai Science and Technology Development Plan (2016JH021), Double-Hundred Talent Project of Yantai City, Shandong Province, and Special Fund for Basic Scientific Research Business of Central Public Research Institutes (200603022017013)]. 李振通, E-mail: 1571835385@qq.com

① 通讯作者: 田永胜, 研究员, E-mail: tianys@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-07-30, 收修改稿日期: 2018-09-21

我国有记录的石斑鱼有近40种,均为暖水性鱼类,主要分布在东海和南海水域(孟庆闻等,1995)。石斑鱼肉味鲜美、营养丰富,在我国海水鱼类中的地位举足轻重。2016年石斑鱼养殖量达108319 t,占海水养殖鱼类的8%,捕捞量达128538 t(农业部渔业渔政管理局,2017)。然而,在石斑鱼的养殖过程中,出现了生长速度变慢、产量低、畸形率高和发病率高、种质退化问题,另外,由于种质保存、人工繁育及育种技术研究相对滞后、养殖新品种缺乏等原因制约了石斑鱼养殖业的发展。因此,培育优质、高产的石斑鱼新品种,对于维持我国石斑鱼养殖业可持续发展的具有重要意义。

近年来,杂交育种作为培育新品种的方法在鱼类育种中得到广泛应用,也被应用于石斑鱼新品种培育(Kang *et al.*, 2015)。国内已开展的杂交研究有云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)(♀)×赤点石斑鱼(*E. akaara*)(♂)(杨求华等,2014)、棕点石斑鱼(*E. fuscoguttatus*)(♀)×鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*)(♂)(陈超等,2014)、赤点石斑鱼(♂)×斜带石斑鱼(*E. coioides*)(♀)(刘付永忠等,2007)等。精子冷冻保存技术是突破地理分布、繁殖时间和温度、雌雄成熟不同步等造成的生殖隔离的有效方法,前期工作中,利用鞍带石斑鱼冷冻精子与云纹石斑鱼卵子培育出具有成活率高、生长快、畸形率低和适温性广的杂交后代“云龙石斑鱼”(田永胜等,2017)。由于云龙石斑鱼具有优良的生长性能,已经推广到海南、福建、广州、山东、大连以及韩国和日本等地。

鱼类形态性状包括可数性状(鳃耙数、鳍条数等)与可量性状(全长、头长等)以及利用鱼体形态坐标点与坐标点描述鱼体的形态特征。形态性状是物种遗传特性的外在表现,是遗传多样性最直观的表现形式。形态性状也是进行鱼类分类、遗传分析的重要依据,部分指标可以用于优良品种的选育(楼允东,2001)。通过对鱼类群体间形态特征研究,有助于了解鱼类群体间的亲缘关系,可以进一步研究鱼类起源、进化方向等(孟庆闻等,1989)。对鱼类形态学特征研究主要借助生物学多元统计分析方法,包括聚类分析、主成分分析、判别分析和方差分析,近些年来,在石斑鱼

群体间的遗传差异以及多样性研究中得到广泛应用(区又君等,2008;董秋芬等,2007)。也有对石斑鱼形态性状差异的分析研究(李雷斌等,2015;吴水清等,2017;李炎璐等,2014;王燕等,2014),本课题组曾对云纹石斑鱼和鞍带石斑鱼及杂交F₁代云龙石斑鱼的形态差异进行过初步研究(田永胜等,2017),但涉及表型性状少,结果不够完善。本研究对3个石斑鱼群体的形态性状进一步丰富,利用聚类分析、主成分分析和判别分析3种生物多元统计方法,以及卡方检验和单因子方差分析法对云龙石斑鱼和父母本群体的形态特征进行分析,旨在为石斑鱼杂交后代的种质鉴别和石斑鱼良种选育工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

本研究所用云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼及杂交子代云龙石斑鱼均源自莱州明波水产有限公司,杂交种云龙石斑鱼为鞍带石斑鱼的冷冻精子与云纹石斑鱼的卵受精而成。3个群体在相同环境中培育,水温为23℃~27℃,NH₄-N≤0.15 mg/L,NO₂-N≤0.02 mg/L,COD≤2 mg/L,SS≤10 mg/L,pH为7.5~8.2,DO为8 mg/L,盐度为28~30,循环水养殖,分别对3个石斑鱼群体的生长性能进行测量。测量前停食一顿,减轻鱼的应激反应;测量时使用麻醉剂MS222(40~80 mg/L)进行麻醉。为减小个体规格差异对统计分析产生的影响,所测量鱼体的规格相近(表1)。

1.2 性状测量

1.2.1 可数性状 每个群体选取30尾进行统计,包括背鳍棘数、背鳍软条数、胸鳍条数、腹鳍条数、臀鳍棘数、臀鳍软条数和尾鳍条数共7项,630个数据。

1.2.2 可量性状 对选取的每个样本进行拍照,再利用Adobe Photoshop软件进行测量分析。可量性状包括全长、体长、吻长、眼径、头长、体高、尾柄长和尾柄高,框架可量性状参数包括背鳍前端基部至腹鳍基部长、背鳍前端基部至胸鳍基部长、胸鳍基部至

表1 3个石斑鱼群体的观测样本数量和规格

Tab.1 The number and size of samples from three different groupers

群体类型 Group type	样本数 Sample size	体长 Body length (cm)		体重 Body weight (g)	
		范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	68	18.3~26.3	23.6±2.1	250.7~442.5	336.4±60.4
云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	91	16.9~22.2	20.3±1.5	203.3~385.8	275.9±49.6
云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀× <i>E. lanceolatus</i> ♂	121	18.8~25.5	22.5±1.7	240.5~420.6	316.7±57.4

腹鳍基部长、背鳍前端基部至臀鳍前端基部长、胸鳍基部至臀鳍前端基部长、腹鳍基部至臀鳍前端基部长、胸鳍基部至尾鳍基部长、腹鳍基部至尾鳍基部长、背鳍前端基部至尾鳍基部长、臀鳍前端基部至尾鳍长、尾鳍长和背鳍基长。3组鱼, 共计280尾, 每尾鱼20项形态特征参数(图1), 共计5600个数据。

