

引用格式:刘潮,薛凌展,廖梦香,等.温州光唇鱼与半刺厚唇鱼双列杂交子代胚胎发育及生长特性[J].福建农林大学学报(自然科学版), 2025,54(3):355-364.

LIU C, XUE L Z, LIAO M X, et al. Embryonic development and growth characteristics of diallel hybrid progeny of *Acrossocheilus wenzhungensis* and *A.hemispinus*[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2025,54(3):355-364.

温州光唇鱼与半刺厚唇鱼双列杂交子代 胚胎发育及生长特性

刘 潮^{1,2}, 薛凌展^{1,2}, 廖梦香², 陈度煌^{1,2}, 胡振禧², 吴 斌^{1,2}
(1.福建农林大学海洋学院;2.福建省淡水水产研究所,福建 福州 350002)

摘要:【目的】探究温州光唇鱼(WW)与半刺厚唇鱼(HH)杂交子代的胚胎发育情况和生长特性,为光唇鱼优质品种的杂交选育提供依据。【方法】以温州光唇鱼和半刺厚唇鱼为亲本进行双列杂交,获得正交组(WH)、反交组(HW),以及自交组(WW和HH),观察子代胚胎发育特征,并分析4个试验组的受精率、孵化率以及仔鱼生长性能。【结果】获得可存活正、反交子代,胚胎发育表现出偏母本遗传特性;不同母本的受精卵在眼晶体形成期与肌肉效应期的发生顺序出现差异;两杂交组合的受精率均显著高于两自交组合,两杂交组合的孵化率与HH组差异不显著,但均显著高于WW组;杂交子代幼鱼早期的生长速度表现出偏父本遗传特性,且均低于WW组。经120 d养殖试验,杂交子代在肥满度上均高于自交组,但其体质量和体长并未表现出杂交的中亲优势。【结论】温州光唇鱼和半刺厚唇鱼可进行杂交,子代可正常发育且反交组生长速度优于其母本自交组。

关键词:温州光唇鱼;半刺厚唇鱼;种间杂交;胚胎发育;生长优势

中图分类号:S961.5

文献标识码:A

文章编号:1671-5470(2025)03-0355-10

DOI:10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).202411021



开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

Embryonic development and growth characteristics of diallel hybrid progeny of *Acrossocheilus wenzhungensis* and *A.hemispinus*

LIU Chao^{1,2}, XUE Lingzhan^{1,2}, LIAO Mengxiang², CHEN Duhuang^{1,2}, HU Zhenxi², WU Bin^{1,2}

(1.College of Marine Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University; 2.Freshwater Fisheries Research Institute of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract:【Objective】The embryonic development and growth characteristics of hybrid offspring of *Acrossocheilus wenchowensis*(WW) and *A.hemispinus* (HH) were explored to provide a basis for the cross-breeding and selection of high-quality varieties of *Acrossocheilus*. 【Method】*A.wenchowensis* and *A.hemispinus* were utilized as parental species for diallel hybridization, resulting in the formation of orthogonal group (WH), reciprocal cross group (HW), and inbred groups (WW and HH). The embryonic development characteristics of the offsprings were observed, with analyses on the fertilization rate, hatching rate, and larval growth performance across the 4 experimental groups. 【Result】Some surviving orthogonal and reciprocal cross offsprings were obtained, and their embryonic development showed certain characteristics of maternal inheritance. There were differences in the order of eye lens formation stage and muscular response stage between fertilized eggs with different female parents. The fertilization rates of both hybrid combinations were significantly higher than that of the 2 inbred combinations. The hatching rates of both hybrid combinations did not differ significantly from that of HH group, yet markedly higher than that of WW group. The early growth rates of hybrid progenies showed biased paternal characteristics, and were lower than that of WW group. After cultured for 120 d, the hybrid offsprings were higher in fatness than those of inbred

收稿日期:2024-11-13 修回日期:2025-02-14

基金项目:福建省海洋服务与渔业高质量发展专项资金项目(FJHY-YYKJ-2022-2-7);福建省种业创新与产业化开发工程项目(2021FJSCZY04)。

通信作者:吴斌(1978—),男,正高级农艺师。研究方向:水产动物病害分子免疫学。Email:wubinfire@126.com。

groups, but had no mid-parent heterosis in body weight and full length. 【Conclusion】*A.wenzhungsensis* and *A.hemispinus* could be successfully crossed, and the growth rate of the reciprocal cross group was higher than that of maternal inbred group.

Key words: *Acrossocheilus wenchowensis*; *Acrossocheilus hemispinus*; interspecific hybridization; embryonic development; growth advantage

温州光唇鱼(*Acrossocheilus wenchowensis*)和半刺厚唇鱼(*A. hemispinus*)均属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鲃亚科(Barbinae)光唇鱼属(*Acrossocheilus*)^[1],统称光唇鱼,主要分布于福建、浙江等地,两者的生物学特性及生活习性相近。光唇鱼肌肉中含有 18 种氨基酸和 20 余种脂肪酸(包括 7 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸)^[2],营养价值丰富,是我国南方常见的优质淡水食用鱼类。温州光唇鱼和半刺厚唇鱼作为我国南方(福建、浙江和广东等地)溪流性鱼类的主要养殖品种^[3],市场认可度高,价格稳定,养殖前景广阔。

种间杂交(interspecific hybridization)是指不同物种之间,虽然存在遗传基因上的不同,但由于繁殖习性相近,配子能够相互融合,从而产生杂交后代的杂交方式^[4],也是远缘杂交(distant hybridization)中亲本关系最近的一种育种方式^[5]。我国自 20 世纪中期开始进行鱼类杂交育种工作,至今已经通过种间杂交的方式得到相当多的优良养殖品种,如福寿鱼[莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)♀×尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)♂]^[6]、湘云鲤(丰鲤♀×鲫鲤杂交四倍体♂)^[7]、柏元鲤[元江鲤(*Cyprinus carpio rubrofasciatus*)♀×柏氏鲤(*Cyprinus pellegrini*)♂]^[8]、高邮杂交鲫[鲫(*Carassius auratus auratus*)♀×白鲫(*Carassius auratus cuvieri*)♂]^[9]等。这些通过种间杂交选育出的新品种或新品系在外形、生长性能、抗逆性等方面表现出杂种优势。

