

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20230612001

http://www.yykxjz.cn/

张亮华, 贾橙钰, 许文雅, 徐文婧, 郑国栋, 邹曙明. 团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交三倍体的生长性能及形态分析. 渔业科学进展, 2024, 45(5): 134–143

ZHANG L H, JIA C Y, XU W Y, XU W J, ZHENG G D, ZOU S M. Growth performance and morphological analysis of triploids of *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Culter alburnus* (♂). Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(5): 134–143

团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交三倍体的 生长性能及形态分析*

张亮华 贾橙钰 许文雅 徐文婧 郑国栋 邹曙明^①

(上海海洋大学 农业农村部团头鲂遗传育种中心 农业农村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 鲂鲌(*Megalobrama amblycephala*♀ × *Culter alburnus*♂)三倍体因性腺不发育或败育而将更多能量用于生长, 因为不育可以保持 F₁ 代的杂种优势而避免继续繁殖造成的种质衰退, 同时具备生态安全性, 因此, 鲂鲌三倍体具有优越的“生长优势”或“经济性状”。为了解鲂鲌三倍体的生长情况与形态特征, 本研究运用静水压技术对团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交受精卵进行三倍体化诱导, 获得了诱导成功的鲂鲌三倍体群体(hybrid-3n)与未诱导成功的鲂鲌二倍体群体(hybrid-2n), 并构建团头鲂(MA)和翘嘴鲌(CA) 2个自交群体, 通过生长对比实验比较分析了4个群体鱼的生长性能及形态差异。结果显示, 在210 d生长周期内, 鲂鲌三倍体绝对增重率[(0.88±0.11) g/d]比二倍体提高8.64%, 较MA提高20.55%, 较CA提高120.00%。可数性状上, 鲂鲌三倍体和二倍体杂种指数平均值分别为41.05和36.07, 都略偏向于母本团头鲂。可量性状上, 鲂鲌三倍体杂种指数平均值为36.73, 略偏向于母本团头鲂; 鲂鲌二倍体杂种指数平均值为57.57, 略偏向于父本翘嘴鲌。聚类分析显示, 鲂鲌三倍体首先和二倍体聚在一起归为一类, 然后再与母本团头鲂聚为一支, 最后再与父本翘嘴鲌聚在一起。判别分析显示, 对鲂鲌三倍体的判别准确率为90%, 对4个群体的综合判别率达95%。主成分分析共得到累计贡献率达75.10%的4个主成分, 主要体现了鱼体高和躯干的形态变异。综合分析表明, 鲂鲌三倍体具有较快的生长速度, 具备在生产上推广应用的基础条件; 鲂鲌三倍体与二倍体体型均介于双亲之间, 都略偏向于母本, 主要体现了鱼体高和躯干的形态变异。研究结果对鲂鲌杂交后代种群鉴定、倍性育种具有重要意义。

关键词 鲂鲌杂交; 三倍体; 生长速度; 形态特征; 多元统计

中图分类号 S965.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2024)05-0134-10

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)和翘嘴鲌(*Culter alburnus*)是中国重要的养殖经济鱼类, 分别属于鲤科(Cyprinidae)、鲌亚科(Culterinae)中的鲂属(*Megalobrama*)和鲌属(*Culter*)。团头鲂杂食偏草食性,

*上海市科技兴农重点攻关项目((2022-02-08-00-12-F01179)、上海高校青年教师培养资助计划重点项目(A1-2007-23-000203)、国家重点研发计划(2022YFD2400602)和上海海洋大学青年教师科研启动经费(A2-2006-22-200305)共同资助。

张亮华, Email: 1312566966@qq.com

①通信作者: 邹曙明, 教授, Email: smzou@shou.edu.cn

收稿日期: 2023-06-12, 收修改稿日期: 2023-07-01

生长速度快, 养殖成本低; 翘嘴鲌体型细长, 肉食性, 肉质细嫩鲜美, 鳞片薄且细小, 易脱落易受伤, 生长慢, 饲养成本高(农业农村部渔业渔政管理局等, 2020)。虽然二者在食性、生长和抗逆性等性状大不相同, 但有很大的性状互补性。杂交可以将双亲优良性状集于一身(周华兴等, 2021), 但这种优势通常只限于 F_1 代。理论上讲, 在三倍体生长和发育期间, 由于性腺几乎不发育, 可以保持 F_1 代杂种优势, 避免继续繁殖造成的种质衰退, 节省的能量将用于加速生长和提高肌肉品质(王雪薇, 2017), 这无疑将大大拓展“鲂鲌”杂交新品种的养殖空间, 产生较大的经济、社会和生态价值。

近年来, 本课题组开展团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交三倍体的静水压诱导实验, 获得了鲂鲌三倍体[高三倍体率(>80%)和高成活率(>98%)]和鲂鲌二倍体, 初步观察三倍体具有较强的生长优势。鲂鲌三倍体与二倍体形态类似, 外观难以区分, 因此, 形态分析对种群鉴定与后续选育具有重要意义。目前, 开展的杂交实验中与团头鲂、翘嘴鲌相关的形态研究已有记载, 如关文志等(2017)对团头鲂、三角鲂(*M. terminalis*)、长春鳊(*Parabramis pekinensis*)及其杂交后代共7个群体的形态进行了比较分析; 郭洪洪等(2018)对三角鲂、团头鲂、翘嘴鲌及其杂交后代5个群体的形态差异进行了分析; 刘加林(2020)对翘嘴鲌和三角鲂亲本及其杂交后代太湖鲂(*C. alburnus*♀×*M. terminalis*♂)的形态特征进行了分析; 但对经静水压诱导的团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交后代的形态研究尚未见报道。

本研究通过生长对比实验比较分析鲂鲌三倍体、二倍体及其双亲自交后代4种鱼的生长性能, 并运用传统形态学测量法结合现代框架结构测量法对4种鱼的形态进行统计, 同时应用多元统计分析法对数据进行分析以探究4种鱼之间的形态差异, 旨在为鲂鲌杂交后代种群鉴定及选育提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 亲本催产、人工受精及孵化

2021年5月, 静水压诱导的团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交实验在农业农村部团头鲂遗传与育种中心进行。母本为团头鲂“浦江2号” F_6 代, 父本为淀山湖翘嘴鲌 F_3 代, 均来自农业农村部团头鲂遗传与育种中心, 均为性腺发育良好、体格健壮、形体优美的3龄鱼。于傍晚进行催产药物(10 μ g HCG+200单位 LHRH-A2/kg)注射, 雄鱼剂量减半, 将亲鱼安置于深1.3 m、半径1 m的圆形产卵池中, 保持池中流水状态。翌日