1.3 数据处理

1.3.1 可数性状分析 可数性状采用卡方进行检验(杜荣骞, 1990), 利用统计软件 SPSS 17 进行分析。

1.3.2 可量性状分析 为了消除鱼体大小不同对形态特征的影响, 将每尾鱼的吻长、眼径与头长的比值作为形态度量分析的性状值(分别为 X_3 和 X_4), 其他形态性状值与体长的比值作为形态度量分析的性状值, 分别为全长/体长(X_1)、头长/体长(X_5)、体高/

体长(X_6)、尾柄长/体长(X_7)、尾柄高/体长(X_8)、背鳍前端基部至腹鳍基部长/体长(X_9)、背鳍前端基部至胸鳍基部长/体长(X_{10})、胸鳍基部至腹鳍基部长/体长(X_{11})、背鳍前端基部至臀鳍前端基部长/体长(X_{12})、胸鳍基部至臀鳍前端基部长/体长(X_{13})、腹鳍基部至臀鳍前端基部长/体长(X_{14})、胸鳍基部至尾鳍基部长/体长(X_{15})、腹鳍基部至尾鳍基部长/体长(X_{16})、背鳍前端基部至尾鳍基部长/体长(X_{17})、臀鳍前端基部至尾鳍长/体长(X_{18})、尾鳍长/体长(X_{19})和背鳍基部长/体长(X_{20}), 共19项。采用统计软件 SPSS 17 对所得的比例性状数据进行聚类分析、主成分分析、判别分析和单因子方差分析(王新安等, 2008)。

聚类分析: 首先计算出这3种石斑鱼19个比例性状的平均值, 然后利用系统聚类法中的欧式最短距离法对这3种石斑鱼的19个比例性状的平均值进行

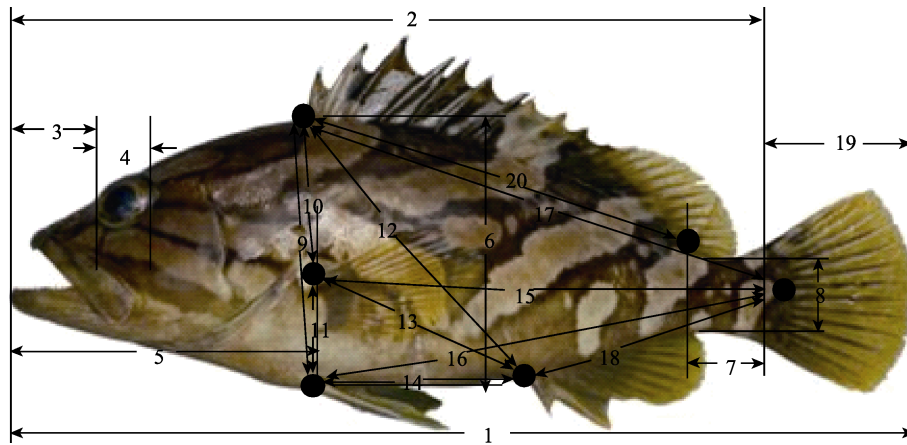


图1 石斑鱼形态学测量位点

Fig.1 The morphological and mark points for measurement of grouper

1: 全长; 2: 体长; 3: 吻长; 4: 眼径; 5: 头长; 6: 体高; 7: 尾柄长; 8: 尾柄高; 9: 背鳍前端基部至腹鳍基部长; 10: 背鳍前端基部至胸鳍基部长; 11: 胸鳍基部至腹鳍基部长; 12: 背鳍前端基部至臀鳍前端基部长; 13: 胸鳍基部至臀鳍前端基部长; 14: 腹鳍基部至臀鳍前端基部长; 15: 胸鳍基部至尾鳍基部长; 16: 腹鳍基部至尾鳍基部长; 17: 背鳍前端基部至尾鳍基部长; 18: 臀鳍前端基部至尾鳍长; 19: 尾鳍长; 20: 背鳍基部长

1: Total length; 2: Body length; 3: Tongue length; 4: Eye diameter; 5: Head length; 6: Body height; 7: Length of caudal peduncle; 8: Height of caudal peduncle; 9: Dorsal fin front base to pelvic fin base; 10: Dorsal fin front base to pectoral fin base; 11: Base of the pectoral fin to the base of the pelvic fin; 12: Front base of the dorsal fin to the front base of the anal fin; 13: Base of the pectoral fin to the base of the front of the anal fin; 14: Base of the peritoneal fin to the base of the front of the anal fin; 15: Base of the pectoral fin to the base of the caudal fin; 16: Base of the pelvic fin to the base of the caudal fin; 17: Dorsal fin front base to caudal fin base; 18: Anterior base of the anal fin to the caudal fin; 19: Length of caudal fin; 20: Length of dorsal fin front

聚类分析, 并用树形图显示3个种间的亲疏程度。

主成分分析: 通过软件分析, 利用19项比例性状值得出几个主成分, 并计算出这几个主成分的特征根向量、方差贡献率以及它们的累积方差贡献率。

判别分析: 对每个样本的19个校正参数进行逐步判别分析, 挑选对判别贡献大的参数来建立3种石斑鱼的形态判别函数, 并对所有的样本进行逐个判

别。判别准确率的计算公式为(马爱军, 2016):

判别准确率 $P_1 = (\text{判别正确的某石斑鱼尾数} / \text{实际判别的该群体尾数}) \times 100\%$

判别准确率 $P_2 = (\text{判别正确的某石斑鱼尾数} / \text{判入该群体尾数}) \times 100\%$

综合判别率 $P = (\text{判别正确的石斑鱼总数} / \text{实测的石斑鱼总数}) \times 100\%$

单因子方差分析:运用 SPSS 17 软件,采用单因子方差分析(One-way ANOVA),并用 Duncan 法对不同群体间的形态差异进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 可数性状

3 种石斑鱼的可数性状均值见表 2。经 χ^2 检验, $\chi^2_{1-2}=0.083$, $\chi^2_{1-3}=0.097$, $\chi^2_{2-3}=0.174$, 均小于 $\chi^2_{6, 0.05}=12.59$, 可见这 3 种石斑鱼在形态可数性状上的差异不显著。