目前针对光唇鱼的研究主要包括胚胎与仔鱼发育^[10-15]、人工繁育^[16-18]、组织发育^[19-21]、养殖模式^[22-23]、形态学^[20,24]以及病害防治^[25-26]等方面,但以光唇鱼为亲本开展的种间杂交繁育尚未见报道。金灿彪等^[27]用宽口光唇鱼(*Acrossocheilus monticolus*)与多鳞白甲鱼(*Scaphesthes macrolepis*)进行属间杂交,培育出了具备一定生长优势和较强抗病力的杂交后代。本研究以温州光唇鱼和半刺厚唇鱼为亲本开展完全双列杂交试验,观察杂交子代胚胎的发育特征,并对比杂交与自交子代在胚胎发育

和仔鱼生长性能方面的差异,为后续杂交选育优质光唇鱼品种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验对象

试验所用温州光唇鱼和半刺厚唇鱼亲本均取自福建省淡水水产研究所繁育基地(柘荣县森鑫生态农业有限公司)。温州光唇鱼平均体长(17.90 ± 0.32) cm,平均体质量(68.95 ± 3.91) g(图 1);半刺厚唇鱼平均体长(20.18 ± 0.26) cm,平均体质量(103.47 ± 3.46) g(图 2)。选取亲本 40 条(温州光唇鱼 24 条,半刺厚唇鱼 16 条)注射催产素(宁波市第二激素厂),包括促黄体素释放激素类似物(LRH-A₂)、马来酸地欧酮(DOM)及绒毛膜促性腺激素(HCG),胸鳍基部注射,雌鱼每公斤体质量注射 LRH-A₂ 1000 IU、HCG 10 μg 和 DOM 5 mg,雄鱼剂量减半,催产水温为 23 ℃,效应时间为 18 h。采取干法人工授精,共得到 2 组杂交和 2 组自交子代,分别为正交组(WH,温州光唇鱼♀×半刺厚唇鱼♂)、反交组(HW,半刺厚唇鱼♀×温州光唇鱼♂)、温州光唇鱼自交组(WW,温州光唇鱼♀×温州光唇鱼♂)、半刺厚唇鱼自交组(HH,半刺厚唇鱼♀×半刺厚唇鱼♂)。本试验经福建省淡水水产研究所实验动物伦理委员会批准,审批号:FFRIFJ-DW-23-19(批准日期:2023 年 5 月 3 日)。

1.2 受精卵孵化和胚胎发育观察

取 4 个试验组的受精卵各 500 粒,置于 80 cm×40 cm×20 cm 的孵化筐中进行孵化,孵化水温为 25~26 ℃,保持溶氧 6 mg·L⁻¹以上,微流水孵化,暗光,每天光照时间约 12 h。连续跟踪观察受精卵,每组每次随机取 50 粒卵,卵裂期结束后每 10 min 拍照、观察一次,用解剖镜(Olympus BX-51)进行拍照。各发育阶段的判定以每次总卵数的 50%以上出现该阶段的发育特征为准。自出膜之日起至 30 日龄,每日随机选取 5 尾仔鱼测量体长,之后每隔 15 d 测量一次,直至仔鱼生长至 90 日龄。



图1 温州光唇鱼

Fig.1 *A. wenchowensis*



图2 半刺厚唇鱼

Fig.2 *A. hemispinus*

1.3 仔鱼生长性能测定

4组试验鱼的生长性能测定试验在温棚内的玻璃钢桶中进行,圆桶内径3.0 m,高度1.2 m,有单独进、排水系统和微孔增氧设施。每组随机取500尾相同日龄的仔鱼进行试验,4组的初始单尾平均体质量分别为4.36(WH)、4.14(HW)、4.63(WW)、4.42 g(HH),按照每日2%~3%投饵率进行喂食,每天8:00和17:00投喂两次,每日投喂量根据前一天吃食情况和当天天气情况适当加减,吃食1 h后及时捞起残饵,每天换水1/3~1/2,保持水质,观察鱼吃食和死亡情况。每隔30 d随机捞取10尾鱼,测量体质量、体长,试验周期为120 d。计算4组子代的体长绝对增长率(A_L)、体质量绝对增长率(A_G)、肥满度(K)、中亲优势率(H_{MP})和超亲优势率(H_{BP})^[28],并进行比较。

$$A_L/\% = \frac{(L_2 - L_1)}{(t_2 - t_1)} \times 100 \tag{1}$$

$$A_G/\% = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \times 100 \tag{2}$$

$$K = \frac{W}{L^3} \times 100\% \tag{3}$$

$$H_{MP}/\% = \frac{F - P}{P} \times 100 \tag{4}$$

$$H_{BP}/\% = \frac{F - P_0}{P_0} \times 100 \tag{5}$$

式中: W 为体质量(g); L 为体长(cm); W_2 、 W_1 和 L_2 、 L_1 分别为时间 t_2 、 t_1 时的体质量和体长; F 表示

杂交子代的表型值; P 表示自交子代的表型值; P_0 表示双亲中较优良的一个亲本自交子代的表型值。

1.4 数据统计与分析

利用Excel 2016和SPSS 26软件进行数据处理与分析,数据以平均值±标准差表示。采用单因素ANOVA检验差异显著性, $P<0.05$ 表示组间具有统计学意义。

