

文章编号:1000-0615(2008)02-0182-08

## 建鲤自交及与黄河鲤正反杂交子代的生长比较和通径分析

佟雪红<sup>1</sup>, 袁新华<sup>2</sup>, 董在杰<sup>2</sup>, 缪为民<sup>2</sup>, 苏志烽<sup>1</sup>, 岳春梅<sup>1</sup>, 林连升<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

**摘要:**以建鲤、黄河鲤为亲本,建立了建鲤自交 JL(建鲤♀×建鲤♂)、正交 JH(建鲤♀×黄河鲤♂)、反交 HJ(黄河鲤♀×建鲤♂)3个试验组合,PIT标记后在养殖157、398、598 d时测定生长参数。结果表明:(1)157、398 d时增重率均为 HJ>JH>JL,HJ与JL差异显著( $P<0.05$ );598 d时 JL>JH>HJ,子代差异不显著( $P>0.05$ )。(2)体长、体重的变异系数在157、398 d时 HJ>JH>JL,598 d时 JL>HJ>JH。体长的变异系数小于体重的变异系数。(3)肥满度随养殖时间增加而增长,JL的肥满度最高并与JH、HJ差异显著;(4)雌、雄鱼生长差异显著,雌鱼生长始终快于JL;雄鱼仅在157 d时有优势,398、598 d时杂种优势衰退。(5)在对体重的决定系数上,398 d时子代均以体长的决定系数占主导;598 d时 HJ(♀)、JL(♀)中体高的决定系数占主导,JL(♂)、HJ(♂)、JH(♀)中体长的决定系数占主导,JH(♂)中体长、体高对体重的决定系数差异很小。(6)养殖时间对体重的差异显著性、绝对增重率无显著影响( $P>0.05$ ),对体长、绝对增长率、特定生长率、体重变异系数、生长指标及肥满度有极显著影响( $P<0.01$ );鱼的不同交配组合和不同性别对上述生长参数均有极显著影响。

**关键词:**建鲤;子代;生长参数;杂交优势;PIT标记;通径分析

**中图分类号:**Q 953;S 965.116

**文献标识码:**A

建鲤(*Cyprinus carpio* var. jian)是淡水渔业研究中心通过杂交育成的我国第一个遗传性状稳定的优良鲤鱼品种,较国内其他鲤鱼增产30%以上<sup>[1-2]</sup>,为了在原有基础上通过遗传改良来获得新的品系,本研究拟通过建鲤和黄河鲤杂交,以期获得建鲤生长性状进一步的改良,更好地满足水产养殖生产需要。

鱼类育种中,利用不同性状间的相关性可为选育工作提供方便<sup>[3]</sup>。生长性状除通过直接作用引起目标性状变化外,还可通过其他性状以间接作用引起目标性状变化。Wright于1921年提出了通径分析<sup>[4]</sup>,借助于通径分析可以弄清性状间的作用是直接效应还是间接效应以及效应大小。通径分析在农业及畜牧业中得到了非常广泛的应用<sup>[5-8]</sup>,但在水产业中的应用尚未见报道。本试

验通过对建鲤与黄河鲤杂交子代的体长、体高及体重进行通径分析,确定各群体中体长、体高对体重的相对重要性和优势性状的选择方法。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料

挑选生长良好的建鲤、黄河鲤亲本,于2005年4月8日,注射400 IU HCG+5 μg LRH-A催产,采用“一对一”配对的方式在网箱内隔离繁殖,2005年4月9日亲鱼产卵,自然孵化得到建鲤自交子代(JL)及建鲤与黄河鲤正交F<sub>1</sub>(建鲤♀×黄河鲤♂, JH)和反交F<sub>1</sub>(黄河鲤♀×建鲤♂, HJ)。试验鱼在宜兴基地进行池塘养殖。

PIT(passive integrated transponder)标记,由荷兰trovan公司生产,型号为ID 100/01。

收稿日期:2007-04-23

资助项目:亚洲开发银行区域合作项目(ADB-RETA 6136)

作者简介:佟雪红(1979-),女,山东潍坊人,硕士研究生,从事鱼类遗传育种研究。E-mail:txh113005@163.com

通讯作者:缪为民, Tel: 0510-85558719, E-mail: miaowm@ffrc.cn

## 1.2 试验方法

**试验鱼的 PIT 标记** 为了获得试验鱼的生长数据,本试验采用 PIT 标记方法对试验鱼进行数码标记,在每尾试验鱼腹部埋植 1 枚 PIT 标记。2005 年 9 月 18 日对 JL、JH 和 HJ 每个群体随机标记 300 尾,平均体重(范围)依次是 31.94 (12.5~77.8); 34.07(16.6~90.10), 36.16(15.5~92.1) g, 平均体长及范围依次是 12.78(10.0~14.4), 13.72(11.1~18.7), 13.64(10.0~18.6) cm,并测量了体长、体高、体重等生长参数,室内暂养 1 周,观测标记鱼的存活情况。

