

文章编号: 1000-0615(2018)10-1572-10

DOI: 10.11964/jfc.20170910978

三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交F₁的生长性能及形态差异

郭洪洪, 郑国栋, 吴成宾, 陈杰, 蒋霞云, 邹曙明*

(上海海洋大学, 农业部团头鲂遗传育种中心, 农业部淡水水产种质资源重点实验室,
水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要:为探讨三角鲂、翘嘴鲌及其杂交子代的生长性能与形态差异,本研究开展了广东东江三角鲂(MT)与长江水系翘嘴鲌(CA)远缘杂交实验,获得了三角鲂♀×翘嘴鲌♂新型鲂鲌杂交F₁优良组合。以团头鲂(MA)♀×翘嘴鲌♂杂交F₁、三角鲂、翘嘴鲌、团头鲂自交子代4个群体为对照,比较分析了MT♀×CA♂杂交F₁的生长性能及形态差异。结果显示,(1)土池同池生长性能在1龄时,MT♀×CA♂、MA♀×CA♂表现出显著的超父本CA杂种优势;2龄时,MT♀×CA♂、MA♀×CA♂表现出显著的超双亲生长优势;3龄时,MT♀×CA♂不仅具显著的超双亲生长优势,且体质量也显著高于MA♀×CA♂。(2)MT♀×CA♂的可数和可量性状多数表现为中间型。可数性状的分析结果显示,MT♀×CA♂臀鳍等多个性状介于父母本之间,平均杂种指数为65.00,接近中间值,略偏向于父本CA。可量性状表明MT♀×CA♂有7个性状分别与父母本有显著性差异,平均杂种指数为51.61,接近理想的中间值。(3)聚类分析显示鲂鲌杂种MT♀×CA♂和MA♀×CA♂聚为一支,MT和MA聚为一支,然后这两支汇聚后与CA聚为一支。主成分分析得到累计贡献率达56.02%的3个主成分,反映了鱼体高、躯干、头部和尾部的形态变异;通过构建5个群体的判别函数进行判别分析,判别准确率为87.1%~100.0%。研究表明,三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁杂种表现出生长快、形态优等优良性状,有望进一步培育成为优良鲂鲌杂交新品种。

关键词:三角鲂;团头鲂;翘嘴鲌;属间杂交;生长差异;形态特征

中图分类号:S 965.1

文献标志码:A

远缘杂交是鱼类育种的重要手段^[1],利用杂交可有效转移亲本的优良性状并增加后代的遗传变异概率,从而获得优良杂交新品种,对培育出性能更优良的水产养殖品种有着重要的意义。目前,国内外已开展了大量的鱼类杂交育种研究,结果表明通过杂交可有效提高子代的生长速率、抗病性、抗逆性等,对培育优良新品种具有积极作用^[2-3],但实际应用中,鱼类远缘杂交较难获得后代,可表现出超亲生长优势的杂交组合则更少^[3-4]。从20世纪50年代末至今,我国已开展了多于100个杂交组合的鱼类杂交试

验,主要集中在3个目、7个科,共计40多种鱼类。迄今已获得包括团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) (♀)×翘嘴鲌(*Culter alburnus*) (♂)在内的4个鲂亚科(Culterinae)鱼类属间杂交组合^[4-8],但有关三角鲂(*M. terminalis*)与翘嘴鲌之间的杂交研究较少。

三角鲂和翘嘴鲌分属鲂亚科鲂属(*Megalobrama*)和鲌属(*Culter*),为珍贵的经济鱼类,二者肉质均较为鲜美,但生长性能均不如团头鲂。二者在生理生态上具有较大差异。翘嘴鲌为强肉食性鱼类,体形较长、应激性强、肌间刺细

收稿日期: 2017-09-21 修回日期: 2017-10-30

资助项目: 国家自然科学基金(31272633, 31201760); 上海高校知识服务平台(ZF1206)

通信作者: 邹曙明, E-mail: smzou@shou.edu.cn

而多, 并且鳞片易脱落、养殖饲料成本高; 而三角鲂为杂食性鱼类, 体形偏高、鳞片相对不易脱落、肌间刺较粗而少。在团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交研究基础上, 本研究开展了三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交工作, 通过对杂种F₁的生长性能、形态性状进行系统地研究, 以期鲂鲌杂交新品系的建立、杂交优势的利用及优良品种的培育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 亲本来源、人工催产、受精及孵化

2013年5月中旬, 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交实验在上海海洋大学青浦鱼类育种实验站进行。母本为广东东江三角鲂, 父本为长江水系淀山湖翘嘴鲌, 父母本均选取成熟度好、体型优良的3龄鱼亲本进行人工繁殖。催产采用HCG与LHRH-A2于下午4时混合注射, 注射剂量雄鱼较雌鱼减半。催产药物注射后, 亲鱼暂养至圆形产卵池(直径约2 m, 深约1.2 m)中, 同时流水刺激, 次日早上对亲鱼取卵、精进行人工干法授精。受精卵置于培养皿中孵化, 每隔4 h换1次水直至出膜。鱼苗卵黄囊消失后且能够平游时, 将鱼苗转移到20 m×30 m的土池中养殖。同时建立三角鲂、翘嘴鲌自交群体, 以及对照群体团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)。三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代群体以下用MT♀×CA♂表示。三角鲂、翘嘴鲌、团头鲂自交后代群体分别用MT、CA、MA表示。对照群体团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代以MA♀×CA♂表示。