2 结果与分析

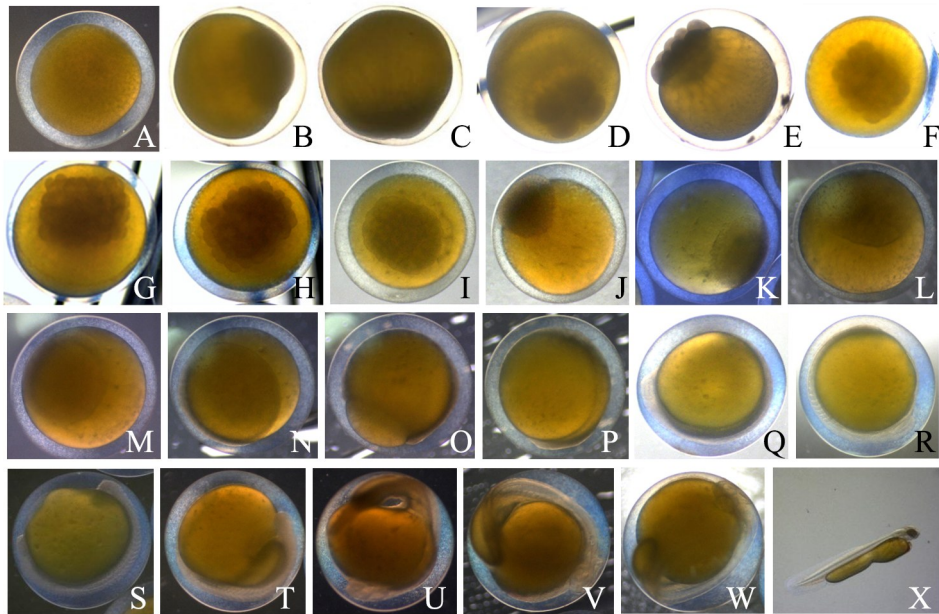
2.1 胚胎发育

对4组受精卵发育情况进行持续跟踪观察,记录4组胚胎发育过程。结果发现,4组胚胎发育阶段相似,均经历了受精卵、胚盘隆起、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期和孵化期共8个阶段。以WH组为例,其胚胎发育过程又细分为24个时期(图3)。在相同的孵化条件下,4个试验组的发育时间略有不同(表1):HH组卵孵化用时最久(62.15 h),HW组(61.80 h)次之,WW组卵孵化用时最短(47.05 h);杂交组受精卵的发育时间与其母本自交组接近,WH组卵孵化用时比WW组多用时近5 min,HW组比HH组少用时21 min。

2.1.1 受精卵 光唇鱼卵呈圆球形,颜色为金黄色,属于弱黏性沉性卵,成熟卵卵径约2.50 mm,受精后卵周隙扩大,卵径达(3.05±0.18) mm。

2.1.2 胚盘隆起 卵受精后约25 min,细胞质开始向动物极移动和集中;受精后约50 min胚盘隆起至最高,其高度约为卵径的1/4。

2.1.3 卵裂期 受精后约1.22 h,受精卵开始第1次卵裂,分裂为2个相同大小的分裂球,此时为2细胞期;约10 min后胚胎进行第2次卵裂,分裂为4个等体积分裂球,此时为4细胞期;约12 min后开始第3次卵裂,胚胎分裂出8个左右整齐排列的分裂球,此时为8细胞期;约19 min后,胚盘进行第4次分裂,此时为16细胞期;约15 min后继续第5次分裂,形成4排整齐的分裂球,每排8个,此时为32细胞期;约10 min后胚盘完成第6次分裂,进入64细胞期,此时分裂球的排列已经相当紧密,但各分裂球大小仍比较均一,且各自之间的界限清晰;此后继续进行分裂,每个分裂球变得更小,分裂球大小出现较为明显的差异,分裂球的间隙也变得模糊,此时为受精后约3.13 h,达多细胞期。



A.受精卵;B.胚盘隆起;C.2 细胞期;D.4 细胞期;E.8 细胞期;F.16 细胞期;G.32 细胞期;H.64 细胞期;I.多细胞期;
J.囊胚早期;K.囊胚中期;L.囊胚晚期;M.原肠早期;N.原肠中期;O.原肠晚期;P.神经胚期;Q.肌节形成期;
R.眼囊期;S.尾芽期;T.尾鳍褶出现;U.肌肉效应期;V.眼晶体形成期;W.心跳期;X.孵化期。

A.Fertilized eggs; B.Embryonic disc elevation; C.2-cell stage; D.4-cell stage; E.8-cell stage; F.16-cell stage; G.32-cell stage; H.64-cell stage;
I.Multicellular stage; J.Early-blastula stage; K.Mid-blastula stage; L.Late-blastula stage; M.Early-gastrulastage stage; N.Mid-gastrulastage stage;
O.Late-gastrulastage stage; P.Neurula stage; Q.Appearance of myomere; R.Optic capsule stage; S.Caudal bud stage; T.Caudal fin fold
appearance; U.Muscle response stage; V.Eye lens formation stage; W.Heart beating stage; X.Hatching stage.

图 3 杂交子代胚胎发育
Fig.3 Embryonic development of crossbred

表 1 胚胎发育时序¹⁾
Table 1 Timing sequence of embryonic development

发育阶段 Developmental stage	受精后时间/h Postfertilization time			
	WH	HW	WW	HH
受精卵 Fertilized egg	0	0	0	0
胚盘隆起 Embryonic disc elevation	0.88±0.06b	0.95±0.04a	0.83±0.02b	0.87±0.02b
卵裂期 Cleavage stage	3.13±0.15b	3.33±0.22a	2.95±0.12c	3.17±0.23b
囊胚期 Blastula stage	7.40±0.22b	7.67±0.17a	7.37±0.15b	7.50±0.13b
原肠期 Gastrula stage	15.80±0.18a	15.95±0.21a	15.77±0.14a	15.82±0.16a
神经胚期 Neurula stage	18.18±0.16a	18.28±0.23a	18.07±0.11b	18.22±0.14a
器官形成期 Organogenesis stage	43.97±0.56b	44.33±0.74b	42.60±1.05c	45.30±0.86a
孵化期 Hatching stage	47.13±1.13b	61.80±0.89a	47.05±0.75b	62.15±0.66a

¹⁾ 同行数据后附不同字母者表示不同样本间差异显著 ($P<0.05$)。
Different letters within the same row indicate significant differences among different samples ($P<0.05$).

2.1.4 囊胚期 受精后约 4.67 h 分裂继续进行,开始向顶部延伸,组成的囊胚层高隆起,此时为囊胚早期;接着囊胚层逐渐变薄并向下延伸,囊胚层高度明显降低,此时为囊胚中期;约 2.70 h 后囊胚层逐渐变低、变扁,进入囊胚晚期。

2.1.5 原肠期 受精后约 10.53 h 囊胚层开始延伸并向卵黄囊部分下包,下包部分约占整个卵黄囊的 1/3,形成胚环,此时为原肠早期;约 1.63 h 后囊胚层继续下包,胚环隆起明显,形成胚盾,囊胚层外包

1/2~2/3,此时为原肠中期;之后胚层下包至胚体 4/5 处,胚体底部形成胚孔,此时为原肠晚期。

2.1.6 神经胚期 受精后约 18.18 h,囊胚层几乎完全下包,胚体背部增厚,胚体的形态初步显现。

2.1.7 器官形成期 受精后约 19.80 h,胚体中部出现 4~6 对肌节;约 1.37 h 后,胚体头部两侧形成两个椭圆形凹陷,眼囊形成,此时为眼囊期;约 3.35 h 后,胚体尾部出现芽状突起,部分受精卵的卵黄囊底部形状发生改变,此时为尾芽期;随着尾芽继续伸长,

