

张庆飞, 操文杰, 廖寿力, 等. 彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代与彭泽鲫子代生长性能比较[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(6): 134-140.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.06.017

## 彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代与彭泽鲫子代生长性能比较

张庆飞, 操文杰, 廖寿力, 魏怡飞, 王卫民

华中农业大学水产学院/农业动物遗传育种与繁育教育部重点实验室/  
农业农村部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 为评估彭泽鲫(*Carassius auratus pengsenensis*)♀×兴国红鲤(*Cyprinus carpio* var. *singouensis*)♂四倍体子代的生长性能, 探讨彭泽鲫新品种的开发及应用前景, 以彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代及彭泽鲫雌核发育子代研究对象, 通过180 d饲养试验, 统计孵化后0、30、60、90、120、150、180 d时各平行组体质量、体长数据, 分析二者生长性能。结果显示: 在180 d试验过程中, 四倍体子代体质量、体长分别高出彭泽鲫子代30.18% ( $P < 0.05$ )、7.70% ( $P < 0.05$ ); 二者绝对增重率呈现先升高、再降低、再升高的趋势, 在30~60 d达到最大值, 90~120 d时降到最小值, 且0~90、120~180 d时, 二者差异显著; 绝对增长率表现出相同趋势, 但在90 d后二者无显著差异; 对比二者的增积量发现除90~150 d以外, 二者增积量均有显著差异, 在30~60 d时达到最大值, 即 $0.0105 \pm 0.0012$ ; 30~180 d试验过程中, 四倍体子代肥满度与彭泽鲫子代差异极显著; 拟合二者不同时期体质量与体长关系得到生长曲线, 四倍体子代生长曲线为 $W = 0.0320L^{2.9915}$  ( $R^2 = 0.9779$ ), 彭泽鲫子代为 $W = 0.0307L^{2.9941}$  ( $R^2 = 0.9827$ ), 曲线拟合度较好。以上结果表明: 彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代表现出较好的生长性能, 具有培育彭泽鲫新品种的潜力及推广价值。

**关键词** 彭泽鲫; 兴国红鲤; 四倍体; 杂交育种; 远缘杂交; 生长性能

**中图分类号** Q 959.46<sup>+</sup>8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)06-0134-07

彭泽鲫(*Carassius auratus pengsenensis*)是自1983年选育7代得到的具有抗病和抗逆能力强、生长速度快、营养价值高的经济养殖品种, 属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鲫属(*Carassius*)。兴国红鲤(*Cyprinus carpio* var. *singouensis*)属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鲤属(*Cyprinus*), 是“江西三红”之一。由于兴国红鲤食性广、抗逆、抗病性强、杂交亲和度高<sup>[1]</sup>, 且易于与鲫进行杂交产生具有杂种优势的新品种, 因而常用作杂交亲本<sup>[2]</sup>。杂交育种是培育新品种常用的方式, 杂交子代的生长性能也是养殖界关注的重点问题<sup>[3]</sup>。

现阶段鲫种类繁多, 在全国各地均有养殖, 但经年累代养殖、近亲交配、养殖环境恶化造成种质资源

退化、抗病抗逆性衰退、生长速度减慢等多种问题, 新品种的开发和培育势在必行<sup>[4]</sup>。已有研究表明, 不同种类鲫的生长性能具有明显差异, 杂交品种鲫的生长速度通常更快<sup>[5]</sup>。由于彭泽鲫是公认的三倍体, 且生殖方式为天然雌核发育<sup>[6]</sup>, 杂交育种的方式并不适用。但近年来有研究者发现利用不同种类的精子刺激三倍体银鲫(两性型雌核发育)、彭泽鲫雌核发育也会对子代生长性能等造成影响<sup>[7]</sup>。笔者所在课题组前期用4种精子刺激彭泽鲫雌核发育, 结果在兴国红鲤精子刺激彭泽鲫雌核发育的子代中检测到了极少数四倍体, 经过产前培育进一步繁殖得到子代。经检测, 其子代均为四倍体。我们认为该四倍体发生了精卵结合, 即发生了远缘杂交, 并且制作了染色体核型模式图、扩增其5S rDNA序列证明