**试验鱼室外同池混养** 试验鱼在标记暂养结束后,全部移至室外池塘中同池混养,进行同池生长对比试验,在养殖 398、598 d 时对试验鱼进行扫描,按照读码数据测量相应鱼的生长参数,试验共计 598 d。

## 1.3 数据处理

生长分析所采用的公式如下:

$$\text{绝对增重率}(g \cdot d^{-1}) = (W - W_0) / (t - t_0)$$

$$\text{特定生长率}(\% \cdot d^{-1}) = [(\ln W - \ln W_0) / (t - t_0)] \times 100$$

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

$$\text{生长指标} = (\lg L - \lg L_0) / 0.4343 \times L_0$$

$$\text{变异系数 } CV(\%) = S / X \times 100$$

$$\text{超亲优势率}(\%) = (F_1 - P_n) / P_n \times 100$$

式中,  $t - t_0$  为养殖天数,  $W_0$  为初始体重 0.001 g,  $L_0$  为对应于 0.001 g 的初始体长 1.0 cm,  $S$  为标准差,  $X$  为平均值,  $F_1$  为某一性状的平均值,  $P_n$  为某性状优良亲本的平均值。

应用 SPSS11.5 软件(SPSS 公司)及 MS-EXCEL(NASDAQ: MSFT)对实验数据进行处理,对各生长参数进行方差分析、显著性检验和 LSD 多重比较分析。

## 2 结果

### 2.1 子代的体长及体重比较

3 个群体在各测定时期的体长或体重均差异显著( $P < 0.05$ ); JH、HJ 在 157、398 d 时体长均长于 JL,且与 JL 差异显著( $P < 0.05$ ), 598 d 时子代间体长差异不显著( $P > 0.05$ )。子代体重在 157、398 d 时均表现为 HJ > JH > JL, 157 d 时 JH 与 JL、HJ 与 JL 体重差异显著; 598 d 时 JL 体重最大,与 JH、HJ 差异显著。图 1、图 2 显示, 3 个群体在 398 d ~ 598 d 间表现为快速生长, 体重、体长增加率最快, 而且体重的增加幅度明显大于体长。

### 2.2 子代的增重率及体重变异系数比较

子代的绝对增重率随养殖时间增加而增大, 特定生长率则下降。157、398 d 时绝对增重率顺序为 HJ > JH > JL, HJ 绝对增重率分别是 JH 的 1.06、1.07 倍, 是 JL 的 1.13、1.09 倍(表 1)。157 d 时, HJ 与 JL 增重率差异显著( $P < 0.05$ ); 398 d 时, JL 与 HJ、JH 与 HJ 间差异显著; 598 d 时, 3 个群体间差异不显著( $P > 0.05$ )。

雌、雄鱼的绝对增重率、特定生长率变化趋势及顺序与 3 个群体子代总体一致。398 d 时 JL、JH、HJ 中雌鱼的绝对增重率分别是雄鱼的 1.37、1.32、1.43 倍; 598 d 时分别是 1.32、1.22、1.25 倍。雌、雄鱼增重率差异显著。

表 1 3 个群体不同时期的增重率和体重变异系数(平均值 ± 标准差)

Tab.1 Growth rate and CV of body weight of three populations at different periods

mean ± SD

群体 population	绝对增重率( $g \cdot d^{-1}$ ) absolute growth rate			特定生长率( $\% \cdot d^{-1}$ ) instantaneous growth rate			体重变异系数( $\%$ ) CV of body weight		
	157 d	398 d	598 d	157 d	398 d	598 d	157 d	398 d	598 d
JL	0.203 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.546 ± 0.184 <sup>c</sup>	2.014 ± 0.47 <sup>cd</sup>	6.579 ± 0.18 <sup>d</sup>	3.074 ± 0.08 <sup>d</sup>	2.337 ± 0.04 <sup>c</sup>	30.90	33.90	24.00
JH	0.21 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.556 ± 0.188 <sup>c</sup>	1.948 ± 0.44 <sup>cd</sup>	6.617 ± 0.19 <sup>bc</sup>	3.079 ± 0.08 <sup>cd</sup>	2.33 ± 0.04 <sup>cd</sup>	33.97	34.72	22.52
HJ	0.23 ± 0.09 <sup>ab</sup>	0.593 ± 0.236 <sup>b</sup>	1.93 ± 0.46 <sup>d</sup>	6.642 ± 0.23 <sup>ab</sup>	3.09 ± 0.096 <sup>c</sup>	2.33 ± 0.038 <sup>d</sup>	39.41	39.81	23.55
JL(♀)	0.2 ± 0.06 <sup>bc</sup>	0.631 ± 0.165 <sup>b</sup>	2.311 ± 0.41 <sup>a</sup>	6.591 ± 0.17 <sup>cd</sup>	3.115 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.362 ± 0.03 <sup>a</sup>	26.62	25.95	17.53
JH(♀)	0.22 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.64 ± 0.189 <sup>b</sup>	2.146 ± 0.38 <sup>b</sup>	6.63 ± 0.2 <sup>abc</sup>	3.118 ± 0.07 <sup>ab</sup>	2.34 ± 0.029 <sup>b</sup>	33.53	29.30	17.69
HJ(♀)	0.243 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.702 ± 0.246 <sup>a</sup>	2.140 ± 0.46 <sup>b</sup>	6.675 ± 0.23 <sup>a</sup>	3.136 ± 0.086 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.035 <sup>b</sup>	39.69	35.08	21.49
JL(♂)	0.2 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.462 ± 0.148 <sup>d</sup>	1.745 ± 0.35 <sup>e</sup>	6.564 ± 0.19 <sup>d</sup>	3.035 ± 0.074 <sup>e</sup>	2.31 ± 0.033 <sup>e</sup>	33.91	32.01	20.65
JH(♂)	0.21 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.484 ± 0.163 <sup>d</sup>	1.762 ± 0.4 <sup>e</sup>	6.609 ± 0.19 <sup>bcd</sup>	3.045 ± 0.078 <sup>e</sup>	2.31 ± 0.037 <sup>e</sup>	32.78	33.64	22.77
HJ(♂)	0.21 ± 0.08 <sup>bc</sup>	0.492 ± 0.176 <sup>d</sup>	1.71 ± 0.34 <sup>e</sup>	6.612 ± 0.22 <sup>bcd</sup>	3.048 ± 0.08 <sup>e</sup>	2.31 ± 0.032 <sup>e</sup>	37.90	35.81	19.67

