

大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的生长和形态差异分析

蔡 磊^{1,2}, 白俊杰^{1,2*}, 李胜杰¹, 陈昆慈¹, 曹婷婷¹

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 农业部热带亚热带水产资源利用与养殖重点实验室, 广东 广州 510380;
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 以大口黑鲈北方亚种和佛罗里达亚种为亲本, 建立了北方亚种自交 N(北方亚种♀×北方亚种♂)、佛罗里达亚种自交 F(佛罗里达亚种♀×佛罗里达亚种♂)、正交子代 NF(北方亚种♀×佛罗里达亚种♂)和反交子代 FN(佛罗里达亚种♀×北方亚种♂)4 个试验群体, 并对其生长性能和形态学差异进行了比较。N、NF 和 FN 的生长性能比较结果表明, 在 90~152 日龄期间, 3 个试验群体生长速率差别不大, 在 152 日龄后大口黑鲈北方亚种的生长速度明显快于两杂交子代。可数性状的分析结果表明, 4 个试验组在腹鳍、臀鳍硬棘、鳃耙和脊椎骨上均无差异; 正反交子代与两亲本在背鳍条、胸鳍条、臀鳍条、尾鳍条、侧线上鳞、侧线下鳞的数量上均达到极显著差异($P<0.01$)。可量性状和框架结构数据的聚类分析结果表明, N 和 F 聚为一支, NF 和 FN 聚为一支, 然后这两支再汇聚; 主成分分析概括出方差贡献率较大的 3 个主成分, 累积贡献率为 71.44%, 主成分 1 主要反映鱼体框架的变化, 方差贡献率为 54.90%, 主成分 2 和主成分 3 主要反映鱼的头部、背部和尾部的形态变化, 方差贡献率分别为 11.21% 和 5.33%。在 35 个测量参数中挑选 11 个对判别贡献较大的参数建立 4 个群体的判别函数, 判别准确率为 83.90%~100.00%。研究结果为杂种大口黑鲈的鉴定、育种及养殖提供了科学依据。

关键词: 大口黑鲈; 北方亚种; 佛罗里达亚种; 杂交子代; 生长差异; 形态差异

中图分类号: Q 145⁺.1; S 917.4

文献标志码: A

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)原产于北美淡水河流、湖泊, 是当地一种重要的养殖与游钓鱼类。在天然水域中广泛分布着两个亚种^[1]: 一是大口黑鲈北方亚种(*M. salmoides salmoides*); 另一种是大口黑鲈佛罗里达亚种(*M. salmoides floridanus*)。中国大陆于 20 世纪 80 年代引进大口黑鲈北方亚种, 并成功进行了人工繁殖, 经过 20 多年的发展, 大口黑鲈北方亚种已成为国内重要的淡水养殖品种之一^[2]。培育养殖性能更加优异的品种对水产业有着极为重要的意义, 其中杂交作为鱼类育种的重要手段^[3], 能有效转移亲本的优良性状和增加后代的遗传变异, 从而使后代获得杂种优势。国内外已开展的大量鱼类杂交研究表明, 杂交

对于提高后代的生长速度、抗逆性等均具有积极的作用^[4-5]。本研究对大口黑鲈北方亚种和佛罗里达亚种进行杂交试验, 分析杂交后代与亲代的生长性能差异, 同时将传统形态学可量、可数性状和框架结构参数相结合, 利用多元分析方法对大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的形态差异进行了探讨, 以期为大口黑鲈杂交育种提供基础资料。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

大口黑鲈北方亚种与佛罗里达亚种均取自广州珠江水产研究所良种基地, 其中北方亚种为本地养殖种, 佛罗里达亚种为本实验室 2009 年从美

收稿日期: 2011-08-19

修回日期: 2011-10-03

资助项目: 农业部“948”项目(2010Z9); 农业部公益性行业科研专项(200903045); 国家科技支撑计划(2006BAD01A1209)

通讯作者: 白俊杰, E-mail: jjbai@163.net

国引进。2010 年 3 月, 从 1 龄大口黑鲈北方亚种和佛罗里达亚种中挑选性腺发育较好的亲本各 20 尾, 体质量为 0.5~0.6 kg, 按照大口黑鲈常规育苗方法^[6], 分别获得北方亚种自交群体(以下用 N 表示)、佛罗里达亚种自交群体(以下用 F 表示)、北方亚种♀×佛罗里达亚种♂群体(正交子代, 以下用 NF 表示)和佛罗里达亚种♀×北方亚种♂群体(反交子代, 以下用 FN 表示)4 个试验群体, 供生长对比和形态学测量。

用于标记的金属丝线码标记购于美国 Northwest Marine Technology, Inc.