清晨, 待亲本能挤出卵子和精子时, 迅速捞起亲鱼, 在避光环境下挤压亲鱼腹部取卵子和精子于盆中, 进行人工干法授精, 随后用滑石粉进行脱黏处理。经过静水压力(受精后处理起始时间为2~3 min, 压强为35~50 MPa, 持续时间为3 min)处理后, 于孵化桶中孵化受精卵, 直至鱼苗可以正常平游再转移到深1.5 m的600 m²大土塘中。从受精、孵化到苗种培育整个过程的水温控制在22~24 $^{\circ}$ C。待鱼苗长至3~5 g时通过Partec倍性分析仪区分出鲂鲌三倍体和二倍体, 分别用hybrid-3n和hybrid-2n表示。同时建立团头鲂×团头鲂、翘嘴鲌×翘嘴鲌2个自交群体, 后代分别用MA和CA表示。

1.2 生长对比

生长对比实验于2022年3月中旬开始, 将1.1中4个群体分别记录初始体重 W_0 并剪鳍条以区分(hybrid-3n: 左胸; hybrid-2n: 右胸; MA: 左腹; CA: 右腹), 而后转移至新的深1.5 m的600 m²大土塘中同池混养, 整个养殖过程均使用相同的鱼用配合饲料(粗蛋白31.0%、粗纤维12.0%、粗脂肪8.0%), 且每周换水1次保持养殖水体清爽(pH为6.8~7.6, 溶解氧>5.5 mg/L, 氨氮<0.5 mg/L)。2022年10月中旬对全池拉网起捕, 进行体质量测定以比较生长速度。

绝对增重率 $AGR(g/d) = (W_1 - W_0) / (t_1 - t_0)$, 其中, W_1 和 W_0 分别对应时间 t_1 和 t_0 时的体质量, $t_1 - t_0$ 为210 d。变异系数 $CV = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100\%$ 。

1.3 测量方法

2022年12月上旬拉网, 在每个群体中都随机取30尾进行计数与测量。对背鳍条、胸鳍条、腹鳍条、臀鳍条、侧线上鳞、侧线下鳞和侧线鳞7项可数性状计数, 对体质量、全长(L_a)、体长(L_b)、体高(L_c)、头长(L_d)、吻长(L_e)、眼间距(L_f)、眼径(L_g)、尾柄高(L_h)、尾柄长(L_i)、背棘长(L_j)11项可量性状与20项框架结构数据(陈杰等, 2014)进行测量(图1)。数据测定使用电子游标卡尺, 精度为0.01 cm。体质量用电子天平, 精度为0.1 g。

1.4 统计分析

为避免鱼体规格对形态参数造成统计误差, 将所有可量性状数据转变成比例性状数据, 得到9项(郭洪洪等, 2018), 框架结构数据转变成和体长的比例数据。基于可数性状和9项比例性状数据计算团头鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)的杂种指数(hybrid index, HI) (Witkowski *et al*, 1980; Cricelli *et al*, 1988)。 $HI = 100 \times (H_i - M_{i1}) / (M_{i2} - M_{i1})$, 其中, H_i 为杂种平均值; M_{i1} 为母本平均值; M_{i2} 为父本

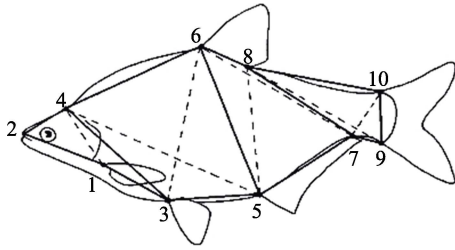


图1 框架结构定点图

Fig.1 Fixed point diagram of frame structure

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。
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.

平均值。HI 在 45~55 之间属中间性状, HI>55 为偏父本性状, HI<45 为偏母本性状, HI>100 或者 HI<0 为超亲偏离性状。采用 SPSS 26 对每个可量性状和 9 个比例性状作单因素方差分析(one-way ANOVA), LSD 法多重比较进行显著性检验, $P<0.05$ 为差异显著。对 9 个可量比例参数和 20 项框架比例参数共计 29 项做聚类分析(欧式距离的最短系统聚类法)、判别分析(逐步判别法)和主成分分析(张尧庭等, 1982)。

2 结果

2.1 形态特征

4 种鱼的主要形态特征比较见图 2。仔细观察可以看出, hybrid-3n 的形态特征与 hybrid-2n 较为相似, 尤其头部非常相像, 皆明显大于双亲自交后代, 嘴部皆上翘但不如 CA 明显。hybrid-3n 体长与 CA 和 hybrid-2n 都较为相似, 但体高明显增加趋向母本 MA。hybrid-3n 背部略微隆起, 较 hybrid-2n 更为明

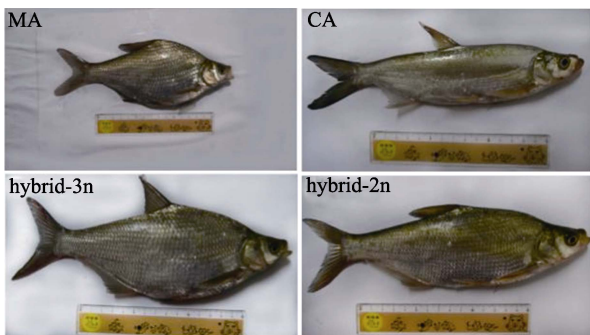


图2 杂种三倍体、杂种二倍体及其双亲自交后代的形态
Fig.2 Morphology of hybrid triploid, hybrid diploid and double inbred offspring

显, 与 MA 相似, 而 CA 背部较为平整。hybrid-3n 背部和侧上方为青灰色, 腹部与侧下方为银白色, 鳞片较大类似 MA, 薄软情况类似 CA。

2.2 生长对比

经过 210 d 饲养, 剪去的鳍条清晰可见不存在错分可能, 以绝对增重率反映生长速度, hybrid-3n 生长速度 $[(0.88\pm 0.11) \text{ g/d}]$ 较 hybrid-2n 提高 8.64%, 较 MA 提高 20.55%, 较 CA 提高 120.00%, 表明 hybrid-3n 更具生长优势(表 1)。

表 1 杂种三倍体、杂种二倍体、团头鲂和翘嘴鲌的生长速度比较

Tab.1 Comparison of growth rates of hybrid triploid, hybrid diploid, *M. amblycephala* and *C. alburnus*