注: 同一列内平均值后字母不同者表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同

Notes: Means in the same column followed by different letters are significantly different( $P < 0.05$ ). The same as follows

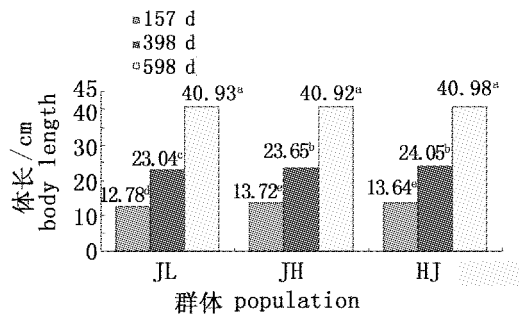


图1 子代各时期的体长

Fig.1 Body length of offsprings at different periods

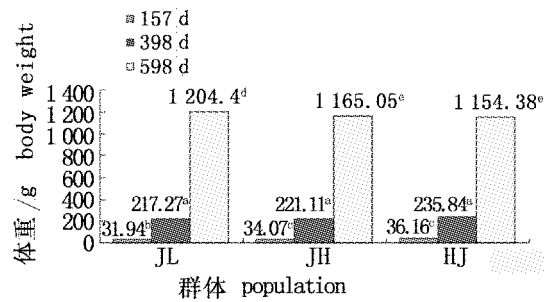


图2 子代各时期的体重

Fig.2 Body weight of offsprings at different periods

两图中的数值为子代各时期的平均体长、平均体重；字母不同时表示体长或体重差异显著( $P < 0.05$ )

The numbers in two figures above are mean body length or body weight of offsprings, and different letters indicate mean value of body length or body weight are significantly different

体重变异系数在 157、398 d 时 HJ 最大、JL 最小,雌、雄鱼中 HJ(♀)、HJ(♂)最大;598 d 时 JL 最大、JH 最小,雌、雄鱼中 HJ(♀)、JH(♂)最大。

方差分析表明,养殖时间对体重的差异显著性、绝对增重率无显著影响( $P > 0.05$ ),对特定生长率、体重变异系数有极显著影响( $P < 0.01$ );鱼的不同交配组合和不同性别对上述四个生长参数均有极显著影响( $P < 0.01$ )。

2.3 子代的肥满度及体长变异系数比较

子代群体及其雌、雄鱼的肥满度均随养殖时间增加而增大,且均以 JL 最高,如表 2 所示。157 d 时子代间肥满度差异显著,398、598 d 时 JL 与 JH、JL 与 HJ 间差异显著。每个群体雌鱼的肥满

度在 157 d 时均小于雄鱼;在 398、598 d 时均大于雄鱼,且差异显著。雌、雄鱼的肥满度分别以 JL(♀)、JL(♂)最高。

体长变异系数在 157、398 d 时 HJ 最大、JL 最小,两者分别相差 1.34、1.18 倍;598d 时 JL 最大、JH 最小,两者相差 1.04 倍。雌鱼中 HJ(♀)体长变异系数始终最大;雄鱼的体长变异系数在 157 d 时 HJ(♂)最大、JH(♂)最小;398、598 d 时 JH(♂)最大、JL(♂)最小。

方差分析表明,鱼的不同交配组合和不同性别及养殖时间对肥满度和体长变异系数均有显著影响( $P < 0.05$ )。

表 2 各子代群体不同时期的肥满度及体长变异系数

Tab.2 Fullness and CV of body length of different populations at different periods

