

鲂属鱼类杂交子代肌间骨的形态学比较

聂春红^① 关柠楠^① 陈文倩^① 张伟卓^① 赵炎^①
古勇明^③ 高泽霞^{①②*}

① 华中农业大学水产学院, 农业动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室, 农业部淡水生物繁育重点实验室 武汉 430070;

② 淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心 武汉 430070; ③ 湖北百容水产良种有限公司 黄冈 438800

摘要: 本研究对团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 与鲂属其他 3 种鱼类三角鲂 (*M. skolkovii*)、广东鲂 (*M. terminalis*) 和厚颌鲂 (*M. pellegrini*) 正反交及其亲本自交共 10 种组合子代的肌间骨数目、形态、分布和长度进行了比较分析。10 种不同繁育组合子代个体的肌间骨总数范围为 96 ~ 134, 平均值为 119, 各组合肌间骨的数目无显著性差异 ($P > 0.05$), 其中, 厚颌鲂自交组合子代个体的肌间骨数目最少 (平均值为 114)。不同杂交组合子代体重和体长与肌间骨的长度均呈线性相关。不同部位肌间骨长度存在差异, 其中躯干轴上肌的肌间骨长度显著大于躯干轴下肌、尾部轴上肌和尾部轴下肌三个部位的肌间骨长度 ($P < 0.05$)。躯干轴下肌的肌间骨数目显著少于其他部位 ($P < 0.05$), 尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨数目无显著性差异 ($P > 0.05$)。杂交鲂肌间骨形态复杂多样, 分别为“1”形、“卜”形、“y”形、一端多叉形、两端多叉形和“(”形 6 种类型, 肌间骨越靠近鱼体前端形态越复杂, 且与存在部位有一定的关系, 躯干轴上肌的肌间骨形态最复杂。研究结果表明, 鲂属鱼类近缘杂交子一代的肌间骨相关性状特征无显著改变。

关键词: 鲂属; 杂交; 肌间骨; 数目; 形态特征

中图分类号: Q494 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 02-241-12

Morphological Characteristics Comparison for Intermuscular Bones of Hybrids among *Megalobrama* Species

NIE Chun-Hong^① GUAN Ning-Nan^① CHEN Wen-Qian^① ZHANG Wei-Zhuo^① ZHAO Yan^①
GU Yong-Ming^③ GAO Ze-Xia^{①②*}

① Key Laboratory of Agricultural Animal Genetics, Breeding and Reproduction of Ministry of Education/Key Lab of Freshwater Animal Breeding,

Ministry of Agriculture, College of Fishery, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; ② Freshwater Aquaculture Collaborative

Innovation Center of Hubei Province, Wuhan 430070; ③ Hubei Bai Rong Improved Aquatic Seed CO., LTD, Huanggang 438800, China

Abstract: In the present study, the hybrids were artificially bred among blunt snout bream *Megalobrama*

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31472271), 国家大宗淡水鱼类产业技术体系建设项目 (No. CARS-46-05), 中央高校基本科研业务费专项 (No. 26622015PY088), 海大集团团头鲂育种专项;

* 通讯作者, E-mail: gaozx@mail.hzau.edu.cn;

第一作者介绍 聂春红, 女, 硕士; 研究方向: 鱼类遗传育种; E-mail: Nchunh44@yahoo.com.

收稿日期: 2015-06-08, 修回日期: 2015-10-21 DOI: 10.13859/j.cjz.201602010

amblycephala and three *Megalobrama* species including *M. skolkovii*, *M. terminalis* and *M. pellegrini* using reciprocal crosses methods. The morphological characteristics of intermuscular bones in hybrids as well as inbreds of four species (totally 10 groups) were investigated and compared. Among the individuals from these 10 groups (Table 1), the numbers of intermuscular bones ranged from 96 to 134, with the average number of 119 (Table 2). There was no significant difference among the 10 groups and *M. pellegrini* inbreds had the minimum intermuscular bones with the mean value of 114. The length of intermuscular bones of the same fish had the linear relationship with the body weight and body length of individuals in these 10 groups (Table 3 and 4, Fig. 1 - 4). The lengths of intermuscular bones in different parts showed significant difference ($P < 0.05$): the intermuscular bones in the epiaxial muscle of dorsal part were significantly longer than the other three parts including ($P < 0.05$) hypaxial muscle and epiaxial muscle of tail part, hypaxial muscle of dorsal part (Table 5). The number of intermuscular bones in hypaxial muscle of dorsal part was significantly less than in other parts ($P < 0.05$) and there was no significant difference between hypaxial muscle and epiaxial muscle of tail part ($P > 0.05$) (Table 6). There were 6 kinds of intermuscular bones in the hybrids, including “1” type, “卜” type, “y” type, one-end-multifork type, two-end-multifork type, and “c” type, with more complex shapes in the front part of body (Table 7, Fig. 5). All the results indicate that the hybridization among the *Megalobrama* species has no distinct effect on intermuscular bones.

Key words: *Megalobrama*; Hybridization; Intermuscular bone; Number; Morphologic characteristics

鱼类的肌间骨 (intermuscular bone) 包括髓弓小骨、椎体小骨和脉弓小骨 (孟庆闻等 1987, 马良骁等 2012) 3 种类型, 是指硬骨小刺在椎骨两侧肌间隔由肌膈结缔组织连续同源骨化而来的膜骨, 仅存在于真骨鱼类中, 通过结缔组织连在其他骨骼上, 对肌节间的联系起着重要作用 (谢从新 2010)。低等真骨鱼类普遍存在肌间骨, 且髓弓小骨形态的演化与低等真骨鱼类的系统演化进程有着一致性 (吕耀平等 2007)。我国淡水主要养殖鲤科 (Cyprinidae) 鱼类, 如我国产量最大的“四大家鱼”——青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*H. nobilis*) 等鲤科鱼类普遍存在肌间骨, 对鲜鱼的食用和鱼糜制品的加工带来极大不便, 这对我国养殖业的进一步发展产生了直接的影响。国外主要对真骨鱼类的 125 属鱼类肌间骨进行了详细观察和分析 (Patterson et al. 1995), 但对我国主要淡水养殖鱼类鲤科鱼类仅描述鲮属 1 种。国内对鱼类肌间小骨的研究开始于 20 世纪 60 年