1.2 生长比较

养殖对比试验在广州珠江水产研究所良种基地进行。生长对比试验仅在北方亚种和两个杂交子代群体中进行。2010 年 7 月, 在北方亚种和两个杂交子代群体中, 挑选体质量为 15.0 g 左右的鱼苗各 250 尾, 用金属丝线码标记鱼种后, 放入 667 m² 的池塘内养殖。养殖方式及日常管理参考文献^[6]。每隔 4~6 周测量一次数据。试验日期从 2010 年 7 月至 2011 年 1 月。

生长分析所采用的公式如下:

$$\text{绝对增重率 } AGR_M(g/d) = (w_2 - w_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{瞬时增重率 } IGR_M(\%/d) = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1) \times 100$$

式中, w_1 、 w_2 分别为时间 t_1 和 t_2 的体质量。

1.3 形态数据测量

生长对比试验结束后, 取大口黑鲈北方亚种和两杂交子代样本以及另取同龄的佛罗里达亚种样本进行形态学和框架结构数据测量。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、侧线鳞数、侧线上鳞数、侧线下鳞数、脊椎骨数、肋骨数、鳃耙数, 共 11 项; 可量性状有体质量、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, 共 12 项, 体质量用电子天平测定(精确度: 0.1 g), 体长等用直尺和游标卡尺测量(精确度: 0.1 mm)。框架结构数据测量参照李思发^[7]的方法, 共 24 项, 框架结构示意图见图 1。

1.4 数据分析

可数性状 对每个可数性状用 SPSS 17.0 作方差分析, 然后用 LSD 法作群体间差异显著性检验。对可数数据计算杂交大口黑鲈的杂种指数

(hybrid index, HI)^[8-9]:

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

式中, H_i 为杂种平均值; M_{i1} 为母本平均值; M_{i2} 为父本平均值。 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。

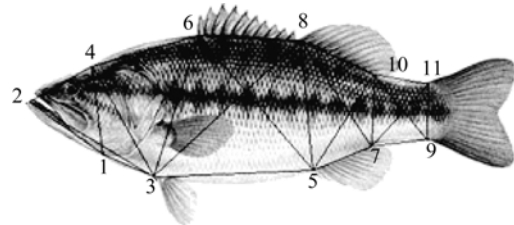


图 1 大口黑鲈框架结构数据测量示意图
1. 下颌骨最后端; 2. 吻前端; 3. 腹鳍起点; 4. 额部上颌骨最后端; 5. 臀鳍起点; 6. 背鳍起点; 7. 臀鳍末端; 8. 第一背鳍末端; 9. 尾鳍腹部起点; 10. 背鳍末端; 11. 尾鳍背部起点。

Fig. 1 Sketch map of truss network measures of *M. salmoides*

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 the first dorsal fin; 9. ventral origin of caudal fin; 10. terminus of dorsal fin; 11. dorsal origin of caudal fin.

可量性状和框架结构数据 为消除鱼体大小差异对可量性状和框架参数的影响, 将可量性状参数转化为比例性状参数进行矫正, 框架结构数据与体长相比予以矫正。除体质量以外的 11 项可量数据取全长/体长、体长/体高、体长/体宽、体长/头长、体长/尾柄长、体长/尾柄高、体长/肛前体长、尾柄长/尾柄高、头长/吻长、头长/眼径、头长/眼间距共 11 个比值进行 LSD 显著性检验并计算杂交子代的杂种指数 HI 。将 11 个比值与 24 项框架结构数据综合在一起, 共 35 个数据, 取自然对数后, 用 SPSS 17.0 进行聚类分析、判别分析和主成分分析。

2 结果

2.1 生长对比

生长对比试验时间为 174 d, 大口黑鲈北方亚种及两杂交子代生长速度比较见表 1, 体质量与日龄的关系见图 2。由表 1 及图 2 可见, 在 90~152 日龄期间 3 个试验群体生长速率差别不大, 在 152 日龄后大口黑鲈北方亚种的生长速度明显快于两杂交子代, 且 3 个群体均在 189~264 日龄期间生长速度最快。

表 1 大口黑鲈北方亚种及两杂交种不同阶段的体质量增长率
Tab. 1 Growth rate of body weight of the three stocks at different stages