群体 population	肥满度 fullness			体长变异系数(%) CV of body length		
	157 d	398 d	598 d	157 d	398 d	598 d
JL	1.49 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.717 ± 0.177 <sup>b</sup>	1.736 ± 0.189 <sup>b</sup>	9.59	10.00	7.98
JH	1.281 ± 0.11 <sup>f</sup>	1.615 ± 0.128 <sup>de</sup>	1.682 ± 0.176 <sup>cd</sup>	10.42	10.17	7.71
HJ	1.369 ± 0.13 <sup>d</sup>	1.617 ± 0.152 <sup>d</sup>	1.659 ± 0.184 <sup>de</sup>	12.86	11.8	17.82
JL(♀)	1.475 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.783 ± 0.175 <sup>a</sup>	1.816 ± 0.197 <sup>a</sup>	8.47	8.40	7.87
JH(♀)	1.241 ± 0.099 <sup>g</sup>	1.659 ± 0.134 <sup>c</sup>	1.737 ± 0.163 <sup>b</sup>	10.62	8.37	6.44
HJ(♀)	1.333 ± 0.125 <sup>e</sup>	1.666 ± 0.143 <sup>c</sup>	1.719 ± 0.205 <sup>bc</sup>	12.55	11.00	7.90
JL(♂)	1.498 ± 0.125 <sup>ab</sup>	1.659 ± 0.151 <sup>c</sup>	1.67 ± 0.146 <sup>de</sup>	10.44	9.52	6.80
JH(♂)	1.312 ± 0.099 <sup>e</sup>	1.578 ± 0.116 <sup>e</sup>	1.631 ± 0.17 <sup>e</sup>	10.13	10.66	7.99
HJ(♂)	1.405 ± 0.131 <sup>c</sup>	1.564 ± 0.145 <sup>e</sup>	1.59 ± 0.125 <sup>f</sup>	12.54	10.24	6.89

#### 2.4 子代的绝对增长率及生长指标比较

子代的绝对增长率在 157 d 时  $JH > HJ > JL$ , 398、598 d 时  $HJ > JH > JL$ (表 3)。157、398 d 时  $JL$  与  $JH$ 、 $JL$  与  $HJ$  的绝对增长率差异显著 ( $P < 0.05$ ),  $JH$  与  $HJ$  差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 598 d 时子

代的绝对增长率差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

雌鱼绝对增长率在 157、398 及 598 d 时分别以  $HJ(\text{♀})$ 、 $HJ(\text{♀})$  及  $JL(\text{♀})$  最大; 雄鱼分别以  $JH(\text{♂})$ 、 $HJ(\text{♂})$  及  $JH(\text{♂})$  最大。398、598 d 时, 雌、雄鱼的绝对增长率差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 3 各子代群体不同时期的绝对增长率及生长指标

Tab.3 Absolute growth rate in body length and growth index of different populations at different periods

群体 population	绝对增长率 ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) absolute growth rate in body length			生长指标 growth index		
	157 d	398 d	598 d	157 d	398 d	598 d
JL	$0.751 \pm 0.078^d$	$0.554 \pm 0.057^d$	$0.667 \pm 0.055^b$	$2.54 \pm 0.094^e$	$3.132 \pm 0.101^d$	$3.707 \pm 0.078^b$
JH	$0.81 \pm 0.091^{ab}$	$0.569 \pm 0.06^c$	$0.668 \pm 0.053^b$	$2.614 \pm 0.101^{ab}$	$3.158 \pm 0.102^c$	$3.709 \pm 0.077^b$
HJ	$0.805 \pm 0.112^{bc}$	$0.579 \pm 0.071^{bc}$	$0.669 \pm 0.054^b$	$2.605 \pm 0.125^b$	$3.173 \pm 0.118^c$	$3.710 \pm 0.078^b$
$JL(\text{♀})$	$0.758 \pm 0.07^d$	$0.577 \pm 0.051^{bc}$	$0.692 \pm 0.056^a$	$2.553 \pm 0.085^{de}$	$3.174 \pm 0.086^{bc}$	$3.744 \pm 0.076^a$
$JH(\text{♀})$	$0.826 \pm 0.094^{ab}$	$0.594 \pm 0.052^{ab}$	$0.684 \pm 0.045^a$	$2.630 \pm 0.104^{ab}$	$3.201 \pm 0.084^{ab}$	$3.733 \pm 0.065^a$
$HJ(\text{♀})$	$0.828 \pm 0.112^a$	$0.61 \pm 0.07^a$	$0.685 \pm 0.055^a$	$2.631 \pm 0.122^a$	$3.224 \pm 0.11^a$	$3.734 \pm 0.079^a$
$JL(\text{♂})$	$0.743 \pm 0.084^d$	$0.53 \pm 0.053^e$	$0.645 \pm 0.045^c$	$2.534 \pm 0.1^e$	$3.091 \pm 0.095^e$	$3.676 \pm 0.067^c$
$JH(\text{♂})$	$0.799 \pm 0.087^{bc}$	$0.548 \pm 0.061^d$	$0.652 \pm 0.054^c$	$2.602 \pm 0.098^{bc}$	$3.121 \pm 0.105^d$	$3.686 \pm 0.08^c$
$HJ(\text{♂})$	$0.784 \pm 0.106^c$	$0.552 \pm 0.059^d$	$0.651 \pm 0.046^c$	$2.581 \pm 0.122^{cd}$	$3.128 \pm 0.1^d$	$3.685 \pm 0.068^c$