收稿日期: 2021-05-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31372180)

张庆飞, E-mail: 695815755@qq.com

通信作者: 王卫民, E-mail: wangwm@mail.hzau.edu.cn

其为杂交品种(另文发表)。通常情况下,远缘杂交会结合亲本的优良性状,表现出杂种优势<sup>[8]</sup>,育种潜力较高,但是否能形成自交繁衍的两性可育品种仍需对其进行进一步研究。

本研究以彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代和彭泽鲫子代为研究对象,通过180 d的饲养试验,分析2种子代生长性能的差异,旨在为彭泽鲫新品种的选育、可持续健康养殖等相关研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

将笔者所在课题组前期在兴国红鲤刺激彭泽鲫雌核发育的子代中发现的四倍体,经过产前培育,于2020年5月进行人工繁殖得到四倍体子代;彭泽鲫亲本取自江西省水产科学研究所,于同一时期进行人工繁殖得到彭泽鲫子代。

### 1.2 试验设计与饲养管理

2020年5月挑选健康无病且性腺发育良好的2种亲本,使用地欧酮和促黄体素释放激素类似物 $A_2$ 进行催产并进行人工授精得到受精卵,置于孵化池孵化。待鱼苗孵出可以平游时,转移至水泥池暂养。于2020年8月9日取体型大小相似的经过倍性鉴定的彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代以及彭泽鲫雌核发育子代各300尾,分为3个平行组,每组100尾,置于华中农业大学南湖水产养殖基地1 m<sup>3</sup>圆桶内饲养。试验周期180 d,每个平行组均进行标准化养殖,进行定质、定量、定时和定位投喂,且定期吸污换水。

### 1.3 四倍体子代倍性鉴定

以彭泽鲫子代为内参,通过流式细胞仪检测四倍体子代倍性。分别取抗凝血剂10 μL置于2 mL离心管中,加入500 μL DAPI染液,再加入500 μL PBS缓冲液,用48 μm滤膜过滤,避光染色5 min后,上机检测。

### 1.4 数据收集与统计分析

在试验0、30、60、90、120、150、180 d时,各平行组随机挑选20尾鱼进行体质量、体长数据测量,根据公式计算绝对增重率、绝对增长率、增积量和肥满度:

$$\text{绝对增重率}(\text{g/d}) = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{绝对增长率}(\text{cm/d}) = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{增积量}(\text{g} \cdot \text{cm/d}) = (W_2 - W_1)(L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)^2$$

$$\text{肥满度}(\text{g/cm}^3) = W / L^3 \times 100$$

式中, $W$ 与 $L$ 分别代表体质量(g)与体长(cm), $W_1$ 、 $W_2$ 和 $L_1$ 、 $L_2$ 分别为时间 $t_1$ 、 $t_2$ 时的体质量和体长。

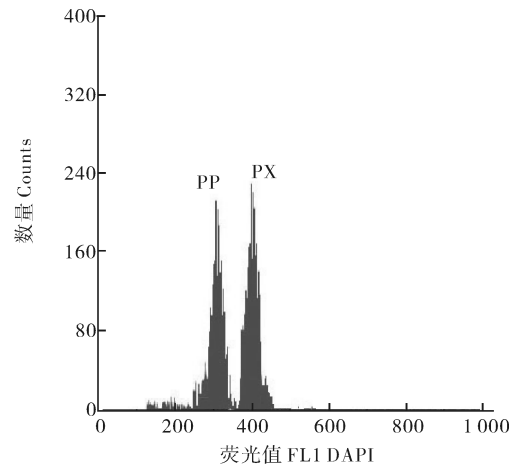
此外,拟合2种子代体质量与体长的幂函数曲线关系( $W = aL^b$ ),其中,参数 $a$ 为常数,表示生长条件因子; $b$ 为幂指数系数。

所有数据均以“平均值±标准差”表示,数据采用Excel 2016与SPSS 22.0软件分析,采用独立样本 $t$ 检验分析差异显著性,以 $\alpha = 0.05$ 作为差异显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 子代倍性鉴定结果

利用流式细胞仪检测血液混样所得结果见图1。横坐标表示红细胞荧光值,纵坐标表示细胞数目。彭泽鲫雌核发育子代平均荧光值为 $305.24 \pm 3.42$ ,杂交四倍体子代荧光值为 $403.79 \pm 2.18$ ,二者DNA相对含量比为0.76,即四倍体子代仍为四倍体。



PP为彭泽鲫雌核发育子代 Offspring of *Carassius auratus pengsenensis*; PX为彭泽鲫与兴国红鲤杂交四倍体子代 Offspring of the tetraploid.