代, 有对幼鲤 (*Cyprinus carpio*) 的肌间骨形态的观察 (秉志 1962), 对异育银鲫 (*Carassius carassius*)、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)、鲢和鳙等鲤科鱼类肌间骨的初步观察 (董在杰等 2006), 对低等真骨鱼类肌间骨形态相对完整的比较研究 (吕耀平等 2007), 对鲢肌间骨的形态观察和分析 (柯中和等 2008)。近年来国内外虽然已有不少对鱼类肌间骨形态学的研究, 但是对鱼类杂交子代肌间骨形态学的观察研究报道却很少, 仅有对不同倍性鱼肌间骨的研究 (黎玲等 2013) 和对翘嘴鲌 (*Culter alburnus*) 与团头鲂杂交及回交子代肌间骨的比较分析 (钟泽洲 2014)。

团头鲂是我国特有的重要草食性经济鱼类, 其所在的鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科鲌亚科 (Culterinae) 的鲂属在我国还包括三角鲂 (*M. skolkovii*)、广东鲂 (*M. terminalis*) 和厚颌鲂 (*M. pellegrini*) 3 种鱼类 (朱新平等 1998, 张建江等 2003, 王卫民 2009, 张磊 2010)。在上述 4 种鲂属鱼类骨骼研究方面, 苏锦祥等 (1989) 对团头鲂骨骼系统的发育进行了报道,

董在杰等(2006)分析比较几种常见鲤科鱼类肌间骨时, 简要概括了团头鲂成鱼肌间骨的分布和形态特征, 万世明等(2014)对团头鲂仔稚鱼肌间骨的出现时期、形态发育以及不同大小规格个体的肌间骨数目、形态、分布和长度变化进行了观察与分析, 其他3种鲂属鱼类肌间骨形态目前并无相关报道。本研究在上述研究基础上, 对鲂属鱼类三角鲂、广东鲂、厚颌鲂肌间骨形态及数目, 以及团头鲂与这3种鲂属鱼类杂交后代的肌间骨形态及数目进行比较分析, 以期为今后杂交鱼类肌间骨的形态学研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究所涉及到的繁育组合子代包括团头鲂、三角鲂、广东鲂、厚颌鲂4种鱼类的自交子代, 以及团头鲂与三角鲂、广东鲂、厚颌鲂的正反交组合子代, 共计10种组合子代, 即团头鲂与团头鲂($TTF♀ \times TTF♂$)、三角鲂与三

角鲂($SJF♀ \times SJF♂$)、厚颌鲂与厚颌鲂($HHF♀ \times HHF♂$)、广东鲂与广东鲂($GDF♀ \times GDF♂$)、团头鲂与三角鲂($TTF♀ \times SJF♂$)、三角鲂与团头鲂($SJF♀ \times TTF♂$)、团头鲂与厚颌鲂($TTF♀ \times HHF♂$)、厚颌鲂与团头鲂($HHF♀ \times TTF♂$)、团头鲂与广东鲂($TTF♀ \times GDF♂$)、广东鲂与团头鲂($GDF♀ \times TTF♂$) (表1)。每种组合类型的鱼各取20尾用于形态解剖, 共计200尾。实验鱼均取自华中农业大学水产学院团头鲂遗传育种中心(湖北省黄冈市团风县团风镇白鹤林村), 所有个体均为1龄鱼。

1.2 肌间骨数目、形态观察与测定

活鱼麻醉后, 用纱布擦干鱼体, 测量体重与体长。完成后用纱布将鱼体包好, 置沸水锅中煮5~10 min, 取出, 自然冷却5 min再除去纱布, 以解剖刀割开鱼皮并用镊子小心剥离。肌间骨形态分布与肌肉组织部分的划分是相关联的, 依照万世明等(2014)的划分方法, 在背腹两部分将脊椎骨作为界限, 而前后两部分将腹腔后缘作为界限, 鱼体被划分为尾部轴下

表1 鲂属鱼类不同繁育组合子代的体重与体长统计

Table 1 Statistics for weight and body length of sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	样本量(尾) Sample size (ind) <i>n</i>	体重 Body weight (g)		体长 Body length (cm)	
		范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
自交 Inbreds					
$TTF♀ \times TTF♂$	20	59.2 ~ 191.7	116.53 ± 34.77	15.5 ~ 20.6	17.88 ± 1.52
$SJF♀ \times SJF♂$	20	80.5 ~ 190.0	134.86 ± 32.19	15.6 ~ 20.3	18.45 ± 1.37
$HHF♀ \times HHF♂$	20	38.9 ~ 148.4	94.36 ± 30.39	13.5 ~ 19.6	16.91 ± 1.82
$GDF♀ \times GDF♂$	20	51.9 ~ 165.2	94.91 ± 27.76	14.9 ~ 21.3	17.31 ± 1.71
杂交 Hybrids					
$TTF♀ \times SJF♂$	20	46.9 ~ 167.0	100.10 ± 29.19	14.2 ~ 20.6	17.70 ± 1.70
$SJF♀ \times TTF♂$	20	53.2 ~ 142.2	95.73 ± 27.02	14.5 ~ 19.8	17.19 ± 1.55
$TTF♀ \times HHF♂$	20	48.2 ~ 173.4	114.65 ± 40.00	14.2 ~ 20.2	17.60 ± 1.81
$HHF♀ \times TTF♂$	20	59.2 ~ 191.7	116.53 ± 31.08	15.5 ~ 20.6	17.88 ± 1.49
$TTF♀ \times GDF♂$	20	44.3 ~ 170.2	97.99 ± 29.67	13.8 ~ 21.5	17.82 ± 1.68
$GDF♀ \times TTF♂$	20	46.4 ~ 133.3	82.98 ± 21.62	14.7 ~ 18.7	16.56 ± 1.18

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*。

肌、尾部轴上肌、躯干部轴下肌、躯干部轴上肌四大区，用镊子小心剔除肌肉，取出肌间骨，按照肌间骨在鱼体中的顺序和方向进行排列。然后用游标卡尺（广陆 0-200，精度 0.01 mm）测量肌间骨的长度，并用数码相机（佳能 IXUS170）拍照。

