

## 两种杂交石斑鱼及其亲本的形态差异分析

王燕<sup>1,2</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 张海发<sup>2</sup>, 黄文<sup>1</sup>, 肖玲<sup>1</sup>,  
李水生<sup>1</sup>, 杨宇晴<sup>1,2</sup>, 林浩然<sup>1\*</sup>

(1. 中山大学水生经济动物研究所暨广东省水生经济动物良种繁育重点实验室, 广东 广州 510275;

2. 广东省海洋渔业试验中心, 广东 惠州 516081)

**摘要:** 为研究两种杂交石斑鱼及其亲本的形态差异, 实验采用传统形态学测定与现代框架测定结合的方法, 测定了青龙斑(斜带石斑鱼♀ × 鞍带石斑鱼♂)和虎龙斑(棕点石斑鱼♀ × 鞍带石斑鱼♂)及其亲本的可数性状和可量性状, 并进行相关统计分析。结果显示, 在外观方面, 青龙斑与亲本相比, 其斜带边缘清晰连贯, 而虎龙斑体侧分布有不同于亲本的大型环状斑; 在外部形态框架方面, 青龙斑背鳍前端及躯干形态都偏向于母本, 呈现出背腹部压缩的细长型, 而虎龙斑背鳍前端的框架形态偏向于母本、躯干的框架形态却偏向于父本, 呈现出两种框架形态组合的特点。综合传统可量数据和框架数据聚类分析、判别分析和主成分分析的结果表明: 两种杂交石斑鱼在外部形态方面更偏向于母本。

**关键词:** 杂交石斑鱼; 亲本; 形态差异; 可数性状分析; 可量性状分析

**中图分类号:** Q 348; S 965

**文献标志码:** A

石斑鱼 (*Epinephelus*) 隶属于鲈形目 (Perciformes)、鲷科 (Serranidae)、石斑鱼亚科 (*Epinephelinae*), 是我国沿海地区重要的海水养殖经济鱼类。随着石斑鱼养殖规模的扩大, 其发展的局限性亦日益显露出来。由于石斑鱼个体发育进程中普遍存在“先雌后雄”的性转变过程, 这使得亲鱼种群数量少, 导致近亲繁殖, 苗种种质退化, 成鱼小型化和性早熟现象严重。

采用不同类型的亲本进行杂交, 可以获得基因的重新组合, 从而在杂交后代中出现更具经济效益的新品种, 因而在鱼类繁育方面应用比较广泛<sup>[1-4]</sup>。近年来在鲷科鱼类杂交<sup>[5-6]</sup>、鲷科目鱼类杂交<sup>[7]</sup>、石首鱼科鱼类杂交<sup>[8]</sup>等方面已有相关报道。

我们已开展石斑鱼杂交育种的研究, 并成功培育出石斑鱼两个杂交新品种, 以斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*, 俗称青斑) ♀ × 鞍带石斑鱼

(*Epinephelus lanceolatus*, 俗称龙趸) ♂ 杂交产生的子代命名为青龙斑; 以棕点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*, 俗称老虎斑) ♀ × 鞍带石斑鱼 (*Epinephelus lanceolatus*) ♂ 杂交产生的子代命名为虎龙斑。经过近年的生产实践证明, 这两种杂交石斑鱼的生长和抗逆性能都得到了明显的提高, 现已经进行了大规模养殖, 具有良好的经济价值。

但由于斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼和棕点石斑鱼之间形态、体色、花纹本来就具有一定的相似性, 再加上青龙斑和虎龙斑两种杂交石斑鱼, 使得石斑鱼的分辨更加困难, 因此, 系统的形态学分析对石斑鱼的鉴定非常重要。

在鱼类形态的研究方面, 测定可数性状和可量性状并进行比较的传统方法可用于物种鉴定, 但对种群或品系鉴定效果有限<sup>[9]</sup>。Strauss等<sup>[10]</sup>于1982年提出鱼体框架分析法, 即根据不同鱼的外部框架, 选取一定数量的解剖学同源

收稿日期: 2013-12-10 修回日期: 2014-03-07

资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903046); 国家自然科学基金面上项目 (30871914); 广东省科技计划项目 (2008B020800010, 2012A020602019); 广东省海洋渔业科技推广专项 (A201100D01, A201100D03, A201200D01, A201300B01); 海南省科技兴海专项 (XH201301); 海南省引进集成示范专项 (YJJC20130006)

通信作者: 林浩然, E-mail: lsslhr@mail.sysu.edu.cn

坐标点,将生物体划分成若干功能单元区,可以精确地反映鱼体形态差异<sup>[11]</sup>。聚类分析<sup>[12]</sup>、判别分析<sup>[11]</sup>及主成分分析是常用的形态差异分析方法。

本实验运用传统的性状测定和现代的框架分析法,通过多元分析方法对石斑鱼及其杂交种进行形态综合分析,探究杂交种与亲本间的亲缘关系,建立石斑鱼的形态鉴别方法,为石斑鱼种质研究和杂交品种的推广奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用鱼由广东省大亚湾水产试验中心提供,鞍带石斑鱼、斜带石斑鱼、棕点石斑鱼、青龙斑、虎龙斑各 30 尾(表 1)。

### 1.2 实验方法

**外观观察** 对 1.5 龄处于麻醉状态的斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼、棕点石斑鱼、青龙斑、虎龙斑进行拍照,观察和比较两种杂交石斑鱼及其亲本的体色与花纹差异。