组别 Group	初始体重 W_0/g	终末体重 W_1/g	变异系数 CV/%	绝对增重率 VSL/(g/d)
hybrid-3n	13.8±1.43 ^a	199.32±37.10 ^a	18.61	0.88±0.11 ^a
hybrid-2n	13.9±1.27 ^a	184.05±33.78 ^b	18.35	0.81±0.09 ^b
MA	11.0±1.14 ^b	163.88±24.69 ^c	15.07	0.73±0.07 ^c
CA	9.2±0.89 ^c	93.54±16.73 ^d	17.89	0.40±0.04 ^d

注: 同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

2.3 可数性状

4 种鱼可数性状表现如表 2 所示, 可见 hybrid-3n 和 hybrid-2n 的臀鳍条、侧线上鳞、侧线下鳞和侧线鳞数 4 项均介于双亲之间, 在侧线上鳞、侧线下鳞和侧线鳞数上, 4 个群体皆差异显著($P<0.05$)。杂种指数显示, hybrid-3n 背鳍和胸鳍为偏父本性状; 其他 5 个性状为偏母本性状。hybrid-3n 和 hybrid-2n 杂种指数平均值分别为 41.05 和 36.07, 接近中间值, 均略偏向于母本 MA。

2.4 可量性状

结果如表 3 所示, hybrid-3n 群体除全长/体长(L_a/L_b)、体长/尾柄长(L_b/L_i)、尾柄长/尾柄高(L_i/L_h)外, 其余 6 个性状与母本差异显著($P<0.05$); 与父本除体长/头长(L_b/L_d)、头长/眼径(L_d/L_g)外, 其余性状皆有显著性差异($P<0.05$); 与 hybrid-2n 群体只在体长/尾柄长(L_b/L_i)、尾柄长/尾柄高(L_i/L_h)差异不显著($P>0.05$)。其中, 在体长/体高(L_b/L_c)、头长/眼间距(L_d/L_f)、体长/背棘长(L_b/L_j)这 3 个性状上 4 个群体均有显著性差异($P<0.05$)。

表 2 杂种三倍体、杂种二倍体及其双亲自交后代的可数性状数据

Tab.2 Countable character data of hybrid triploid, hybrid diploid and their progenies of double inbreeding

性状 Character	hybrid-3n	hybrid-2n	MA	CA	HI ₁	HI ₂
背鳍 Dorsal fin	3, 8.00±0.26	3, 8.03±0.32	3, 8.10±0.40	3, 8.00±0.00	100.00	70.00
胸鳍 Pectoral fin	1, 15.23±0.63 ^b	1, 15.77±0.97 ^a	1, 15.73±0.45 ^a	1, 14.83±0.38 ^b	55.56	-4.44
腹鳍 Ventral fin	1, 7.90±0.31 ^{bc}	1, 8.03±0.18 ^{ab}	1, 7.80±0.41 ^c	1, 8.20±0.41 ^a	25.00	57.50
臀鳍 Anal fin	3, 23.63±1.10 ^b	3, 23.10±1.37 ^b	3, 25.00±0.53 ^a	3, 21.03±0.56 ^c	34.51	47.86
侧线上鳞 Lateral supralinear scale	12.13±0.78 ^c	12.63±0.61 ^b	11.63±0.61 ^d	17.50±0.63 ^a	8.52	17.04
侧线下鳞 Lateral sublinear scale	10.50±0.51 ^b	10.04±0.91 ^c	9.20±0.41 ^d	12.43±0.77 ^a	40.25	24.77
侧线鳞 Lateral scale	59.53±1.78 ^c	63.63±1.63 ^b	53.62±1.35 ^d	78.77±2.24 ^a	23.50	39.80
平均值 Mean					41.05	36.07

注: HI₁ 为三倍体杂种指数, HI₂ 为二倍体杂种指数; 背鳍、胸鳍、腹鳍、臀鳍中逗号之前为硬棘数, 逗号之后为除硬棘外的鳍条数; 表中数据格式为平均值±标准差(n=30); 同一行不同字母表示差异显著(P<0.05), 下同。

Note: HI₁ is triploid hybrid index, and HI₂ is diploid hybrid index. The number of hard spines in dorsal fin, pectoral fin, ventral fin and anal fin is before comma, and the number of fins except hard spine is after comma. The data format in the table is Mean±SD (n = 30). Different letters in the same row indicate significant differences (P<0.05), and the same below.

表 3 杂种三倍体、杂种二倍体及其双亲自交后代的可量性状数据

Tab.3 Quantitative character data of hybrid triploid, hybrid diploid and their progenies of double inbreeding

项目 Items	hybrid-3n	hybrid-2n	MA	CA	HI ₁	HI ₂
L _a /L _b	1.08±0.04 ^a	1.06±0.01 ^b	1.08±0.01 ^a	1.06±0.01 ^b	0	100.00
L _b /L _c	2.80±0.31 ^c	2.94±0.20 ^b	2.32±0.04 ^d	4.56±0.08 ^a	21.43	27.68
L _b /L _d	4.36±0.23 ^b	4.50±0.24 ^a	4.19±0.09 ^c	4.46±0.05 ^{ab}	62.96	114.81
L _d /L _e	3.22±0.17 ^b	3.36±0.21 ^a	3.44±0.08 ^a	2.89±0.06 ^c	40.00	14.55
L _d /L _g	3.75±0.20 ^b	3.89±0.21 ^a	3.32±0.20 ^c	3.79±0.10 ^{ab}	91.84	120.41
L _d /L _f	2.20±0.14 ^c	2.29±0.13 ^b	1.97±0.06 ^d	2.57±0.07 ^a	38.33	53.33
L _b /L _i	7.17±0.71 ^a	7.36±0.89 ^a	7.36±0.34 ^a	6.27±0.39 ^b	17.43	0
L _f /L _h	1.35±0.18 ^b	1.37±0.11 ^b	1.28±0.15 ^b	1.99±0.17 ^a	9.86	12.68
L _b /L _j	4.92±0.39 ^c	5.32±0.64 ^b	4.17±0.31 ^d	5.71±0.13 ^a	48.70	74.68
平均值 Mean					36.73	57.57

注: L_a: 全长; L_b: 体长; L_c: 体高; L_d: 头长; L_e: 吻长; L_f: 眼间距; L_g: 眼径; L_h: 尾柄高; L_i: 尾柄长; L_j: 背棘长。HI₁ 为三倍体杂种指数, HI₂ 为二倍体杂种指数。表中数据格式为平均值±标准差(n=30)。

Note: L_a: Full length; L_b: Body length; L_c: Body height; L_d: Head length; L_e: Snout length; L_f: Eye spacing; L_g: Eye diameter; L_h: Caudal stalk height; L_i: Caudal stalk length; L_j: Dorsal spinous length. HI₁ is triploid hybrid index, and HI₂ is diploid hybrid index. The data format in the table is Mean±SD (n=30).