其边缘向外突出形成尾鳍褶;约 11.40 h 后,胚体肌肉能够收缩并出现无节律的颤动,此时为肌肉效应期;约 15.97 h 后,眼囊中间凹陷处出现晶状体;约 24.17 h 后,胚体心脏开始搏动,胚体无节律的抽动更加频繁,此时为心跳期。HW 组与 HH 组会在受精后先形成眼晶体,再出现肌肉效应期。

2.1.8 孵化期 受精后约 47.13 h,卵膜变薄,卵黄囊体积明显缩小,胚胎在膜内剧烈翻动,以头部或尾部顶破卵膜,陆续孵化出膜。HW 组与 HH 组出膜耗时较 WH 组和 WW 组更久,约受精后 62.00 h。

2.2 受精孵化

如表 2 所示,温州光唇鱼和半刺厚唇鱼雌鱼的

催产率差异显著,WW 和 WH 组催产率均为 61.53%,HH 和 HW 则均为 25.00%。WH、HW、WW、HH 组的受精卵数量分别为 4 709、1 801、6 798、979 粒,受精率分别为 96.50%、90.17%、85.00%、73.45%,WH 和 HW 组的受精率显著高于 WW 和 HH 组的受精率。4 组的孵化结果也存在明显差异,WH 和 HW 组的孵化率分别为 87.87%和 86.64%,其中,WH 组的孵化率显著高于 WW 组(49.41%)和 HH 组(85.80%)。

表 2 杂交和自交组受精和孵化情况¹⁾

Table 2 Fertilization and hatching of hybrid and inbred groups

组别 Group(♀×♂)	催产率/% Induced labor rate	卵子数/粒 Number of eggs	受精卵数/粒 Number of fertilized eggs	受精率/% Fertilization rate	水花苗数/尾 Number of juveniles	孵化率/% Hatching rate
WH	61.53±0.17a	4 880±32.09b	4 709±25.68b	96.50±0.23a	4 138±191.77a	87.87±0.41a
HW	25.00±0.08b	1 998±12.56c	1 801±17.43c	90.17±0.39b	1 564±152.58c	86.64±0.26ab
WW	61.53±0.17a	7 999±90.18a	6 798±77.32a	85.00±0.42c	3 360±47.01b	49.41±0.84c
HH	25.00±0.17b	1 333±155.60d	979±117.17d	73.45±0.58d	840±20.17d	85.80±0.47b

¹⁾ 同列数据后附不同字母者表示不同样本间差异显著(P<0.05)。
Different letters behind data within the same column indicate significant differences among different samples (P<0.05).

2.3 仔鱼生长性能

4 组试验鱼生长状况如图 4 所示,体长与日龄均呈正相关关系。以体长为 y 轴,日龄为 x 轴,WH 和 HW 组线性回归方程分别为 $y=0.023\ 2x+1.153\ 1$

($R^2=0.936\ 5$)和 $y=0.016\ 2x+1.298\ 2$ ($R^2=0.922\ 1$), WW 和 HH 组的线性回归方程分别为 $y=0.020\ 7x+1.271\ 2$ ($R^2=0.932\ 9$)和 $y=0.018\ 2x+1.162\ 8$ ($R^2=0.912\ 8$)。

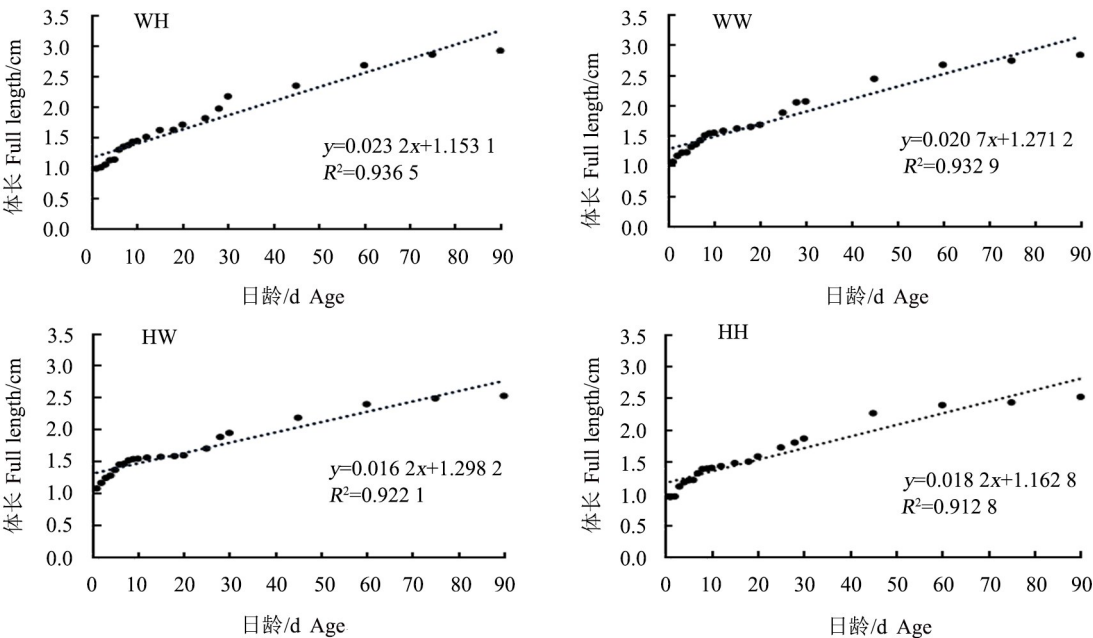


图 4 仔鱼生长回归分析

Fig.4 Regression analysis of larval growth

4 个试验组经 120 d 养殖后,子代生长性能出现了明显差异(表 3)。体长绝对增长率表现为 WW(7.72%)>HW(6.73%)>WH(5.74%)>HH(5.32%),体质量绝对增长率表现为 WW(3.47%)>HW(2.90%)>HH(2.74%)>WH(2.15%),肥满度

表现为 HW(0.84)>WH(0.72)>HH(0.60)>WW(0.44)。综上,WW 组的生长性能最具优势,HW 组次之,WH 组和 HH 组在体质量和体长上各有优势,但 WH 组肥满度更高。