图1 2种子代DNA相对含量

Fig.1 Relative content of red blood cell DNA in two offspring

### 2.2 体质量、体长数据

彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代和彭泽鲫雌核发育子代平均体质量、平均体长数据见表1。结果显示,试验开始时二者体质量平均值分别为 $3.08 \pm 0.33$ 、 $3.19 \pm 0.35$  g,体长平均值分别为 $4.61 \pm 0.16$ 、 $4.69 \pm 0.15$  cm,均无显著性差异。但在随后的180 d饲养过程中,彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体

子代体质量、体长均与彭泽鲫子代有极显著差异。 鲫子代 30.18%、7.70%，表明彭泽鲫♀×兴国红在 180 d 时，四倍体子代体质量、体长分别高出彭泽 鲤♂四倍体子代具有明显的生长优势。

表 1 2 种子代各时期平均体质量、平均体长

Table 1 Average body weight and body length of two generations at different periods

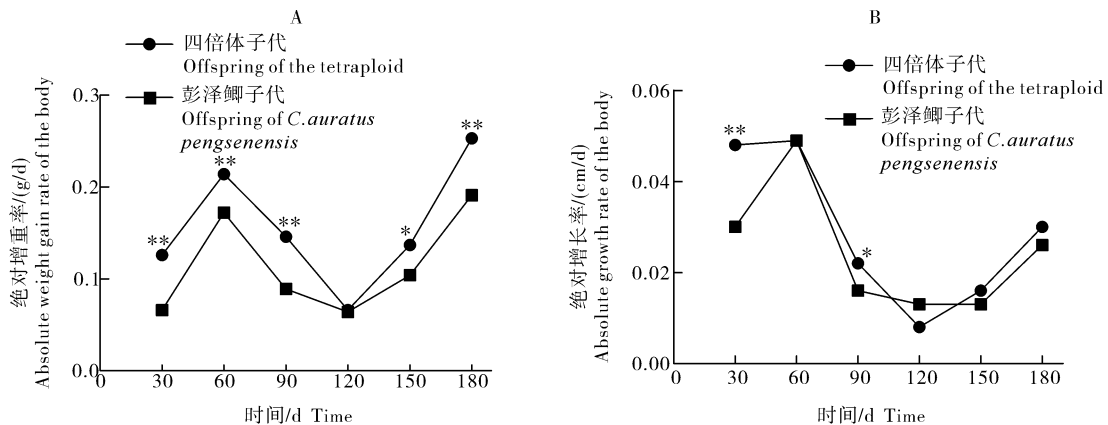
时间/d	平均体质量/g Mean body weight		平均体长/cm Mean body length	
	四倍体子代 Offspring of the tetraploid	彭泽鲫子代 Offspring of <i>Carassius auratus pengsenensis</i>	四倍体子代 Offspring of the tetraploid	彭泽鲫子代 Offspring of <i>Carassius auratus pengsenensis</i>
0 d	3.08±0.33	3.19±0.35	4.61±0.16	4.69±0.15
30 d	6.85±1.03**	5.17±0.78	6.05±0.39**	5.58±0.37
60 d	13.26±1.78**	10.34±1.31	7.51±0.33**	7.06±0.34
90 d	17.65±2.10**	13.03±1.60	8.17±0.45**	7.53±0.36
120 d	18.63±2.13**	14.96±1.75	8.41±0.40**	7.94±0.36
150 d	22.73±3.78**	18.07±2.42	8.90±0.43**	8.31±0.40
180 d	30.32±5.26**	23.29±3.18	9.80±0.59**	9.10±0.43

注：\* 代表差异显著 ( $P < 0.05$ )；\*\* 代表差异极显著 ( $P < 0.01$ )。Note: \* represents significant difference ( $P < 0.05$ )；\*\* represents extremely significant difference ( $P < 0.01$ )。下同。The same as below.