1.2 生长比较

养殖对比实验在上海海洋大学青浦鱼类育种实验站进行。选取同龄的MT♀×CA♂、MA♀×CA♂鱼苗各1 000尾, MT、CA、MA鱼苗各200尾进行剪鳍条标记以区分, 一同放于600 m²的土池塘养殖, 整个养殖周期投喂相同的配合饲料(蛋白含量33%)。分别在2014年12月、2015年12月和2016年12月3个时间段对5个实验群体的1龄、2龄和3龄鱼拉网起捕, 各群体分别随机取样70尾进行全长、体长、体高和体质量的测量。

1.3 形态数据测量

2015年12月, 对5个实验群体的2龄鱼拉网起捕, 各群体分别随机取样70尾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(硬棘和软棘)、腹鳍、臀鳍、侧线鳞、侧线上鳞和侧线下鳞, 共6项; 可量性状有体质量、全长、体长、体高、头长、吻长、眼间距、眼径、尾柄高、尾柄长、背棘长, 共11项。框架结构数据测量定位点的选择参照文献^[9]的方法, 共20项, 框架结构示意图见图1。采取两脚规配合直尺进行数据测量, 精确到0.01 cm。体质量用电子天平测定, 精确到0.1 g。

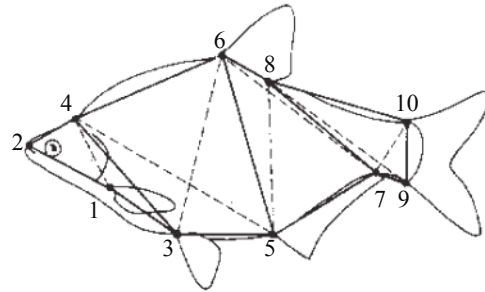


图1 框架结构数据测量示意图

1. 胸鳍起点; 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 Truss network of distance measures

1. origin of pectoral fin; 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

1.4 数据分析

对可数性状数据计算MT♀×CA♂的杂种指数(hybrid index, HI)^[10-11]:

$$HI=100 \times (Hi - Mi_1) / (Mi_2 - Mi_1)$$

式中, Hi 为杂种平均值; Mi_1 为母本平均值; Mi_2 为父本平均值。45 < HI < 55属中间性状, $HI > 100$ 或 $HI < 0$ 为超亲偏离性状, $HI > 55$ 偏父本性, $HI < 45$ 偏母本性。

为减少鱼体大小引起的统计误差, 将可量性状参数转化为比例性状参数, 20项框架结构数据转化为和全长的比例参数。可量数据取全长/体长、体长/体高、体长/头长、头长/吻长、头长/眼径、头长/眼间距、体长/尾柄长、尾柄长/尾柄高、体长/背棘长共9个比值^[9], 采用SPSS 22对每个可量性状作方差分析, LSD法显著性检验并计算杂交子代的杂种指数HI。利用SPSS 22对所有测量结果计算分析, 对20项框架结构数据进行聚类分析后, 结合9个可量性状比例参数再次进行主成分分析和判别分析。

2 结果

2.1 形态特征

MT♀×CA♂杂交F₁和MA♀×CA♂及其父母本CA、MT、MA的主要形态特征比较见图2。鲢鱼杂交MT♀×CA♂形态特征与杂交MA♀×CA♂较为相似,多数性状介于其父母本之间,体型较长,与父本CA相似,而体高显著性增高,趋向于母本MT特征,体背部和上侧部为青灰色,腹部为银白色,略偏向于父本特征,鳞片较大,趋向母本,但薄软程度上较趋向于父本CA。此外,两个鲢鱼杂种的头部也极为相似,头均较父母本稍大,嘴部虽有上翘却不如父本CA明显。

2.2 生长对比

生长对比实验分1龄、2龄和3龄鱼,MT、CA、MA、MT♀×CA♂和MA♀×CA♂的生长速率

比较见表1。在1龄,MA体质量显著($P<0.05$)快于其他4个群体,MT♀×CA♂和MA♀×CA♂两种鲢鱼杂种与MT体质量无显著性差异,低于MA但高于CA;在2龄,MT♀×CA♂和MA♀×CA♂生长速率较为接近,均表现出显著($P<0.05$)的杂种生长优势,MA生长速率次之,CA生长最慢;在3龄,MT♀×CA♂体质量在5个实验群体中最高($P<0.05$),MA♀×CA♂次之,父本CA最低,MT♀×CA♂和MA♀×CA♂均表现出显著的杂种生长优势($P<0.05$)。

2.3 可数性状

2015年12月,2龄MT、MA、CA、MT♀×CA♂和MA♀×CA♂5种实验鱼群体可数性状数据的平均值和杂种指数见表2(逗号前面的数字表示硬棘数)。鲢鱼杂种MT♀×CA♂的6个可数性