2.2 可量性状

2.2.1 聚类分析 利用 SPSS 中的系统聚类分析进行分析。从鞍带石斑鱼、云纹石斑鱼与云龙石斑鱼间的平均欧氏距离可以看出(表 3), 云龙石斑鱼与云纹石斑鱼的欧氏距离为 2.681, 与鞍带石斑鱼的欧氏距离为 3.487, 云纹石斑鱼与鞍带石斑鱼的欧氏距离为 3.474。从聚类图中可以看出(图 2), 云龙石斑鱼和云纹石斑鱼先聚在一起, 归为一类, 然后再与鞍带石斑鱼聚在一起, 说明云龙石斑鱼与云纹石斑鱼的形态较为相似。

表 2 3 种石斑鱼可数性状的均值(平均值±标准差)
Tab.2 Mean values of meristic characters of three groupers (Mean±SD)

性状 Characters	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂
背鳍硬棘数 Number of dorsal fin spines	11.00±0.00	10.90±0.49	11.00±0.00
背鳍软条数 Number of dorsal fin rays	14.27±0.45	14.79±1.24	13.79±1.37
胸鳍鳍条数 Number of pectoral fin rays	15.03±0.32	16.83±1.00	13.90±2.81
腹鳍鳍条数 Number of ventral fin rays	6.00±0.00	5.86±0.35	5.31±0.47
臀鳍硬棘数 Number of anal fin spines	3.00±0.00	3.00±0.00	3.00±0.00
臀鳍软条数 Number of anal fin rays	8.00±0.00	8.72±0.88	7.79±1.35
尾鳍鳍条数 Number of caudal fin rays	14.93±0.83	16.03±1.02	15.28±1.07

表 3 3 种石斑鱼群体间的欧氏距离
Tab.3 The euclidean distance among three groupers

群体类型 Group type	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	—	3.474	3.487
云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	3.474	—	2.681
云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂	3.487	2.681	—

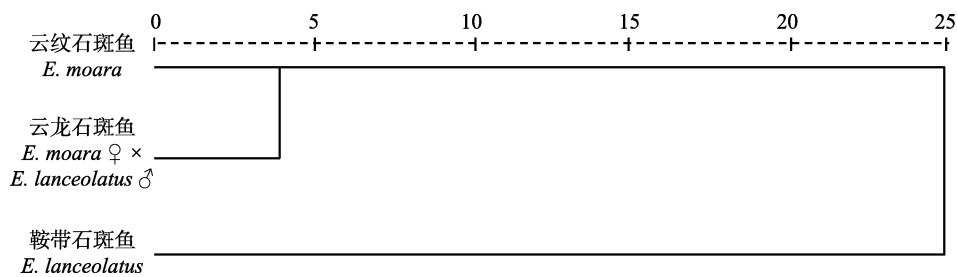


图 2 3 个石斑鱼群体的聚类分析树形图
Fig.2 Hierarchical dendrogram of three groupers

2.2.2 主成分分析 对 3 个石斑鱼群体的 19 个形态比例性状进行主成分分析, 保留特征根大于 1 的主成分, 共获得 6 个主成分。19 个性状对 6 个主成分的特征向量及 6 个主成分的方差贡献率见(表 4), 结果显示, 第 1 个主成分贡献率为 24.585%, 根据主成分特征向量分量的绝对值可知, 主要反映 X_4 、 X_6 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{12} 、 X_{13} 和 X_{14} 等指标, 其中, X_6 、 X_9 、

X_{10} 和 X_{14} 的影响最大, 即主要反映鱼体纵向特征; 第 2 个主成分贡献率为 17.985%, 主要反映 X_3 、 X_5 、 X_{17} 和 X_{20} 等指标, 即主要反映鱼体横向特征; 第 3 个主成分贡献率为 10.410%, 比前 2 个主成分又有所降低, 主要反映指标 X_5 和 X_6 , 第 4 个主成分贡献率为 9.970%, 反映指标 X_1 和 X_{19} ; 第 5 个主成分贡献率为 6.542%, 反映指标 X_7 和 X_{18} ; 第 6 个主成分贡献率仅

为 5.542%，反映指标 X_{11} 。6 个主成分的累积贡献率为 74.945%，包含了总变异的大部分，说明可以用几个相互独立的因子来概括不同鱼种间的形态差异。

利用 3 个石斑鱼群体的主成分 1、主成分 2 和主成分 3 绘制三维空间主成分分析图(图 3)，可以看出，鞍带石斑鱼、云纹石斑鱼和云龙石斑鱼 3 种石斑鱼各

有自己特有的形态特征，形成 3 个不同的群体，3 个石斑鱼群体在主成分 1 轴的差异明显比主成分 2 轴、主成分 3 轴上的差异大。图中信息显示，云龙石斑鱼和云纹石斑鱼形态差异较小，和鞍带石斑鱼形态差异较大，说明云龙石斑鱼的形态特征偏向于母本云纹石斑鱼。

表 4 3 种石斑鱼群体的 19 个性状对 6 个主成分的特征向量及主成分的贡献率
Tab.4 Eigenvectors and cumulative contribution rates of six principal components from the 19 traits of three grouper populations

形态比例性状 Morphological proportional traits	主成分 Principal component					
	1	2	3	4	5	6
X_1	-0.432	0.051	-0.181	0.842	0.035	-0.163
X_3	-0.330	-0.647	0.330	0.129	0.016	-0.059
X_4	-0.526	0.052	0.371	0.240	-0.131	-0.104
X_5	-0.187	-0.714	-0.419	-0.029	0.032	0.157
X_6	0.704	-0.447	-0.142	0.274	0.126	0.187
X_7	0.128	0.355	0.069	-0.046	0.733	0.019
X_8	0.544	0.521	-0.169	0.150	0.039	0.311
X_9	0.713	-0.424	-0.268	0.250	0.133	0.157
X_{10}	0.759	-0.236	-0.325	0.139	0.164	-0.304
X_{11}	-0.175	-0.071	0.430	0.318	-0.068	0.785
X_{12}	0.682	0.186	-0.359	0.053	-0.364	0.083
X_{13}	0.603	-0.011	0.364	0.125	-0.230	-0.057
X_{14}	0.763	-0.198	0.281	0.087	-0.113	-0.157
X_{15}	0.484	0.430	0.493	0.213	0.039	-0.152
X_{16}	0.571	0.108	0.588	0.149	0.100	-0.066
X_{17}	-0.017	0.874	-0.142	-0.018	-0.105	-0.019
X_{18}	-0.114	0.396	-0.096	0.025	0.545	0.111
X_{19}	-0.395	0.065	-0.177	0.848	0.021	-0.148
X_{20}	0.005	0.671	-0.343	0.122	-0.312	0.093
各主成分贡献率 Principal component contribution rate (%)	24.585	17.985	10.410	9.970	6.542	5.542
累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	24.585	42.570	52.981	62.951	69.493	74.945