2 结果

2.1 肌间骨数目

团头鲂、三角鲂、厚颌鲂、广东鲂自交以及团头鲂与三角鲂、厚颌鲂、广东鲂正反交子代的肌间骨数目见表 2。4 种鲂自交后代肌间骨数目无显著性差异，其中厚颌鲂自交（HHF♀ × HHF♂）子代的肌间骨数目最少。各杂交组合子代的肌间骨数目与对应亲本无显著性差异（ $P > 0.05$ ），而团头鲂与厚颌鲂杂交（TTF♀ × HHF♂）子代显著低于团头鲂与三角鲂杂交（TTF♀ × SJF♂）子代（ $P < 0.05$ ）。

2.2 肌间骨长度

对不同组合子代不同部位的肌间骨长度进行了解剖测量，团头鲂、三角鲂、厚颌鲂和广东鲂自交组合的肌间骨长度分别为（15.84 ± 5.83）cm、（16.23 ± 2.09）cm、（14.37 ± 4.84）cm 和（15.04 ± 4.50）cm。在杂交组合子代中，团头鲂与三角鲂（TTF♀ × SJF♂）和三角鲂与团头鲂（SJF♀ × TTF♂）的肌间骨长度分别为（15.25 ± 2.80）cm 和（14.52 ± 4.43）cm；团头鲂与厚颌鲂（TTF♀ × HHF♂）和厚颌鲂与团头鲂（HHF♀ × TTF♂）的肌间骨长度分别为（15.50 ± 4.43）cm 和（15.12 ± 2.14）cm；团头鲂与广东鲂（TTF♀ × GDF♂）和广东鲂与团头鲂（GDF♀ × TTF♂）的肌间骨长度分别为（15.58 ± 6.51）cm 和（14.74 ± 2.79）cm。

利用散点图与回归方程分析各组合个体肌间骨长度与体重和体长的关系，团头鲂、三角鲂、厚颌鲂和广东鲂自交组合子代的肌间骨长度随体重和体长的增长，增长幅度较小；而广东鲂自交（GDF♀ × GDF♂）子代的肌间骨长

表 2 鲂属鱼类不同繁育组合子代肌间骨的数目

Table 2 The number of intermuscular bones in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	左侧肌间骨数目 Number of left side		右侧肌间骨数目 Number of right side		总数 Total	
	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
自交 Inbreds						
TTF ♀ × TTF ♂	54 ~ 65	60 ± 3	56 ~ 65	61 ± 3	111 ~ 130	122 ± 5
SJF ♀ × SJF ♂	52 ~ 57	54 ± 2	55 ~ 64	60 ± 3	104 ~ 128	118 ± 7
HHF ♀ × HHF ♂	47 ~ 62	58 ± 6	52 ~ 64	59 ± 3	101 ~ 121	114 ± 7
GDF ♀ × GDF ♂	50 ~ 64	57 ± 5	54 ~ 64	59 ± 5	104 ~ 128	118 ± 7
杂交 Hybrids						
TTF ♀ × SJF ♂	53 ~ 67	60 ± 4	54 ~ 67	61 ± 3	108 ~ 134	122 ± 5*
SJF ♀ × TTF ♂	57 ~ 59	58 ± 1	54 ~ 63	59 ± 3	108 ~ 126	118 ± 6
TTF ♀ × HHF ♂	58 ~ 61	60 ± 1	48 ~ 63	59 ± 4	96 ~ 126	117 ± 8*
HHF ♀ × TTF ♂	54 ~ 68	62 ± 4	50 ~ 64	60 ± 4	108 ~ 132	121 ± 6
TTF ♀ × GDF ♂	55 ~ 65	60 ± 3	53 ~ 63	59 ± 3	108 ~ 130	121 ± 6
GDF ♀ × TTF ♂	58 ~ 64	62 ± 2	49 ~ 66	60 ± 4	98 ~ 132	120 ± 9

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。标有*号的两组数据间差异显著（ $P < 0.05$ ）。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*. The values with asterisk in the same column mean significant difference ($P < 0.05$).

度随体重和体长的增长, 增长的幅度较大。在杂交组合子代中, 团头鲂与三角鲂 (TTF♀ × SJF♂)、三角鲂与团头鲂 (SJF♀ × TTF♂)、团头鲂与厚颌鲂 (TTF♀ × HHF♂)、厚颌鲂与团头鲂 (HHF♀ × TTF♂) 的体重与肌间骨长度比亲本团头鲂、三角鲂、厚颌鲂自交子代的线性相关程度大 (R^2 值较大), 肌间骨的长度与体重和体长的线性关系比亲本有所增加 (R^2 值增大), 但团头鲂与广东鲂 (TTF♀ × GDF♂) 和广东鲂与团头鲂 (GDF♀ × TTF♂) 比亲本广东鲂自交 (GDF♀ × GDF♂) 的体重与肌间骨长度的线性关系小。在自交组合中, 广东鲂自交 (GDF♀ × GDF♂) 子代的肌间骨长度随着体重和体长的增加而增长的幅度较大, 而三角鲂自交 (SJF♀ × SJF♂) 的肌间骨长度随着体重和体长的增加而增长的幅度较小。在杂交组合子代中, 团头鲂与广东鲂 (TTF♀ × GDF♂) 和广东鲂与团头鲂 (GDF♀ × TTF♂) 的肌间骨长度增长的幅度较大 (表 3, 4; 图 1~4)。去除体重的影响条件, 比较每克体重肌间骨的长度,

在同一杂交子代中, 躯干轴上肌与躯干轴下肌的肌间骨长度呈显著性差异 ($P < 0.05$), 尾部轴上肌与尾部轴下肌的肌间骨长度无显著性差异 ($P > 0.05$); 在对四个部位比较肌间骨长度时, 团头鲂与三角鲂杂交 (TTF♀ × SJF♂) 和三角鲂与团头鲂杂交 (SJF♀ × TTF♂) 子代与亲本三角鲂自交 (SJF♀ × SJF♂) 子代的肌间骨长度差异显著 ($P < 0.05$), 在尾部轴上肌中, 广东鲂与团头鲂杂交 (GDF♀ × TTF♂) 子代与亲本广东鲂自交 (GDF♀ × GDF♂) 子代的肌间骨长度有显著性差异 ($P < 0.05$) (表 5)。