表 3 杂交和自交子一代的生长性能比较¹⁾

Table 3 Comparison of growth performance between the 1st generation of hybrid and inbred offsprings							
组别 Group (♀×♂)	始均体长/cm Average initial full length	始均体质量/g Average initial weight	末均体长/cm Average final full length	末均体质量/g Average final weight	体长绝对增长率/% Absolute growth rate of full length	体质量绝对增长率/% Absolute weight growth rate	肥满度 Fatness
WH	7.44±1.17a	4.36±0.15b	10.06±0.22c	11.18±0.36c	5.74±0.25c	2.15±0.20c	0.72±0.04b
HW	7.35±0.69a	4.14±0.10c	10.78±0.32b	12.13±0.62b	6.73±0.34b	2.90±0.22b	0.84±0.03a
WW	7.55±0.59a	4.63±0.12a	11.73±0.33a	13.91±0.28a	7.72±0.23a	3.47±0.22a	0.44±0.04d
HH	7.29±0.74a	4.42±0.09b	10.48±0.15b	10.77±0.23c	5.32±0.30d	2.74±0.29b	0.60±0.05c

¹⁾ 同列数据后附不同字母者表示不同样本间差异显著($P<0.05$)。
Different letters behind data within the same column indicate significant differences among different samples ($P<0.05$).

通过中亲优势率和超亲优势率可以衡量杂种优势和超亲优势,但是 HW 组的生长速度比 WH 组更优势的强弱。如表 4 所示,在 120 d 的生长过程中,偏向双亲,这可能与养殖时间不够长有关。与自交组相比,WH 组和 HW 组并未表现出中亲优

表 4 杂交子一代中亲优势率与超亲优势率比较¹⁾

Table 4 Comparison of the rate of mid-parent and super-parent dominance in the hybrid generation					
性状 Trait	养殖时间/d Breeding time	中亲优势率/% Mid-parent heterosis rate		超亲优势率/% Super-parent heterosis rate	
		WH	HW	WH	HW
体长 Full length	30	2.66±0.49a	-0.56±0.10b	-0.12±0.34b	-3.61±0.38b
	60	-11.39±1.01a	-5.37±0.36b	-13.16±1.21a	-7.26±0.41b
	90	-6.31±1.29a	-8.37±0.35b	-8.16±0.55a	-10.17±0.27b
	120	-9.40±0.49a	-1.70±0.17b	-19.63±0.61a	-12.8±0.29b
体质量 Weight	30	-2.62±0.67a	-5.73±0.51a	-6.65±0.68a	-9.63±0.38b
	60	-8.48±0.87a	-5.15±0.41b	-14.58±1.21a	-11.48±0.29b
	90	-14.77±1.11a	-4.28±0.24b	-23.17±1.82a	-13.72±0.32b
	120	-9.41±0.66a	-2.93±0.14b	-14.24±1.29a	-8.10±0.19b

¹⁾ 正值表示杂交种在该性状表现出杂种优势,数值越大则杂种优势越显著。同行数据后附不同字母者表不同样本间差异显著($P<0.05$)。
Positive values imply heterosis in the traits, and the greater the values get, the more remarkable heterosis shows. Different letters behind data within the same row indicate significant differences among different samples ($P<0.05$).

3 讨论与结论

3.1 卵子特性

温州光唇鱼和半刺厚唇鱼的卵均为弱黏性沉性卵,从卵径方面看,与其他研究结果^[10-11]一致,温州光唇鱼成熟卵的卵径[(2.4±0.1) mm]略大于半刺厚唇鱼[(1.9±0.2) mm]。本研究,温州光唇鱼与半刺厚唇鱼正交组的卵径[(2.3±0.1) mm]略大于反交组[(1.9±0.2) mm]。仔鱼发育过程中,卵黄囊耗尽的时间一般与卵径的大小呈正相关^[29],本文中 HH 和 HW 两组仔鱼卵黄囊耗尽平均用时 6 d,而 WW 和 WH 两组仔鱼则用时 7 d,本试验结果符合这一观点。

3.2 胚胎发育

本研究中,杂交子代的胚胎均可正常发育,其发育过程与其母本自交组基本一致;在器官形成期之前,4 组胚胎经历相同的发育过程,但从受精后到各发育时期所需的时间存在一定差异;在器官形成的过程中,以温州光唇鱼为母本的两组卵与以半刺厚唇鱼为母本的两组卵的发育出现了差异。前者在尾牙期后,先出现肌肉效应期,再形成眼晶体和出现心脏的搏动,这与姜建湖等^[11]的研究结果一致;而后者与同属的宽口光唇鱼^[12]、云南光唇鱼(*A. yunnanensis*)^[14]以及同亚科的中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)^[30]和倒刺鲃(*Spinibarbus den-*

ticulatus)^[31]则会先形成眼晶体,接着胚体出现间歇性抽动,到达肌肉效应期,之后心脏出现搏动。这种发育机制的差异是鱼类长期进化的结果,其目的在于尽早提高仔鱼适应环境的能力^[32]。杂交卵的这种发育特征符合“偏母遗传”的现象,即杂种胚胎的发育主要受到细胞质因子的调控,其发育速度不一定介于两亲本之间,但是会明显偏向其母体^[33]。前人已有类似的试验结果,如:陈夏琳等^[34]选用齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*) ♀与金沙鲈鲤(*Percocypris pingi*) ♂进行杂交,所得正交子代的出膜时间明显接近于齐口裂腹鱼自交组;董艳珍等^[35]选用青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*) ♀与花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*) ♂进行杂交,所得的卵在15~18℃下孵化所需时间为136.5 h,其母本自交组在相同温度条件下用时137 h。此外,出膜后,杂交子代前期的生长速度也表现出偏向其母本的特点。研究表明,这种现象的产生是由于母本基因的激活时间较早,对杂交子代前期的发育速度会产生更大的影响^[36]。因此,在进行杂交育种时,选择目标性状表现更优的母本可能更易得到优质的杂交子代。