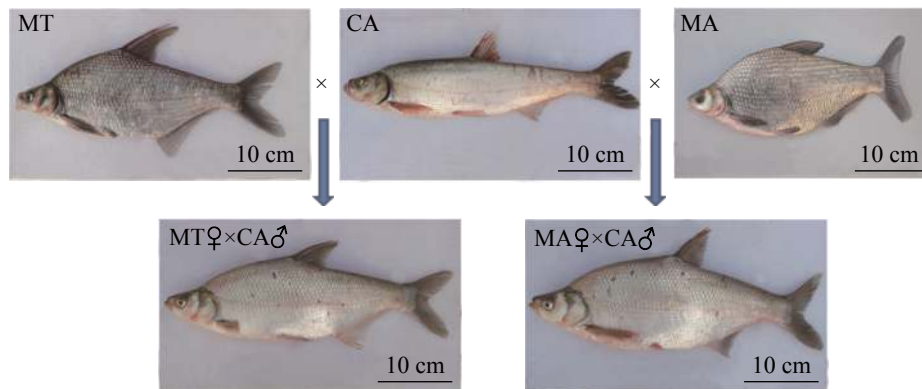


图2 三角鲃(♀)×翘嘴鲃(♂)F₁、团头鲃(♀)×翘嘴鲃(♂)F₁及其亲本的形态

Fig. 2 The morphometry of parents and offsprings of *M. terminalis* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ and *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁

表1 三角鲃(♀)×翘嘴鲃(♂)F₁、团头鲃(♀)×翘嘴鲃(♂)F₁及其亲本不同阶段体质量增长

Tab. 1 Growth of body weight of *M. terminalis* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ and *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ at different stages

年龄 age	群体 population	MT	MA	CA	MT♀×CA♂	MA♀×CA♂
1龄 1-year-old	范围 range	13.7~46.3	12.0~54.6	8.2~37.0	12.3~54.2	11.2~45.4
	平均值±标准差 mean±SD	24.9±6.2 ^b	28.3±10.9 ^a	14.1±4.2 ^c	23.5±9.8 ^b	21.3±5.6 ^b
2龄 2-year-old	范围 range	104.5~753.3	98.9~711.0	91.7~367.8	284.8~780.5	198.2~818.6
	平均值±标准差 mean±SD	322.2±75.0 ^b	423.0±170.1 ^{ab}	255.7±21.7 ^c	481.1±130.8 ^a	484.2±158.8 ^a
3龄 3-year-old	范围 range	451.0~655.3	452.2~850.1	357.0~800.3	554.0~1 200.0	552.8~1 100.0
	平均值±标准差 mean±SD	594.2±41.0 ^{bc}	655.1±148.0 ^b	460.0±166.3 ^c	845.6±197.8 ^a	805.2±200.6 ^{ab}

注:数字的右上角字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Notes: means in the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$)

状值都接近于MA♀×CA♂, 其中背鳍性状与父本一致, 臀鳍、侧线鳞、侧线上鳞和侧线下鳞4个性状均介于父母本之间, 经对6个可数性状杂种指数的计算, 显示鲂鲌杂种MT♀×CA♂的背鳍和臀鳍

2个性状为偏父本性状, 腹鳍性状为超亲偏离性状, 侧线鳞、侧线上鳞和侧线下鳞3个性状偏向母本。杂种指数平均值为65, 显示杂种MT♀×CA♂的可数性状接近于中间值, 略偏向于父本CA。

表 2 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁、团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁及其亲本的可数性状数据

Tab. 2 Meristic data of *M. terminalis*, *C. alburnus*, *M. amblycephala*, *M. terminalis* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ and *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁

项目 item	MT	MA	CA	MT♀×CA♂	HI	MA♀×CA♂	HI
SDF	3, 7.23±0.34	3, 7.42±0.71	3, 7.00±0.00	3, 7.00±0.00	100	3, 7.00±0.00	100
SPF	8.50±0.76	8.50±0.62	9.00±0.00	9.20±0.16	140	9.20±0.54	140
SAF	3, 25.56±0.24	3, 25.92±0.71	3, 21.95±0.82	3, 23.50±0.65	57	3, 23.51±0.63	61
LLS	51.19±1.22	51.23±1.12	86.34±3.58	66.65±1.83	44	66.72±1.22	44
ALS	10.02±0.78	10.18±0.90	17.34±1.74	12.61±0.68	35	12.81±0.95	37
BLS	9.37±0.76	9.52±0.86	6.47±0.74	8.90±0.55	16	8.92±0.75	20
平均值 mean					65		67

注: SDF. 背鳍; SPF. 腹鳍; SAF. 臀鳍; LLS. 侧线鳞; ALS. 侧线上鳞; BLS. 侧线下鳞

Notes: SDF. soft ray of dorsal fin; SPF. soft ray of pectoral fin; SAF. soft ray of anal fin; LLS. lateral line scales; ALS. scales above lateral line; BLS. scales below lateral line

2.4 可量性状和框架结构数据

MT♀×CA♂可量性状比值及杂种指数见表3。对每个可量性状比值进行方差分析, 显示MT♀×CA♂在全长/体长(TL/SL)、体长/头长(SL/HL)2个性状上与父母本、MA♀×CA♂无显著

差异(P>0.05); 体长/体高(SL/BD)、头长/眼间距(HL/IW)、尾柄长/尾柄高(CL/CD)3个性状与父母本、MA♀×CA♂均有显著性差异(P<0.05); 头长/吻长(HL/SnL)、体长/尾柄长(SL/CL)、体长/背棘长(SL/DL)3个性状与母本有显著性差异, 头长/眼径(HL/ED)性状与父本有显著性差异, 其中头