2.3 肌间骨的形态与分布

鱼类肌间骨的形态多样, 本研究将杂交鲂肌间骨形态分为“1”形、“y”形、“卜”形、一端多叉形、两端多叉形和“(”形 6 种类型。肌间骨的 6 种形态在躯干轴上肌、尾上轴上肌、躯干下轴下肌、尾下轴下肌四个部位分布有所不同; 不同杂交组合肌间骨的形态见图 5。整体上, 肌间骨的形态以“1”形和“y”形为主, “(”形和“卜”形在鱼的肌间骨中分布比较少。

表 3 鲂属鱼类不同组合子代体重 (x, g) 与肌间骨长度 (y, mm) 的线性方程

Table 3 The linear equation of body weight (x, g) and intermuscular bones' length (y, mm) in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	回归方程 Linear equation	R^2
自交 Inbreds		
TTF♀ × TTF♂	$y = 0.044 3x + 11.097$	0.407 2
SJF♀ × SJF♂	$y = 0.023 1x + 13.119$	0.265 8
HHF♀ × HHF♂	$y = 0.041 1x + 10.490$	0.322 1
GDF♀ × GDF♂	$y = 0.064 7x + 8.898 9$	0.717 3
杂交 Hybrids		
TTF♀ × SJF♂	$y = 0.048 3x + 10.377$	0.710 2
SJF♀ × TTF♂	$y = 0.064 4x + 8.351 4$	0.684 4
TTF♀ × HHF♂	$y = 0.048 5x + 9.945 4$	0.511 7
HHF♀ × TTF♂	$y = 0.287 4x + 12.24 8$	0.720 7
TTF♀ × GDF♂	$y = 0.072 7x + 8.303 7$	0.715 3
GDF♀ × TTF♂	$y = 0.074 5x + 8.552 8$	0.605 1

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

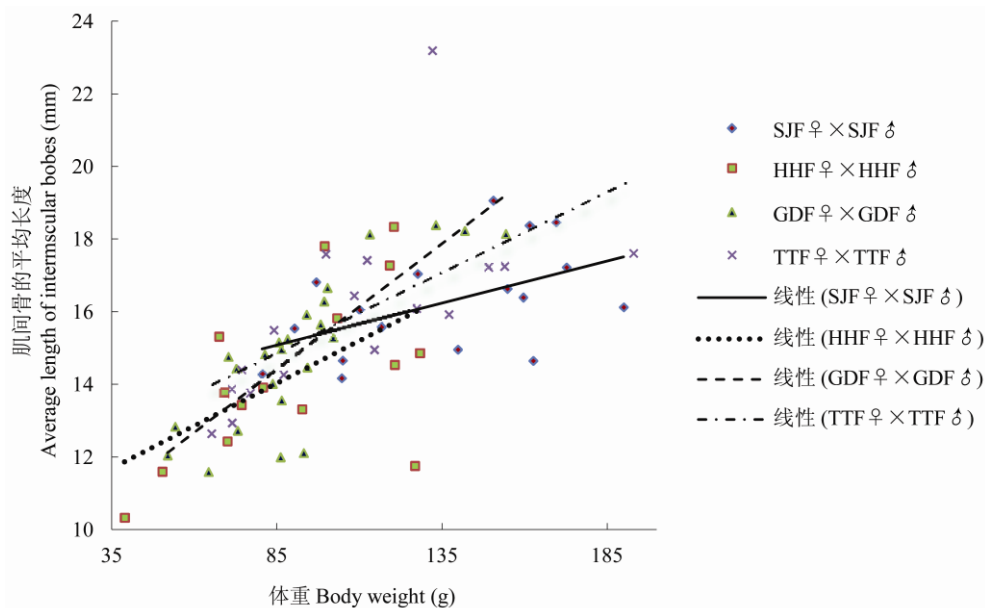


图 1 四种鲂自交子代体重与肌间骨长度的关系

Fig. 1 The linear relationship of body weight (g) and intermuscular bones' length (mm) in sampling fish from different inbreeding groups

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

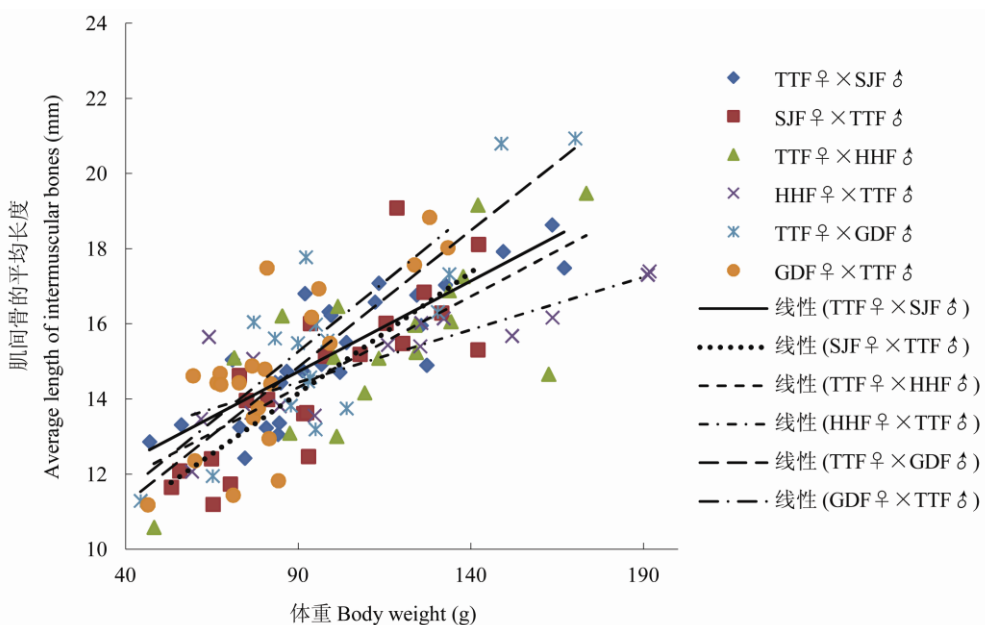


图 2 鲂属杂交交子代体重 (g) 与肌间骨长度 (mm) 的关系

Fig. 2 The linear relationship of body weight (g) and intermuscular bones' length (mm) in sampling fish from different hybrid groups