**参数测定** 实验鱼经天平称量后测量其传统形态学数据和框架数据。传统形态学数据包括可数性状和可量性状,共 20 项。可数性状 8 项:背鳍棘数、背鳍条数、胸鳍条数、腹鳍棘数、腹鳍条数、臀鳍棘数、臀鳍条数、尾鳍条数;可量性状(精确到 0.1 cm)12 项:全长、体长、体高、体宽、头长、吻长、眼径、眼间距、尾柄长、尾柄高、肛前体长、眼后头长。框架系统所取定位点参照李思发等<sup>[9]</sup>,稍修改后,数据为两个坐标点之间的直线距离长度,精确到 0.1 cm(图 1)。

表 1 杂交石斑鱼及其亲本观测样本的数量和规格  
Tab.1 Quantity and specification of hybrid groupers and their parents

种类 species	样本数 sample size	体长均值/cm mean of body length	体长/cm body length range	体质量均值/g mean of body weight	体质量/g body weight range
斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	30	20.4 ± 0.4	16.1 ~ 24.2	242.9 ± 15.1	100.0 ~ 372.4
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	30	14.9 ± 0.3	11.1 ~ 18.0	124.1 ± 6.9	70.6 ~ 232.9
棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	30	24.3 ± 0.2	21.4 ~ 27.5	423.9 ± 13.3	278.6 ~ 573.1
青龙斑 hybrid 1 ( <i>E. coioides</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂)	30	17.8 ± 0.3	14.2 ~ 20.8	162.9 ± 7.9	84.3 ~ 251.9
虎龙斑 hybrid 2 ( <i>E. fuscoguttatus</i> ♀ × <i>E. lanceolatus</i> ♂)	30	23.9 ± 0.2	22.2 ~ 27.0	468.5 ± 12.8	362.0 ~ 601.0

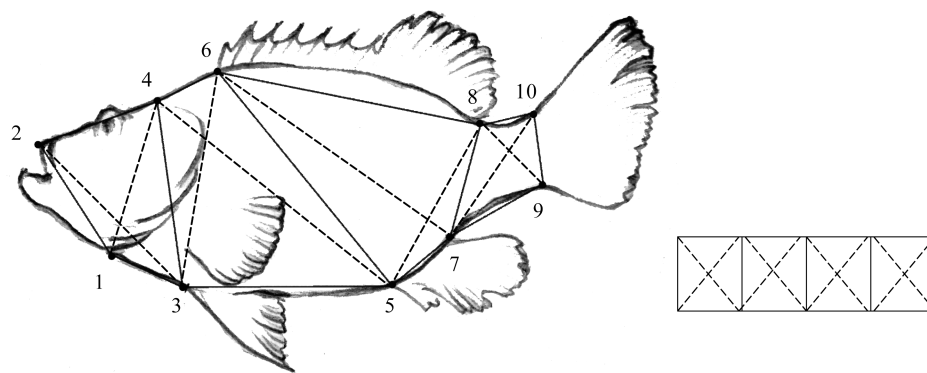


图 1 框架测量图

10 个坐标点之间的距离为 21 个框架数据。例如,  $D_{1-2}$  为坐标点 1 和 2 之间的直线距离<sup>[5]</sup>

1. 下颌骨最后端; 2. 吻前端; 3. 腹鳍起点; 4. 头背部末端; 5. 臀鳍起点; 6. 背鳍起点; 7. 臀鳍末端; 8. 背鳍末端; 9. 尾鳍腹部起点; 10. 尾鳍背部起点

Fig. 1 The truss network

Twenty-one truss parameter measurements are the distances between the two of 10 landmark points,  $D_{1-2}$  denotes the distance between landmark point 1 and 2

1. most posterior of maxilla; 2. tip of snout; 3. origin of pelvic fin; 4. terminus of head back; 5. origin of anal fin; 6. origin of dorsal fin; 7. terminus of anal fin; 8. terminus of dorsal fin; 9. ventral origin of caudal fin; 10. dorsal origin of caudal fin

统计分析 数据的处理采用 Excel 和 SPSS 16.0 软件,通过聚类分析、主成分分析、判别分析 3 种多元分析方法对不同品种石斑鱼进行形态分析。处理前,将所有的传统可量性状和框架数据都除以体长进行校正,以消除鱼体规格大小对实验结果的影响。

杂交石斑鱼的杂种指数 HI (hybrid index):  

$$HI = 100 \times (H_i - M_{il}) / (M_{2l} - M_{il})$$

式中, $H_i$ :杂种平均值; $M_{il}$ :母本平均值; $M_{2l}$ :父本平均值。 $HI < 45$  为偏母本性状, $45 < HI < 55$  属中间性状, $HI > 55$  为偏父本性状, $HI > 100$  或  $HI < 0$  为超亲偏离性状。

对可数性状数据进行卡方分析,比较种间差异显著性。对传统可量性状数据进行 LSD (least significant difference) 显著性检验。对 11 项可量性状比值和 21 项框架数据进行校正后进行聚类分析、主成分分析和判别分析。聚类法采用欧氏距离法根据变量的特征进行聚类<sup>[13]</sup>。判别分析采用逐步判别法,选取对判别贡献大的参数建立各品种的形态性状判别函数。主成分分析是将多个形态指标综合成少数或几个因子,用以说明不同品种简单差异大小<sup>[14]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 体色和斑纹