2.2.3 判别分析 利用 SPSS 中载有的逐步判别分析法，对 3 个石斑鱼群体的 19 个比例性状进行判别分析。结果显示，有 4 个贡献率很大的比例性状依次进入了判别公式，分别为 X_3 、 X_6 、 X_8 和 X_{14} ，而且这 4 个比例性状均达到极显著水平($P < 0.01$)(表 5)。根据这 4 个比例性状所建立的 3 个石斑鱼群体的典型判别公式为：

$$F_1 = 21.108X_3 + 38.413X_6 - 97.206X_8 + 2.223X_{14} - 6.849$$

$$F_2 = -10.344X_3 + 21.570X_6 + 21.931X_8 + 26.901X_{14} - 17.406$$

典型判别函数 F_1 与 F_2 的贡献率分别为 55.9% 与 44.1%(表 6)，将 3 个石斑鱼群体的 X_3 、 X_6 、 X_8 与 X_{14} 共 4 个比例性状代入以上 2 个典型判别函数，绘制了

3 个石斑鱼群体的分布图(图 4)，这 2 个典型判别函数可以将鞍带石斑鱼、云纹石斑鱼与云龙石斑鱼 3 个石斑鱼群体区别开来。

另外，依据 X_3 、 X_6 、 X_8 和 X_{14} 共 4 个形态比例参数以及分类函数相关系数，拟合出 3 个石斑鱼群体的分类判别函数：

$$\text{鞍带石斑鱼} : Y_1 = 217.572X_3 + 750.765X_6 + 1425.499X_8 + 413.410X_{14} - 336.464$$

$$\text{云纹石斑鱼} : Y_2 = 318.678X_3 + 839.713X_6 + 1020.377X_8 + 358.203X_{14} - 319.723$$

$$\text{云龙石斑鱼} : Y_3 = 258.526X_3 + 672.660X_6 + 1334.033X_8 + 311.962X_{14} - 269.278$$

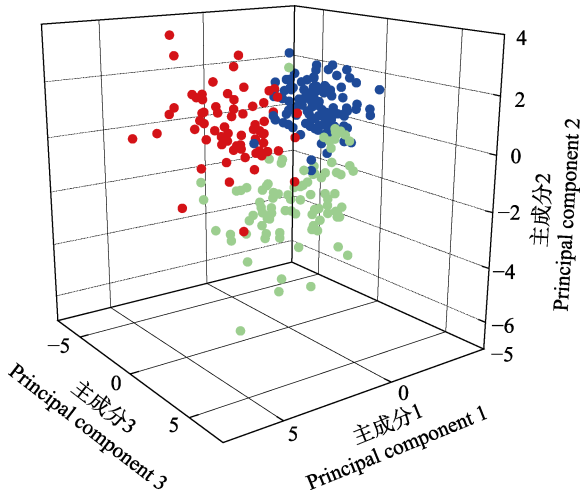


图3 3种石斑鱼群体主成分1、主成分2和主成分3的散布图

Fig.3 Scatter diagram for the first, the second and the third principal components of three groupers

红圈代表鞍带石斑鱼；绿圈代表云纹石斑鱼；
蓝圈代表云龙石斑鱼

The red dot represent *E. lanceolatus*;
the green dot represent *E. moara*; the blue dot
represent *E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

对测量样本按上述分类判别函数进行预测分类(表7), 3个群体的判别准确率 P_1 分别为 95.59%、93.41%和 99.17%, 判别准确率 P_2 分别为 97.02%、100%和 93.75%, 综合判别率为 96.43%。 F 检验结果显示, 这3个分类判别函数对3个群体的判别效果较好, 群体的判别公式可靠。显然, 利用包含4个形态比例参数的判别函数对个体进行预测的准确率高, 且工作量小, 因此, 在实际应用中是可行的。若要判断某尾石斑鱼所属的种群, 只需要测量出吻长、体高、

尾柄高、腹鳍基部至臀鳍前端基部长以及头长与体长, 分别代入上述3个判别公式, 计算出3个数值, 以数值最大的判别函数所对应的名称作为该个体的鱼名。

2.2.4 单因素方差分析 对鞍带石斑鱼、云纹石斑鱼与云龙石斑鱼3个群体的19个形态比例性状进行单因子方差分析, 并利用最小显著差数法对具有显著差异的形态比例进行多重比较分析(表8), 结果显示, 在这3个群体的19个形态比例性状值中, 除 X_{11} 外 ($P > 0.05$), 其余形态比例性状均达到显著水平 ($P < 0.05$) 或极显著水平 ($P < 0.01$)。多重比较结果显示, 鞍带石斑鱼与云纹石斑鱼有17个形态比例性状之间差异达到显著水平, 15个达到极显著水平, 占总性状的78.95%; 鞍带石斑鱼与云龙石斑鱼之间有15个形态比例性状之间差异达到显著水平, 其中, 有14个达到极显著水平, 占总性状的73.68%; 云纹石斑鱼与云龙石斑鱼之间有12个形态比例性状之间差异达到极显著水平, 占总性状的63.16%。

3 讨论

目前, 有两种方法用于群体间差异的分析, 生物多元统计(徐成等, 2001)和分子生物学(马爱军等, 2008)。20世纪末期, 利用分子生物学如 AFLP、SSR 与测序技术等研究分析生物的遗传性状相当普遍。在利用 RAPD 对5种石斑鱼的遗传差异进行研究分析时, 发现这5种石斑鱼之间的遗传多样性较高, 平均多态性位点为 60.34%~73.94% (区又君等, 2008)。利用分子生物学方法对研究群体间的遗传差异准确度较高, 但表型形态特征数据更容易获得, 操作简单快