3 个群体的生长指标均随养殖时间增加而增大, 子代间生长指标的大小变化趋势及差异显著性同绝对增长率。

雌、雄鱼的生长指标也随养殖时间增加而增大。雌鱼生长指标在 157、398 d 时  $HJ(\text{♀}) > JH(\text{♀}) > JL(\text{♀})$ , 598 d 时  $JL(\text{♀}) > HJ(\text{♀}) > JH(\text{♀})$ 。雄鱼在 157、398 及 598 d 时的生长指标分别以  $JH(\text{♂})$ 、 $HJ(\text{♂})$  及  $JH(\text{♂})$  最大。每个群体中雌鱼的生长指标均大于雄鱼。398、598 d 时雌、雄鱼的生长指标差异显著 ( $P < 0.05$ )。

方差分析表明, 鱼的不同交配组合和不同性别及养殖时间对绝对增长率和生长指标均有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。

#### 2.5 子代的超亲优势率比较

$JH$ 、 $HJ$  在 157、398 d 时均有超亲优势率(表 4)。 $HJ$  的超亲优势明显高于  $JH$ , 两者分别相差 1.98、4.83 倍; 598 d 时  $JH$ 、 $HJ$  生长均不及  $JL$ , 绝对增重率仅是建鲤的 96.72%、95.83%, 说明此期  $JH$ 、 $HJ$  的杂种优势出现了衰退。

$JH(\text{♂})$ 、 $HJ(\text{♂})$  仅在 157 d 时有生长优势, 398、598 d 时  $JH(\text{♂})$  的绝对增重率分别为  $JL$  的 88.63%、87.50%,  $HJ(\text{♂})$  绝对增重率为  $JL$  的 90.05%、84.92%;  $HJ(\text{♀})$ 、 $JH(\text{♀})$  一直有生长优势; 所以  $JH$ 、 $HJ$  在 398 d 时的杂种优势主要表现

在群体中的雌鱼。

方差分析表明, 养殖时间及鱼的不同交配组合和不同性别对超亲优势率均有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。

表 4 子代各时期体重的超亲优势率

Tab.4 Super-parent heterosis rate of body weight of  $F_1$  hybrids at different periods %

养殖时间(d) time	体重的超亲优势率 super-parent heterosis rate of body weight					
	$JH$	$JH(\text{♀})$	$JH(\text{♂})$	$HJ$	$HJ(\text{♀})$	$HJ(\text{♂})$
157	6.67	9.36	5.07	13.21	19.32	7.36
398	1.77	17.29	-11.37	8.55	28.54	-9.95
598	-3.30	6.56	-12.50	-4.15	6.24	-15.08

#### 2.6 子代的生长方程

子代生长符合  $W = aL^b$  的形式,  $a$  值在 0.0106 ~ 0.0666,  $b$  值在 1.8679 ~ 3.1435(表 5)。398 d 时子代生长方程的相关系数最高,  $b$  值最接近 3, 说明此期子代的体长、体高近似等速生长; 598 d 时  $b$  值及  $R^2$  普遍降低, 表明该时期子代体长、体高的生长速度差别较大。

各群体中雌、雄鱼的生长方程的变化规律与群体总体变化基本一致, 598 d 时  $b$  值及  $R^2$  也出现降低的现象, 且雌鱼生长方程的相关性低于雄鱼, 其中  $JL(\text{♀})$  生长方程的  $b$  值最低, 仅为 1.8679, 偏离正常的生长规律。

表5 各群体不同时期的生长方程  
Tab.5 Growth equations of populations at different periods

群体 population	生长方程 growth equation		
	157 d	398 d	598 d
JL	$W = 0.0182L^{2.9207}$ ; $R^2 = 0.9079$	$W = 0.0109L^{3.1435}$ ; $R^2 = 0.9112$	$W = 0.0666L^{2.6355}$ ; $R^2 = 0.7536$
JH	$W = 0.0171L^{2.8889}$ ; $R^2 = 0.9302$	$W = 0.0113L^{3.112}$ ; $R^2 = 0.9439$	$W = 0.0603L^{2.6542}$ ; $R^2 = 0.8061$
HJ	$W = 0.0232L^{2.7965}$ ; $R^2 = 0.9339$	$W = 0.0106L^{3.1321}$ ; $R^2 = 0.9398$	$W = 0.068L^{2.6182}$ ; $R^2 = 0.8007$
JL(♀)	$W = 0.0144L^{3.0078}$ ; $R^2 = 0.8895$	$W = 0.0172L^{3.0105}$ ; $R^2 = 0.8754$	$W = 1.2493L^{1.8679}$ ; $R^2 = 0.6294$
JH(♀)	$W = 0.0128L^{2.9863}$ ; $R^2 = 0.9386$	$W = 0.0069L^{3.2719}$ ; $R^2 = 0.9268$	$W = 0.1606L^{2.4032}$ ; $R^2 = 0.7820$
HJ(♀)	$W = 0.0185L^{2.8732}$ ; $R^2 = 0.9318$	$W = 0.0162L^{3.0085}$ ; $R^2 = 0.9376$	$W = 0.235L^{2.2979}$ ; $R^2 = 0.7707$
JL(♂)	$W = 0.0187L^{2.9122}$ ; $R^2 = 0.9257$	$W = 0.0205L^{2.9305}$ ; $R^2 = 0.9069$	$W = 0.0583L^{2.6588}$ ; $R^2 = 0.8149$
JH(♂)	$W = 0.0187L^{2.8627}$ ; $R^2 = 0.9364$	$W = 0.0222L^{2.0097}$ ; $R^2 = 0.9477$	$W = 0.0989L^{2.5095}$ ; $R^2 = 0.8092$
HJ(♂)	$W = 0.0257L^{2.764}$ ; $R^2 = 0.9336$	$W = 0.0138L^{3.0378}$ ; $R^2 = 0.9128$	$W = 0.0748L^{2.579}$ ; $R^2 = 0.8553$