群体 population	绝对增重率/(g/d) absolute growth rate			瞬时增重率/(%/d) instantaneous growth rate		
	152 d	189 d	264 d	152 d	189 d	264 d
N	1.36	1.48	1.9	1.226 2	1.353 8	1.291 7
NF	1.38	1.18	1.6	0.729 7	0.645 1	0.566 2
FN	1.38	1.01	1.5	0.320 0	0.311 0	0.304 2

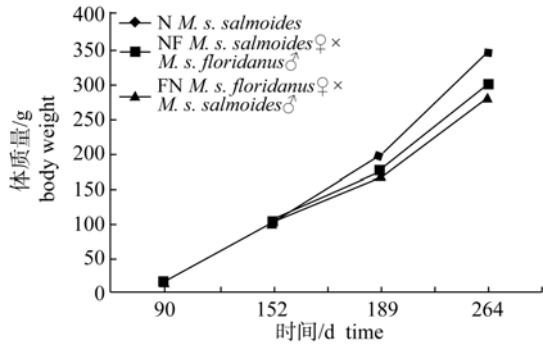


图 2 大口黑鲈北方亚种与两杂交种体质量与日龄关系
Fig. 2 The relationship of age and mass of *M. s. salmoides* and the reciprocal hybrids between *M. s. salmoides* and *M. s. floridanus*

2.2 可数性状

大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及正反交子代形态测量样本数、体长和体质量范围见表 2。4 个试验群体的可数性状数据列于表 3。由表 3 可见, 各试验群体在腹鳍条数、臀鳍硬棘数、鳃耙数和脊椎骨数上均没有差异, 分别为 5、3、8 和 32 个。对剩余 8 个可数性状进行卡方分析(表 4), 表明正交子代 NF 与亲本 N 除肋骨数外, 剩余 7 项可数性状差异均显著($P < 0.05$), 与亲本 F 除侧线鳞数目外, 其余 7 项可数性状差异均显著; 反交子代 FN 仅与 F 中的侧线鳞差异不显著($P > 0.05$)。经对正、反交子代在这 8 个有差异的可数性状杂种指数的计

算, 显示正交子代 NF 在背鳍条数和侧线鳞数上偏母本性状, 在胸鳍条、臀鳍条、尾鳍条、肋骨、侧线上鳞和侧线下鳞数上偏父本性状, 反交子代 FN 除在尾鳍条和侧线下鳞数上偏向母本外, 其它性状均偏向父本。杂种指数平均值显示在可数性状上 NF 和 FN 均偏向父本。

2.3 可量性状与框架结构数据

可量性状 可量比值性状差异显著性及杂种指数见表 5。对可量比值性状进行卡方分析显示 NF 与 N 仅在尾部差异较大, 与 F 在尾部和头部差异较大; FN 与 N 和 F 均在尾部和头部差异较大。计算正、反交子代的杂种指数, 正交子代 NF 的全长/体长、体长/体高、体长/体宽、头长/吻长和头长/眼间距上均偏向母本, 在体长/头长、体长/尾柄长、体长/尾柄高、体长/肛前距、尾柄长/尾柄高和头长/眼径均上偏向父本; 反交子代 FN 的体长/尾柄高、尾柄长/尾柄高和头长/吻长上均偏向母本, 在全长/体长、体长/体高、体长/体宽、头长/眼径和头长/眼间距上均偏向父本, 体长/头长、体长/尾柄长和体长/肛前距接近理想的中间值。杂种指数平均值显示在可量性状上 NF 偏向母本而 FN 偏向父本。

聚类分析 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及杂交子代的形态比例参数聚类图显示, 4 个群体明显分为两支, 北方亚种与佛罗里达亚种聚为

表 2 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及正反交子代形态测量样本数及体长、体质量范围
Tab. 2 Sample quantity and ranges of body length, body weight of *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

群体 population	样本数/尾 number	体长/cm body length		体质量/g body weight	
		范围 range	平均值±标准差 mean±SD	范围 range	平均值±标准差 mean±SD
N	31	21.8~27.3	24.46±1.30	273.7~551.4	403.71±68.90
F	30	19.0~25.8	22.05±1.79	174.5~652.1	343.56±114.26
NF	32	16.5~22.3	19.42±1.37	133.0~367.8	211.43±57.66
FN	33	18.4~26.1	21.38±1.74	173.4~523.6	276.28±83.48

一支, 正交子代与反交子代聚为一支(图3), 说明正反交子代与两亲本间的趋异程度增加。

主成分分析 对4个群体大口黑鲈的可量性状的框架结构数据进行主成分分析, 共获得6个主成分, 其中前3个主成分综合指标分析结果见表6。6个主成分对变异的累积贡献率达82.97%, 其中前3个主成分的方差贡献率较大, 分别为54.90%、11.21%和5.33%, 累积贡献率为71.44%。这3个主成分包含了群体总变异的大部分。对主成