杂种指数显示, hybrid-3n 没有表现出超亲偏离, 体长/背棘长(L_b/L_j)为中间性状, 体长/头长(L_b/L_d)、头长/眼径(L_d/L_g) 2 个性状偏向父本, 其余 6 项偏向母本。hybrid-3n 和 hybrid-2n 杂种指数平均值分别为 36.73 和 57.57, 显示在可量性状比值上 hybrid-3n 群体偏向于母本 MA, hybrid-2n 群体略偏向于父本 CA。

2.5 聚类分析

hybrid-3n 首先和 hybrid-2n 聚在一起归为一类, 然后再与母本 MA 聚为一支, 最后再与父本 CA 聚在一起。表明 hybrid-3n 和 hybrid-2n 在可量性状和框架结构上受母本的影响要大于父本(图 3)。

2.6 判别分析

运用逐步判别分析法剔除无显著性差异(P>0.05)的性状, 筛选出 11 个极显著性差异的生物学性状(P<0.01): 体长/体高(L_b/L_c)、头长/眼径(L_d/L_g)、L₆₋₅/L_b、体长/头长(L_b/L_d)、L₄₋₃/L_b、L₅₋₇/L_b、头长/吻长(L_d/L_e)、L₄₋₁/L_b、L₄₋₅/L_b、L₇₋₉/L_b、头长/眼间距(L_d/L_f), 分别以 X₁~X₁₁ 表示, 构建的判别方程式如下:

$$\text{hybrid-3n: } Y_1 = -3373.274 + 1687.653X_1 - 271.121X_2 + 1114.458X_3 + 5470.034X_4 + 2226.751X_5 + 699.818X_6 + 247.389X_7 + 277.876X_8 + 103.301X_9 + 65.103X_{10} + 260.495X_{11}$$

$$\text{hybrid-2n: } Y_2 = -3531.189 + 1626.448X_1 - 319.090X_2 +$$

$915.873X_3+5872.903X_4+2236.466X_5+610.081X_6+247.127X_7+288.498X_8+112.040X_9+67.128X_{10}+270.256X_{11}$

MA: $Y_3 = -3343.923+1843.445X_1-527.639X_2+740.523X_3+5804.654X_4+1894.388X_5+1009.327X_6+257.035X_7+268.989X_8+128.266X_9+40.828X_{10}+247.084X_{11}$

CA: $Y_4 = -3646.496+871.390X_1-233.509X_2+1775.813X_3+5563.526X_4+2200.800X_5+1232.343X_6+346.323X_7+247.134X_8+74.288X_9+79.490X_{10}+245.705X_{11}$

运用以上判别方程式就可以判断某尾鱼的群体归属, 将待测鱼的上述 11 个形态数据分别代进各判别方程式, 结果最大的即为该鱼的归属。判别分析结果见表 4, 仅在 hybrid-3n 和 hybrid-2n 群体中出现误判, 对 hybrid-3n 和 hybrid-2n 群体的判别准确率都为 90%, hybrid-3n 中有 3 个样本误判为 hybrid-2n, hybrid-2n 中有 3 个样本误判为 hybrid-3n; 综合判别率达 95%。

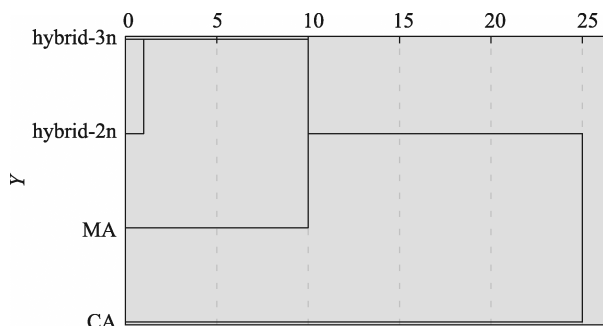


图 3 杂种三倍体、杂种二倍体、团头鲂和翘嘴鲌的形态聚类树形图

Fig.3 Morphological clustering tree diagram of hybrid triploid, hybrid diploid, *M. amblycephala* and *C. alburnus*

4 个群体 120 个样本的分布如图 4 所示, MA 和 CA 群体分别处于图中两端, hybrid-3n 和 hybrid-2n 的群体中心位于父母本之间但更靠近母本 MA, 且 hybrid-3n 群体中心相比 hybrid-2n 要更接近母本。hybrid-3n 和 hybrid-2n 二者所占区域有部分重叠, 表明二者在比例性状和框架结构上形态十分接近, 不易区分。

2.7 主成分分析

共获得 4 个主成分, 对变异的累计贡献率为 75.10%, 占据了群体总变异的大部分。主成分的成分载荷矩阵分析发现, 主成分 1 (52.87%) 主要取决于 L6-5/L_b、L8-5/L_b、L5-7/L_b、L6-3/L_b、体长/体高(L_b/L_c)、L4-1/L_b、L6-7/L_b、L2-4/L_b、L4-3/L_b、头长/眼间距(L_d/L_f)、L10-9/L_b、L6-8/L_b、尾柄长/尾柄高(L_i/L_h)、体长/背棘长(L_b/L_j)、头长/吻长(L_d/L_e)、L7-9/L_b 和 L8-7/L_b, 这 17 项参数指标其载荷绝对值皆大于 0.7, 主要是对鱼体体高的形态差异表现。对主成分 2 (10.06%) 起主要作用的参数指标有 L1-3/L_b、L8-9/L_b、L3-5/L_b 和 L4-5/L_b, 这 4 项比例参数载荷绝对值皆大于 0.5, 主要是对鱼体躯干的形态差异表现。主成分 3 (7.08%) 和主成分 4 (5.09%) 分别主要体现了鱼体尾部和头部的形态差异。由此可见, hybrid-3n、hybrid-2n、MA 和 CA 四个群体在形态上的差异主要表现在鱼体体高和躯干处。

3 讨论

3.1 鲂三倍体的生长优势

三倍体鱼类因染色体组数为奇数致使减数分裂出现异常, 表现出不育或败育(李宝玉, 2021), 理论上, 这将使得原本用于性腺生长发育的能量转而被用来加速个体的生长。Utter 等(1983)研究发现, 银大马哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)幼鱼三倍体的生长不如二倍体; Byamungu 等(2001)研究发现, 奥里亚罗非鱼(*Oreochromis aureus*)三倍体幼鱼生长速度不如二倍体; Artamonova 等(2018)研究发现, 细鳞大马哈鱼(*O. gorbuscha*)三倍体在成鱼时期生长性能明显不如二倍体。Purdom (1976)研究了异源杂交鲮(*Pleuronectidae*)三倍体和二倍体生长情况, 发现二者不具备显著性生长差异; 同样, Wolters 等(1982)在斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)、Hussain 等(1995)在尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)、Gillet 等(2001)在北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)研究中也得出相似结论。Soltan 等(2017)通过