按照文献 [15] 的形态分类标准,斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼及棕点石斑鱼的形态特征主要为斜带石斑鱼体侧具 5 条不显著、不规则、斜的及腹侧分叉的暗横带,头部及体背侧黄褐色,腹侧淡白,头部、体侧及奇鳍散布许多橘褐色或红褐色小点;鞍带石斑鱼的背鳍和尾鳍有大型不规则的黄色或褐色斑,其中散布黑色斑点,体侧近尾部区域散布灰白色不规则斑块;棕点石斑鱼体呈淡黄褐色,头部及体侧散布黑色小斑点,体背侧及胸鳍前缘分布少量不规则鞍状黑斑。

通过对杂交石斑鱼的形态观察,可以发现青龙斑体侧从背鳍硬棘前缘到尾柄处间隔分布 5 条较连续的黑色斜带,边缘清晰易分辨,头部分布大型不规则黑色纹带斑,鳍上散布黑色小斑点。青龙斑与其母本斜带石斑鱼都具有 5 条斜带,但是青龙斑的斜带边缘清晰且连贯,与周围体色对比明显,而斜带石斑鱼的斜带为暗横带,混杂在黑色斑点中,不易辨认,特别是暴露在空气中后由于应激反应,斜带颜色会变浅并弥散。

虎龙斑同母本棕点石斑鱼一样,其背鳍和尾鳍上也有黑色小斑点,不同之处在于母本棕点石斑鱼斑体色较浅,全身均匀分布细小黑色斑点,而父本鞍带石斑鱼体色较深,体侧斑块相对较大且不规则,而杂交后代虎龙斑体色偏向父本,并且同父母本一样,其背鳍和尾鳍上也有黑色小斑点,不同的是体侧分布大型的黑白相间的环状斑,胸鳍基部出现清晰的灰白色鞍状斑(图 2)。

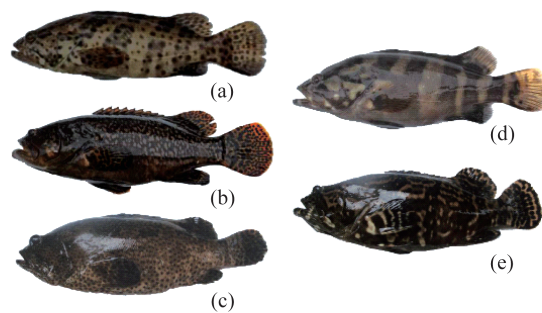


图 2 杂交石斑鱼及其亲本外形图

(a)斜带石斑鱼; (b)鞍带石斑鱼; (c)棕点石斑鱼; (d)青龙斑; (e)虎龙斑

Fig. 2 Body shapes of hybrid groupers and their parents

(a) *E. coioides*; (b) *E. lanceolatus*; (c) *E. fuscoguttatus*; (d) hybrid 1: *E. coioides* ♀ × *E. lanceolatus* ♂; (e) hybrid 2: *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

### 2.2 可数性状分析

经过杂交指数的计算,青龙斑的背鳍条和胸鳍条数目属于中间性状,臀鳍和尾鳍条数目为偏父本性状;虎龙斑的背鳍条和臀鳍条为偏父本性状,胸鳍条和尾鳍条呈现超亲偏离性状。杂交指数的均值显示,青龙斑的鳍条总体呈现偏父本性状,虎龙斑则是超亲偏离性状(表 2)。进一步经卡方分析,5 个品种间的可数性状差异均不显著。

### 2.3 可量性状与框架数据分析

可量性状的多元方差分析 对 11 项主要可量性状比值进行 LSD 显著性检验和多重比较,结果发现,除了体长/肛前体长外,其他性状比值均有显著性差异(表 3)。青龙斑在全长/体长、头长/眼径、尾柄长/尾柄高上与斜带石斑鱼无显著性差异,而与鞍带石斑鱼有显著性差异;但在体长/体宽、头长/眼间距上正好相反。虎龙斑在全长/体长、头长/眼径上与棕点石斑鱼无显著性差异,而与鞍带石斑鱼有显著性差异;但在头长/眼间距上正好相反。

在杂交指数方面,青龙斑在体长/体高( $H_1 =$

97.88)、体长/尾柄长( $H_1 = 90.07$ )、头长/眼间距( $H_1 = 78.48$ )上偏父本性状,而虎龙斑在体长/尾柄长( $H_2 = 65.07$ )、体长/肛前体长( $H_2 = 62.74$ )、头长/眼间距( $H_2 = 93.42$ )、头长/眼后头长( $H_2 = 80.96$ )上偏父本性状,在体长/体高( $H_2 = 14.74$ )上偏母本性状。

表 2 杂交石斑鱼及其亲本的可数性状  
Tab. 2 Meristic data of hybrid grouper and their parents

项目 items	斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	青龙斑 hybrid 1	虎龙斑 hybrid 2	$H_1$	$H_2$
背鳍棘 spine of dorsal fin	11	11	11	11	11	/	/
背鳍条 soft ray dorsal fin	14 ~ 18 (15.27 ± 0.23)	14 ~ 15 (14.27 ± 0.12)	13 ~ 16 (14.73 ± 0.13)	13 ~ 16 (14.80 ± 0.08)	13 ~ 16 (14.27 ± 0.15)	46.67	100.00
腹鳍棘 spine of pelvic fin	1	1	1	1	1	/	/
腹鳍条 soft ray of pelvic fin	5	5	5	5	5	/	/
臀鳍棘 spine of anal fin	3	3	3	3	3	/	/
臀鳍条 soft ray of anal fin	8 ~ 9 (8.20 ± 0.01)	8 (8.00 ± 0.00)	7 ~ 9 (8.33 ± 0.09)	8 (8.00 ± 0.00)	8 ~ 9 (8.13 ± 0.06)	100.00	60.00
胸鳍条 soft ray of pectoral fin	17 ~ 20 (18.13 ± 0.22)	16 ~ 17 (16.60 ± 0.13)	15 ~ 18 (16.80 ± 0.12)	16 ~ 18 (17.40 ± 0.12)	16 ~ 18 (17.07 ± 0.08)	47.83	-133.33
尾鳍条 soft ray of tail fin	15 ~ 17 (15.93 ± 0.12)	16 ~ 17 (16.93 ± 0.07)	15 ~ 18 (16.07 ± 0.13)	15 ~ 18 (16.73 ± 0.15)	15 ~ 16 (15.27 ± 0.11)	80.00	-92.31
平均值 mean						68.62	-16.41