## 2.7 子代主要生长性状的通径分析

通径分析表明,子代每个时期的体长、体高对体重的效应均为正向效应;体长-体重相关系数、体高-体重相关系数、体长-体高相关系数均呈下降趋势(表6)。398 d时3个群体中体长对体重的直接作用均大于体高的直接作用,598 d时则相反(除JH外)。

JH中体长对体重的决定系数始终大于体高的决定系数;对JL、HJ,398 d时体长对体重的决定系数均大于体高的决定系数,598 d时则相反。雌、雄鱼分开时体长、体高对体重的决定系数分别为,398 d时所有雌、雄鱼中体长对体重的决定系数大于体高的决定系数;598 d时HJ(♀)、JL(♀)中体高对体重的决定系数大于体长的决定系数;JL(♂)、HJ(♂)、JH(♀)中体长对体重的决定系数大于体高的决定系数;JH(♂)中体高对体重的决定系数稍大于体长的决定系数,但两者差别很小。

## 3 讨论

### 3.1 子代生长的比较

黄河鲤为我国北方的鲤鱼良种,用黄河鲤与建鲤进行正反杂交,子代在性状改良方面产生了一定效果,HJ、JH在养殖157、398 d时均表现出了超亲优势,尤以HJ的超亲优势最为明显;但在598 d时,JH、HJ生长均不及JL,出现了杂种优势的衰退现象,而且此期JH生长快于HJ,分析原因可能是基因型不同、母性遗传<sup>[9]</sup>以及性腺发育期差异,导致了JH、HJ及JL的生长差异。另外,JH在398 d时的超亲优势率低于朱健等<sup>[10]</sup>的结果,这可能是所用样本数目不同,或者是养殖环境和养殖时间差异引起。

JH、HJ在体长增长方面均比JL有优势,但饱满度低于JL,说明子代中某些特异基因存在差异表达,掌握特定基因的遗传规律可为性状的分化控制提供理论指导。

Brown<sup>[11]</sup>提出生长方程  $W = aL^b$  中  $b$  通常在2.5~4.0,本试验子代的生长方程基本符合此规律,相关性较高,但JL(♀)在598 d时  $b$  仅为1.8679,严重偏离适用范围。可能是后期JL(♀)的变异系数较高,引起生长离散程度增加所致,因此有必要加强JL(♀)后期的选育。3个群体在养殖398 d至598 d期间有一个快速的生长期,体重、体长增加率最快,所以此期应优化养殖条件,防止环境胁迫,保证子代生长优势的充分发挥。

### 3.2 雌雄鱼的生长差异

研究表明,若养殖的鲤鱼是全雌的,仅利用性别差异就可增长10%,全雌鲤的推广已产生了十分可观的经济效益<sup>[12]</sup>,全雌建鲤也培育成功,平均生长速度提高了15.7%。本试验中,雌、雄鱼生长差异显著( $P < 0.05$ ),杂交后代中雌鱼的增重率始终大于JL子代的增重率;但杂交后代中的雄鱼仅在157 d时增重率大于JL子代的增重率。另外,在绝对增重(长)率、特定增长率、生长指标上,雌鱼均大于雄鱼;在饱满度上,157 d时雌鱼小于雄鱼,398、598 d时雌鱼大于雄鱼。性腺发育不同步可能是导致雌、雄鱼生长差异的重要因素。

方差分析表明,养殖时间对体重的差异显著性、绝对增重率无显著影响,增重率的差异主要在于鱼的不同交配组合和不同性别,本试验中雌鱼生长远快于雄鱼,所以在养殖生产上控制鱼类性别有很高的实用价值,养殖雌性鱼可以提高生产效率。

表 6 子代主要生长性状的通径系数及相关系数

Tab.6 Path coefficients and correlation coefficients of main growth traits among offspring