表5 3个鱼类群体19个比例性状的逐步判别 Wilks' Lambda 值
Tab.5 Wilks' Lambda values of stepwise discriminant analysis of 19 traits in three groupers

步骤 Step	进入 变量 Entered	统计量 Statistic	df1	df2	df3	精确 F 值 Exact F			
						统计量 Statistic	df1	df2	显著性水平 Sig.
1	X_{14}	0.409	1	2	277	200.375	2	277.000	0.000
2	X_3	0.178	2	2	277	189.139	4	552.000	0.000
3	X_6	0.124	3	2	277	168.403	6	550.000	0.000
4	X_8	0.080	4	2	277	173.409	8	548.000	0.000

表6 典型判别函数(F_1 和 F_2)的特征值与贡献率
Tab.6 Eigenvalues and variance canonical discriminant function

函数 Function	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution (%)	累积贡献率 Cumulative contribution (%)	典型相关系数 Canonical correlation
1	2.844 ^a	55.9	55.9	0.860
2	2.245 ^a	44.1	100.0	0.832

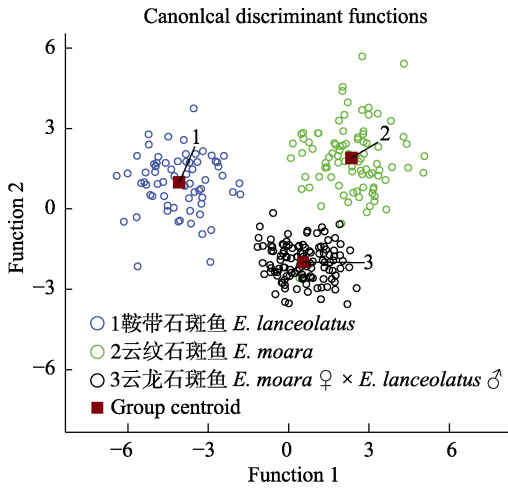


图 4 云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼和
云龙石斑鱼二维空间分布

Fig.4 Two dimensional spatial distribution of *E. moara*, *E. lanceolatus* and *E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

捷(田永胜等, 2017), 所以, 利用生物多元统计方法对表型数量性状研究分析依然是遗传育种、种质鉴定和物种分类的主要手段。

所谓生物多元统计, 主要内容就是研究影响事物的多个因素之间的规律。在对生物群体表型差异的研究与分析时, 通常利用聚类分析、主成分分析、判别分析 3 种方法进行判定(钱荣华等, 2003; 董志国等, 2010)。本研究利用聚类分析、判别分析和主成分分析这 3 种常用的生物多元统计方法以及卡方检验、单因子方差分析的方法对云龙石斑鱼以及双亲的形态差异进行了研究。

卡方检验是应用非常广泛的一种假设检验方法, 可以对样本方差作同质性检验。利用卡方检验对 4 种红鲤的可数性状作分析, 发现这 4 种红鲤在可数性状方面的差异不显著(王成辉, 2002)。本研究中, 利用

卡方检验对 3 个石斑鱼群体的可数性状进行分析, 结果表明, 云龙石斑鱼与父母本在可数性状上的差异不明显。鞍带石斑鱼与云纹石斑鱼同为石斑鱼属, 在进化过程中, 二者在个体大小上有所分化, 但它们的表型可数性状上没有变化, 说明控制表型可数性状的基因是比较保守的。由于无法利用表型可数性状作为区分三者的依据, 必须借助于多元统计分析方法对可量性状进行研究。

云龙石斑鱼与云纹石斑鱼及鞍带石斑鱼 3 个群体的聚类分析与主成分分析结果一致, 表明在形态特征上, 既存在相似的地方, 又有一定程度的差异, 杂交种云龙石斑鱼在形态特征上偏向于母本云纹石斑鱼。在聚类分析结果中, 云龙石斑鱼先与云纹石斑鱼聚成一支, 然后与鞍带石斑鱼聚成一支, 说明云龙石斑鱼与云纹石斑鱼相近。在主成分分布图中也得出了相同的结果, 云龙石斑鱼与云纹石斑鱼形态偏离较小, 与鞍带石斑鱼形态偏离较大。云龙石斑鱼与父母本纯种 3 个群体形态差异分化明显, 形成 3 个不同的群体, 杂交种云龙石斑鱼有其特有的形态特征。鱼的形态特征受到遗传与环境两种因素的共同作用, 表现出数量性状的差异(田永胜等, 2017)。云纹石斑鱼与鞍带石斑鱼之间在形态特征上的差异正是由这两个因素造成的, 而相对于鞍带石斑鱼, 杂交种云龙石斑鱼与母本云纹石斑鱼的形态特征相近, 可能与母本效应有关。线粒体基因属于母系遗传, 生物个体的形态特征可能受线粒体基因表达的影响(Bolnick *et al*, 2008)。云龙石斑鱼线粒体基因组与云纹石斑鱼的相似性为 99.8%, 与鞍带石斑鱼的为 89.3%(Gao *et al*, 2017)。在判别分析中, 利用吻长/全长、体高/全长、尾柄高/全长和腹鳍基部至臀鳍前端基部长/全长 4 个贡献率大的参数建立判别函数, 综合判别率达

表 7 基于 4 个贡献显著的比率变量判别函数对 3 个群体判别分析结果

Tab.7 Results of discriminant analysis of three groupers based on three discriminant functions with four significant ratio variables

群体类型 Group type	预测分类 Forecast classification			判别准确率 Discrimination accuracy (%)		综合判别率 Comprehensive discrimination rate (%)
	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂	$P_1(\%)$	$P_2(\%)$	
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	65	0	3	95.59	97.02	96.43
云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	1	85	5	93.41	100	
云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂	1	0	120	99.17	93.75	
总计 Total	67	85	128			
百分率 Percentage (%)	23.93	30.36	45.71			