注: $H_1$ 表示青龙斑的可数性状杂交指数, $H_2$ 表示虎龙斑的可数性状杂交指数

Notes: $H_1$ , hybrid1's hybrid index; $H_2$ , hybrid2's hybrid index

表 3 杂交石斑鱼及其亲本的可量性状

Tab. 3 Proportional values of traditional metric characters of hybrid groupers and their parents

项目 items	斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	青龙斑 hybrid1	虎龙斑 hybrid2	$H_1$	$H_2$
全长/体长 TL/SL	1.22 ± 0.00 <sup>ab</sup>	1.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.00 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.01 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.00 <sup>b</sup>	-41.92	-60.19
体长/体高 SL/BD	3.50 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.34 ± 0.31 <sup>ab</sup>	2.94 ± 0.03 <sup>b</sup>	3.35 ± 0.03 <sup>ab</sup>	3.00 ± 0.02 <sup>ab</sup>	97.88	14.74
体长/体宽 SL/HL	5.67 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.85 ± 0.07 <sup>b</sup>	5.88 ± 0.08 <sup>c</sup>	4.78 ± 0.06 <sup>b</sup>	5.32 ± 0.06 <sup>d</sup>	107.58	53.53
体长/头长 SL/HL	2.70 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.69 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.48 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.71 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.60 ± 0.02 <sup>c</sup>	-4 986.95	53.97
体长/尾柄长 SL/CPL	6.57 ± 0.12 <sup>ab</sup>	6.24 ± 0.16 <sup>b</sup>	8.18 ± 0.19 <sup>c</sup>	6.27 ± 0.12 <sup>b</sup>	6.92 ± 0.09 <sup>a</sup>	90.07	65.07
体长/肛前体长 SL/LBA	3.65 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.58 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.48 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.54 ± 0.04 <sup>a</sup>	127.86	62.74
尾柄长/尾柄高 CPL/CPD	1.32 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.20 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.96 ± 0.02 <sup>c</sup>	1.37 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.02 <sup>d</sup>	-49.47	51.28
头长/吻长 HL/SL	4.26 ± 0.07 <sup>ab</sup>	4.39 ± 0.10 <sup>bc</sup>	4.54 ± 0.07 <sup>c</sup>	3.91 ± 0.06 <sup>d</sup>	4.13 ± 0.05 <sup>a</sup>	-286.92	269.98
头长/眼径 HL/ED	6.21 ± 0.19 <sup>a</sup>	5.48 ± 0.12 <sup>b</sup>	6.38 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.36 ± 0.09 <sup>a</sup>	6.61 ± 0.06 <sup>a</sup>	-21.05	-25.96
头长/眼间距 HL/IW	5.04 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.09 ± 0.09 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.11 <sup>c</sup>	4.29 ± 0.07 <sup>b</sup>	4.17 ± 0.03 <sup>b</sup>	78.48	93.42
头长/眼后头长 HL/HLAE	1.54 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.50 ± 0.01 <sup>a</sup>	-283.49	80.96
平均值 mean						-18.10	59.96

注:1.表中数据为平均值±标准误,同一行数据上标不同英文字母表示有显著差异( $P < 0.05$ );2. $H_1$ 表示青龙斑的可量性状杂交指数, $H_1$ 平均值为除去了体长/头长后的平均数。 $H_2$ 表示虎龙斑的可量性状杂交指数;3.全长 TL;体长 SL;体高 BD;头长 HL;尾柄长 CPL;肛前体长 LBA;尾柄高 CPD;眼径 ED;眼间距 IW;眼后头长 HLAE

Notes:1. Values are presented as means ± SE; Values in the same line with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ); 2.  $H_1$ : hybrid1's hybrid index;  $H_2$ : hybrid2's hybrid index; 3. TL. Total length; SL. Standard length; BD. Body depth; HL. Head length; CPL. Caudal peduncle length; LBA. Length before anus; CPD. Caudal peduncle depth; ED. Eye diameter; IW. Interorbital width; HLAE. Head length after eye

**外形框架比较** 杂交石斑鱼及其亲本的平均体型差异明显。青龙斑背鳍前端(包含头部)的形态与母本斜带石斑鱼相似,呈现方形结构,不同于父本鞍带石斑鱼的三角形状;躯干形态也偏向于母本斜带石斑鱼,呈现出背腹部压缩的细长型(图3)。但青龙斑相对于亲本不同的是在躯干后部出现强烈拉伸的情况,使得臀鳍所在位置相对靠后。虎龙斑的背鳍前端(包含头部)的形态也偏向于母本,呈现方形结构,但躯干形态偏向于父本鞍带石斑鱼。母本棕点石斑鱼的背腹侧扩张,前后相对收缩,呈现明显的“虎背细腰”(棕点石斑鱼俗称“老虎斑”)(图4)。同时,虎龙斑的尾柄形态偏向于父本鞍带石斑鱼,呈梯形,母本棕点石斑鱼的尾柄形态偏向正方形。