3.3 杂交优势

半刺厚唇鱼与温州光唇鱼为同属异种。半刺厚唇鱼成鱼规格较大,但雌鱼怀卵数量和催产率偏低;温州光唇鱼成鱼个体较小,但雌鱼怀卵数量远高于前者。本试验中两种亲鱼的杂交属于种间杂交,相较于亲缘关系更远的属间杂交、亚科间杂交、科间杂交等,此种方式更易成功获得可存活的子代。Snake et al^[37]用两种罗非鱼进行杂交,杂交子代的平均体质量显著大于对照组;Shivaramu et al^[38]用西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)与俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*)进行杂交,正交组的受精率和孵化率以及养殖151 d的累积存活率均显著高于自交组;王秀兰等^[39]用美洲红点鲑(*Salvelinus fontinalis*) ♀×花羔红点鲑(*Salvelinus malma*) ♂的单列杂交方式获得了生长速度比父本快2.3倍、成活率比父本高70%的杂交种。本研究结果表明,两个杂交组的受精率均显著高于两个自交组($P < 0.05$),在孵化率方面,正交组最高且显著高于两自交组($P < 0.05$),与反交组间差异不显著。综合来看,温州光唇鱼自交子一代在生长性能方面的表现

最优,温州光唇鱼与半刺厚唇鱼反交子一代的表现次之,正交组与半刺厚唇鱼自交组表现较差,说明杂交子代的生长呈现多样性。陈夏琳等^[34]选用齐口裂腹鱼与金沙鲈鲤进行杂交,所得子代的生长性能差于齐口裂腹鱼自交子代,并且表现出倾向母本的趋势;李子奇等^[40]以鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)×云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)获得的正、反交后代在生长速率上均体现出与父本密切相关;在本研究中,杂交子代的生长速度也表现出偏向父本的特点。

在杂种优势方面,杂交子代未表现出超亲优势,但反交组比正交组表现出更高的中亲优势。胡志国等^[41]选用九孔鲍(*Halotis diversicolor super-texta*)养殖群体与野生群体进行双列杂交后,反交组同样表现出这一特点。在试验前期正交组表现出了一定的中亲优势,但随着养殖时间的延长,正交组的中亲优势和超亲优势均低于反交组,这表明杂交子代在不同阶段的生长速度具有差异,这与苏胜彦等^[42]用建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)、黄河鲤(*Cyprinus carpio haematopterus*)和黑龙江野鲤进行双列杂交后的结果相似。杂交子代的这种差异可能是生长性状相关基因差异表达的结果,其具体的机制有待进一步研究。本研究中,温州光唇鱼与半刺厚唇鱼进行杂交可以获得更高受精率和孵化率的存活子代,并且反交子一代的生长速度高于其母本自交组。由于条件所限,杂交子代是否可育尚未得到验证,但从试验结果来看,反交组有望成为品质更优的半刺厚唇鱼新品系。

3.4 结论

本研究获得了温州光唇鱼与半刺厚唇鱼双列杂交的可正常发育的子代,两杂交子代的胚胎发育时序和特征偏向各自母体,同时,杂交组卵的受精率和孵化率均高于自交组,杂交子代在仔鱼期的生长速度表现出偏向父本的特点。

参考文献 (References)

- [1] 袁乐洋. 中国光唇鱼属鱼类的分类整理[D]. 南昌: 南昌大学, 2005.
YUAN L Y. Taxonomic revision of Chinese species of the cyprinid genus *Acrossocheilus* (Teleostei: Cypriniformes) [D]. Nanchang: Nanchang University, 2005.
- [2] 胡玉婷, 段国庆, 凌俊, 等. 雌雄养殖温州光唇鱼肌肉营

- 养成分的比较分析[J].水产养殖,2020,41(3):25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2020.03.006.
- HU Y T, DUAN G Q, LING J, et al. Comparative analysis of nutrient component of muscles in male and female farmed *Acrossocheilus wenchowensis*[J]. Journal of Aquaculture, 2020, 41(3): 25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2020.03.006.
- [3] 沈小明,许晓军,黄福勇,等.浙江溪流性鱼类产业概况与发展趋势分析[J].浙江农业科学,2024,65(12):3025-3030. DOI: 10.16178/j.issn.0528-9017.20240366.
- SHEN X M, XU X J, HUANG F Y, et al. Industry overview and development trend analysis of stream fish in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2024, 65(12): 3025-3030. DOI: 10.16178/j.issn.0528-9017.20240366.
- [4] 李亮.杂交鲍(♀*Haliotis discus hannai*×♂*Haliotis iris*)温度耐受性研究[D].济南:山东大学,2017.
- LI L. Study on temperature tolerance of hybrid abalone (♀*Haliotis discus hannai*×♂*Haliotis iris*)[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [5] 楼允东,李小勤.中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用[J].中国水产科学,2006,13(1):151-158. DOI: 10.3321/j.issn.1005-8737.2006.01.024.
- LOU Y D, LI X Q. Distant hybridization of fish and its application in aquaculture in China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(1): 151-158. DOI: 10.3321/j.issn.1005-8737.2006.01.024.
- [6] 万松良,黄二春,齐彩霞,等.莫尼杂种全雄鱼与尼罗罗非鱼生产性能的比较试验[J].淡水渔业,1987(2):15-16,40.
- WAN S L, HUANG E C, QI C X, et al. Comparative experiment on production performance of Moni hybrid male fish and Nile *Tilapia*[J]. Freshwater Fisheries, 1987(2): 15-16, 40.
- [7] 李志忠.湘云鲤与本地鲤生长速度比较[J].科学养鱼,2000(10):40.
- LI Z Z. Comparison of growth speed between Xiangyun carp and local carp[J]. Scientific Fish Farming, 2000(10): 40.
- [8] 张建森,马仲波,王楚松.元江鲤♀与柏氏鲤♂杂交一代(柏元鲤)的研究和利用[J].淡水渔业,1979,9(2):14-18.
- ZHANG J S, MA Z B, WANG C S. Study and utilization of the first hybrid generation (*Cyprinus carpio*) between Yuanjiang carp and *Cyprinus carpio* ♂[J]. Freshwater Fisheries, 1979, 9(2): 14-18.
- [9] 全宝昌,徐庆登,徐宁,等.高邮杂交鲫的制种技术[J].水产养殖,1992(3):15-16.
- QUAN B C, XU Q D, XU N, et al. The seed-making technology of Gaoyou hybrid crucian carp[J]. Journal of Aquaculture, 1992(3): 15-16.
- [10] 陈熙春.半刺厚唇鱼胚胎与胚后发育观察[J].福建水产,2013,35(3):181-186. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5601.2013.03.003.
- CHEN X C. Observation on embryonic and postembryonic development of *Acrossocheilus* (*Lissochilichthys*) *hemispinus*[J]. Journal of Fisheries Research, 2013, 35(3): 181-186. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5601.2013.03.003.
- [11] 姜建湖,张德明,竺俊全,等.光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)胚胎及仔、稚鱼的发育[J].海洋与湖沼,2012,43(2):280-287.
- JIANG J H, ZHANG D M, ZHU J Q, et al. The development of embryo, larva and juvenile of *Acrossocheilus fasciatus*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 280-287.
- [12] 严太明,何学福,贺吉胜.宽口光唇鱼胚胎发育的研究[J].水生生物学报,1999,23(6):636-640.
- YAN T M, HE X F, HE J S. Observations on embryonic development of *Acrossocheilus* (*A.*) *monticola* (Günther)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(6): 636-640.
- [13] 练青平,宓国强,姚子亮,等.瓯江光唇鱼胚胎发育初步研究[J].水产科学,2013,32(2):80-84. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1111.2013.02.004.
- LIAN Q P, MI G Q, YAO Z L, et al. Observation of embryonic development of *Acrossocheilus fasciatus*[J]. Fisheries Science, 2013, 32(2): 80-84. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1111.2013.02.004.
- [14] 周礼敬,杨林,刘桂兰,等.云南光唇鱼生物学特性及人工养殖技术[J].水产养殖,2022,43(3):57-58. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2022.03.013.
- ZHOU L J, YANG L, LIU G L, et al. Journal of Aquaculture, 2022, 43(3): 57-58. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2022.03.013.
- [15] 王岳松,徐林,杨洋,等.长鳍光唇鱼(*Acrossocheilus longipinnis*)人工繁殖和早期发育研究[J].南方水产科学,2024,20(2):63-72. DOI: 10.12131/20230207.
- WANG Y S, XU L, YANG Y, et al. Study on artificial propagation and early development of *Acrossocheilus longipinnis*[J]. South China Fisheries Science, 2024, 20(2): 63-72. DOI: 10.12131/20230207.
- [16] 黄雅贞,叶赣明,刘德亭,等.光唇鱼仿生态繁育与健康养殖技术[J].中国水产,2022,556(3):86-89.
- HUANG Y Z, YE G M, LIU D T, et al. Ecological imitation breeding and healthy breeding technology of *Across-*