分的因子负荷矩阵进一步分析, 发现主成分1在所有框架结构数据上的载荷值均大于0.5, 即主要反映整个鱼体形的变化; 主成分2在体长/体高、体长/体宽、体长/头长、体长/尾柄长、体长/肛前距和尾柄长/尾柄高上载荷值较大(载荷值>0.3), 主要反映鱼的头部、背部和尾部的形态变化; 主成分3在全长/体长、体长/体高、体长/体宽、体长/尾柄长和头长/眼间距, 主要反映鱼头部、背部和尾部的形态变化。从主成分1、2和3可见4个群体的试

表3 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的可数性状数据
Tab. 3 Meristic data of *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

项目 item	N	F	NF	杂交指数 HI	FN	杂交指数 HI
背鳍棘 spine of dorsal fin	8~10(9.00±0.25)	9	8~10(9.00±0.25)	/	9	/
背鳍条 soft ray of dorsal fin	14~15(14.61±0.50)	15~16(15.07±0.25)	14~17(14.81±0.69)	4	13~15(14.58±0.66)	106
胸鳍条 soft ray of pectoral fin	13~15(13.77±0.50)	14~16(14.80±0.49)	14~15(14.59±0.50)	80	10~16(14.21±1.22)	57
腹鳍条 soft ray of pelvic fin	5	5	5	/	5	/
臀鳍棘 spine of anal fin	3	3	3	/	3	/
臀鳍条 soft ray of anal fin	11~15(11.87±0.72)	12~13(12.03±0.18)	11~13(11.97±0.54)	63	10~14(11.70±0.69)	206
尾鳍条 soft ray of tail fin	28~35(31.58±1.62)	28~35(31.77±1.89)	29~36(32.81±1.45)	647	30~35(32.30±1.40)	-278
肋骨 rib	15.00(15.00±0.00)	14.00(14.00±0.00)	14~15(14.16±0.37)	84	14~15(14.61±0.50)	61
侧线鳞 lateral line scales	59~68(65.03±2.27)	68~75(70.63±1.87)	60~73(65.69±3.04)	12	61~73(66.00±2.32)	189
侧线上鳞 scales above lateral line	7~8(7.61±0.50)	7~9(7.73±0.52)	7~8(7.34±0.48)	225	7~9(7.33±0.54)	333
侧线下鳞 scales below lateral line	15~19(16.97±0.84)	16~18(16.83±0.60)	13~17(16.19±0.74)	557	14~18(16.61±0.93)	-157
鳃耙 gill raker	8	8	8	/	8	/
脊椎骨 vertebra	32	32	32	/	32	/
平均 mean				209		64.63

表4 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及杂交子代可数性状的卡方值

Tab. 4 Chi-square analysis results for meristic data from *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

项目 item	N-F	N-NF	N-FN	F-NF	F-FN	NF-FN
背鳍条 soft ray of dorsal fin	54.92**	59.73**	33.97**	88.07**	100.62**	90.31**
胸鳍条 soft ray of pectoral fin	33.10**	17.43**	71.38**	38.74**	93.48**	90.35**
臀鳍条 soft ray of anal fin	119.66**	81.57**	110.06**	71.26**	143.59**	102.62**
尾鳍条 soft ray of tail fin	19.31**	39.14**	32.00**	32.65**	23.48**	36.29**
肋骨 rib	0.02**	1.29	22.56**	43.61**	8.40**	3.46
侧线鳞 lateral line scales	29.49*	37.49**	62.34**	17.36	22.00	36.35**
侧线上鳞 scales above lateral line	35.54**	28.67**	30.22**	54.89**	26.00**	73.52**
侧线下鳞 scales below lateral line	64.66**	80.33**	70.25**	47.29**	64.86**	82.97**

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

Notes: * means significant difference ($P<0.05$); ** means highly significant difference.