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

表 4 鲂属鱼类不同组合子代体长 (x , cm) 与肌间骨长度 (y , mm) 的线性关系Table 4 The linear equation of body length (x , cm) and intermuscular bones' length (y , mm) in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	回归方程 Linear equation	R^2
自交 Inbreds		
TTF♀ × TTF♂	$y = 1.063 3x - 2.867$	0.449 5
SJF♀ × SJF♂	$y = 0.591 4x + 5.318 8$	0.314 2
HHF♀ × HHF♂	$y = 0.920 3x - 1.196 5$	0.578 6
GDF♀ × GDF♂	$y = 1.135 5x - 4.704 2$	0.841 7
杂交 Hybrids		
TTF♀ × SJF♂	$y = 0.912 5x - 0.903 6$	0.737 6
SJF♀ × TTF♂	$y = 1.091 4x - 4.239 8$	0.649 0
TTF♀ × HHF♂	$y = 1.161 8x - 4.945$	0.679 6
HHF♀ × TTF♂	$y = 0.709 6x + 2.557 2$	0.768 9
TTF♀ × GDF♂	$y = 1.305 5x - 7.747 7$	0.742 8
GDF♀ × TTF♂	$y = 1.272 7x - 6.345 1$	0.442 1

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

表 5 鲂属鱼类不同组合子代肌间骨长度 (mm) 与体重 (g) 比值的比较

Table 5 The ratio of intermuscular bones' length (mm) to body weight (g) in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	躯干轴上肌 Front dorsal part	尾部轴上肌 Rear dorsal part	躯干轴下肌 Front abdominal part	尾部轴下肌 Rear abdominal part
自交 Inbreds				
TTF♀ × TTF♂	0.18 ± 0.04^{aA}	0.15 ± 0.03^{acA}	0.13 ± 0.02^{bcAC}	0.14 ± 0.03^{aA}
SJF♀ × SJF♂	0.14 ± 0.03^{aB}	0.12 ± 0.03^{acB}	0.09 ± 0.02^{bB}	0.11 ± 0.02^{bcB}
HHF♀ × HHF♂	0.19 ± 0.05^{aAC}	0.16 ± 0.05^{abAC}	0.14 ± 0.04^{bAC}	0.15 ± 0.04^{bAC}
GDF♀ × GDF♂	0.20 ± 0.04^{aA}	0.16 ± 0.03^{bA}	0.14 ± 0.03^{cAC}	0.14 ± 0.03^{bcAC}
杂交 Hybrids				
TTF♀ × SJF♂	0.18 ± 0.03^{aA}	0.15 ± 0.03^{bA}	0.12 ± 0.03^{cA}	0.14 ± 0.03^{bcA}
SJF♀ × TTF♂	0.19 ± 0.04^{aA}	0.15 ± 0.03^{bA}	0.13 ± 0.03^{cAC}	0.14 ± 0.03^{bcA}
TTF♀ × HHF♂	0.17 ± 0.04^{aAB}	0.13 ± 0.03^{bAB}	0.11 ± 0.03^{cA}	0.12 ± 0.03^{bcAB}
HHF♀ × TTF♂	0.16 ± 0.05^{aAB}	0.14 ± 0.05^{abA}	0.11 ± 0.04^{bAB}	0.13 ± 0.04^{bAB}
TTF♀ × GDF♂	0.19 ± 0.04^{aAC}	0.15 ± 0.03^{bA}	0.13 ± 0.05^{cAC}	0.15 ± 0.04^{bAC}
GDF♀ × TTF♂	0.22 ± 0.03^{aA}	0.18 ± 0.03^{bC}	0.14 ± 0.03^{cC}	0.16 ± 0.03^{bC}

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。同行数据后有相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，同列数据后有相同大写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*. The values with the same superscript lowercase letter in the same line mean no significant difference ($P > 0.05$).

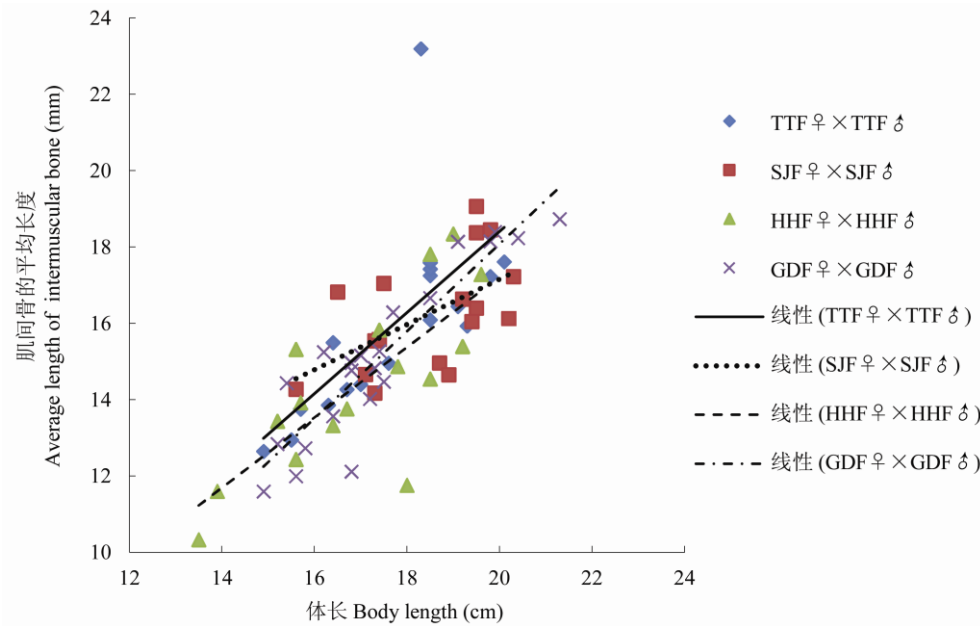


图 3 四种鲂自交子代体长 (cm) 与肌间骨长度 (mm) 的关系

Fig. 3 The linear relationship of body length (cm) and intermuscular bones' length (mm) in sampling fish from different inbreeding groups