- ocheilus* [J]. China Fisheries, 2022, 556(3): 86–89.
- [17] 秦志清, 樊海平, 薛凌展, 等. 半刺厚唇鱼人工繁育技术研究 [J]. 福建农业学报, 2017, 32(5): 486–490. DOI: 10.19303/j.issn.1008-0384.2017.05.004.
- QIN Z Q, FAN H P, XUE L Z, et al. Breeding and aquaculture of *Acrossocheilus hemispinus* [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 32(5): 486–490. DOI: 10.19303/j.issn.1008-0384.2017.05.004.
- [18] 刘丽丽, 郑欣欣, 尤永隆, 等. 半刺厚唇鱼的人工繁殖试验 [J]. 淡水渔业, 2010, 40(2): 57–61. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2010.02.011.
- LIU L L, ZHENG X X, YOU Y L, et al. Experiment on the artificial propagation of *Acrossocheilus hemispinus* [J]. Freshwater Fisheries, 2010, 40(2): 57–61. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2010.02.011.
- [19] FU S Y, JIANG J H, YANG W X, et al. A histological study of testis development and ultrastructural features of spermatogenesis in cultured *Acrossocheilus fasciatus* [J]. Tissue & Cell, 2016, 48(1): 49–62. DOI: 10.1016/j.tice.2015.10.005.
- [20] 龙文玉, 琚枳豪, 王云峰, 等. 云南光唇鱼鳃的组织结构和超微结构观察 [J]. 四川农业大学学报, 2024, 42(3): 666–671. DOI: 10.16036/j.issn.1000-2650.202403350.
- LONG W Y, JU Z H, WANG Y F, et al. Tissue structure and ultrastructural characterization of the gills of *Acrossocheilus yunnanensis* [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2024, 42(3): 666–671. DOI: 10.16036/j.issn.1000-2650.202403350.
- [21] 裘丽君. 温州光唇鱼肌间骨发育及关键调控基因表达模式研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2023. DOI: 10.27747/d.cnki.gzjhy.2023.000269.
- QIU L J. Studies on the intermuscular bone development and expression of key regulatory genes in *Acrossocheilus wenchowensis* [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2023. DOI: 10.27747/d.cnki.gzjhy.2023.000269.
- [22] 郭婧, 曾庆祥, 曾学平. 光唇鱼池塘健康高效养殖技术 [J]. 水产养殖, 2018, 39(6): 28–29. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2018.06.012.
- GUO J, ZENG Q X, ZENG X P. Healthy and efficient aquaculture technology for *Acrossocheilus* in ponds [J]. Journal of Aquaculture, 2018, 39(6): 28–29. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2018.06.012.
- [23] 顾华鑫, 余蕴, 王宝萍, 等. 工厂化循环水系统养殖光唇鱼技术分析 [J]. 科学养鱼, 2023(6): 45–46. DOI: 10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2023.06.025.
- GU H X, YU Y, WANG B P, et al. Analysis of the technology for cultivating *Acrossocheilus* in a factory based circulating water system [J]. Scientific Fish Farming, 2023(6): 45–46. DOI: 10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2023.06.025.
- [24] 杨春英, 刘良国, 杨品红, 等. 吉首光唇鱼形态特征和染色体核型分析 [J]. 淡水渔业, 2014, 44(2): 9–13. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2014.02.002.
- YANG C Y, LIU L G, YANG P H, et al. Morphological characters and karyotypes of *Acrossocheilus jishouensis* [J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(2): 9–13. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2014.02.002.
- [25] 杨林, 周礼敬, 詹会祥, 等. 云南光唇鱼水霉病的防治试验 [J]. 渔业致富指南, 2021(18): 56–58.
- YANG L, ZHOU L J, ZHAN H X, et al. Experiment on the control of *Saprolegniasis* from *Myxocyprinus yunnanensis* [J]. Fishery Guide to be Rich, 2021(18): 56–58.
- [26] 秦志清, 樊海平, 薛凌展, 等. 半刺厚唇鱼嗜酸性卵甲藻病的防治 [J]. 科学养鱼, 2017(4): 64–65. DOI: 10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2017.04.038.
- QIN Z Q, FAN H P, XUE L Z, et al. Control of *Eosinophilic dinoflagellosis* from *Acrossocheilus hemispinus* [J]. Scientific Fish Farming, 2017(4): 64–65. DOI: 10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2017.04.038.
- [27] 金灿彪, 徐国文. 多鳞白甲鱼与宽口光唇鱼杂交试验初探 [J]. 当代水产, 2022, 47(12): 72–73. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9049.2022.12.024.
- JIN C B, XU G W. Preliminary study on the hybrid experiment between *Scaphesthes macrolepis* and *Acrossocheilus monticolus* [J]. Current Fisheries, 2022, 47(12): 72–73. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9049.2022.12.024.
- [28] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [29] KNUTSEN G M, TILSETH S. Growth, development, and feeding success of atlantic cod larvae *Gadus morhua* related to egg size [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1985, 114(4): 507–511. DOI: 10.1577/1548-8659(1985)1142.0.CO;2.
- [30] 黄洪贵. 中华倒刺鲃胚胎与仔鱼发育的观察 [J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(6): 1087–1092. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2286.2009.06.022.
- HUANG H G. Observation of embryonic and larvae development of *Spinibarbus sinensis* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2009, 31(6): 1087–1092. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2286.2009.06.022.