表 5 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的可量性状
Tab. 5 Proportional values of traditional metric characters of *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

项目 item	N	F	NF	杂交指数 HI	FN	杂交指数 HI
全长/体长 total length/standard length	1.20±0.04	1.25±0.02	1.21±0.02	20	1.20±0.02	100
体长/体高 standard length/body depth	3.10±0.19	3.04±0.22	3.14±0.19	-66	3.12±0.23	133
体长/体宽 standard length/body width	5.69±0.52	5.51±0.45	5.90±0.45	-116	5.78±0.39	150
体长/头长 standard length/head length	3.31±0.21	3.07±0.13	3.10±0.14	88	3.21±0.10	54
体长/尾柄长 standard length/ caudal peduncle length	4.61±0.38	5.23±0.36	4.98±0.34	60	4.95±0.59	45
体长/尾柄高 standard length/ caudal peduncle depth	8.10±0.60	7.89±0.31	7.94±0.34	76	7.89±0.63	0
体长/肛前距 standard length/ length before anus	1.67±0.07	1.61±0.03	1.63±0.05	67	1.64±0.05	50
尾柄长/尾柄高 caudal peduncle length/caudal peduncle depth	1.76±0.14	1.52±0.12	1.60±0.13	67	1.61±0.21	38
头长/吻长 head length /snout length	4.09±0.21	3.76±0.19	4.12±0.26	-9	3.66±0.36	-3
头长/眼径 head length/eye diameter	6.25±0.39	6.30±0.47	6.36±0.36	220	6.46±0.56	320
头长/眼间距 head length/interorbital width	3.69±0.17	4.55±0.16	3.80±0.02	13	3.89±0.35	77
平均 mean				38.18		87.63

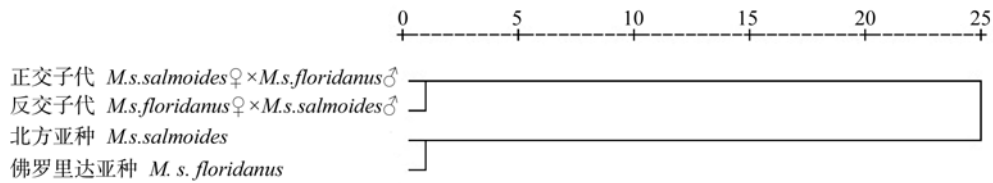


图 3 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的形态聚类图
Fig. 3 Morphological cluster plot of six groups of *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

表 6 大口黑鲈 4 个群体主成分载荷矩阵及主成分对总变异的贡献率
Tab. 6 Components matrix and contribution of principal components to total variance for four populations of largemouth bass

项目 item	主成分 principal component			项目 item	主成分 principal component		
	1	2	3		1	2	3
全长/体长	0.201	-0.658	0.432	C9-7/全长	0.719	0.136	0.250
体长/体高	-0.471	0.458	0.417	C7-5/全长	0.742	0.211	-0.090
体长/体宽	-0.430	0.389	0.452	C5-3/全长	0.779	0.152	-0.252
体长/头长	0.107	0.663	-0.427	C3-1/全长	0.752	0.126	-0.083
体长/尾柄长	-0.178	-0.654	-0.007	C4-1/全长	0.929	0.004	0.034
体长/尾柄高	-0.042	0.608	0.550	C6-3/全长	0.967	-0.128	-0.056
体长/肛前距	-0.044	0.653	0.013	C8-5/全长	0.974	-0.035	-0.087
尾柄长/尾柄高	0.105	0.794	0.299	C10-7/全长	0.926	-0.034	-0.026
头长/吻长	0.091	0.282	0.184	C2-3/全长	0.931	-0.138	0.118
头长/眼径	0.006	0.047	0.103	C6-1/全长	0.978	0.003	-0.026
头长/眼间距	0.014	-0.578	0.533	C4-3/全长	0.964	-0.097	0.051
C1-2/全长	0.864	-0.195	0.183	C8-3/全长	0.972	-0.022	-0.096
C2-4/全长	0.528	-0.368	0.126	C6-5/全长	0.948	0.029	-0.107
C4-6/全长	0.902	-0.057	0.167	C10-5/全长	0.928	0.007	0.037
C6-8/全长	0.862	0.122	0.012	C8-7/全长	0.935	0.088	-0.130
C8-10/全长	0.860	0.172	-0.028	C11-7/全长	0.883	-0.006	0.262
C10-11/全长	0.847	0.111	0.201	C10-9/全长	0.915	0.159	-0.008
C11-9/全长	0.936	0.053	-0.016	贡献率/%	54.9	11.21	5.33

验鱼在形态上的差别主要是由鱼头部、背部和尾部差异引起。

运用主成分 1、2 和 3 绘制三维立体图, 结果如图 4 所示。由图可见, 北方亚种群体与佛罗里达亚种群体无重叠区域, 可以完全分开; 两杂交子代群体与两亲代群体有少量重叠区域, 绝大部分可以分开。