表 4 杂种三倍体、杂种二倍体、团头鲂和翘嘴鲌的判别结果

Tab.4 Discriminant results of hybrid triploid, hybrid diploid, *M. amblycephala* and *C. alburnus*

群体 Group	hybrid-3n	hybrid-3n	MA	CA	总计 Total	判别准确率 Discriminant accuracy/%	综合判别率 Comprehensive discrimination rate/%
hybrid-3n	27	3	0	0	30	90	
hybrid-3n	3	27	0	0	30	90	95
MA	0	0	30	0	30	100	
CA	0	0	0	30	30	100	

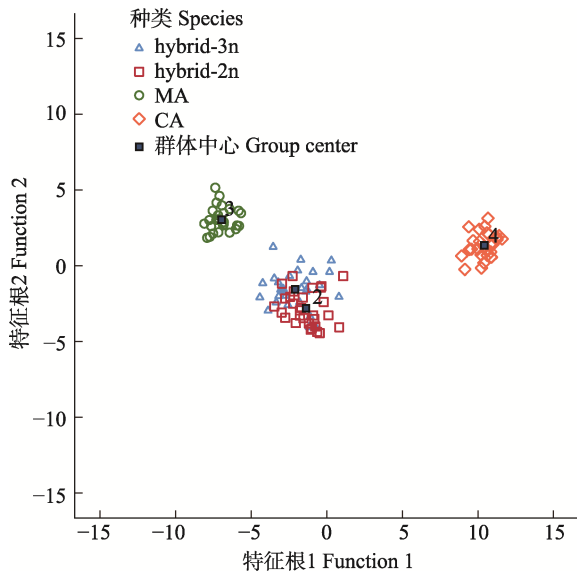


图 4 三倍体、二倍体、团头鲂和翘嘴鲌的判别分析图
Fig.4 Discriminant analysis diagram of triploid, diploid, *M. amblycephala* and *C. alburnus*

实验发现, 尼罗罗非鱼三倍体较二倍体生长快; 邹远超等(2017)研究表明, 乌鳢(*Channa argus*)三倍体生长比二倍体快; 魏凯等(2019)研究认为, 细鳞鲱(*Brachymystax lenok*)三倍体生长快于二倍体。可见, 三倍体鱼类的生长并非完全如理论所说要快于二倍体, 实际情况因鱼而异。我们推测, 染色体组数的改变会通过影响性腺发育进而表现出具有高于或低于二倍体的生长速度, 其中机制有待进一步研究。Piferrer 等(2009)研究发现, 多种三倍体鱼类在幼鱼早期的生长速度通常与二倍体相近, 在性成熟后生长速度开始高于二倍体。本研究中, hybrid-3n 初始体重为(13.84±2.82) g, 与其他 3 种鱼相差不大, 经过 210 d 的养殖实验后, hybrid-3n 生长速度较 hybrid-2n 提高 8.6%, 较母本 MA 提高 20.5%, 较父本 CA 提高 1.2 倍, 表明鲂鲌三倍体更具生长优势, 这与 Piferrer 等(2009)的研究结果基本一致。因此, 鲂鲌三倍体具备在生产上推广应用的基础条件。

3.2 鲂鲌三倍体的形态学变异

形态是生物最直观的外在表现, 其差异能直接反映生物多样性, 是种群鉴定、分类的重要依据(尹洁等, 2020)。本研究可数性状分析发现, hybrid-3n 和 hybrid-2n 平均杂种指数 HI 分别为 41.05 和 36.07, 均略偏向于母本 MA。9 项可量比例性状分析发现, hybrid-3n 和 hybrid-2n 的多数可量性状变异较大, hybrid-3n 与父本和母本分别有 7 项和 6 项存在显著性差异, hybrid-2n 有 6 个比例性状分别与父母本有

显著性差异。hybrid-3n 和 hybrid-2n 杂种指数平均值分别为 36.73 和 57.57, 显示 hybrid-3n 可量性状比值偏向于母本, hybrid-2n 可量性状比值偏向于父本, 这与上述可数性状结果略有不同, 可能是因为可量性状为连续性状, 受环境影响更大, 不如可数性状稳定(宋文, 2016)。

现今, 已有众多的物种鉴定、育种及进化方面的研究都综合利用了各多元统计分析方法进行形态差异比较(梁述章等, 2018; 朱书琴等, 2021; 周华兴等, 2021; 马凯等, 2023)。本研究聚类分析显示, hybrid-3n 首先和 hybrid-2n 聚在一起归为一类, 然后与母本 MA 聚为一支, 最后与父本 CA 聚在一起, 表明 hybrid-3n

表 5 4 个群体的主成分载荷矩阵及主成分的贡献率

Tab.5 Principal component load matrix and principal component contribution rate of four groups

项目 Items	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
L_{6-5}/L_b	0.978	0.058	-0.048	-0.001
L_{8-5}/L_b	0.975	0.055	-0.035	-0.010
L_{5-7}/L_b	0.972	-0.014	-0.002	-0.056
L_{6-3}/L_b	0.970	0.033	-0.072	-0.011
L_b/L_c	-0.965	-0.047	0.116	-0.057
L_{4-1}/L_b	0.929	0.123	0.160	-0.009
L_{6-7}/L_b	0.907	0.191	-0.146	0.015
L_{2-4}/L_b	0.900	-0.090	0.254	-0.050
L_{4-3}/L_b	0.897	0.275	-0.052	0.081
L_d/L_f	-0.887	0.114	0.094	0.153
L_{10-9}/L_b	0.866	0.125	0.200	-0.011
L_{6-8}/L_b	0.862	0.168	0.225	-0.156
L_i/L_h	-0.848	-0.085	0.320	-0.025
L_b/L_j	-0.817	0.139	-0.285	-0.167
L_d/L_e	0.800	0.274	-0.032	0.060
L_{7-9}/L_b	-0.794	0.188	0.288	-0.016
L_{8-7}/L_b	0.749	0.305	-0.264	0.006
L_{1-2}/L_b	0.681	0.016	0.353	0.077
L_b/L_d	-0.504	0.343	-0.455	-0.491
L_d/L_g	-0.487	0.437	-0.263	0.408
L_{1-3}/L_b	-0.018	0.713	0.033	-0.024
L_{8-9}/L_b	0.195	0.636	0.316	-0.219
L_{3-5}/L_b	-0.460	0.589	-0.040	0.176
L_{4-5}/L_b	-0.202	0.509	-0.331	0.466
L_{4-6}/L_b	-0.220	0.500	0.083	0.291
L_{8-10}/L_b	-0.281	0.473	0.229	-0.269
L_{10-7}/L_b	-0.239	0.364	0.627	-0.221
L_b/L_i	0.526	0.010	-0.599	-0.217
L_d/L_b	0.325	-0.226	0.234	0.646
贡献率 Contribution/%	52.87	10.06	7.08	5.09