### 2.3 绝对增重率、绝对增长率比较

彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代及彭泽鲫雌核发育子代各时期绝对增重率和绝对增长率结果如图 2 所示。2 种子代绝对增重率均呈现先升高、再降低、再升高的趋势，在 90~120 d 时降到最小值。此外，在 0~90、150~180 d 时，四倍体子代极显著

高于彭泽鲫子代；120~150 d 时显著高于彭泽鲫子代。此外，绝对增长率也呈现出先增高、再降低、再升高的趋势，且 90~120 d 时彭泽鲫子代绝对增长率高于四倍体子代。二者的绝对增长率仅在 0~30 d、60~90 d 时表现出差异，30~60 d 达到最高值，90~180 d 过程中均无显著差异。



A:绝对增重率;B:绝对增长率。\* 代表差异显著 ( $P < 0.05$ )；\*\* 代表差异极显著 ( $P < 0.01$ )。A: Absolute weight gain rate of the body; B: Absolute growth rate of the body. \* represents significant difference ( $P < 0.05$ )；\*\* represents extremely significant difference ( $P < 0.01$ )。

图 2 2 种子代不同时期的绝对增重率和绝对增长率

Fig.2 Absolute weight gain rate and growth rate of body length of two generations at different periods

### 2.4 增积量及肥满度

彭泽鲫♀×兴国红鲤♂四倍体子代和彭泽鲫雌核发育子代各时期增积量和肥满度如表 2 所示。由表 2 可见：在 180 d 饲养过程中，增积量也呈现先升高、再降低、后升高的趋势，这与绝对增重率、绝对增长率的趋势相同；在 60 d 时，2 种子代增积量达到最

大值，分别为  $0.0105 \pm 0.0012$ 、 $0.0086 \pm 0.0017$  ( $\text{g} \cdot \text{cm}$ )/d；且 0~30 d、60~90 d，四倍体子代增积量极显著高于彭泽鲫子代；30~60 d、150~180 d 四倍体子代增积量显著高于彭泽鲫子代。在 0~30 d，二者肥满度无显著差异 ( $P > 0.05$ )，即二者体型较为相似；30~180 d 期间，四倍体子代肥满度与彭泽

鲫子代有极显著差异,表明四倍体子代较为肥胖;在0~180 d期间,四倍体子代与彭泽鲫子代肥满度变化不大,最大值分别为 $3.277\ 7\pm 0.078\ 3$ 、 $3.125\ 6\pm 0.038\ 5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。

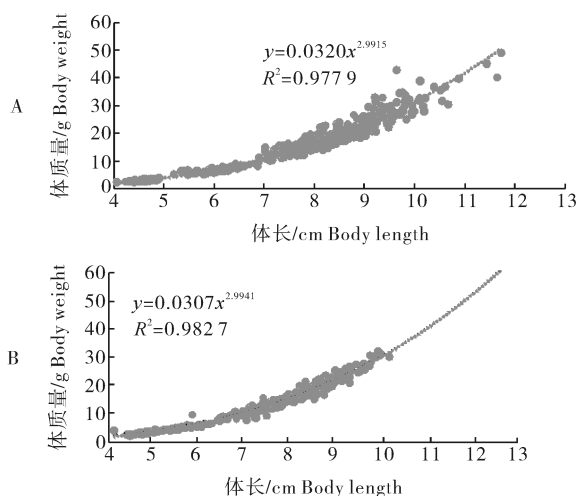
表2 2种子代各时期增积量和肥满度

Table 2 Accumulation volume and coefficient of fatness of two generations at different periods