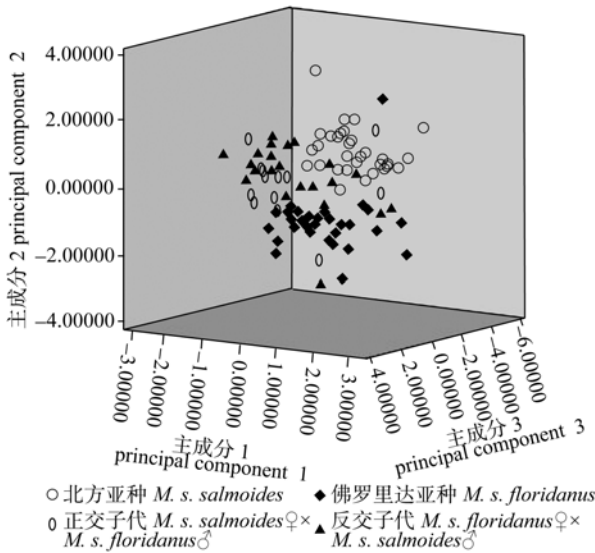


图 4 大口黑鲈 4 个群体主成分分析三维立体图
Fig. 4 3-D scatter of principal component analysis for four populations of largemouth bass

判别分析 经判别分析得到贡献最大的 11 个参数, 分别为全长/体长、头长/吻长、头长/眼间距、 D_{2-4} 、 D_{4-6} 、 D_{3-5} 、 D_{1-4} 、 D_{3-6} 、 D_{1-6} 、 D_{7-11} 和 D_{9-10} , 分别以 $C_1 \sim C_{11}$ 表示, 判断某尾鱼的群体归属时, 将所测数据经校正后代入方程, 函数值最大的即为其所属。构建的贝叶斯判别方程如下。

北方亚种:

$$Y_1 = 3496.682C_1 + 692.507C_2 + 1267.656C_3 - 433.971C_4 - 826.245C_5 + 192.661C_6 - 164.821C_7 - 1128.399C_8 + 3093.024C_9 - 185.123C_{10} + 149.703C_{11} - 1231.358$$

佛罗里达亚种:

$$Y_2 = 4001.170C_1 + 644.406C_2 + 1417.690C_3 - 255.006C_4 - 542.880C_5 + 115.709C_6 - 311.967C_7 - 968.845C_8 + 2786.414C_9 - 91.569C_{10} + 38.710C_{11} - 1326.474$$

正交子代(北方亚种♀×佛罗里达亚种♂):

$$Y_3 = 3503.698C_1 + 700.878C_2 + 1262.584C_3 - 355.557C_4 - 834.575C_5 + 144.567C_6 - 214.796C_7 - 1012.395C_8 + 2992.039C_9 - 125.173C_{10} + 73.932C_{11} - 1189.613$$

反交子代(佛罗里达亚种♀×北方亚种♂):

$$Y_4 = 3451.419C_1 + 635.203C_2 + 1285.565C_3 - 386.524C_4 - 50.231C_5 + 210.935C_6 - 232.781C_7 - 1191.915C_8 + 291.234C_9 - 307.054C_{10} + 197.822C_{11} - 1192.641$$

为了验证上述判别方程的实用性, 对试验鱼按照建立的判别方程进行预测分析和统计评价, 判别结果见表 7, 由普通判别结果可见 N 中有 4 尾误判到 NF 中, 判别正确率为 87.10%, FN 中有 1 尾误判到 N 中, 判别率为 97.00%, F 和 NF 均为 100.00%。交互验证结果证明了该判别函数的稳定。

3 讨论

3.1 大口黑鲈北方亚种与两杂交种的生长差异

有关大口黑鲈亚种间的杂交已有不少报道, 但对杂交子代是否存在生长性能方面的优势却存在分歧。多数的试验结果都认为 1 龄时大口黑鲈北方亚种最具生长优势, 杂交种次之, 而佛罗里达亚种生长最慢^[10-12], 本研究的结果也证实北方亚种

表 7 大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及其杂交子代的判别结果

Tab. 7 Results of discriminant analysis of *M. s. salmoides*, *M. s. floridanus* and their reciprocal hybrids

项目 item	N	F	NF	FN	总尾数 total number	
普通判别 ordinary discriminant	N	27	0	4	0	31
	F	0	30	0	0	30
	NF	0	0	32	0	32
	FN	1	0	0	32	33
合计 total	27	30	32	31	126	
判别准确率/% discriminant accuracy	87.1	100.0	100.0	97.0		
交互验证 interaction validation	N	26	0	4	1	31
	F	0	30	0	0	30
	NF	1	0	31	0	32
	FN	1	0	0	32	33
合计 total	26	30	31	32	126	
判别准确率/% discriminant accuracy	83.9	100.0	96.9	97.0		