表8 3个石斑鱼种群19个形态比例性状的平均值
Tab.8 Means of the 19 morphological traits of three groupers

性状 Traits	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	云纹石斑鱼 <i>E. moara</i>	云龙石斑鱼 <i>E. moara</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂
X_1	1.158±0.025 ^B	1.180±0.021 ^A	1.185±0.016 ^A
X_3	0.180±0.012 ^B	0.267±0.017 ^A	0.212±0.010 ^A
X_4	0.099±0.003 ^C	0.127±0.006 ^A	0.130±0.005 ^B
X_5	0.349±0.028 ^C	0.393±0.044 ^A	0.363±0.019 ^B
X_6	0.364±0.017 ^A	0.362±0.027 ^A	0.326±0.012 ^B
X_7	0.140±0.018 ^A	0.131±0.022 ^B	0.136±0.019 ^{AB}
X_8	0.134±0.008 ^A	0.114±0.010 ^C	0.123±0.005 ^B
X_9	0.351±0.018 ^{Aa}	0.345±0.023 ^{Ab}	0.318±0.010 ^{Bc}
X_{10}	0.242±0.023 ^A	0.226±0.027 ^B	0.201±0.017 ^C
X_{11}	0.132±0.016	0.136±0.020	0.135±0.010
X_{12}	0.487±0.037 ^A	0.440±0.026 ^B	0.443±0.016 ^B
X_{13}	0.438±0.072 ^A	0.404±0.029 ^B	0.377±0.035 ^C
X_{14}	0.404±0.032 ^A	0.368±0.035 ^B	0.316±0.025 ^C
X_{15}	0.696±0.030 ^A	0.656±0.055 ^B	0.660±0.021 ^B
X_{16}	0.678±0.043 ^A	0.657±0.048 ^B	0.639±0.017 ^C
X_{17}	0.639±0.027 ^A	0.598±0.034 ^B	0.646±0.017 ^A
X_{18}	0.334±0.096 ^{Aa}	0.309±0.028 ^{Bc}	0.032±0.020 ^{Ab}
X_{19}	0.164±0.024 ^B	0.180±0.021 ^A	0.185±0.016 ^A
X_{20}	0.523±0.058 ^A	0.477±0.032 ^B	0.526±0.023 ^A

注：同行肩标含有不同小写字母的表示差异显著($P<0.05$)，含有不同大写字母的表示差异极显著($P<0.01$)

Note: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$); different capital letter superscripts mean extremely significant differences ($P<0.01$)

96.43%，可以将云龙石斑鱼与亲本区分开，为云龙石斑鱼的种质鉴定奠定了基础。这4个形态特征均匀的分布在鱼体上，判别结果比较可靠。对云龙石斑鱼及其亲本间的19个形态比例性状方差分析多重比较结果表明，云龙石斑鱼与鞍带石斑鱼之间有14个参数达到极显著水平，与云纹石斑鱼之间有12个参数达到极显著水平，也说明云龙石斑鱼的形态特征偏向于母本云纹石斑鱼。

综合3种生物多元统计分析方法与方差分析的结果可以看出，聚类分析、主成分分析、判别分析与方差分析的结果是相似的，从不同的角度解读了群体间的形态学差异，其功能都是不容相互代替的。聚类分析是通过将多个生物群体进行分组，定量的分析生物群体间的异同程度(蔡庆华, 1990)，广泛用于生物群体的形态差异分析(胡廷尖等, 2011; 马海涛, 2014)。主成分分析借助降维，将多个相关的因子综合为少数独立的因子，定量的分析群体间差异，并且可以确定各个不同群体在各个主成分上变化较大的参数(魏开建等, 2003)。主成分分析在研究群体差异及新品种性状上应用较广泛(马海涛, 2014; 董志国等, 2010)。判别分析常用于生物种群分类与鉴别，通过对多个性状分

析，以对鉴别贡献率较大的性状建立判别函数，以此判别函数对群体进行判别(Krzanowski *et al.*, 1995)。既可以对不同种生物群体进行鉴别，而且可以对同种不同群体生物进行鉴别(王燕等, 2014; 谷伟等, 2009)

4 结论

利用多元统计分析方法对云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼和杂交子代云龙石斑鱼3个群体的7个可数性状和20个可量性状进行分析，筛选出可判别3个群体的代表性状：吻长、体高、尾柄高和腹鳍基部至臀鳍前端基部长，与父母本相比，云龙石斑鱼具有独特的形态特征，并建立了鉴定杂交种云龙石斑鱼和亲本的判别函数关系式，为云龙石斑鱼及亲本群体的鉴别提供了科学依据。

参 考 文 献

- Bolnick DI, Turelli M, López-Fernández H, *et al.* Accelerated mitochondrial evolution and “Darwin’s corollary”: Asymmetric viability of reciprocal F_1 hybrids in centrarchidfishes. *Genetics*, 2008, 178(2): 1037–1048
- Cai QH. Multivariate analysis of planktonic blooms in Lake

- Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, 14(1): 22–31 [蔡庆华. 武汉东湖浮游植物水华的多元分析. *水生生物学报*, 1990, 14(1): 22–31]
- Chen C, Kong XD, Li YL, *et al.* Embryonic and morphological development in the larva, juvenile, and young stages of *Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂). *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(5): 35–144 [陈超, 孔祥迪, 李炎璐, 等. 棕点石斑鱼(♀) × 鞍带石斑鱼(♂)杂交子代胚胎及仔稚幼鱼发育的跟踪观察. *渔业科学进展*, 2014, 35(5): 35–144]
- Dong QF, Liu CW, Guo YS, *et al.* Isolation and population genetic diversity analysis of microsatellite DNA markers in yellow grouper (*Epinephelus awoara*). *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(6): 841–847 [董秋芬, 刘楚吾, 郭昱嵩, 等. 青石斑鱼微卫星标记的筛选及群体多态性分析. *水产学报*, 2007, 31(6): 841–847]
- Dong ZG, Li XY, Yan BL, *et al.* Morphological variation analysis among five populations of the swimming crab *Portunus trituberculatus* from China Sea areas. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(4): 421–426 [董志国, 李晓英, 阎斌伦, 等. 中国海五种群三疣梭子蟹的形态差异分析. *海洋通报*, 2010, 29(4): 421–426]
- Du RQ. *Biostatistics*. Beijing: Higher Education Press, 1990, 164–231 [杜荣骞. *生物统计学*. 北京: 高等教育出版社, 1990, 164–231]
- Gao FT, Wei M, Zhu Y, *et al.* Characterization of the complete mitochondrial genome of the hybrid *Epinephelus moara* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂, and phylogenetic analysis in subfamily Epinephelinae. *Journal of Ocean University of China*, 2017, 16(3): 555–563
- Gu W, Gao HJ, Wang BQ. Morphous and discriminatory analysis on the four strains rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Anhui Agricultural University*, 2009, 36(2): 241–246 [谷伟, 高会江, 王炳谦. 虹鳟4个品系的形态变异及判别分析. *安徽农业大学学报*, 2009, 36(2): 241–246]
- Hu TJ, Li XL, Huang XH, *et al.* The analysis of morphological differences between *Squaliobarbus curriculus*, grass carp and their F₁ hybrids. *Hebei Fisheries*, 2011(9): 1–4 [胡廷尖, 李训朗, 黄小红, 等. 赤眼鳟(♀) × 草鱼(♂)及其杂交 F₁ 形态差异分析. *河北渔业*, 2011(9): 1–4]
- Kang X, Wei D, Xiao J, *et al.* Development and application of biological technologies in fish genetic breeding. *Science China Life Sciences*, 2015, 58(2): 187–201
- Krzanowski WJ, Henry F, Marriott C. *Multivariate analysis (Part II)*. Oxford University Press, 1995, 101
- Li LB, Zhong JX, Huang ZC, *et al.* Studies on the morphological features and the growth performance of hybrid F₁ of *Epinephelus akaara* (♀) × *Epinephelus moara* (♂). *Fishery Research*, 2015, 37(2): 148–152 [李雷斌, 钟建兴, 黄种持, 等. 赤点石斑鱼♀与云纹石斑鱼♂杂交 F₁ 形态特征和生长性能的研究. *渔业研究*, 2015, 37(2): 148–152]
- Li YL, Chen C, Wang QY, *et al.* Comparative analysis of the morphological characteristics between hybrid F₁ by *Epinephelus moara* (♀) × *E. septemfasciatus* (♂) and the offspring of its parents. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(5): 104–108 [李炎璐, 陈超, 王清印, 等. 云纹石斑鱼(♀) × 七带石斑鱼(♂)杂交 F₁ 形态特征与其亲本子代的比较分析. *渔业科学进展*, 2014, 35(5): 104–108]
- Liu FYZ, Zhao HH, Liu XC, *et al.* Preliminary study on the hybrid red-spotted grouper and orange-spotted grouper. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007, 46(3): 72–75 [刘付永忠, 赵会宏, 刘晓春, 等. 赤点石斑鱼♂与斜带石斑鱼♀杂交的初步研究. *中山大学学报(自然科学版)*, 2007, 46(3): 72–75]
- Lou YD. *Fish breeding*. Beijing: China Agricultural Press, 2001 [楼允东. *鱼类育种学*. 北京: 中国农业出版社, 2001]
- Ma AJ, Wang XA, Lei JL, *et al.* Statistic morphology difference among four turbot (*Scophthalmus maximus*) populations. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(1): 24–29 [马爱军, 王新安, 雷霖霖, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)四个不同地理群体数量形态特征比较. *海洋与湖沼*, 2008, 39(1): 24–29]
- Ma AJ, Wang XA, Sun ZB, *et al.* Morphological variations among three different populations of *Takifugu rubripes*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(1): 166–172 [马爱军, 王新安, 孙志宾, 等. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)三个不同群体的形态差异分析. *海洋与湖沼*, 2016, 47(1): 166–172]
- Ma HT, Han CH, Teng ZJ, *et al.* Morphological analysis to *Scophthalmus maximus*, *Platichthys stellatus* and hybrid. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(6): 1380–1386 [马海涛, 韩承慧, 滕照军, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)及其杂交种的形态学分析. *海洋与湖沼*, 2014, 45(6): 1380–1386]
- Meng QW, Mou XZ, Yu TJ. *Fish science (morphological classification)*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1989, 167–180 [孟庆闻, 缪学祖, 俞泰济. *鱼类学(形态-分类)*. 上海: 上海科学技术出版社, 1989, 167–180]
- Meng QW, Su JX, Mou XZ. *Fish taxonomy*. Beijing: China Agricultural Press, 1995, 606 [孟庆闻, 苏锦祥, 缪学祖. *鱼类分类学*. 北京: 中国农业出版社, 1995, 606]
- Ministry of Agriculture Fisheries and Fisheries Administration. *China fisheries statistical yearbook*. Beijing: China Agricultural Press, 2017 [农业部渔业渔政管理局. *中国渔业统计年鉴*. 北京: 中国农业出版社, 2017]
- Ou YJ, Wu Y, Li JE, *et al.* RAPD analysis of genetic difference among five species of grouper. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(2): 56–62 [区又君, 吴勇, 李加儿, 等. 5种石斑鱼遗传差异的 RAPD 分析. *南方水产科学*, 2008, 4(2): 56–62]
- Qian RH, Li JL, Dong ZG, *et al.* Morphological variations analysis among populations of *Hyriopsis cumingii* in five