**聚类分析** 虎龙斑和棕点石斑鱼♀的平均形态距离为4.9,鞍带石斑鱼♂的距离为7.0;青龙斑和斜带石斑鱼♀的平均形态距离为6.3,鞍带石斑鱼♂的距离为8.3。斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼和棕点石斑鱼两两间的平均形态距离都在8.5左右。青龙斑和虎龙斑的距离为8.7;青龙斑与棕点石斑鱼间的距离最大,为9.9。

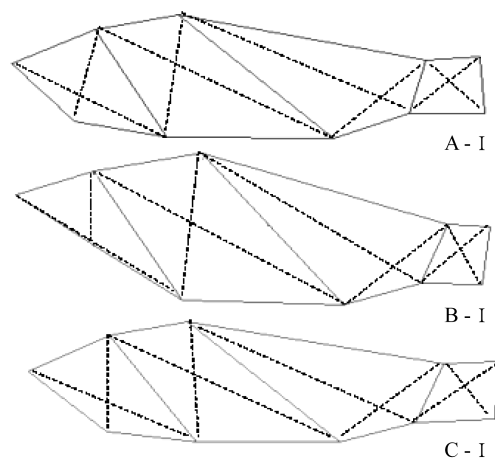


图3 青龙斑及其亲本外形框架图

A - I. 斜带石斑鱼; B - I. 鞍带石斑鱼; C - I. 青龙斑

Fig. 3 Body shape truss network of QingLong grouper and its parents

A - I. *E. coioides*; B - I. *E. lanceolatus*; C - I. hybrid 1: *E. coioides* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

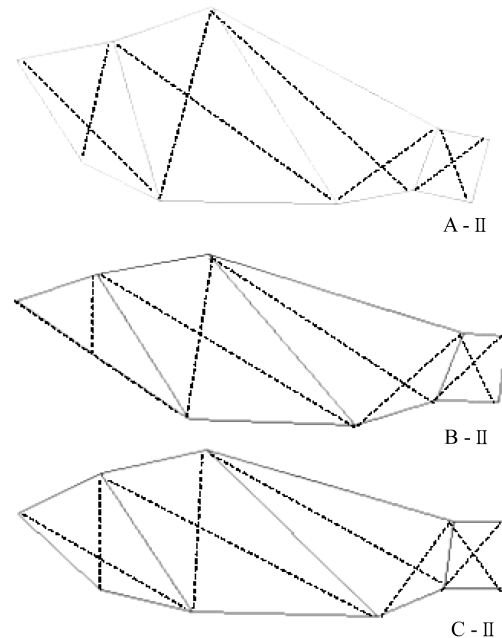


图4 虎龙斑及其亲本外形框架图

A - II. 棕点石斑鱼; B - II. 鞍带石斑鱼; C - II. 虎龙斑

Fig. 4 Body shape truss network of HuLong grouper and its parents

A - II. *E. fuscoguttatus*; B - II. *E. lanceolatus*; C - II. hybrid 2: *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

采用欧氏距离进行聚类分析(图5),棕点石斑鱼和虎龙斑聚在一起,再和鞍带石斑鱼聚在一起,说明杂交虎龙斑在形态距离上更接近母本(棕点石斑鱼),而杂交青龙斑在形态距离上更接近母本(斜带石斑鱼)。

**判别分析** 对可量数据标准化后的形态特征参数共32项进行逐步判别分析(采用Wilks' Lambda法)。F检验结果表明,判别效果较好,不同品种间形态差异极显著( $P < 0.01$ )。从中筛选出对判别贡献较大的13个变量参数: D4-5、D1-4、D5-6、D6-8、D4-6、D1-2、尾柄长/尾柄高、D3-4、头长/眼后头长、体长/尾柄长、体长/体宽、头长/眼间距、头长/眼径,以 $X_{1-13}$ 依次代替上述13个变量,建立判别公式如下:

$$Y_1 = -1802 + 2524X_1 + 4317X_2 - 1998X_3 + 1477X_4 + 600.51X_5 - 476.27X_6 + 356.74X_7 - 55.21X_8 + 120.83X_9 + 63.21X_{10} + 21.60X_{11} + 11.94X_{12} + 13.64X_{13}$$

$$Y_2 = -1880 + 2189X_1 + 4179X_2 - 1447X_3 + 1373X_4 + 965.89X_5 - 327.26X_6 + 348.433X_7 - 228.31X_8 + 123.29X_9 + 63.15X_{10} + 15.96X_{11} +$$

$$4.94X_{12} + 10.96X_{13}$$

$$Y_3 = -2.024 + 2.294X_1 + 4.598X_2 - 1.504X_3 + 1.323X_4 + 960.80X_5 - 297.88X_6 + 336.33X_7 + 66.02X_8 + 121.99X_9 + 64.73X_{10} + 20.83X_{11} + 12.85X_{12} + 14.49X_{13}$$

$$Y_4 = -1.791 + 2.295X_1 + 4.094X_2 - 1.753X_3 + 1.464X_4 + 630.21X_5 - 275.70X_6 + 376.32X_7 + 19.31X_8 + 140.78X_9 + 66.01X_{10} + 12.95X_{11} + 5.82X_{12} + 12.71X_{13}$$

$$Y_5 = -1.911 + 2.235X_1 + 4.251X_2 - 1.361X_3 +$$

$$1.277X_4 + 967.74X_5 - 264.99X_6 + 337.83X_7 + 110.75X_8 + 123.13X_9 + 62.45X_{10} + 17.66X_{11} + 6.56X_{12} + 14.77X_{13}$$