群体 population	性状 trait	养殖时间(d) time	通径系数 path coefficient		对体重的决定系数 decision coefficient			相关系数 correlation coefficient	
			体长(mm) BL	体高(mm) BH	$D_{BL}$	$D_{BH}$	$D_{(BL+BH)}$	$r_{(BL-BH)}$	$r_{(BL-BW)}; r_{(BH-BW)}$
JL	体长 BL	398	<u>0.5577</u>	0.3764	0.3110		0.4198	0.8807	0.9342
		598	<u>0.4483</u>	0.3922	0.2010		0.3517	0.7434	0.8405
	体高 BH	398	0.4912	<u>0.4274</u>		0.1827			0.9186
		598	0.3333	<u>0.5276</u>		0.2784			0.8609
JL(♀)	体长 BL	398	<u>0.6193</u>	0.2984	0.3835		0.3696	0.8578	0.9177
		598	<u>0.3680</u>	0.3696	0.1354		0.272	0.6541	0.7376
	体高 BH	398	0.5312	<u>0.3479</u>		0.1210			0.8791
		598	0.2407	<u>0.5651</u>		0.3193			0.8058
JL(♂)	体长 BL	398	<u>0.5938</u>	0.3296	0.3526		0.3915	0.8411	0.9234
		598	<u>0.5746</u>	0.3253	0.3302		0.3738	0.7364	0.8999
	体高 BH	398	0.4994	<u>0.3919</u>		0.1536			0.8913
		598	0.4231	<u>0.4417</u>		0.1951			0.8649
JH	体长 BL	398	<u>0.7211</u>	0.2337	0.5200		0.3371	0.8962	0.9548
		598	<u>0.5255</u>	0.3591	0.2762		0.3774	0.7528	0.8845
	体高 BH	398	0.6463	<u>0.2608</u>		0.0680			0.9070
		598	0.3596	<u>0.4770</u>		0.2275			0.8725
JH(♀)	体长 BL	398	<u>0.8122</u>	0.1367	0.6597		0.2221	0.8305	0.9489
		598	<u>0.4879</u>	0.3940	0.2380		0.3844	0.7463	0.8819
	体高 BH	398	0.6745	<u>0.1646</u>		0.0271			0.8392
		598	0.5641	<u>0.3279</u>		0.1079			0.8920
JH(♂)	体长 BL	398	<u>0.6550</u>	0.3054	0.4290		0.4001	0.921	0.9604
		598	<u>0.4932</u>	0.3894	0.2432		0.3841	0.7422	0.8827
	体高 BH	398	0.6033	<u>0.3316</u>		0.1100			0.9348
		598	0.3661	<u>0.5247</u>		0.2753			0.8908
HJ	体长 BL	398	<u>0.6582</u>	0.2949	0.4332		0.3881	0.9023	0.9530
		598	<u>0.4852</u>	0.4036	0.2354		0.3916	0.7678	0.8888
	体高 BH	398	0.5939	<u>0.3267</u>		0.1067			0.9206
		598	0.3725	<u>0.5256</u>		0.2763			0.8981
HJ(♀)	体长 BL	398	<u>0.6994</u>	0.2550	0.4892		0.3567	0.8776	0.9544
		598	<u>0.4403</u>	0.4241	0.1939		0.3735	0.7288	0.8644
	体高 BH	398	0.6138	<u>0.2906</u>		0.0844			0.9044
		598	0.3209	<u>0.5819</u>		0.3386			0.9028
HJ(♂)	体长 BL	398	<u>0.6052</u>	0.3322	0.3663		0.4021	0.8885	0.9374
		598	<u>0.6096</u>	0.3134	0.3716		0.3821	0.7737	0.9230
	体高 BH	398	0.5377	<u>0.3739</u>		0.1398			0.9117
		598	0.4716	<u>0.4051</u>		0.1641			0.8767

注: 通径系数值中加下划线的数值为直接通径系数, 不加下划线的数值为间接通径系数

Notes: the numbers underlined are direct path coefficient, while the numbers without underlines are indirect path coefficient among path coefficient

### 3.3 杂种优势衰退的分析

根据孟德尔的遗传定律, 一般  $F_2$  才会出现杂种优势衰退, 但本试验中 JH、HJ 的杂种优势在  $F_1$  代就消失衰退, 这种现象在杂交鲤鱼中尚未见过报道, 分析原因可能有几个: 首先, JH、HJ 的性腺发育期比 JL 提前, 导致 598 d 时 2 个群体生长变慢, 生长率不及 JL; 卵细胞质的影响也会导致正反杂交子代的体重有差异<sup>[13]</sup>; 其次, 子代生长差

异也可能与基因差异表达有关, 这与赵心怡等<sup>[14]</sup>的研究结果相似。另外, 优势基因的表达有一定的时序性<sup>[15]</sup>, 也会引起生长优势随时间而变化。近年来, 鲤遗传连锁图谱的建立, 为经济性状相关的基因定位提供了可能<sup>[16-17]</sup>, 也为鲤的遗传改良奠定了基础。

虽然有研究表明, 鱼类野生群体与人工饲养群体的杂交后代通常并不比最好的野生群体表现

更好的性能<sup>[18-19]</sup>,但世界渔业中心的报告显示,养殖鱼类杂交后代会表现出50%的杂交优势<sup>[20]</sup>。本试验的结果显示,杂交优势的大小及有效保持不仅与养殖鱼类有关,与养殖时间、环境条件及优势性状的有效选择等均有很大关系。

### 3.4 通径分析

从生长速度上考虑,生产上通常选择体长偏长型的鲤个体,但从本试验的结果看,这是不全面的。试验中HJ体长始终长于JL,但其生长速度在598 d时不及JL,通径分析表明,JL、HJ在598 d时体高对体重的决定系数大于体长的决定系数,JL体高(106.26 mm)大于HJ(101.49 mm)是导致JL生长快于HJ的重要原因。另外,通径分析的结果显示,杂种优势的强弱与体长、体高均有密切联系;不同子代中,体高、体长对体重的不同决定系数是造成生长速度差异的重要原因。所以应按照各性状对体重的具体决定系数选择各时期的优势性状,以使子代的杂种优势充分表现。