表 3 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁、团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁及其亲本的可量性状

Tab. 3 Proportional values of traditional metric characters of *M. terminalis*, *C. alburnus*, *M. amblycephala*, *M. terminalis* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ and *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁

项目 item	MT	MA	CA	MT♀×CA♂	HI	MA♀×CA♂	HI
TL/SL	1.19±0.04 ^a	1.19±0.04 ^a	1.18±0.02 ^a	1.17±0.04 ^a	133.73	1.17±0.02 ^a	287.15
SL/BD	2.49±0.58 ^b	2.01±0.12 ^a	4.54±0.33 ^c	3.05±0.19 ^{bc}	27.13	2.59±0.46 ^b	23.18
SL/HL	4.80±0.26 ^a	4.84±0.32 ^a	4.63±0.13 ^a	4.91±0.80 ^a	-67.38	4.92±0.49 ^a	-33.91
HL/SnL	5.47±1.36 ^{ab}	5.95±1.21 ^b	4.90±1.02 ^a	4.86±0.96 ^a	105.82	4.92±1.02 ^a	97.66
HL/ED	3.83±0.58 ^{ab}	3.92±0.75 ^{ab}	3.66±0.16 ^a	3.88±0.84 ^{ab}	-27.17	4.30±0.70 ^b	-140.32
HL/IW	2.01±0.31 ^b	1.63±0.15 ^a	2.42±0.12 ^c	2.25±0.53 ^{bc}	57.81	2.04±0.35 ^b	52.23
SL/CL	7.73±1.31 ^b	8.83±0.85 ^c	6.31±0.33 ^a	6.97±0.52 ^a	53.88	7.92±1.32 ^b	36.15
CL/CD	1.13±0.20 ^{ab}	0.80±0.10 ^a	1.85±0.05 ^c	1.38±0.09 ^b	35.51	1.06±0.21 ^{ab}	24.43
SL/DL	4.50±0.71 ^a	4.49±0.39 ^a	5.28±0.64 ^b	5.64±0.30 ^b	145.18	5.65±0.65 ^b	146.22
平均值 mean					51.61		54.75

注: TL. 全长; SL. 体长; BD. 体高; HL. 头长; SnL. 吻长; ED. 眼径; IW. 眼间距; CL. 尾柄长; CD. 尾柄高; DL. 背棘长

Notes: TL. total length; SL. standard length; BD. body depth; HL. head length; SnL. snout length; ED. eye diameter; IW. interorbital width; CL. caudal peduncle length; CD. caudal peduncle depth; DL. dorsalspine length

长/眼径、体长/尾柄长2个性状与MA♀×CA♂有显著性差异($P<0.05$)。计算鲂鮈杂交子代每个可量性状比值的杂种指数, MT♀×CA♂的全长/体长、体长/头长、头长/吻长和头长/眼径、体长/背棘长5个性状表现为超亲偏离, 体长/体高和尾柄长/尾柄高偏向母本, 头长/眼间距偏向父本, 体长/尾柄长接近理想的中间值。杂种指数平均值($HI=51.61$)接近于MA♀×CA♂($HI=54.75$), 显示两个鲂鮈杂种可量性状比值都接近于理想的中间值。

对MT♀×CA♂及其余4个实验群体的框架比例参数进行聚类分析(图3), 鲂鮈杂种MT♀×CA♂和MA♀×CA♂聚为一支, 母本MT和MA聚为一支, 然后这两支汇聚后再与父本CA聚为一支, 表明鲂鮈杂种在框架结构上受母本影响略大于父本。

主成分分析获得7个主成分对变异的累积贡献率达75.88%, 其中前3个分别为38.59%、9.83%和7.60%(表4)。群体总变异的大部分被涵盖于前3个主成分中, 主成分的因子负荷矩阵分析发现, 对主成分1有主要贡献的比例参数为体长/体高、尾柄长/尾柄高、D4-1/TL、D4-3/TL、D6-3/TL、D6-5/TL、D6-7/TL、D8-5/TL、D8-7/TL、

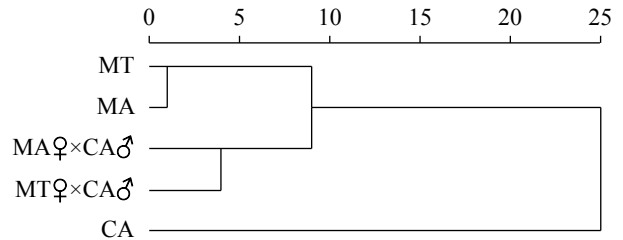


图3 5个群体形态聚类图

Fig. 3 Morphological cluster plot of the five groups

D5-7/TL、D2-4/TL、D10-9/TL, 这12项比例参数载荷值均大于0.7, 即主要反映鱼体高的形态变异; 对主成分2有主要贡献的比例参数为D4-5/TL、D4-6/TL、D3-5/TL, 载荷值均>0.5, 主要反映鱼躯干的形态变化; 对主成分3有主要贡献的比例参数为体长/头长、头长/眼径、头长/眼间距, D8-10/TL、D8-9/TL主要反映鱼头部和尾部的形态变化。从这3个主成分可见, 5个群体实验鱼在形态上的差别主要是由鱼体高、躯干差异引起。