项目 Item	四倍体子代 Offspring of the tetraploid	彭泽鲫子代 Offspring of <i>C. pengsenensis</i>
增积量/ ((g·cm)/d) Accumulation volume	0 d	0.006 0±0.001 1**
	30 d	0.010 5±0.001 2*
	60 d	0.003 3±0.000 6**
	90 d	0.000 3±0.000 1
	120 d	0.002 3±0.000 7
	150 d	0.007 6±0.002 0*
肥满度/ (g/cm <sup>3</sup> ) Coefficient of fatness	180 d	3.243 5±0.124 1**
	0 d	3.134 2±0.075 9
	30 d	3.098 8±0.065 1
	60 d	3.123 7±0.095 2**
	90 d	3.220 6±0.029 1**
	120 d	3.137 4±0.060 4**
150 d	3.277 7±0.078 3**	
180 d	3.243 5±0.124 1**	

## 2.5 体质量与体长关系

通过180 d体质量、体长数据的收集,拟合二者生长曲线见图3。生长方程分别为彭泽鲫♀×兴国红鲤♂杂交四倍体子代 $W = 0.0320L^{2.9915}$  ( $R^2 = 0.977\ 9$ );彭泽鲫自交子代 $W = 0.0307L^{2.9941}$  ( $R^2 = 0.982\ 7$ )。



A: 杂交四倍体子代; B: 彭泽鲫自交子代。A: Offspring of the tetraploid; B: Offspring of *Cauratus pengsenensis*.

图3 2种子代的生长曲线

Fig.3 Growth curve of two generations

## 3 讨论

通常情况下,杂交子代均能表现出一定的生长优势<sup>[9-10]</sup>。在本试验中,笔者在兴国红鲤精子刺激彭泽鲫雌核发育的子代中发现了四倍体,进一步人工繁殖得到其子代。为了评估其生长性能,以彭泽鲫自交子代作为对照,分析2种子代早期生长性能差异,为彭泽鲫新品种开发提供数据支持。在本试验中,初始体质量、体长会对结果造成一定影响。为了消除这一因素造成的误差,本试验尽量挑选体型、规格整齐的育苗,对初始数据进行差异性分析,结果显示二者差异不显著,影响较小。

二者绝对增重率、绝对增长率呈现相同趋势,原因主要是温度变化。有研究表明鱼类的生长速度与其能量吸收及转化有关,水温可以通过影响酶活进而影响鱼类的新陈代谢,导致生长速率的不同<sup>[11]</sup>。本试验中60~120 d时处于10—11月,水温降低,鱼类摄食减慢,生长代谢缓慢,导致鱼类生长缓慢。待加设加热棒以后,摄食恢复,绝对增重率、绝对增长率又逐渐升高。这一结果与周森等<sup>[12]</sup>研究结果一致。

增积量表示鱼类体质量日增长量与体长日增长量之积<sup>[13]</sup>,能够反映鱼类的增长速度。通过比较2种子代各时期增积量发现:增积量变化趋势与绝对增重率相似,均呈现先升高、再降低、后升高的趋势,且在60 d时二者增积量达到最高值且差异显著 ( $P < 0.05$ ),这些现象都是由水温变化进而改变鱼类摄食所引起的,与绝对增重率、绝对增长率结果一致。

肥满度是衡量鱼类肥满程度的指标,通常情况下可反映鱼类可食程度,此外肥满度也可从侧面反映鱼类的营养状况与生长环境条件<sup>[14]</sup>。在本试验中,由于2种子代并未达到性成熟,因而性腺发育对肥满度的影响较小,结果较为可靠。在30 d之前,二者肥满度差异不显著,但在30~180 d时,四倍体子代肥满度极显著高于彭泽鲫子代,这说明四倍体子代摄食较多,鱼体可食部分更多、营养更丰富。由以上结果也推测在30~60 d内,四倍体子代进入快速生长阶段。