判别鱼的类别时,可将该鱼的标准化参数代入各判别函数中,以函数值所得最大的  $Y$  值来判别该鱼所属类别( $Y_1 \sim Y_5$ 依次代表斜带石斑鱼、鞍带石斑鱼、棕点石斑鱼、青龙斑、虎龙斑)。根据以上判别函数对所有观测样本进行预测分类,综合判别准确率达到 98.68% (表 4)。

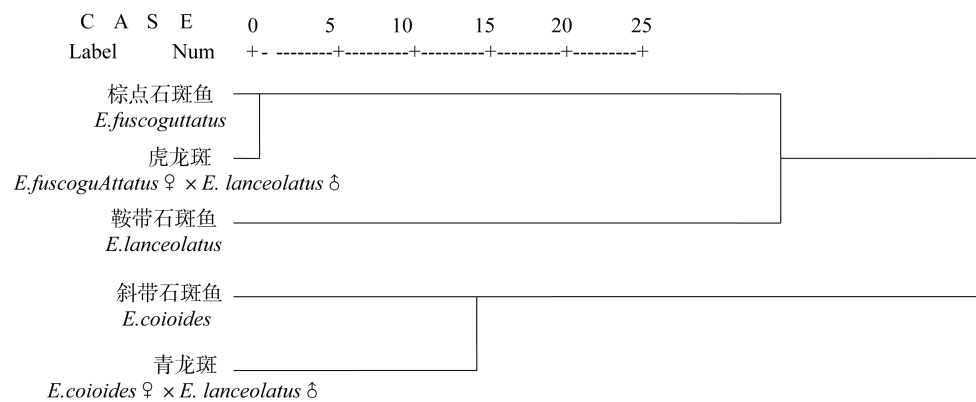


图 5 杂交石斑鱼及其亲本的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of hybrid groupers and their parents

表 4 杂交石斑鱼及其亲本判别分析后的结果 (选用挑选后的 13 个参数)

Tab. 4 Discrimination analysis of hybrid groupers and their parents

种类 species	样本量 number	预测分类 predicted group					判别准确率/% discriminant accuracy
		斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	青龙斑 hybrid 1	虎龙斑 hybrid 2	
斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	30	30	0	0	0	0	100
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	30	0	29	0	0	1	96.7
棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	30	0	0	30	0	0	100
青龙斑 hybrid 1	30	1	0	0	29	0	96.7
虎龙斑 hybrid 2	30	0	0	0	0	30	100

**主成分分析** 对各样本的标准化参数进行主成分分析,共提取了 12 个主成分,对总变异的累积贡献率为 86.948%。其中前 3 个主成分对变异的贡献率依次为 27.32%、13.80%、8.38%,累积贡献率为 49.5%。主成分 1 中载荷较大的参数有  $D5-8$ ,  $D7-8$ ,  $D4-5$ ,  $D5-7$ ,  $D5-6$ , 头长/吻长等,载荷系数均在 0.7 以上,可看出主成分 1 主要反映了石斑鱼臀鳍的位置信息。主成分 2 中载荷较大的参数有  $D6-7$ , 体长/头长,  $D1-4$ , 主要反映了头长、头高等数据对变异的贡献。通过分别对

青龙斑、虎龙斑及其亲本两组的主成分分析,发现在这两组中臀鳍的位置信息对主成分贡献都较大,但虎龙斑及其亲本分析结果显示,头部比例对变异的贡献也较大。

从各品种的散点图分布情况(图 6),可以看出各品种间形态分化差异较大。青龙斑与斜带石斑鱼有较大的重叠而与鞍带石斑鱼没有重叠,在性状特征上青龙斑更接近于母本斜带石斑鱼。虎龙斑与棕点石斑鱼的重叠较多,与鞍带石斑鱼也没有重叠。

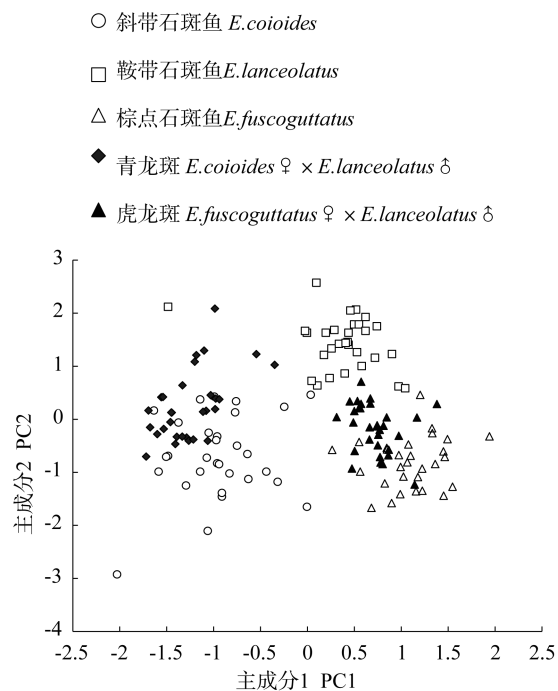


图6 杂交石斑鱼及其亲本的主成分分析图  
Fig. 6 Map of principal component analysis of hybrid groupers and their parents