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

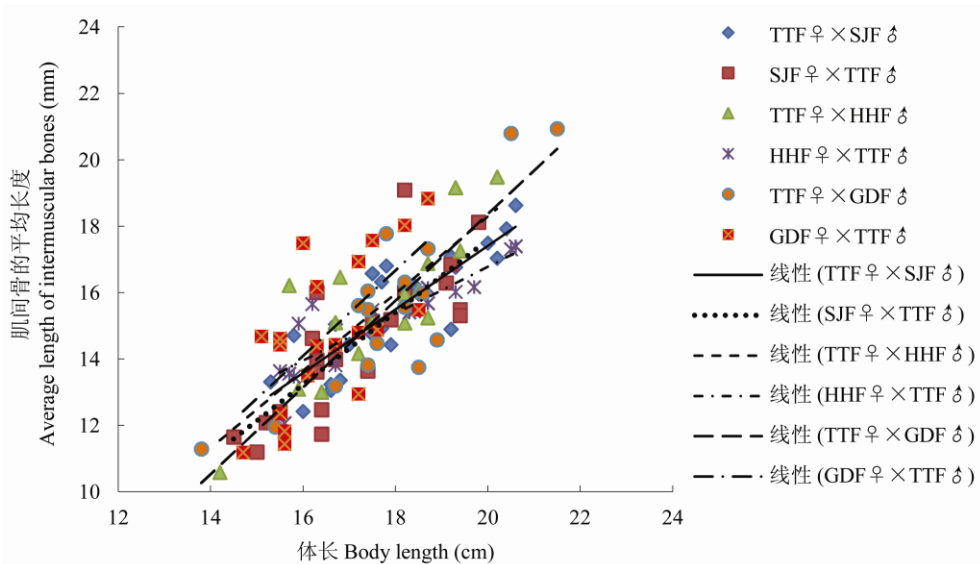


图 4 鲂属杂交交子代体长 (cm) 与肌间骨长度 (mm) 的关系

Fig. 4 The linear relationship of body length (cm) and intermuscular bones' length (mm) in sampling fish from different hybrid groups

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

躯干轴上肌的肌间骨数目最多, 其肌间骨数目范围为 19~22, 且肌间骨的形态比较复杂, 两端分叉形和“y”形在躯干轴上肌分布的比较多, “(”形和“卜”基本没有, 而尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨的数目基本相等, 且形态主要以“1”形为主, 肌间骨的形态比较简单, 躯干轴下肌的肌间骨数目最少, 且形态单一(表 6)。在同一子代中, 尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨数目基本相同, 但在团头鲂自交(TTF♀ × TTF♂)、厚颌鲂自交(HHF♀ × HHF♂)、团头鲂与广东鲂杂交(TTF♀ × GDF♂)子代尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨数目存在显著性差异($P < 0.05$), 其他组合中尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨数目不存在显著性差异($P > 0.05$)(表 6)。在自交和杂交后代肌间骨形态数目比较中, “1”形和“y”形的数目最多, 与“卜”形、一端多叉形、两端多叉形和“(”形 4 种形态肌间骨的数目有显著性差异($P < 0.05$)(表 7)。在 4 种鲂自交组合的肌间骨形态比较中, 团头鲂自交(TTF♀ × TTF♂)子代的肌间骨形态最为复杂。在躯干轴上肌的肌间骨中, 团头鲂自交(TTF♀ × TTF♂)子代的两端分叉形的肌间骨数目多, 而“y”形的肌间骨数目少。

3 讨论

本研究对鲂属 3 种鱼类(三角鲂、厚颌鲂、广东鲂)的肌间骨进行了报道, 并基于杂交繁育, 对团头鲂与鲂属另外这 3 种鱼类的正反交子代肌间骨形态进行了比较研究。结果表明, 在四种鲂自交后代肌间骨数目比较中, 厚颌鲂自交(HHF♀ × HHF♂)子代的肌间骨数目最少, 各杂交组合子代与其对应亲本自交后代的肌间骨数目相近, 无显著性差异($P > 0.05$)。钟泽洲(2014)研究发现, 二倍体鲂鲌 F1(团头鲂♀ × 翘嘴红鲌 *Erythroculter ilishaeformis*♂)♀ × 团头鲂♂杂交后代翘嘴鲌的肌间骨数目显著低于其母本二倍体鲂鲌 F1, 表明远缘杂交可作为减少肌间骨数目的一种遗

传改良方法。但本研究结果没有获得肌间骨数目明显减少的杂交组合, 这可能是因为鲂属鱼类之间的亲缘关系太近, 本身其肌间骨数目相差不大, 其杂交并不能使子代肌间骨数目减少。

不同杂交组合子代身体左右两侧肌间骨的数目基本上不完全相等, 但总体上左右两侧肌间骨的数目比较接近, 这与孟庆闻等(1987)比较解剖鲢的肌间骨是两侧成对分布的结果不同, 但后来国内学者的研究发现鱼类的肌间骨并不呈两侧对称分布(董在杰等 2006, 吕耀平等 2007), 与本研究得到的结论是相同的。在同一杂交或自交后代中, 虽然子代的体重差异比较大, 但个体之间肌间骨数目无明显变化。尾部轴上肌和尾部轴下肌的肌间骨数目也相差不大, 无显著差异($P > 0.05$), 这与对团头鲂等鲤科鱼类肌间骨的研究(董在杰等 2006)结果一致。

目前仅有万世明等(2014)测量了团头鲂肌间骨长度。本研究结果显示, 在同一杂交子代群体中, 体重和体长与肌间骨的长度呈线性相关, 与万世明等(2014)的研究结果一致。广东鲂自交(GDT♀ × GDF♂)和团头鲂与广东鲂杂交(TTF♀ × GDF♂)及广东鲂与团头鲂杂交(GDF♀ × TTF♂)子代的肌间骨长度随着体重的增加而增长的幅度较大。

低等真骨鱼类的肌间骨以简单的形态(“Y”形、“卜”形、“T”形)为主, 随着鱼类由低等向高等的演化, 肌间骨的形态也发生了许多变化, 特别是鲤科鱼类肌间骨的形态结构已经变得非常复杂(邓子真 1959)。关于肌间骨的形态类型, 苏锦祥等(1989)对鲢肌间小骨发育形态学观察研究中, 把鲢的肌间骨分为 4 种类型: “1”形(包括两端没有分叉和有细小分叉)、“卜”形、“y”形和树枝形(粗短, 两端分支颇多)。董在杰等(2006)对几种常见鲤科鱼类肌间骨的初步研究, 则将其分为两种类型, “1”形和“y”形, 其他形态均是在这两种基础上的分化形。根据形态的复杂程度, 本研究采用万世明等(2014)的分类方法, 将肌