比杂交种更具生长优势。然而也有试验认为, 佛罗里达亚种♀×北方亚种♂的杂交子代比两亲本的生长要好^[13], 这除了与养殖环境和养殖方式有关外, 与鱼的不同生长阶段也关系密切。本研究中大口黑鲈北方亚种与两个杂交子代的生长速度在 152 日龄之前差别很小, 152 日龄之后差别加大。有研究认为, 3 龄前的大口黑鲈北方亚种生长速度快于佛罗里达亚种, 但 4~5 龄时佛罗里达亚种生长速度明显快于北方亚种^[14], 也有报道表明 2 龄后杂交种(佛罗里达亚种♀×北方亚种♂)的生长速度要明显快于北方亚种^[13], 推测不同生长阶段可能是产生上述分歧的主要原因。

3.2 大口黑鲈杂交子代的形态学变异

在大口黑鲈形态学研究方面, 最早见 Bailey 等^[1]于 20 世纪 40 年代对大口黑鲈北方亚种和佛罗里达亚种的形态性状的报道, 发现两亚种间仅在侧线鳞和肋骨数上存在明显差异, 其侧线鳞分别为 59~65 片和 69~73 片, 肋骨数分别为 15 对和 14 对。之后的报道也证明两亚种在胸、腹、臀鳍条、侧线上鳞、侧线下鳞数目以及脊椎骨数目等方面均无差异^[15-16]。推测杂交子代可能会在肋骨以及侧线鳞上出现差异。本研究结果显示, 两杂交子代的肋骨数和侧线鳞数目均处于两亲本之间, 而其它主要的可数性状无明显差异。因此仅从可数性状上较难把两杂交子代与亲代区别开来。近年来结合传统可量性状和框架参数的多元分析方法在鱼类形态差异判别上获得了很好的效果^[17-18]。聚类分析可以直观地显示分类对象的差异和联系^[19], 通过主成分分析可以概括不同群体间的形态差异^[20], 通过判别函数和相应的测量指标可将任一待判样本判入其中一个群体^[21]。本研究在对亲代与子代群体的可量性状和框架结构数据进行多元分析时发现, 主成分分析中所得到的 6 个主成分累积贡献率为 82.97%, 一般认为提取主成分的累积贡献率为 80.00%~85.00%^[22], 这 6 个主成分包含了群体总变异的绝大部分, 说明可以用几个相互独立的因子来概括大口黑鲈两亚种与两杂交子代群体间的形态差异。在进行判别分析时, 从可量和框架数据中挑选出 11 个对判别贡献较大的参数构建判别方程, 对佛罗里达亚种和正交子代的判别达到 100%, 对反交子代的判别达到 97%, 北方亚种的判别率稍低为 87.1%, 各个群体实验鱼的归属判别率均较

高。同时主成分和判别分析均显示, 4 个群体的形态差异主要存在于头部和尾部, 与可量比值性状的卡方分析结果一致, 说明大口黑鲈的头部和尾部是变异比较大的部位。

本研究结果可为大口黑鲈北方亚种、佛罗里达亚种及杂交子代的研究提供生长与形态鉴别的基础数据, 也将有利于实际生产中大口黑鲈的养殖和管理。

参考文献:

- [1] Bailey R M, Hubbs C L. The black basses (*Micropterus*) of Florida, with description of a new species [J]. University of Michigan Museum of Zoology Occasional Papers, 1949, 516: 1-40.
- [2] Bai J J, Lutz-Carrillo D J, Quan Y C, et al. Taxonomic status and genetic diversity of cultured largemouth bass *Micropterus salmoides* in China[J]. Aquaculture, 2008, 278(1-4): 27-30.
- [3] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 83-93.
- [4] Hulata G. Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies[J]. Genetica, 2001, 111: 155-173.
- [5] 楼允东. 我国鱼类近缘杂交研究及其在水产养殖上的应用[J]. 水产学报, 2007, 31(4): 532-538.
- [6] 白俊杰, 李胜杰, 邓国成, 等. 我国加州鲈的养殖现状和养殖技术[J]. 科学养鱼, 2009(6): 12-16.
- [7] 李思发. 中国主要淡水养殖鱼类种质研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 3-10.
- [8] Witkowski A, Blachutad J. Natural hybrids *Alburnus alburnus*(L.)×*Leuciscus* and Biebrza[J]. Acta Hydrobiologica, 1980, 22(4): 473-487.
- [9] Cricelli A, Dupont F. Biometrical and biological features of *Alburnus alburnus*×*Rutilus rubilio* natural hybrids from Lake Mikri Prespa, northern Greece[J]. Journal of Fish Biology, 1988, 31(6): 721-733.
- [10] Williamson J H, Carmichael G J. An aquacultural evaluation of Florida, northern, and hybrid largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Aquaculture, 1990, 85 (1-4): 247-257.
- [11] Philipp D P, Whitt G S. Survival and growth of northern, Florida, and reciprocal F₁ hybrid largemouth bass in central Illinois[J]. Transactions of the American Fisheries Society 1991, 120(1): 58-64.
- [12] Zolczynski J R S J, Davies W D. Growth characteristics of the northern and Florida subspecies of largemouth bass and their hybrid, and a comparison of catchability between the subspecies[J]. Transactions of the American Fisheries Society 1976, 105(2): 240-243.
- [13] Kleinsasser L J, Williamson J H, Whiteside B G. Growth