### 3 讨论

#### 3.1 体色花纹和可数性状

青龙斑和虎龙斑在体色方面都不同程度遗传了双亲的特征,同时也都产生了明显的变异。杂交石斑鱼的体色对比更强烈、条带和花纹呈现更清晰。在鳍条数目方面,杂交石斑鱼与亲本无显著差异。

#### 3.2 外形框架讨论

对杂交石斑鱼及其亲本的体型比较结果显示,两种杂交石斑鱼与亲本的平均体型都有明显差异。从整体形态上看,青龙斑体型更接近于母本斜带石斑鱼,与父本鞍带石斑鱼差异较大;虎龙斑头部的形态偏向于母本棕点石斑鱼,但躯干形态与父本鞍带石斑鱼更为相似。

#### 3.3 聚类分析、判别分析和主成分分析

当具有不同性状的物种杂交时,杂交种的性状通常表现为两亲本的中间态<sup>[16]</sup>。在形态学标记中,可数和可量性状的测定尤为重要。本实验通过测定杂交石斑鱼及其亲本的外部形态特征,再通过统计学方法处理分析,结果显示杂交石斑鱼综合了亲本双方的性状特征。

在传统可量性状比值方面,青龙斑和虎龙斑在全长/体长、头长/眼径上与母本无显著差异,头长/眼间距与父本(鞍带石斑鱼)也无显著差异,根据杂交石斑鱼在继承亲本部分性状上的偏向性,推测在杂交过程中,来自双亲的遗传物质在控制杂交子代性状表达上也具有一定的偏好。

在聚类分析方面,从染色体、微卫星等不同角度进行石斑鱼的系统进化关系分析,得出不同的聚类分析结果<sup>[17-18]</sup>。通过微卫星分析杂交石斑鱼与亲本间的遗传距离,也显示青龙斑和虎龙斑与父本鞍带石斑鱼的亲缘关系更近<sup>[19]</sup>。本实验仅从形态学角度探究了杂交石斑鱼与亲本间的遗传变异关系,发现青龙斑与虎龙斑与各自的母本(斜带石斑鱼、棕点石斑鱼)形态距离更近,反映出杂交子代在遗传物质及性状表达的不同层面受控于双方亲本,推测来自母本的遗传物质在性状表达调控方面可能更具优势。判别分析是鱼类鉴定中比较常见的一种方法<sup>[20]</sup>,本实验采用了逐步判别分析的方法,按照入选性状的差异大小逐步进行判别,即一边判别,一边引进判别能力最强的变量,最后选取了13个变量,综合判别准确率达到98.68%,判别效果好。判别公式中贡献较大的变量主要集中在鱼的头部和尾部,这是鉴别这几种石斑鱼的重要指标。

综上所述,外部形态特征的检测为杂种鉴定提供了一个快速简洁的通道。但是,要对杂交种及亲本遗传关系做全面系统的评估,还需要从生理生化指标、分子标记等方面深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Wang C M, Zou G W, Luo X Z, et al. A Study on hybridization between *Silurus meridionalis* (♀) and *Silurus asotus* (♂) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, 34(6): 41-43. [王朝明, 邹桂伟, 罗相忠, 等. 大口鲶(♀)与鲇鱼(♂)的杂交试验. *淡水渔业*, 2004, 34(6): 41-43.]
- [2] Guo H Q, Tu Fu M, Wang B X, et al. Preliminary observation of artificial hybridization and its generations for grass carp and bighead carp [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1966(4): 188-189. [郭汉青, 涂福命, 王宾贤, 等. 草鱼与鳊鱼人工杂交及其后代的初步观察. *动物学杂志*, 1966(4): 188-189.]
- [3] Institute of Hydrobiology in Hubei Province. Hybrid experiment for spotted silver carp and grass carp [J]. *Freshwater Fishery Science and Technology Trends*,