表 6 不同鲂属杂交子代肌间骨的形态统计

Table 6 The statistics of various intermuscular bones' distribution in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	分布 Distribution	“1”形 “1” type	“y”形 “y” type	一端分叉形 One-end multi-fork type	两端分叉形 Two-end multi-fork type	“(”形 “(” type	“卜”形 “卜” type	总数 Total
自交 Inbreds								
TTF♀ × TTF♂	FD	1	10	3	7	0	0	21 ^a
	RD	13	3	1	0	0	2	19 ^b
	FA	0	2	0	0	0	0	2 ^c
	RA	13	3	1	0	0	1	18 ^d
SJF♀ × SJF♂	FD	1	12	3	4	0	0	20 ^a
	RD	12	4	1	0	0	2	19 ^b
	FA	0	1	0	0	0	0	1 ^c
	RA	11	4	1	0	0	1	17 ^b
HHF♀ × HHF♂	FD	1	10	3	5	0	0	19 ^a
	RD	12	4	1	0	0	2	19 ^b
	FA	0	1	0	0	0	0	1 ^c
	RA	12	4	1	0	0	1	18 ^b
GDF♀ × GDF♂	FD	2	11	4	4	0	0	21 ^a
	RD	12	5	1	0	0	1	19 ^b
	FA	1	1	0	0	0	1	3 ^c
	RA	13	4	0	0	0	1	18 ^b
杂交 Hybrids								
TTF♀ × SJF♂	FD	1	9	2	10	0	0	22 ^a
	RD	12	3	2	0	0	2	19 ^b
	FA	1	1	0	0	0	0	2 ^c
	RA	11	4	1	0	0	1	17 ^b
SJF♀ × TTF♂	FD	1	13	3	5	0	0	22 ^a
	RD	13	3	1	0	0	1	18 ^b
	FA	1	2	0	0	0	0	3 ^c
	RA	12	3	1	0	0	1	17 ^b
TTF♀ × HHF♂	FD	0	7	3	10	0	0	20 ^a
	RD	11	4	2	0	0	2	19 ^a
	FA	0	1	0	0	1	0	2 ^b
	RA	11	3	2	0	1	1	18 ^a
HHF♀ × TTF♂	FD	2	10	3	7	0	0	22 ^a
	RD	12	3	2	0	0	2	19 ^b
	FA	0	1	0	0	0	0	1 ^c
	RA	12	4	1	0	0	1	18 ^b
TTF♀ × GDF♂	FD	1	9	2	8	0	0	20 ^a
	RD	13	5	1	0	0	1	20 ^a
	FA	1	1	0	0	0	0	2 ^b
	RA	13	4	0	0	0	1	18 ^c
GDF♀ × TTF♂	FD	1	10	3	7	0	0	21 ^a
	RD	11	4	2	0	0	2	19 ^a
	FA	1	2	0	0	1	0	4 ^b
	RA	11	4	2	0	0	1	18 ^c

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。同一组合内, 标注不同字母表示肌间骨数目存在显著性差异 ($P < 0.05$)。FD. 躯干轴上肌; RD. 尾部轴上肌; FA. 躯干轴下肌; RA. 尾部轴下肌。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*. In the same group, the values with different letters mean significant difference for the different parts ($P < 0.05$). FD. Front dorsal part; RD. Rear dorsal part; FA. Front abdominal part; RA. Rear abdominal part.

表 7 鲂属鱼类不同组合子代肌间骨形态数目的比较

Table 7 The number of various intermuscular bones in sampling fish from different groups

组合种类 Combination type	“1”形 “1” type	“y”形 “y” type	一端分叉形 One-end multi-fork type	两端分叉形 Two-end multi-fork type	“(”形 “(” type	“卜”形 “卜” type
自交 Inbreds						
TTF♀ × TTF♂	27 ± 3 ^{aBE}	18 ± 4 ^{bAD}	5 ± 2 ^{cAB}	8 ± 4 ^{dADF}	1 ± 1 ^{eBF}	3 ± 2 ^{cAB}
SJF♀ × SJF♂	25 ± 5 ^{aAB}	20 ± 3 ^{bBD}	5 ± 3 ^{cAB}	5 ± 3 ^{cBC}	1 ± 1 ^{dAB}	3 ± 2 ^{cdA}
HHF♀ × HHF♂	25 ± 4 ^{aAB}	20 ± 4 ^{bAB}	5 ± 3 ^{cAB}	5 ± 4 ^{cBD}	0 ± 1 ^{dBC}	3 ± 2 ^{eA}
GDF♀ × GDF♂	27 ± 4 ^{aBD}	21 ± 4 ^{bBE}	5 ± 5 ^{cAB}	3 ± 4 ^{ceBE}	0 ± 1 ^{dBE}	2 ± 1 ^{edBC}
杂交 Hybrids						
TTF♀ × SJF♂	24 ± 4 ^{aA}	17 ± 5 ^{bA}	5 ± 3 ^{ceA}	10 ± 5 ^{dA}	1 ± 1 ^{eA}	3 ± 2 ^{eA}
SJF♀ × TTF♂	28 ± 4 ^{aB}	21 ± 4 ^{bB}	5 ± 2 ^{eB}	5 ± 5 ^{cB}	0 ± 0 ^{dB}	1 ± 1 ^{dB}
TTF♀ × HHF♂	23 ± 5 ^{aA}	14 ± 5 ^{bC}	7 ± 4 ^{cAC}	10 ± 5 ^{cAF}	1 ± 2 ^{dA}	3 ± 1 ^{dAB}
HHF♀ × TTF♂	25 ± 8 ^{aAB}	20 ± 7 ^{bAB}	5 ± 5 ^{cAB}	5 ± 9 ^{cBF}	1 ± 1 ^{dAB}	3 ± 3 ^{cdA}
TTF♀ × GDF♂	28 ± 4 ^{aBC}	18 ± 4 ^{bAB}	3 ± 2 ^{cAB}	8 ± 4 ^{dADF}	0 ± 1 ^{dBd}	2 ± 2 ^{cAB}
GDF♀ × TTF♂	23 ± 5 ^{aA}	19 ± 4 ^{bAB}	7 ± 4 ^{cC}	8 ± 4 ^{cADF}	1 ± 1 ^{dACDEF}	3 ± 2 ^{dA}

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。同行数据后有相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，同列数据后有相同大写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*. The values with the same superscript lowercase letter in the same line mean no significant difference ($P > 0.05$). The values with the same superscript capital letter in the same column mean no significant difference ($P > 0.05$).