以主成分1对主成分2绘制散点图, 可见亲代群体MT、MA和CA群体无重叠区域, 可以完全分开; 杂交子代群体MT♀×CA♂和MA♀×CA♂

表4 两种鲂鮈杂交F₁及其亲本5个群体主成分载荷矩阵及主成分对总变异的贡献率

Tab. 4 Components matrix and contribution of principal components to total variance for five populations

项目 item	主成分 principal component			项目 item	主成分 principal component		
	1	2	3		1	2	3
TL/SL	0.111	-0.599	-0.087	D4-6/TL	0.429	0.550	0.285
SL/BD	-0.873	0.163	0.033	D6-8/TL	0.638	-0.184	0.099
SL/HL	-0.373	-0.215	0.575	D8-10/TL	-0.351	-0.113	0.593
HL/SnL	0.077	-0.235	0.206	D4-1/TL	0.884	0.051	-0.010
HL/ED	0.174	0.322	-0.460	D4-3/TL	0.911	0.196	0.044
HL/IW	-0.392	0.399	-0.490	D4-5/TL	0.459	0.563	0.311
SL/CL	0.418	0.288	-0.354	D6-3/TL	0.959	-0.047	-0.016
CL/CD	-0.762	-0.247	0.276	D6-5/TL	0.925	0.028	-0.019
SL/DL	-0.510	0.642	0.180	D6-7/TL	0.742	-0.146	0.035
D1-2/TL	0.131	0.036	0.272	D8-5/TL	0.916	-0.048	0.028
D1-3/TL	0.616	0.287	0.297	D8-7/TL	0.737	-0.007	0.268
D3-5/TL	-0.249	0.713	0.334	D8-9/TL	0.240	0.028	0.432
D5-7/TL	0.748	-0.372	0.058	D10-7/TL	0.564	0.244	-0.223
D7-9/TL	-0.301	0.015	-0.092	D10-9/TL	0.797	0.059	0.013
D2-4/TL	0.844	-0.130	0.016	贡献率/% contribution	38.59	9.83	7.60

有少部分有重叠区域, 二者绝大部分可以分开且位于亲代群体MT、MA、CA中间区域(图4)。

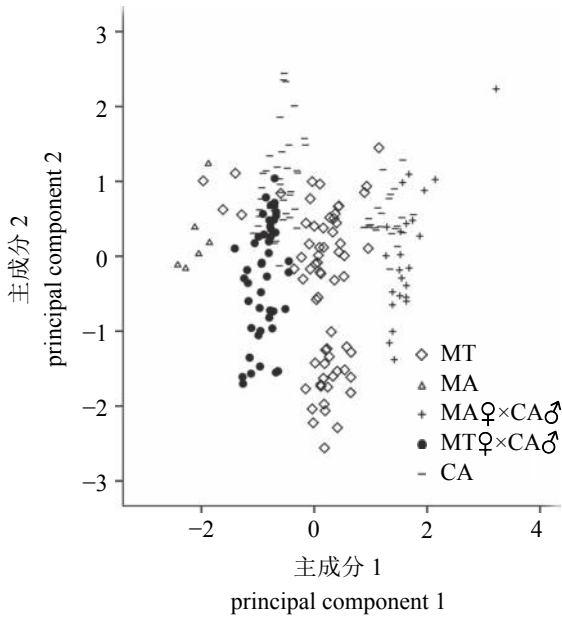


图 4 5个群体主成分1对主成分2散点图
Fig. 4 Scatter diagram for PC1 and PC2 of the five populations

判别分析获得体长/体高、体长/头长、头长/吻长、尾柄长/尾柄高、体长/背棘长、D1-2/TL、D1-3/TL、D3-5/TL、D7-9/TL、D4-6/TL、D6-8/TL、D4-3/TL、D6-3/TL、D6-7/TL、D8-5/TL、D8-7/TL、D8-9/TL、D10-7和D10-9这19个参数贡献最大, 分别以C1~C19表示, 当判断某尾鱼的群体归属时, 将所测数据代入方程, 函数值最大的可视为其所属群体。构建的判别方程如下所示。

$$MT: Y1=149.174C1+15.096C2+8.708C3+110.647C4+19.502C5+1\ 360.668C6+392.984C7+233.273C8+445.288C9-283.214C10+288.945C11+802.767C12+1\ 314.886C13+1\ 405.235C14-236.627C15+1\ 040.918\ C16-41.301\ C17+2\ 090.639C18-1\ 274.455\ C19-1\ 271.940$$

$$MA: Y2=183.431C1+8.717C2+5.478C3+144.725C4+17.395C5+1\ 186.440C6-380.632C7+308.964C8+486.069C9-250.585C10+327.039C11+1\ 028.873C12+1\ 458.390C13+1\ 466.454C14-412.395C15+1\ 200.657C16-277.179C17+1\ 339.928C18-898.681\ C19-1\ 389.754$$

$$CA: Y3=143.933C1+16.512C2+10.223C3+93.347C4+21.045C5+1446.733C6-342.419C7+$$

$$138.574C8+370.380C9+164.153C10+386.746C11+852.098C12+1\ 230.767C13+1\ 386.313C14-265.894C15+1\ 027.612C16-27.999C17+2\ 120.624C18-1\ 002.737C19-1\ 323.847$$