通常情况下,硬骨鱼类的体质量与体长符合幂函数关系( $W = aL^b$ ),我们称之为生长曲线,它能够

准确地描述鱼类的生长过程。其中  $R^2$  值越接近 1 表示曲线拟合程度越好,  $b$  值反映鱼类生长发育的不均匀性。此外, 有研究者认为  $b$  值也能反映鱼类生长环境和营养吸收的好坏, 以及生长的阶段性<sup>[15-16]</sup>。体质量与体长的关系伴随着鱼类的生长而改变, 在幼鱼阶段呈负异速生长, 随着鱼体的生长速度趋于平缓,  $b$  值逐渐接近 3。例如, 七带石斑鱼在仔稚幼鱼阶段, 其体质量与体长的关系式为  $W = 1 \times 10^{-5} L^{3.5345}$  ( $R^2 = 0.9819$ ), 而在 10~14 月龄阶段其生长曲线关系为  $W = 0.436L^{2.055}$  ( $R^2 = 0.959$ )<sup>[17]</sup>。此外, 王雪辉等<sup>[18]</sup>通过统计 4 目 16 科 25 属共计 43 种鱼的生长曲线发现同一阶段不同种类的鱼生长关系有差异; 同种鱼在不同阶段体质量与体长关系也有差异。另有研究表明同一物种不同群体的鱼类在相同发育阶段其体质量与体长关系相似, 如 1~10 月龄养殖大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)  $F_2$  体质量与体长的关系式为  $W = 0.0569L^{3.0496}$  ( $R^2 = 0.9989$ ), 野外捕捞大黄鱼  $F_1$  的关系式为  $W = 0.0565L^{3.0365}$  ( $R^2 = 0.9984$ )<sup>[19]</sup>; 周森等<sup>[12]</sup>在彭泽鲫异精雌核发育子代中也有相同结果。本试验中 2 种子代  $R^2$  值分别为 0.9779 和 0.9827, 接近 1, 曲线拟合度较高;  $b$  值分别为 2.9915 和 2.9941, 均接近 3.0, 呈现等速生长, 符合 von Bertalanffy 生长方程。由此可知, 2 种子代的生长差异不是由于外界环境条件和投喂策略等人为因素引起的, 主要原因是 2 种子代能量吸收和转化之间的差异。这与刘尊雷等<sup>[20]</sup>对小黄鱼生长模型研究中的结果一致。此外, 生长曲线通常呈“S”形, 具有 2 个拐点, 即经过第一拐点后生长速度急剧加快, 第二拐点后生长速度变缓慢, 通常第二拐点在性腺发育阶段<sup>[21]</sup>。由于本试验中 2 种子代均未达到性成熟, 根据绝对增长率和绝对增重率以及增积量、肥满度的变化, 我们推测 2 种子代第一个拐点可能在 30~60 d 内。

在本研究的 180 d 养殖过程中, 彭泽鲫 ♀ × 兴国红鲤 ♂ 四倍体子代相较于彭泽鲫雌核发育子代表现出较好的生长优势, 体质量、体长的增长均极显著高于彭泽鲫雌核发育子代, 这可为彭泽鲫新品种的培育提供数据支持。有关彭泽鲫 ♀ × 兴国红鲤 ♂ 四倍体子代在形态、抗病性、抗逆性等优势有待进一步研究。