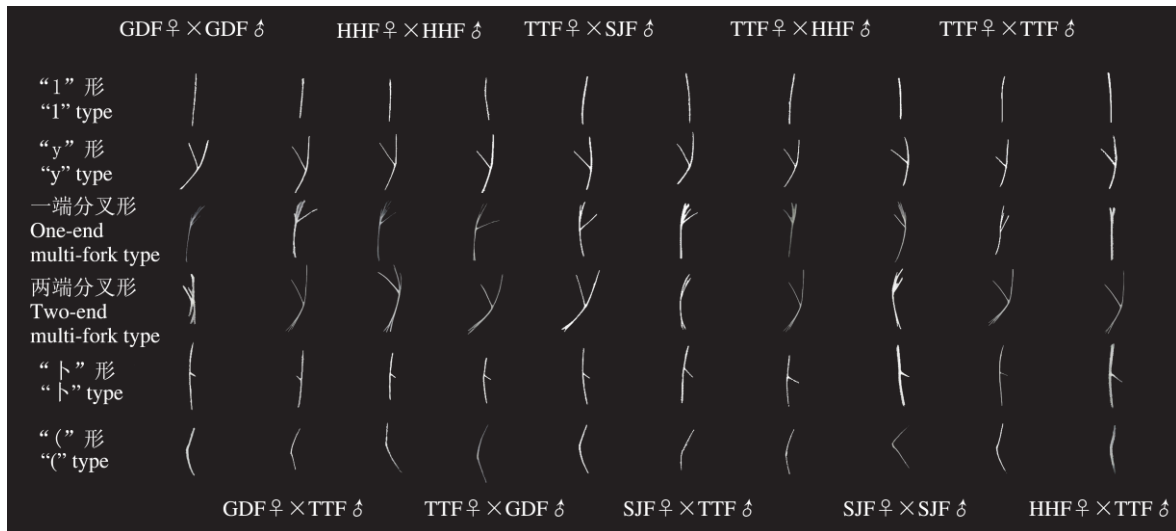


图 5 不同鲂属杂交子代肌间骨形态

Fig. 5 The morphological patterns of intermuscular bones in sampling fish from different breeding groups

TTF. 团头鲂; SJF. 三角鲂; HHF. 厚颌鲂; GDF. 广东鲂。

TTF. *Megalobrama amblycephala*; SJF. *M. skolkovii*; HHF. *M. pellegrini*; GDF. *M. terminalias*.

间骨形态归纳为 6 种类型, 分别为“1”形、“卜”形、“y”形、一端多叉形、两端多叉形和“(”形。鱼类肌间骨的形态表现出多样性 (Karsenty et al. 2002), 且与存在部位有一定关系。本研究发现, 不论是亲本还是杂交子代, 都是躯干轴上肌的肌间骨形态最为复杂, 而尾部的肌间骨形态较简单, 实验结果与董在杰等 (2006) 对团头鲂等鲤科鱼类的研究结果一致。本研究发现亲本比杂交子代的肌间骨形态复杂, 与翘嘴鲌及其亲本肌间骨的比较分析 (钟泽洲 2014) 的研究结果一致, 鲂鲌 F1 的肌间骨形态比亲本团头鲂和翘嘴红鲌的肌间骨形态简单, 但其具体的产生原因有待进一步研究。

参 考 文 献

- Karsenty G, Wagner E F. 2002. Reaching a genetic and molecular understanding of skeletal development. *Developmental Cell*, 2(4): 389–406.
- Patterson C, Johnson G D. 1995. *The Intermuscular Bones and Ligaments of Teleostean Fishes*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1–85.
- 秉志. 1962. 幼鲤大侧肌隔骨针的观察. *动物学报*, 14(2): 175–178.
- 邓子真. 1959. 鲫鱼骨骼的研究. *动物学报*, 11(2): 236–252.
- 董在杰, 黄代中, 李丽娟, 等. 2006. 几种常见鲤科养殖鱼类肌间刺的初步研究. *上海水产大学学报*, 15(4): 425–429.
- 柯中和, 张炜, 蒋燕, 等. 2008. 鲢肌间小骨发育的形态学观察. *动物学杂志*, 43(6): 88–96.
- 黎玲, 钟泽洲, 曾鸣, 等. 2013. 不同倍性鱼肌间骨的比较分析. *中国科学: 生命科学*, 43(3): 189–200.
- 吕耀平, 鲍宝龙, 蒋燕, 等. 2007. 低等真骨鱼类肌间骨的比较分析. *水产学报*, 31(5): 661–668.
- 马良骁, 董在杰, 苏胜彦, 等. 2012. 鱼类肌间刺的研究进展. *江苏农业科学*, 40(4): 234–235.
- 孟庆闻, 苏锦祥, 李婉端. 1987. *鱼类比较解剖*. 北京: 科学出版社, 102–103.
- 苏锦祥, 孟庆闻, 唐宇平. 1989. 团头鲂骨骼系统的发育. *水生生物学报*, 13(1): 1–14.
- 万世明, 易少奎, 仲嘉, 等. 2014. 团头鲂肌间骨发育的形态学观察. *水生生物学报*, 38(6): 1143–1151.
- 王卫民. 2009. 团头鲂养殖产业现状. *科学养鱼*, (4): 44–45.
- 谢从新. 2010. *鱼类学*. 北京: 中国农业出版社, 56–57.
- 张建江, 范翠红. 2003. 三角鲂的养殖. *渔业致富指南*, (3): 38.
- 张磊. 2010. 淡水养殖新宠——厚颌鲂. *河北渔业*, (3): 15–16, 40.
- 钟泽洲. 2014. 翘嘴鲌及其亲本肌间骨的比较分析. 长沙: 湖南师范大学硕士学位论文.
- 朱新平, 陈永乐. 1998. 广东鲂的养殖技术. *科学养鱼*, (4): 16.