和 hybrid-2n 在可量性状和框架结构上更接近母本,表现出一定母性效应,类似于杂交种“云龙石斑鱼”(Epinephelus moara ♀ × E. lanceolatus ♂) (李振通等, 2019)、大口黑鲈(Micropterus salmoides ♀) × 蓝鳃太阳鱼(Lepomis mearchirus ♂)杂交 F₁ (李武辉等, 2020)和团头鲂(♀) × 长春鳊(♂)杂交 F₁ (赵博文等, 2015)等大多数杂交后代的整体形态表现。但也有杂交后代形态偏向父本的报道,如草鱼(Ctenopharyngodon idella ♂) × 赤眼鲮(Spualio barbatus curriculus ♀) F₁ (金燮理等, 1999)和翘嘴红鲌(Erythroculter ilishaefor mi ♀) × 团头鲂(♂) F₁ 的形态特征(顾志敏等, 2008)。这种差异可能是母性效应在不同性状中表现不同,具体原因有待进一步探索。

本研究判别分析对 hybrid-3n 和 hybrid-2n 群体的判别准确率均为 90%,对 MA 和 CA 判别准确率均为 100%,4 种鱼的综合判别率达 95%,判别效果较好。可见 hybrid-3n 和 hybrid-2n 因形态相似,不可避免出现误判。判别分析散点图显示,MA 和 CA 两群体分别占据不同区域,hybrid-3n 和 hybrid-2n 的分布中心位于父母本之间且更靠近母本 MA; hybrid-3n 和 hybrid-2n 二者所占区域有部分重叠,表明二者在比例性状和框架结构上形态十分接近,不易区分。这些与聚类分析所得结果基本一致。构建判别方程式的 11 个生物学性状大多与身体纵轴相关尤其体现在与体高的比例上,躯干处也有涉及,这与主成分分析所得结果类似。

本研究主成分分析共获得 4 个主成分,累计贡献率为 75.10%,可以较好概括 4 种鱼群体间的形态差异。其中,决定主成分 1 (52.87%)特征向量绝对值较大的性状大多体现在与体高的比例上,这与易伯鲁(1955)的研究结果相符。此外,主成分 2 (10.06%)中决定它的 4 项参数主要集中在鱼体躯干处,反映鱼体躯干处的形态特征也是鱼类变异的重要来源。何震晗(2021)对不同地理种群的黄鳍棘鲷(Acanthopagrus latus)进行主成分分析认为,它们的差异主要体现在鱼体躯干和尾部性状上;张秀霞等(2017)研究发现,唐鱼(Tanichthys albonubes)形态变异主要在眼径大小和头部;王新月等(2022)认为不同地理群体的叶尔羌高原鳅(Triplophysa yarkandensis)形态差异主要在机体头部和躯干前段。这些与本研究所得结果有异,可能是因为鱼类尾部是行进的重要器官,与游泳能力密切相关,鱼类头部与食性摄食密切相关;而躯干和体高可以反映是否有足够空间积累脂肪增加体重;另外,蔡鸣俊等(2001)认为,较大的体高可以减轻被凶猛鱼类吞噬的危险。本研究的实验鱼为静水池塘养

殖,饵料丰富,与上述鱼类生活环境大不相同,因此,研究结果的异同可能是由于鱼类对生态环境的适应。

可见,本研究所用 3 种多元分析方法有效地从不同角度反映了 hybrid-3n、hybrid-2n、MA 和 CA 四个群体间的形态差异,这使得彼此之间不可替代。生物形态由遗传因子与环境共同决定(杨慧, 2016),本研究中 4 种鱼均同池混养,养殖环境相同,造成的形态差异可能更多的是遗传因子的反映。我们通过对 4 种鱼进行染色体核型分析认为 hybrid-2n 从母本和父本中各继承 1n 染色体,因母性效应而使形态偏向于母本,而 hybrid-3n 因静水压力对卵子第二极体排出的抑制从母本继承了 2n 染色体,从父本继承 1n 染色体而使得形态较 hybrid-2n 与母本更为接近。

综上所述,本研究证实了鲂鲌三倍体具有优越的育种潜力,并为鲂鲌杂交子代的形态比较提供基础数据对鲂鲌鱼类种群资源的鉴定保护具有积极意义,有望为优良鲂鲌新品系的建立提供理论基础。

参 考 文 献

- ARTAMONOVA V S, PONOMAREVA M V, IGNATENKO V V, et al. Gonadal development of diploid and triploid pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) from the White Sea. *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*, 2018, 25(3): 366–377
- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 2020 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- BYAMUNGU N, DARRAS V M, KUHN E R. Growth of heat-shock induced triploids of blue tilapia, *Oreochromis aureus*, reared in tanks and in ponds in Eastern Congo: Feeding regimes and compensatory growth response of triploid females. *Aquaculture*, 2001, 198(1/2): 109–122
- CAI M J, ZHANG M Y, ZENG Q L, et al. A study on morphometrics of the genus *Megalobrama*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(6): 631–635 [蔡鸣俊, 张敏莹, 曾青兰, 等. 鲂属鱼类形态度量学研究. 水生生物学报, 2001, 25(6): 631–635]
- CHEN J, LI F G, HUANG C X, et al. Morphological variations of genera *Parabramis* and *Megalobrama* teleost populations. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(3): 388–394 [陈杰, 李福贵, 黄创新, 等. 不同鳊鲂属鱼类群体的形态差异分析. 上海海洋大学学报, 2014, 23(3): 388–394]
- CRICELLI A, DUPONT F. Biometrical and biological features of *Alburnus alburnus* × *Rutilus rubilio* natural hybrids from Lake Mikri Prespa, northern Greece. *Journal of Fish Biology*, 1988, 31(6): 721–733