## 参考文献 References

- [1] 李刚. 兴国红鲤的生态养殖技术[J]. 渔业致富指南, 2016(17): 33-34. LI G. Ecological breeding technology of *Cyprinus carpio var. singuonensis*[J]. Fishery guide to be rich, 2016(17): 33-34 (in Chinese).
- [2] 陈学年, 郭玉娟, 王忠卫, 等. 异育银鲫“中科 3 号”与丰产鲫形态特征及生长的比较研究[J]. 淡水渔业, 2011, 41(5): 83-87. CHEN X N, GUO Y J, WANG Z W, et al. Comparison of morphometric attribute and growing performance between allogynogenetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) “CAS III” and Pengze crucian carp (*Carassius auratus var. pengzenensis*)[J]. Freshwater fisheries, 2011, 41(5): 83-87 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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. 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 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈静, 李婧慧, 刘训猛, 等. 江苏鲫鱼养殖产业发展现状与产业亟待解决问题[J]. 科学养鱼, 2014(12): 1-2. CHEN J, LI J H, LIU X M, et al. Development status and urgent problems of crucian carp breeding industry in Jiangsu Province[J]. Scientific fish farming, 2014(12): 1-2 (in Chinese).
- [5] 赵俊, 陈湘舜. 异源精子激发彭泽鲫雌核发育子代的表型分化现象[J]. 动物学研究, 2003, 24(4): 297-301. ZHAO J, CHEN X L. Phenotypic differentiation of offspring developed from Pengze crucian carp eggs activated by heterologous sperm[J]. Zoological research, 2003, 24(4): 297-301 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨睿姣, 张轩杰. 彭泽鲫雌核发育的细胞学研究[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 1-7. YANG R J, ZHANG X J. Cytological studies in *Carassius auratus var. Pengze*[J]. Journal of fisheries of China, 2004, 28(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [7] 蒋一珪, 梁绍昌, 陈本德, 等. 异源精子在银鲫雌核发育子代中的生物学效应[J]. 水生生物学集刊, 1983, 7(1): 1-13, 15. JIANG Y G, LIANG S C, CHEN B D, et al. Biological effect of heterologous sperm on gynogenetic offspring in *Carassius auratus gibelio*[J]. Acta hydrobiologica sinica, 1983, 7(1): 1-13, 15 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘少军. 鱼类远缘杂交[M]. 北京: 科学出版社, 2014. LIU S J. Fish distant hybridization[M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese).
- [9] 杨淞, 卢迈新, 黄樟翰, 等. 5 种杂交  $F_1$  罗非鱼生长性能比较研究[J]. 淡水渔业, 2006, 36(4): 41-44. YANG S, LU M X, HUANG Z H, et al. Comparison of growth-performance of five hybrid  $F_1$  tilapia[J]. Freshwater fisheries, 2006, 36(4): 41-44

- (in Chinese with English abstract).
- [10] 李敏,李春枝,黄永强,等.云斑尖塘鳢和线纹尖塘鳢自交与杂交子一代幼鱼生长性状及杂交优势分析[J].广东海洋大学学报,2012,32(1):64-67.LI M,LI C Z,HUANG Y Q,et al.Comparative study on juvenile growth and heterosis of *Oryzeleotris marmoratus*, *O. lineolatus* and the hybridization (*O. marmoratus* ♀ × *O. lineolatus* ♂) [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012,32(1):64-67(in Chinese with English abstract).
- [11] MICHALSEN K.Growth of North-east Arctic cod (*Gadus morhua* L.) in relation to ambient temperature[J].ICES journal of marine science,1998,55(5):863-877.
- [12] 周森,郭青松,黄家锐,等.彭泽鲫异精雌核发育子代生长比较研究[J].中国农学通报,2020,36(36):125-131.ZHOU M, GUO Q S, HUANG J R, et al. *Carassius auratus* var. *pengsenensis* produced by heterologous sperm: growth comparison of offspring[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2020, 36(36): 125-131 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李明云,胡玉珍,苗亮,等.岱衢洋和官井洋大黄鱼自交与杂交子代生长性能及杂交优势分析[J].水产学报,2010,34(6):859-864. LI M Y, HU Y Z, MIAO L, et al. Studies on the growth characteristics and heterosis of genealogies of *Pseudosciaena crocea* [J]. Journal of fisheries of China, 2010, 34(6): 859-864 (in Chinese with English abstract).
- [14] 殷名称.鱼类生态学[M].北京:中国农业出版社,1995:34-63. YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1995: 34-63 (in Chinese).
- [15] 何学军,李思发,韩风进,等.红罗非鱼和尼罗罗非鱼正反交后代体色和生长性能的评价[J].水产科技情报,2002,29(4):147-152. HE X J, LI S F, HAN F J, et al. Evaluation of pigmentation and growth performance variation of Taiwan red tilapia, GIFT Nile tilapia and their reciprocal hybrids [J]. Fisheries science & technology information, 2002, 29(4): 147-152 (in Chinese with English abstract).
- [16] WANG K, LI C W, WANG Z H, et al. Length-weight relationships of 10 fish species from Shengsi Ma'an Archipelago Special Marine Protected Area, East China Sea [J]. Journal of applied ichthyology, 2017, 33(6): 1231-1233.
- [17] 李振通,田永胜,唐江,等.云龙石斑鱼与云纹石斑鱼、珍珠龙胆石斑鱼的生长性状及对比分析[J].水产学报,2019,43(4):1005-1017.LI Z T, TIAN Y S, TANG J, et al. Growth characteristics and comparative analysis of Yunlong grouper with *Epinephelus moara* and Zhenzhulongdan grouper [J]. Journal of fisheries of China, 2019, 43(4): 1005-1017 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王雪辉,杜飞雁,邱永松.南海北部主要经济鱼类体长与体重关系[J].台湾海峡,2006,25(2):262-266. WANG X H, DU F Y, QIU Y S. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea [J]. Journal of oceanography in Taiwan strait, 2006, 25(2): 262-266 (in Chinese with English abstract).
- [19] 黄伟卿,张艺,柯巧珍,等.大黄鱼选育子二代生长性状研究[J].南方水产科学,2013,9(3):14-19. HUANG W Q, ZHANG Y, KE Q Z, et al. Growth traits research of the breeding group sub 2 generation of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. South China fisheries science, 2013, 9(3): 14-19 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘尊雷,袁兴伟,严利平,等.东海北部小黄鱼异方差生长模型[J].中国水产科学,2012,19(3):453-461. LIU Z L, YUAN X W, YAN L P, et al. Modeling variance heterogeneity in growth: an example for small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the northern East China Sea [J]. Journal of fishery sciences of China, 2012, 19(3): 453-461 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘颖,薛敏,任泽林,等.鱼类的生长模型及其在营养需求研究中的应用[J].饲料工业,2008,29(10):20-23. LIU Y, XUE M, REN Z L, et al. Growth model of fish and its application in nutrient demand research [J]. Feed industry, 2008, 29(10): 20-23 (in Chinese).