$$MT♀×CA♂: Y4=154.093C1+16.365C2+7.976C3+118.061C4+22.474C5+1\ 179.206C6-427.603C7+270.218C8+439.603C9-254.274C10+388.348C11+743.699C12+1\ 348.322C13+1\ 459.375C14-283.819C15+1\ 082.239C16-40.486C17+1\ 934.575C18-1\ 238.859\ C19-1\ 294.296$$

$$MA♀×CA♂: Y5=150.096C1+14.653C2+8.698C3+107.074C4+23.214C5+1\ 246.454C6-417.683C7+286.900C8+394.490C9-138.303C10+328.362C11+734.599C12+1\ 365.193C13+1\ 398.060C14-287.290C15+994.903C16-44.982C17+1\ 958.563C18-1\ 084.662C19-1\ 281.055$$

对实验鱼依照建立的判别方程式进行预测分析和统计评价以验证上述方程的实用性, 普通判别结果MT中有1尾误判到MA中, 3尾误判到MT♀×CA♂中, 5尾误判到MA♀×CA♂中, 判别正确率为87.1%, MA♀×CA♂中有2尾误判到MA中, 2尾误判到MT♀×CA♂中, 判别正确率为94.3%, CA、MA和MT♀×CA♂判别正确率均为100%(表5)。交互验证结果证明了该判别函数的稳定性。

3 讨论

3.1 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交F₁的养殖潜力

利用杂交将不同种或属间的亲本结合, 可培育出具有一定生长优势的杂交后代^[12]。如鳊鲂杂交组合已普遍在生产上应用, 其杂交后代不仅具有一定的生长优势, 而且较双亲有更明显的耐低氧、耐运输能力^[12-15]。本研究培育的东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁也证实了鲂鲌杂交子代存在着生长性能方面的优势。本研究中发现东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁在整个生长期中, 其体质量一直远远高于父本翘嘴鲌; 而在1龄初期, 体质量与母本三角鲂无显著性差异, 1龄过后, 东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)的F₁则逐渐表现出明显的超双亲生长优势。郑国栋等^[4]对团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交品系的生殖力、遗传特征和生长差异进行了研究, 表明团头鲂“浦江1号”(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁具有明显的超亲生长优势。本

表 5 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁、团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁及其亲本的判别结果Tab. 5 Results of discriminant analysis of the *M. terminalis* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ and *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁

项目 item		MT	MA	CA	MT♀×CA♂	MA♀×CA♂	总数目 total number
普通判别 ordinary discriminant	MT	61	1	0	3	5	70
	MA	0	70	0	0	0	70
	CA	0	0	70	0	0	70
	MT♀×CA♂	0	0	0	70	0	70
	MA♀×CA♂	0	2	0	2	66	70
准确率/% discriminant accuracy		87.1	100	100	100	94.3	
交互验证 interaction validation	MT	58	3	0	2	7	70
	MA	0	64	0	0	6	70
	CA	0	0	59	7	4	70
	MT♀×CA♂	0	0	0	70	0	70
	MA♀×CA♂	2	3	0	5	60	70
准确率/% discriminant accuracy		82.9	91.4	84.3	100	85.7	

研究中同时进行了三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁与团头鲂、团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的生长性能比较,发现与团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁相比,在1龄和2龄,两种鲂鲌杂种体质量无显著性差异,而至3龄,三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁表现出的生长优势则显著高于团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁。因此,在此基础上通过进一步选育,有望育成一个经济价值较高的鲂鲌杂交养殖新品种。

3.2 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交F₁的形态学变异

迄今,开展的杂交组合研究与翘嘴鲌相关的主要包括种间和亚科间杂交,如翘嘴鲌(♀)×团头鲂(♂)^[12],团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)^[4],草鱼(*Ctenopharyngodon idella*,♀)×翘嘴鲌(♂)^[3],翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*,♀)×团头鲂(♂)^[16],翘嘴红鲌(♀)×海南红鲌(*E. pseudobrevicauda*,♂)^[17]。与三角鲂相关的杂交工作相对较少,其中包括三角鲂(♀)×团头鲂(♂)及其反交^[8, 18],长春鳊(*Parabramis pekinensis*,♀)×三角鲂(♂)^[5, 8]。上述远缘杂交组合多数认为杂交后代F₁的大多数性状表现为中间型。本研究结果也表明,养殖环境相似条件下,三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的多数性状表现为中间型。近年来在鱼类形态差异判别上,将可量性状参数和框架结构参数结合的多元分析方法取得了良好的效果^[19],除此以外,主

成分分析、判别分析方法也被广泛应用。聚类分析具有较直观地分析出分类对象的差异和联系的效果^[20],主成分分析能概括不同群体间的形态差异^[21],利用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^[22]。本研究在对亲代与子代群体的可数性状分析中,发现东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的多数可数性状表现为中间型,平均杂种指数HI=65,略偏向于父本翘嘴鲌。9个可量性状比值分析,东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的多数可量性状变异较大,有7个性状比值分别与父母本有显著性差异($P < 0.05$),其中有3个性状与父母本均有显著性差异;杂种指数表明MT♀×CA♂的全长/体长、体长/头长、头长/吻长、头长/眼径、体长/背棘长等5个性状表现为超亲偏离,体长/体高和尾柄长/尾柄高偏向母本,头长/眼间距偏向父本,体长/尾柄长接近理想的中间值;平均杂种指数HI=51.61,接近理想的中间值,显示东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的可量性状表现为中间型。与团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂种F₁相比,两个杂种群体的6个可数性状比值都极接近,9个可量性状比值中虽然存在多个差异显著的性状,但可数可量性状平均杂种指数都略相等,表明两种鲂鲌杂种的形态差异不大。对框架结构数据进行聚类分析,结果显示两鲂鲌杂种聚为一支后先与