- large lakes of China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2003, 34(4): 436–443 [钱荣华, 李家乐, 董志国, 等. 中国五大湖三角帆蚌形态差异分析. *海洋与湖沼*, 2003, 34(4): 436–443]
- Tian YS, Chen ZF, Duan HM, *et al.* The family line establishment of the hybrid *Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* by using cryopreserved sperm and the related genetic effect analysis. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(10): 11–12 [田永胜, 陈张帆, 段会敏, 等. 鞍带石斑鱼冷冻精子与云纹石斑鱼杂交家系建立及遗传效应分析. *水产学报*, 2017, 41(10): 11–12]
- Tian YS, Duan HM, Li XK, *et al.* Growth and genetic analysis among three homologous inbred strains of *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 11–21 [田永胜, 段会敏, 李祥孔, 等. 牙鲆三个同源纯系的生长和遗传性状比较. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 11–21]
- Tian YS, Duan HM, Tang J, *et al.* Analysis of phenotypic quantitative traits of kelp grouper, giant grouper and hybrid progeny. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(6): 808–817 [田永胜, 段会敏, 唐江, 等. 石斑鱼杂交种“云龙斑”与亲本的表型数量性状判别分析. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(6): 808–817]
- Wang CH. Study on genetic diversity of Chinese red carp. Doctoral Dissertation of Shanghai Fisheries University, 2002, 6 [王成辉. 中国红鲤遗传多样性研究. 上海: 上海水产大学博士研究生学位论文, 2002, 6]
- Wang XA, Ma AJ, Chen C, *et al.* Morphological variation in two wild population of sevenband grouper (*Epinephelus septemfasciatus*). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(6): 655–660 [王新安, 马爱军, 陈超, 等. 七带石斑鱼 (*Epinephelus septemfasciatus*) 两个野生群体形态差异分析. *海洋与湖沼*, 2008, 39(6): 655–660]
- Wang Y, Zhang Y, Zhang HF, *et al.* Comparison of morphology between two kinds of hybrid groupers and their parents. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(6): 778–785 [王燕, 张勇, 张海发, 等. 两种杂交石斑鱼及其亲本的形态差异分析. *水产学报*, 2014, 38(6): 778–785]
- Wei KJ, Xiong BX, Zhao XH, *et al.* Morphological variations and discriminant analysis of five freshwater unionid species (Bivalvia: Unionidae). *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(1): 13–18 [魏开建, 熊邦喜, 赵小红, 等. 五种蚌的形态变异与判别分析. *水产学报*, 2003, 27(1): 13–18]
- Wu SQ, Zheng LY, Luo HY, *et al.* Comparison of morphological traits of hybrid groupers (*Epinephelus coioides* ♀ × *E. akaara* ♂) and their parents. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(5): 47–54 [吴水清, 郑乐云, 罗辉玉, 等. 杂交石斑鱼(斜带石斑鱼♀×赤点石斑鱼♂)与其亲本形态性状比较研究. *南方水产科学*, 2017, 13(5): 47–54]
- Xu C, Wang KL, Zhang PJ. Biochemical genetics of *Lateolabrax japonicus* population II. Biochemical genetic structure and variation. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(3): 248–254 [徐成, 王可玲, 张培军. 鲈鱼群体生化遗传学研究 II. 种群生化遗传结构及变异. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 248–254]
- Yang QH, Hung ZC, Zheng LY, *et al.* Embryonic development and growth of hybrid from the hybridization of *Epinephelus moara* (♀) × *E. akaara* (♂). *Marine Fisheries*, 2014, 36(3): 224–231 [杨求华, 黄种持, 郑乐云, 等. 云纹石斑鱼(♀)×赤点石斑鱼(♂)杂交子代胚胎发育及生长. *海洋渔业*, 2014, 36(3): 224–231]

(编辑 冯小花)

Analysis of the Morphological Differences Between Hybrid “*Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” and Its Parents

LI Zhentong^{1,2}, CHENG Meiling^{2,4}, TIAN Yongsheng^{2,3①}, TANG Jiang^{1,2},
MA Wenhui⁵, HOU Yunxia⁵, WANG Xiaomei⁵, ZHAI Jieming⁵

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071; 4. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023; 5. Mingbo Aquatic Co. Ltd., Laizhou 261400)

Abstract Seven countable traits and 20 measurable traits of three populations of the hybrid “*Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” and its parents, *E. moara* (♀) and *E. lanceolatus* (♂) were measured, and the comparative analysis of morphological characteristics among the three groups were performed by virtue of three kinds of multivariate statistical analysis methods, including cluster analysis, principal component analysis and discriminant analysis and variance analysis methods. Chi-square test results showed that there was no significant difference in the countable traits among the three grouper populations. The result of cluster analysis revealed that, characters of “*E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” was more similar to *E. moara* than *E. lanceolatus*. Six comprehensive indexes reflecting morphological characteristics were constructed by principal component analysis. The contribution rates of the six principal components were 24.585%, 17.985%, 10.410%, 9.970%, 6.542%, and 5.542% respectively, and the cumulative contribution rate of those was 74.945%. There were obvious deviations in morphological characteristics among the three groupers, forming three different groups and hybrids. “*E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” has its own unique morphological features. By discriminant analysis, four morphological characteristics that have the largest contribution to discriminating grouper, X_3 (tongue length/head length), X_6 (height at withers/body length), X_8 (height at caudal peduncle/body length), X_{14} (ventral fin basal to the front of anal fin basal/body length), were selected to fit the typical discriminant function ($F_1=21.108X_3+38.413X_6-97.206X_8+2.223X_{14}-6.849$, $F_2=-10.344X_3+21.570X_6+21.931X_8+26.901X_{14}-17.406$) and the classification discriminant function ($Y_1=217.572X_3+750.765X_6+1425.499X_8+413.410X_{14}-336.464$, $Y_2=318.678X_3+839.713X_6+1020.377X_8+358.203X_{14}-319.723$ and $Y_3=258.526X_3+672.660X_6+1334.033X_8+311.962X_{14}-269.278$) that can distinguish the above three groupers, the comprehensive discriminant rate was 96.43%. It can be considered that the four morphological characteristics selected by stepwise discriminant analysis are feasible for the preliminary identification of three groupers. The results of variance analysis showed that the morphological differences of the three groupers reached significant or extremely significant levels in all characteristics except for X_{11} (The pectoral fin base to the pelvic fin/body length). Among them, there were 14 morphological traits between “*E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” and *E. lanceolatus* reached extremely significant levels, and 12 morphological traits between “*E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂” and *E. moara* were extremely significant. The results of this study provide biological basic data for the germplasm identification of “*E. moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂”, *E. moara* and *E. lanceolatus*.

Key words *Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂; *Epinephelus moara*; *E. lanceolatus*; Morphological difference; Multivariation analysis

① Corresponding author: TIAN Yongsheng, E-mail: tianys@ysfri.ac.cn