- [31] 易祖盛,陈湘舜,王春,等.倒刺鲃胚胎发育的研究[J]. 中国水产科学,2004,11(1):65-69. DOI: 10.3321/j.issn:1005-8737.2004.01.012.
- YI Z S, CHEN X L, WANG C, et al. Embryonic development in *Spinibarbus denticulatus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004,11(1):65-69. DOI: 10.3321/j.issn:1005-8737.2004.01.012.
- [32] 严天明,杨世勇,杨淞,等.重口裂腹鱼眼早期形态发生研究[J].四川动物,2014(2):239-243. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2014.02.016.
- YAN T M, YANG S Y, YANG S, et al. Early eye morphogenesis of *Schizothorax davidi* [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2014(2):239-243. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7083.2014.02.016.
- [33] 夏仕玲,余来宁.鱼类卵细胞质对胚胎发育速度的调控[J].淡水渔业,1990(3):65-68.
- XIA S L, YU L N. Regulation of fish egg cytoplasm on the embryonic development rate [J]. Freshwater Fisheries, 1990(3):65-68.
- [34] 陈夏琳,陈鹏宇,朱思艺,等.齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 与金沙鲈鲤 (*Percocypris pingi*) 杂交 F₁ 代胚胎发育观察及早期生长研究[J/OL].四川农业大学学报(2024-07-18) [2024-09-15]. <https://doi.org/10.16036/j.issn.1000-2650.202311396>.
- CHEN X L, CHEN P Y, ZHU S Y, et al. Observation of embryonic development and early growth of F₁ hybrid between *Schizothorax prenanti* and *Percocypris pingi* [J/OL]. Journal of Sichuan Agricultural University (2024-07-18) [2024-09-15]. <https://doi.org/10.16036/j.issn.1000-2650.202311396>.
- [35] 董艳珍,黄良鲜,高雪,等.青海湖裸鲤(♀)×花斑裸鲤(♂)杂交子代胚胎发育情况分析[J].安徽农学通报,2023,29(Z1):61-65. DOI: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2023.z1.017.
- DONG Y Z, HUANG L X, GAO X, et al. Analysis of embryonic development of hybrid offspring from *Gymnocypris przewalskii* (♀) × *Gymnocypris eckloni* (♂) [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2023,29(Z1):61-65. DOI: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2023.z1.017.
- [36] 郭媛,户国,谷伟,等.美洲红点鲑和白斑红点鲑及其杂交子代幼鱼的生长曲线拟合[J].中国水产科学,2015,22(1):51-59. DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.00263.
- GUO Y, HU G, GU W, et al. Growth modelling of *Salvelinus fominalis* and *S.leucomaenis* juveniles and their hybrid offspring [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(1):51-59. DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.00263.
- [37] SNAKE M, MALUWA A, ZIDANA H, et al. Production of a predominantly male tilapia progeny using two *Malawian tilapias*, *Oreochromis shiranus* and *Oreochromis karongae* [J]. Aquaculture, 2020,16:100274. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105716.
- [38] SHIVARAMU S, VUONG D T, HAVELKA M, et al. Influence of interspecific hybridization on fitness-related traits in *Siberian sturgeon* and *Russian sturgeon* [J]. Czech Journal of Animal Science, 2019,64(2):78-88. DOI: 10.17221/165/2018-CJAS.
- [39] 王秀兰,肖志国,高春山,等.美洲红点鲑和花羔红点鲑种间单列杂交育种技术[J].河北渔业,2021(11):24-26. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6755.2021.11.007.
- WANG X L, XIAO Z G, GAO C S, et al. Single row hybridization breeding technology between *Salvelinus fontinalis* and *S.malma* [J]. Hebei Fisheries, 2021(11):24-26. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6755.2021.11.007.
- [40] 李子奇,成美玲,吴玉萍,等.鞍带石斑鱼(♀)×云纹石斑鱼(♂)杂交后代早期发育及正反交后代生长特性[J].水产学报,2020,44(3):436-446. DOI: 10.11964/JFC.20190311680.
- LI Z Q, CHENG M L, WU Y P, et al. Early development of hybrids of *Epinephelus lanceolatus* (♀) × *Epinephelus moara* (♂) and growth characteristics of reciprocal crosses [J]. Journal of Fisheries of China, 2020,44(3):436-446. DOI: 10.11964/JFC.20190311680.
- [41] 胡志国,刘建勇,包秀凤,等.九孔鲍双列杂交家系子代的杂种优势与配合力分析[J].南方水产科学,2014,10(1):43-49. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0780.2014.01.007.
- HU Z G, LIU J Y, BAO X F, et al. Combining ability and heterosis of hybridization between cultured and wild stocks of *Haliotis diversicolor supertexta* [J]. South China Fisheries Science, 2014,10(1):43-49. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0780.2014.01.007.
- [42] 苏胜彦,董在杰,袁新华,等.3×3 完全双列杂交 F₁ 不同阶段生长特点的分析[J].水生生物学报,2012,36(4):618-625. DOI: 10.3724/SP.J.1035.2012.00618.
- SU S Y, DONG Z J, YUAN X H, et al. Characters of different growth stage on the F₁ progeny of 3×3 full diallel cross in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012,36(4):618-625. DOI: 10.3724/SP.J.1035.2012.00618.

(责任编辑:杨郁霞)