- 1973(10):9-10. [湖北省水生生物研究所. 花鲢和草鱼杂交试验. 淡水渔业科技动态, 1973(10):9-10.]
- [4] Chen S Q. Investigations on the inter-subfamily hybridization (*Mylopharyngodon piceus* R. ♀ × *Megalobrama terminalis* R. ♂) I. Comparative studies on lactate dehydrogenase isozymes of *Mylopharyngodon piceus* R. ♀, *Megalobrama terminalis* R. ♂ and their F<sub>1</sub> generation [J]. Journal of Hunan Normal University: Natural Science, 1984, 7(4):71-80. [陈淑群. 青鱼(♀)和三角鲂(♂)不同亚科之间的杂交研究 I. 青鱼(♀)和三角鲂(♂)及其子一代的比较细胞遗传学研究. 湖南师范大学学报:自然科学版, 1984, 7(4):71-80.]
- [5] Jug Dujaković J, Glamuzina B. Intergeneric hybridization in Sparidae. 1. *Sparus aurata* ♀ × *Diplodus puntazzo* ♂ and *Sparus aurata* ♀ × *Diplodus vulgaris* ♂ [J]. Aquaculture, 1990, 86(4):369-378.
- [6] Lin Y S, Li B L, Cui X S, et al. Hybridization breeding between *Sparus microcephalus* and *Sparus berda* [J]. Marine Fisheries, 2001, 23(2):69-70. [林元烧, 李丙林, 崔雪森, 等. 黑鲷与灰鳍鲷杂交育种. 海洋渔业, 2001, 23(2):69-70.]
- [7] Wang X C, You F, Ni G T, et al. Hybridization between stone flounder *Kareius icoloratus* an olive flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Marine Sciences, 2003, 27(1):1-4. [王新成, 尤锋, 倪高田, 等. 石鲷与牙鲆人工杂交的研究. 海洋科学, 2003, 27(1):1-4.]
- [8] Liu Y. Studies on the distant hybridization between *Pseudosciaena crocea* and *Nibea albiflora* [D]. Xiamen: Jimei University, 2010. [刘颖. 大黄鱼与黄姑鱼远缘杂交的初步研究. 集美: 集美大学, 2010.]
- [9] Li S F, Li C H, Li J L. Analysis of morphological variations among strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Acta Zoologica Sinica, 1998, 44(4):450-457. [李思发, 李晨虹, 李家乐. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析. 动物学报, 1998, 44(4):450-457.]
- [10] Strauss R E, Bookstein F L. The truss: body form reconstructions in morphometrics [J]. Systematic Biology, 1982, 31(2):113-135.
- [11] Huo T, Yuan M Y, Ma B, et al. Morphological variations and discrimination between northern pike *Esox lucius* and Amur pike *Esox reicherti* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(3):253-259. [霍堂斌, 袁美云, 马波. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼的形态差异与判别分析. 大连海洋大学学报, 2011, 26(3):253-259.]
- [12] Guo S Z. Comparative analysis on morphology, growth and genetic structure in grass carp, bighead carp and their F<sub>1</sub> hybrids [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [郭诗照. 草鱼与鳊及其杂交子一代的形态、生长和遗传分析. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [13] Cai J Q, Yu H F, Zhu H Z, et al. Instance handpick of SPSS statistic analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006:301-302. [蔡建琼, 于惠芳, 朱洪志, 等. SPSS 统计分析实例精选. 北京: 清华大学出版社, 2006:301-302.]
- [14] Lian Q P, Mi G Q, Hu T J, et al. Morphological variations in skin carp *Hemibarbus labeo*, *H. maculatus* and their hybrid F<sub>1</sub> (*H. labeo* ♀ × *H. maculatus* ♂) [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(6):493-499. [练青平, 宓国强, 胡廷尖, 等. 唇鲮、花鲮及其杂交 F<sub>1</sub> 的形态差异分析. 大连海洋大学学报, 2011, 26(6):493-499.]
- [15] Heemstra P C, Randall J E. Groupers of the world. FAO Species Catalogue 16 [J]. Food and Agriculture Organization, 1993, 125(16):158-175.
- [16] Li Y L, Chen C, Zhai J M, et al. Fish hybridization and its application in grouper [J]. Marine Fisheries, 2012, 34(2):102-109. [李炎璐, 陈超, 翟介明, 等. 鱼类杂交技术及其在石斑鱼类中的应用. 海洋渔业, 2012, 34(2):102-109.]
- [17] Wang S F. Comparative karyotype characterization and chromosomal evolution of six groupers [D]. Xiamen: Xiamen University, 2007. [王世锋. 六种石斑鱼核型特征比较和染色体进化研究. 厦门: 厦门大学, 2007.]
- [18] Dong Q F, Liu C W, Guo Y S, et al. Microsatellite analysis of genetic diversity and phylogenetic relationship of nine species of grouper in genus *Epinephelus* [J]. Hereditas, 2007, 29(7):837-843. [董秋芬, 刘楚吾, 郭昱嵩. 9 种石斑鱼遗传多样性和系统发生关系的微卫星分析. 遗传, 2007, 29(7):837-843.]
- [19] Zhou H L, Zhang Y, Qi X, et al. SSR analysis of the heterosis in the two grouper hybrids [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2):161-168. [周翰林, 张勇, 齐鑫, 等. 两种杂交石斑鱼子一代杂种优势的微卫星标记分析. 水产学报, 2012, 36(2):161-168.]
- [20] Li S F, Wu L Z, Wang Q, et al. Gemplasm resources



research for chub, bighead carp and grass carp in Heilongjiang province [ M ]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1990: 7 - 22. [ 李思

发, 吴力钊, 王强, 等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙、草鱼种质资源研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 7 - 22. ]

## Comparison of morphology between two kinds of hybrid groupers and their parents

WANG Yan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, ZHANG Haifa<sup>2</sup>, HUANG Wen<sup>1</sup>, XIAO Ling<sup>1</sup>,  
LI Shuisheng<sup>1</sup>, YANG Yuqing<sup>2</sup>, LIN Haoran<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Aquatic Economic Animals and Guangdong Provincial Key Lab for Aquatic Economic Animals,  
School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. Guangdong Daya Bay Fisheries Development Center, Huizhou 516081, China)

**Abstract:** In order to find the morphological differences between the two kinds of hybrid groupers and their parents, Hybrid 1 (*Epinephelus coioides* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) and Hybrid 2 (*Epinephelus fuscogutatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂), we measured their body and analyzed meristic data and metric characters by using the method of statistics, including ANOVA analysis and three types of multivariation analyses. The results showed that the edge of inclined belt on Hybrid1's body was clear and coherent, and there were large annular plaques on Hybrid 2, all those were different from their parents. Furthermore, the analysis based on the morphology framework showed the shape of front dorsal fin and trunk of Hybrid 1 was inclined to its female parent, however, Hybrid's front dorsal fin shape was also similar to its female parent while its trunk shape resembled its male parent, which proved that it was a hybrid of two forms. Comprehensive statistical analysis, such as cluster analysis, discrimination analysis and principal component analysis, indicated that both kinds of hybrids resembled their female parents in morphological characteristics.

**Key words:** hybrid grouper; parents; morphology variation; meristic data; metric characters

**Corresponding author:** LIN Haoran. E-mail: lsslhr@mail.sysu.edu.cn