- and catchability of northern, Florida, and F₁ hybrid largemouth bass in Texas ponds[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1990, 10(4): 462–468.
- [14] Johnson D L, Graham L K. Growth, reproduction, and mortality factors affecting the management of largemouth and smallmouth bass[J]. American Fisheries Society, 1978, 92–103.
- [15] Richard H, Editors H C. Black bass biology and management[M]. Washington (DC): Sport Fishing Institute, 1975: 67–75.
- [16] 李仲辉, 杨太有. 大口黑鲈和尖吻鲈骨骼系统的比较研究[J]. 动物学报, 2001, 47(专刊): 110–115.
- [17] 顾志敏, 贾永义, 叶金云, 等. 翘嘴红鲌(♀) × 团头鲂(♂) 杂种 F₁ 的形态特征及遗传分析[J]. 水产学报, 2008, 32(4): 533–544.
- [18] Matondo B N, Ocidio M, Poncin P, *et al.* Morphological recognition of artificial F₁ hybrids between three common European cyprinid species: *Rutilus rutilus*, *Blicca bjoerkna* and *Abramis brama*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(1): 144–156.
- [19] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [20] 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[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6): 655–660.
- [21] 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[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 24–29.
- [22] 张文彤. SPSS11 统计分析教程高级篇[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 190–202.

Growth and morphological characteristics comparison of northern largemouth bass, Florida largemouth bass and their reciprocal hybrids

CAI Lei^{1,2}, BAI Jun-jie^{1,2*}, LI Sheng-jie¹, CHEN Kun-ci¹, CAO Ting-ting¹

(1. Key Laboratory of Tropical & Subtropical Fishery Resource Application & Cultivation, Ministry of Agriculture, Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on northern largemouth bass and florida largemouth bass, four populations including selfing of N(*Micropterus salmoides salmoides* ♀ × *M. s. salmoides* ♂) and F(*M. s. floridanus* ♀ × *M. s. floridanus* ♂), direct cross NF(*M. s. salmoides* ♀ × *M. s. floridanus* ♂) and FN(*M. s. floridanus* ♀ × *M. s. salmoides* ♂) were established. Further comparative analysis of growth and morphological characteristics were carried out between parents and their reciprocal hybrids. The results were as follows. The growth rates had no difference between N, NF and FN on 152nd day. After 152 days the northern largemouth bass grew more rapidly than two hybrids. As meristic characters, the numbers of soft ray of pelvic, spine of anal fin, gill raker and vertebra were consistent in these four populations, and the chi-square analysis of meristic characters showed highly significant differences between parents and hybrids in soft ray of dorsal, soft ray of pectoral, soft ray of anal fin, soft ray of tail fin, scales above lateral line and scales below lateral line. The results of cluster analysis have revealed that the morph metric characters of N and F were much closer, the same to the reciprocal hybrids groups. Three principal components with accumulative variance percentage 71.44% were summarized in principal component analysis. The principal components 1, 2 and 3 reflected the morphological variations of frame, head and caudal peduncle, with the variance percentage being 54.90%, 11.20% and 5.33%. In discriminant analysis, 11 parameters were selected from 35 measured parameters to establish discriminant functioned of the populations. Discriminant accuracy was 83.90%—100.00%. This study would be beneficial to the identification, breeding and aquaculture of largemouth bass.

Key words: *Micropterus salmoides*; *M. s. salmoides*; *M. s. floridanus*; hybrid; growth; morphological characteristics

Corresponding author: BAI Jun-jie. E-mail: jjbai@163.net