- GILLET C, VAUCHEZ C, HAFFRAY P. Triploidy induced by pressure shock in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*): Growth, survival and maturation until the third year. *Aquatic Living Resources*, 2001, 14(5): 327–334
- 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*♀. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(4): 533–543 [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. *水产学报*, 2008, 32(4): 533–543]
- 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. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 31–39 [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. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 31–39]
- GUO H H, ZHENG G D, WU C B, *et al.* Growth performance and morphological characteristics analysis of the hybrid F₁, *Megalobrama terminalis* (♀)×*Culter alburnus* (♂). *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(10): 1572–1581 [郭洪洪, 郑国栋, 吴成宾, 等. 三角鲂(♀)×翘嘴鲌(♂)杂交 F₁ 的生长性能及形态差异. *水产学报*, 2018, 42(10): 1572–1581]
- HE Z H. Morphological and genetic diversity analyses of *acanthopagrus latus* from different geographical populations. Master's Thesis of Guangxi University, 2021 [何震晗. 不同地理种群黄鳍棘鲷形态学分析及遗传多样性. 广西大学硕士研究生学位论文, 2021]
- HUSSAIN M G, RAO G P S, HUMAYUN N M, *et al.* Comparative performance of growth, biochemical composition and endocrine profiles in diploid and triploid tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*, 1995, 138(1/2/3/4): 87–97
- JIN X L, JIN H, WANG M L, *et al.* Comparison of genetic characteristics between the F₁ hybrid (*Ctenopharyngodon idella* × *Squaliobarbus cursoricus*) and its parents. *Life Science Research*, 1999, 3(4): 316–320 [金燮理, 金宏, 王明龙, 等. 草鱼×赤眼鲮 F₁ 与其亲本遗传性状的比较研究. *生命科学研究*, 1999, 3(4): 316–320]
- LI B Y. Study on induction under hydrostatic pressure, muscle quality and microsatellite genetic characteristics of triploid *Megalobrama amblycephala*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2021 [李宝玉. 团头鲂静水压三倍体的诱导、肌肉品质及微卫星遗传特征分析. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2021]
- LI W H, HU J, SUN C F, *et al.* Morphological and genetic characteristics of hybrid F₁ derived from largemouth bass (*Micropterus salmoides*) (♀)×bluegill (*Lepomis mearchirus*) (♂). *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(8): 1225–1236 [李武辉, 胡婕, 孙成飞, 等. 大口黑鲈(♀)×蓝鳃太阳鱼(♂)杂交 F₁ 的形态及遗传特征. *水产学报*, 2020, 44(8): 1225–1236]
- LI Z T, CHEN M L, TIAN Y S, *et al.* Analysis of the morphological differences between hybrid “*Epinephelus moara* ♀×*E. lanceolatus* ♂” and its parents. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(4): 73–83 [李振通, 成美玲, 田永胜, 等. 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]
- LIANG S Z, SONG W, ZHAO M, *et al.* Morphology of seven *Collichthys lucidus* populations near the coast of the Yellow Sea and East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 576–585 [梁述章, 宋炜, 赵明, 等. 黄海、东海近海七个棘头梅童鱼地理群体的形态差异分析. *中国水产科学*, 2018, 25(3): 576–585]
- LIU J L. Analysis of genetic characteristics and construction of high-density SNP genetic linkage map of *Megalobrama culteri* of Taihu Lake. Master's Thesis of Nanjing Normal University, 2020 [刘加林. 太湖鲂的遗传特征分析及其高密度 SNP 遗传连锁图谱构建. 南京师范大学硕士研究生学位论文, 2020]
- MA K, TONG G X, ZHANG L L, *et al.* Multivariate analysis of *Hucho taimen* and *Hucho bleekeri* populations based on morphological characteristics. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(1): 1–10 [马凯, 佟广香, 张澜澜, 等. 哲罗鲑和川陕哲罗鲑群体多变量形态特征比较. *中国水产科学*, 2023, 30(1): 1–10]
- PIFERRER F, BEAUMONT A, FALGUIERE J C, *et al.* Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 2009, 293(3/4): 125–156
- PURDOM C E. Genetic techniques in flatfish culture. *Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33(4): 1088–1093
- SOLTAN M, HASSAAN M. A comparative study of growth, feed utilization and gonad development of diploid and triploid Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Gene and Cell Therapy*, 2017, 2(1): 1–6
- SONG W. Studies on morphology and genetic structure of the genus *Megalobrama* and *Parabramis*. Doctoral Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2016 [宋文. 鳊鲂属鱼类形态学与遗传结构研究. 华中农业大学博士研究生学位论文, 2016]
- UTTER F M, JOHNSON O W, THORGAARD G H, *et al.* Measurement and potential applications of induced triploidy in Pacific salmon. *Aquaculture*, 1983(35): 125–135
- WANG X W. Comparison of the difference in diploid and triploid female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscles. Master's Thesis of Northeast Agricultural University, 2017 [王雪薇. 二、三倍体雌性虹鳟肌肉生长差异比较. 东北农业大学硕士研究生学位论文, 2017]
- WANG X Y, ZHANG Y J, LIU F, *et al.* Analysis on the morphological differences of *Triplophysa yarkandensis* in different geographic populations. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(6): 199–206 [王新月, 张永杰, 刘斐, 等. 叶尔羌高原鳅不同地理群体形态差异分析. *渔业科学进展*, 2022, 43(6): 199–206]