**Comparison of growth performance between tetraploid  
offspring of *Carassius auratus pengsenensis* ♀ × *Cyprinus carpiouar  
singuonensis* ♂ and *Carassius auratus pengsenensis* offspring**

ZHANG Qingfei, CAO Wenjie, LIAO Shouli, WEI Yifei, WANG Weimin

*College of Fishery/Key Laboratory of Agricultural Animal Genetics, Breeding and  
Reproduction of Ministry of Education/Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding,  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** To explore the growth performance of tetraploid offspring of Pengze crucian carp (*Carassius auratus pengsenensis* ♀) × Xingguo red carp (*Cyprinus carpiouar singuonensis*) ♂, and to explore the development and application prospects of the new Pengze crucian carp variety, the body weight and length data of tetraploid offspring of Pengze crucian carp (PX) and gynogenetic offspring of Pengze carp (PP) at 0, 30-60, 90, 120, 150 and 180 d after hatching were taken through the 180 d feeding experiments, and then the growth performance of the two offspring were analyzed. The results showed that during the 180 d experiment, the body weight and body length of PX were significantly different from those of PP. At the end of the experiment, the body weight and body length of PX were 30.18% and 7.70% higher than those of the PP. The absolute weight gain rate of the two groups showed a trend of first increasing, then decreasing and then increasing, reached the maximum at 30-60 d, reached the minimum at 90-120 d, and the difference between them was significant at 0-90 d and 120-180 d ( $P < 0.05$ ). The absolute growth rate showed the same trend, but there was no significant difference between the two groups after 90 d. It was found that the accumulation volume of the two offspring was different except for 90-150 d ( $P < 0.05$ ), and it reached the maximum value of  $0.0105 \pm 0.0012$  at 30-60 d. During 30-180 d, the coefficient of fatness of PX was significantly different from that of PP, indicating that the tetraploid offspring were more obese. The growth curve was obtained by fitting the relationship between body weight and body length in different periods, and the growth curve of PX and PP were:  $W = 0.0320 L^{2.9915}$ ,  $R^2 = 0.9779$  and  $W = 0.0307 L^{2.9941}$ ,  $R^2 = 0.9827$ , respectively. To sum up, the hybrid tetraploid offspring of Pengze crucian carp ♀ × Xingguo red carp ♂ show good growth performance, which has the potential of cultivating new variety of Pengze crucian carp and the value of promotion.

**Keywords** *Carassius auratus pengsenensis*; *Cyprinus carpiouar singuonensis*; tetraploid; crossbreeding; distant hybridization; growth performance

(责任编辑:边书京)