母本汇聚, 再与父本汇聚, 表明框架结构变异上, 杂种受母本影响略大于父本。综合以上数据, 东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的整体形态表现为中间型, 类似与团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁鲂鲌杂种。

结合可量性状和框架结构数据进行多元分析, 主成分分析中获得7个主成分累积贡献率为75.88%, 涵盖有群体总变异的绝大部分, 表明可通过几个相互独立的因子概括亲代与杂交子代群体间的形态差异; 构建方程对各个群体实验鱼的归属进行判别, 对翘嘴鲌、团头鲂及团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的判别达到100%, 对三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁的判别达到93.7%, 三角鲂的判别率略低, 为87.5%。多元分析结果表明, 5个群体的形态差异最主要存在于体高的比例, 其次为头部和尾部。

综上所述, 本研究证实东江三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)F₁具有良好的养殖潜力, 且为三角鲂、翘嘴鲌及其杂交子代的研究提供形态鉴别的基础数据, 有望为优良鲂鲌杂交新品系的建立奠定理论基础。

郭洪洪和郑国栋为共同第一作者。

参考文献:

- [1] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
Lou Y D. Fish Breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001(in Chinese).
- [2] Hulata G. Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies[J]. *Genetica*, 2001, 111(1-3): 155-173.
- [3] 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.
Lou Y D. Close hybridization of fish and its application in aquaculture[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(4): 532-538(in Chinese).
- [4] 郑国栋, 张倩倩, 李福贵, 等. 团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代的遗传特征及生长差异[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(3): 402-409.
Zheng G D, Zhang Q Q, Li F G, *et al.* Genetic characteristics and growth performance of different *Megalobrama amblycephala* (♀)×*Erythroculter ilishaeformis* (♂) hybrids[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 402-409(in Chinese).
- [5] 林义浩. 长春鳊、团头鲂及其杂种染色体组型的比较[J]. *动物学研究*, 1984, 5(S3): 65-66.
Lin Y H. A comparative of the karyotypes in Chinese bream, herbivorous bream and their hybrid[J]. *Zoological Research*, 1984, 5(S3): 65-66(in Chinese).
- [6] 金万昆, 杨建新, 高永平, 等. 团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)杂种F₁的含肉率、肌肉营养成分及氨基酸含量[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(1): 50-52.
Jin W K, Yang J X, Gao Y P, *et al.* The rate of flesh content, nutrient composition and the amino acid content of *Megalobrama amblycephala* (♀)×*Erythroculter ilishaeformis* (♂)[J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, 36(1): 50-52(in Chinese).
- [7] 葛瑞玲. 团头鲂(♀)×翘嘴红鲌(♂)杂交F₁的生物学特征及遗传分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.
Ge R L. The biological characteristics and genetic analysis of the F₁ hybrid of *Megalobrama amblycephala* (♀)×*Erythroculter ilishaeformis* (♂)[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2011 (in Chinese).
- [8] 关文志, 郑国栋, 吴成宾, 等. 团头鲂与三角鲂或长春鳊杂交后代的生长及形态对比分析[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 31-39.
Guan W Z, Zheng G D, Wu C B, *et al.* Comparative analysis of growth and morphological variations among *Megalobrama amblycephala*, *M. terminalis*, *Parabramis pekinensis* and their hybrids[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 31-39(in Chinese).
- [9] 陈杰, 李福贵, 黄创新, 等. 不同鳊鲌属鱼类群体的形态差异分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(3): 388-394.
Chen J, Li F G, Huang C X, *et al.* Morphological variations of genera *Parabramis* and *Megalobrama* teleost populations[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(3): 388-394(in Chinese).
- [10] Witkowski A, Blachutad J. Natural hybrids *Alburnus alburnus* (L.)×*Leuciscus* and *Biebrza*[J]. *Acta Hydrobiologica*, 1980, 22(4): 473-487.
- [11] Crivelli A J, Dupont F. Biometrical and biological features of *Alburnus alburnus*×*Rutilus rubilio* natural hybrids from Lake Mikri Prespa, northern Greece[J]. *Journal of Fish Biology*, 1987, 31(6): 721-733.
- [12] 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.
- Gu Z M, Jia Y Y, Ye J Y, *et al.* Studies on morphological characteristics and genetic analysis of the hybrid F₁, *Erythroculter ilishaeformis* ♂ × *Megalobrama amblycephala* ♀ [J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(4): 533-544(in Chinese).
- [13] 赵博文, 赵鸿昊, 杨振华, 等. 团头鲂(♀) × 长春鳊(♂) 杂交 F₁ 代形态特征及性腺发育[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(4): 89-96.
- Zhao B W, Zhao H H, Yang Z H, *et al.* Morphological characteristics and gonadal development of *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Parabramis pekinesis* (♂) hybrids [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(4): 89-96(in Chinese).
- [14] 吴清江, 桂建芳. 鱼类遗传育种工程[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 73-94.
- Wu Q J, Gui J F. Fish Genetics and Breeding Engineering [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1999: 73-94(in Chinese).
- [15] 张锦霞, 刘肖芳, 王祖熊, 等. 湘华鲮(♂) × 鲮鱼(♀) 杂交一代与其双亲染色体组型的比较研究[J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(3): 313-320.
- Zhang J X, Liu X F, Wang Z X, *et al.* A comparative study on the karyotypes among the hybrid fish (*Sinilabeo decorus tungting* ♂ × *Cirrhinus molitorella* ♀) and its parental fishes [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1984, 8(3): 313-320(in Chinese).
- [16] 贾永义, 顾志敏, 叶金云, 等. 翘嘴红鲌(♀) × 团头鲂(♂) 杂种 F₁ 的 SRAP 标记分析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(2): 198-203.
- Jia Y Y, Gu Z M, Ye J Y, *et al.* Analysis on genetic variations of *Erythroculter ilishaeformis* (♀) × *Megalobrama amblycephala* (♂) Hybrids F₁ by SRAP markers [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(2): 198-203(in Chinese).
- [17] 朱华平, 黄樟翰, 卢迈新. 翘嘴红鲌和海南红鲌同工酶的比较研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(3): 175-179.
- Zhu H P, Huang Z H, Lu M X. A comparative study on Isozymes of *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker and *Erythroculter recurviceps* Richardson [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(3): 175-179(in Chinese).
- [18] 杨怀宇, 李思发, 邹曙明. 三角鲂与团头鲂正反交 F₁ 的遗传性状[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(4): 305-309.
- Yang H Y, Li S F, Zou S M. A primary study on inheritance of morphological traits from *Megalobrama amblycephala*, *Megalobrama terminalis* to their reciprocal hybrids (F₁) [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2002, 11(4): 305-309(in Chinese).
- [19] Matondo B N, Ovidio 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.
- [20] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- Li C X, Wang Z H, Wang W L. Biostatistics [M]. Beijing: Science Press, 2000(in Chinese).
- [21] 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.
- Wang X A, Ma A J, Chen C, *et al.* Morphological variation in two wild populations of sevenband grouper (*Epinephelus septemfasciatus*) [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(6): 655-660(in Chinese).
- [22] 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.
- Ma A J, Wang X A, Lei J L, *et al.* Statistic morphology difference among four turbot (*Scophthalmus maximus*) populations [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(1): 24-29(in Chinese).