- WEI K, CHEN C S, ZHENG W, *et al.* Growth comparison between diploid and triploid lenok *Brachymystax lenok*. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(3): 1–4 [魏凯, 陈春山, 郑伟, 等. 二、三倍体细鳞鲢幼鱼生长特性的研究. 水产学杂志, 2019, 32(3): 1–4]
- WITKOWSKI A, BLACHUTAD J. Natural hybrids *Alburnus alburnus* (L.) × *Leuciscus* and *Biebrza*. Acta Hydrobiologica, 1980, 22(4): 473–487
- WOLTERS W R, LIBEY G S, CHRISMAN C L. Effect of triploidy on growth and gonad development of channel catfish. Transactions of the American Fisheries Society, 1982, 111(1): 102–105
- YANG H. Analysis of genetic diversity and evaluation of growth performance of three red *tilapia* populations. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2016 [杨慧. 3个红罗非鱼群体的遗传多样性分析及生长性能评价. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2016]
- YI B L. Notes on *Megalobrama amblycephala*, Sp. Nov, a distinct species from *M. terminalis* (Richardson). Acta Hydrobiologica Sinica, 1955, 2: 115–122 [易伯鲁. 关于鲢鱼(平胸鳊)种类的新资料. 水生生物学集刊, 1955, 2: 115–122]
- YIN J, MOU X X, ZHANG C L, *et al.* Comparison of morphological and genetic characteristics of *Conger myriaster* populations in China. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(3): 358–367 [尹洁, 牟秀霞, 张崇良, 等. 我国近海星康吉鳗群体的形态学、遗传学比较研究. 水产学报, 2020, 44(3): 358–367]
- ZHANG X X, ZHU Q Y, ZHAO J. Geometric morphometric analysis of body-form variability in populations of *Tanichthys albonubes*. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(9): 1365–1373 [张秀霞, 朱巧莹, 赵俊. 利用几何形态测量学方法分析唐鱼群体的形态变异. 水产学报, 2017, 41(9): 1365–1373]
- ZHANG Y T, FANG K Q. An introduction to multivariate statistical analysis. Beijing: Science Press, 1982, 393–401 [张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 1982, 393–401]
- ZHAO B W, ZHAO H H, YANG Z H, *et al.* Morphological characteristics and gonadal development of *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Parabramis pekinesis* (♂) hybrid. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(4): 89–96 [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. 华中农业大学学报, 2015, 34(4): 89–96]
- ZHOU H X, DUAN G Q, HU Y T, *et al.* Analysis of morphological differences between differential body colors groups of hybrid yellow catfish. Fisheries Science, 2021, 40(5): 726–732 [周华兴, 段国庆, 胡玉婷, 等. 杂交黄颡鱼体色分化群体形态差异分析. 水产科学, 2021, 40(5): 726–732]
- ZHU S Q, ZHAO J L, ZHOU Y H, *et al.* Morphometric differences between mandarin fish *Siniperca chuatsi* and bigeye mandarin fish *S. kneri* and their intermediate form in the middle reaches of the Changjiang River. Fisheries Science, 2021, 40(4): 530–536 [朱书琴, 赵金良, 周云红, 等. 长江中游湖泊翘嘴鳊、大眼鳊与其“中间类型”的形态学差异. 水产科学, 2021, 40(4): 530–536]
- ZOU Y C, LI Z, LI Y, *et al.* Induction and growth of triploid snakehead (*Channa argus*). Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(1): 75–84 [邹远超, 李中, 李艳, 等. 乌鲢三倍体诱导及其生长. 动物学杂志, 2017, 52(1): 75–84]

(编辑 冯小花)

Growth Performance and Morphological Analysis of Triploids of *Megalobrama amblycephala* (♀) × *Culter alburnus* (♂)

ZHANG Lianghua, JIA Chengyu, XU Wenya, XU Wenjing, ZHENG Guodong, ZOU Shuming^①

(Genetics and Breeding Center for Blunt Snout Bream, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract *Megalobrama amblycephala*, which belongs to the genus *Megalobrama* of the subfamily Culterinae in the family Cyprinidae, is an important freshwater cultured species in China because of its low culture cost and high growth rate. *Culter alburnus*, belonging to the subfamily Culter, is another slender carnivorous species, whose meat is more delicate and delicious than that of *M. amblycephala*;

① Corresponding author: ZOU Shuming, Email: smzou@shou.edu.cn

however, the scales of *C. alburnus* are small and thin and are easily injured and fall off, and these fish are slow-growing and expensive to feed. Although both the fish are quite different in terms of diet, growth, and stress resistance, they are highly complementary to each other. Crossbreeding can combine the desired characteristics of both parents; however, this advantage is usually limited to the F_1 generation. Theoretically, because the gonads are almost undeveloped during triploid growth and development, F_1 heterosis can be maintained to avoid germplasm decline caused by continuous reproduction, and energy can be saved to accelerate growth and improve muscle quality. This will greatly expand the breeding space of new hybrid varieties and ensure high economic, social, and ecological value. Therefore, the triploids of *M. amblycephala* ♀ × *C. alburnus* ♂ have superior growth and economic value. To understand the growth and morphological characteristics of the triploids of *M. amblycephala* ♀ × *C. alburnus* ♂, the triploid population of *M. amblycephala* ♀ × *C. alburnu* ♂ was induced by hydrostatic pressure, and successfully induced triploid (hybrid-3n) and uninduced diploid (hybrid-2n) populations were obtained. At the same time, two self-breeding populations of *Megalobrama* (MA) and *Culter* (CA) were established. The growth performance and morphological characteristics of the four kinds of fish were compared and analyzed in growth contrast experiments. The results showed that during the 210-day growth cycle, the absolute weight gain (0.88 ± 0.11 g/day) of hybrid-3n was 8.64% higher than that of hybrid-2n, 20.55% higher than that of MA, and 120.00% higher than that of CA. In terms of countable traits, the hybrid index of hybrid-3n and hybrid-2n was 41.05 and 36.07, respectively. In terms of measurable traits, the hybrid index of hybrid-3n and hybrid-2n was 36.73 and 57.57, respectively. Cluster analysis showed that hybrid-3n was first grouped with hybrid-2n, then grouped with maternal MA, and finally grouped with paternal CA. The results showed that hybrid-3n and hybrid-2n were closer to their mothers in quantifiable traits and frame structure, showing a maternal effect. Discriminant analysis showed that the discriminant accuracy of hybrid-3n was 90%, and the comprehensive discriminant rate of the four populations was 95%. A scatterplot of the discriminant analysis showed that the distribution centers of hybrid-3n and hybrid-2n were located between the parents and closer to the mothers. Hybrid-3n and hybrid-2n occupied partially overlapping areas, which indicates that the two are similar in proportion and frame structure, making it difficult to distinguish between them. These results are basically consistent with those obtained by cluster analysis. Most of the 11 biological traits used to construct the discriminant function were related to the longitudinal axis of the body, especially the ratio of the height of the body to the trunk, which is similar to the results obtained by principal component analysis. During principal component analysis, four principal components with a cumulative contribution rate of 75.10% were obtained, which mainly reflect morphological variations of body height and trunk length. In this study, the experimental fish were cultured in still water ponds with abundant bait. The morphological differences may be attributed to the adaptation of the fish to this ecological environment. Comprehensive analysis showed that: Hybrid-3n has a fast growth rate and has the basic conditions for promotion and application in production; The body size of hybrid-3n and hybrid-2n is between the parents, and both are slightly biased towards the mother, which mainly reflect the morphological variations of body height and trunk length; In this study, three multivariate analyses were used to effectively reflect the morphological differences among the four populations of hybrid-3n, hybrid-2n, MA, and CA from different perspectives, which has made them irreplaceable. In conclusion, this study confirmed the superior breeding potential of triploids of *M. amblycephala* ♀ × *C. alburnu* ♂, and provided basic data for the morphological comparison of hybrid offspring of *M. amblycephala* and *C. alburnu*, which is significant for the identification and protection of fish resources, and is expected to provide a theoretical basis for the establishment of new strains of *M. amblycephala* and *C. alburnu*. The results are of great significance for population identification and ploidy breeding of hybrid offspring of *M. amblycephala* and *C. alburnu*.

Key words Hybrid of *Megalobrama amblycephala* ♀ × *Culter alburnus* ♂; Triploid; Growth rate; Morphological characteristics; Multivariate statistics