### 参考文献:

- [1] 朱健,王建新,龚永生. 建鲤一代选育效果的分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(2): 3-32.
- [2] 董在杰,朱健,袁新华,等. 建鲤基因组DNA的RAPD分析[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(1): 4-6.
- [3] 李思发,王成辉,刘志国,等. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 175-179.
- [4] 盖钧镒. 实验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 梁慧珍,李卫东,王辉,等. 大豆粒状性状的遗传效应分析[J]. 遗传学报, 2005, 32(11): 1199-1204.
- [6] 袁希汉,汪玉清,侯喜林,等. 丝瓜主要农艺性状的相关及通径分析[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(1): 64-67.
- [7] Bogyo T P, Lance R C. Genetic models for quantitatively inherited endosperm characters [J]. Heredity, 1998, 60: 61-67.
- [8] Zhu J, Weir B S. Analysis of cytoplasmic and maternal effects I. A genetic model for diploid plants and animals [J]. TAG, 1994, 89: 153-159.
- [9] 张建森,孙小异. 建鲤育种研究论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 13-20.
- [10] 朱健,王建新,龚永生. 建鲤遗传改良的初步研究[J]. 中国水产科学, 2001, 8(2): 7-9.
- [11] Brown M E. Experimental studies on growth, in the Physiology of Fishes [M]. London: Academic Press, 1957: 361-400.
- [12] 吴清江,叶玉珍,陈荣德,等. 全雌鲤的培育及其养殖效果[J]. 水利渔业, 1990, (3): 21.
- [13] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 50-60.
- [14] 赵心怡,杨威,张勇,等. 鸡基因组计划在遗传学研究中的应用[J]. 遗传, 2006, 28(8): 1002-1008.
- [15] 韩贻仁. 分子细胞生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 539-577.
- [16] 梁利群,孙效文. 鲤耐寒性状分子标记在遗传连锁图谱中的定位[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 278-281.
- [17] 岳志芹,孔杰,戴继勋. 水产动物遗传连锁图谱的研究现状及应用展望[J]. 遗传, 2004, 26(1): 97-102.
- [18] Bryden C A, Heath J W, Heath D D. Performance and heterosis in farmed and wild chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) hybrid and purebred crosses [J]. Aquaculture, 2004, 235: 249-261.
- [19] Bentsen H B, Eknath A E, Palada-de Vera M S, et al. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 1998, 160: 145-173.
- [20] World Fish Center. Genetic improvement of carp species in Asia[R]. ICLARM Final Report, 2001, 159.

## Growth comparison and path analysis of selfing of Jian carp and reciprocal crosses hybrids between Jian carp and Huanghe carp

TONG Xue-hong<sup>1</sup>, YUAN Xin-hua<sup>2</sup>, DONG Zai-jie<sup>2</sup>,

MIAO Wei-min<sup>2</sup>, SU Zhi-feng<sup>1</sup>, YUE Chun-mei<sup>1</sup>, LIN Lian-sheng<sup>1</sup>

(1. *Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;*

2. *Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)*

**Abstract:** Based on Jian carp and Huanghe carp, three populations including selfing of JL (Jian carp ♀ × Jian carp), direct cross JH (Jian carp ♀ × Huanghe carp ♂) and back-cross HJ (Huanghe carp ♀ × Jian carp ♂) were established and tagged by PIT (passive integrated transponder) system with concerned growth parameters measured on 157, 398, 598 days after hatching respectively. The major results were as follows. (1) The orders of the growth rates were HJ > JH > JL on 157 and 398 days and the difference between JL and HJ was significant ( $P < 0.05$ ). On 598 days, it turned out to be JL > JH > HJ and the difference among offspring was not significant ( $P > 0.05$ ). (2) CV of body weight and CV of body length shared the same tendency that was HJ > JH > JL on 157 and 398 days and JL > HJ > JH on 598 days. CV of body length was smaller than that of body weight. (3) Fullness increased with time and it was the highest in JL. The difference between JL and JH, JL and HJ was significant. (4) The growth differences between female and male carps were significant. The growth rate of female carps was faster than that of JL all the time, whereas male ones only showed the growth advantage over JL on 157 days and heterosis declined on 398, 598 days. (5) The decision coefficient of body length to body weight played a leading role on 398 days. On 598 days, the decision coefficients of body height played a leading role for HJ (♀), JL (♀) and body length for JL (♂), HJ (♂), JH (♀). For JH (♂), the decision coefficient of body length and body height were almost the same. (6) Difference of body weight and absolute growth rate of body weight were not significantly influenced ( $P > 0.05$ ) by breeding days, but the influence was highly significant ( $P < 0.01$ ) to body length, absolute growth rate of body length, instantaneous growth rate of body weight, CV of body weight, growth index and fullness. The influence produced by different populations and different sex of fish was highly significant to all the growth parameters above.

**Key words:** *Cyprinus carpio* var. jian; offspring; growth parameter; heterosis; PIT tag; path analysis