Growth performance and morphological characteristics analysis of the hybrid F₁, *Megalobrama terminalis* (♀)×*Culter alburnus* (♂)

GUO Honghong, ZHENG Guodong, WU Chengbin, CHEN Jie, JIANG Xiayun, ZOU Shuming*
(Genetics and Breeding Center for Blunt Snout Bream, Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources,
Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In the present study, a hybrid F₁ of *Megalobrama terminalis* (♀)×*Culter alburnus* (♂) (MT♀×CA♂) was obtained by intergeneric crossing, based on *M. terminalis*, from Dongjiang River, and *C. alburnus*, from Dianshan Lake. Growth performance and morphological characteristics of MT♀×CA♂ were compared and analysed further, with *M. terminalis* (MT), *C. alburnus* (CA), *M. amblycephala* (♀)×*C. alburnus* (♂) F₁ (MA♀×CA♂) and *M. amblycephala* (MA) as controls. The results are as follows: (1) at 1-year-old stage, both MT♀×CA♂ and MA♀×CA♂ grew significantly faster than CA, suggesting a remarkable growth advantage of over-male-parent. At 2-year-old stage, MT♀×CA♂ was similar to MA♀×CA♂ in growth rate, which grew faster than their parents. At 3-year-old stage, the hybrid MT♀×CA♂ had not only marked growth advantage of over-dual-parent, but also its body weight exceeded MA♀×CA♂ value. (2) Most numeric traits of MT♀×CA♂ presented to be medium. Among countable traits, the numbers of soft ray of anal fin and other traits are within the range of its parents, the average hybrid index is calculated to be 65.00, which shows that the countable traits approach the middle values between MT and CA, while slightly incline to its male parent CA. Of measurable traits, seven traits are significantly different from its parents, the average hybrid index is calculated to be 51.61, which indicates the measurable traits are also close to the middle values. (3) The results of cluster analysis revealed that MT♀×CA♂ and MA♀×CA♂ were much closer, the same to the MT and MA, joined CA again after the two groups clustered. Three principal components with accumulative variance percentage 56.02% were summarized in principal component analysis, reflecting the morphological variations of frame, head and caudal peduncle. Discriminant accuracy was 87.1%–100.0% by established discriminant function of the populations. In summary, the hybrid F₁ of MT♀×CA♂ showed advantageous characteristics such as fast growth and excellent morphology, and it is expected to further cultivate improved varieties.

Key words: *Megalobrama terminalis*; *Culter alburnus*; intergeneric crossing; growth advantage; morphological character

Corresponding author: ZOU Shuming. E-mail: smzou@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31272633, 31201760); Shanghai University Knowledge Service Platform (ZF1206)