

文章编号:1000-0615(2008)03-0335-07

尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼正反交鱼自繁后代 F_2 耐盐性、生长性能及亲本对杂种优势贡献力的评估

李思发¹, 颜 标¹, 蔡完其¹, 李腾云¹, 莫金华², 张艳红²

(1. 上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090;

2. 河北中捷农场水产良种场, 河北 沧州 061108)

摘要:为选育耐盐和生长兼优的罗非鱼,以原始亲本尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)和萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)为对照,正交鱼(尼罗罗非鱼♀×萨罗罗非鱼♂)自繁第二代(F_2)和反交鱼(萨罗罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂)自繁第二代(F_2)为试验对象,观察和比较他们在盐度为0、15、20及25时的耐盐性和生长性能,并估算杂种优势及亲本的贡献力。结果如下:(1)盐度20~25是正、反交鱼的适宜生长盐度,他们在这一盐度范围里的日均增重率为尼罗罗非鱼在盐度0下的75%左右、萨罗罗非鱼在盐度25下的4倍左右,表明杂交后代的生长速度比较接近尼罗罗非鱼,远优于萨罗罗非鱼。在盐度25下,正交鱼比反交鱼生长快7%左右。(2)在盐度15与20下,生长速度和体重变异系数的杂种优势较明显,未发现不同盐度会导致正反交鱼成活率有显著变化。(3)不同亲本鱼类的强势性状,如尼罗罗非鱼的快速生长、萨罗罗非鱼的高耐盐性,对杂交后代的不同性状在不同盐度中有不同的贡献力。运用 $F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$ 所作的估算表明,对杂交后代在15~25盐度下的增长率,尼罗罗非鱼的杂种优势贡献力比萨罗罗非鱼的大3~4倍;对杂交后代在25盐度下的耐盐性,尼罗罗非鱼的贡献力几乎为零,而萨罗罗非鱼的贡献力几乎为100%。

关键词:尼罗罗非鱼;萨罗罗非鱼;正反交;生长;耐盐性;杂种优势贡献力

中图分类号:S 917

文献标识码:A

尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)自1978年以来多次引进我国,是目前我国主要养殖鱼类之一,生长快,耐盐能力一般,适合淡水养殖;萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)是2002年引进,耐盐能力强,适合咸淡水养殖,但生长慢^[1]。这两种罗非鱼在分类上系两个属,尼罗罗非鱼雌鱼口孵,萨罗罗非鱼则主行雄鱼口孵,两种鱼不能自然交配,人工杂交也很困难。2004年通过人工杂交得到了少量的正、反交子一代(F_1)^[2],由于出苗率很低,不能满足生长试验之需;但发现 F_1 养大后能自然繁殖,并于2005年获得了 F_2 ,为深入试验和耐盐罗非鱼新品种的选育奠定了育种材料基础。

国内外关于尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼养殖试验已有报道^[3-6],不过还未见这两种鱼的杂交种及其养殖性能和鱼类杂种优势的定量分析的报道。我们设计了在不同盐度下对正反交鱼 F_2 及其亲本的比较试验,评估他们的生长性能、耐盐性、杂种优势及亲本贡献力,为选育耐盐罗非鱼新品种提供依据,也可供其它鱼类杂交育种参考。

1 材料与方 法

1.1 试验鱼准备

杂交鱼的原始亲本,一是以1994年从国际水生生物资源管理中心(ICLARM)引进的吉富品系尼罗罗非鱼为基础群体选育的良种——新

收稿日期:2007-05-26

资助项目:国家科技支撑计划专题[耐盐罗非鱼新品种选育(2006BAD01A1203)]

作者简介:李思发(1938-),江苏镇江人,教授,博士生导师,主要从事水产种源和种苗工程研究。Tel:021-65710333, E-mail:sfli@shfu.edu.cn

吉富罗非鱼(以下简称“尼罗”);二是 2002 年引进的萨罗罗非鱼繁殖的后代(以下简称“萨罗”)。经 2 年努力于 2004 年获得人工杂交尼罗♀×萨罗♂(F_1)和萨罗♀×尼罗♂(F_1),接着,尼罗♀×萨罗♂(F_1)自繁产生了尼罗×萨罗(F_2),萨罗♀×尼罗♂(F_2)自繁产生了萨罗×尼罗(F_2)。本试验以尼罗×萨罗(F_2)、萨罗×尼罗(F_2)为试验组,尼罗和萨罗为对照组。

1.2 试验设计

试验在河北省中捷国家级罗非鱼良种场进行。试验组鱼和对照组鱼在淡水中繁育出苗后 20 d 左右,选取体长相近的尼罗、萨罗、尼罗×萨罗(F_2)、萨罗×尼罗(F_2),先在 1 m×2 m×2 m 网箱淡水中培育。待四种鱼生长到可以剪鳍时,分别剪不同鳍予以标记[尼罗(左胸)、萨罗(右胸)、尼罗×萨罗(F_2)(左腹)、萨罗×尼罗(F_2)(右腹)],并分别驯化到 0、15、20 和 25 共 4 个盐度开始正式实验,驯化参照以色列红罗非鱼和尼罗罗非鱼的方法^[5-6]。实验水体为 1 m×2 m×2 m 的网箱。采用 4(鱼)×3(网箱)×4(盐度)随机区组设计,即每箱 4 种鱼,各 30 尾;3 个网箱为一组重复;每组网箱分别吊养于 0、15、20 及 25 盐度的水泥池里。由于尼罗在 25 盐度组中不能存活,故 25 盐度没有尼罗。盐度用美国海洋研究所生产的盐度计(Aquatic Eco-Systems-Salinity Meter)测定并予以调节,精确到 0.1。实验初始体重和结束体重如表 1。由于繁殖和培育的困难,各种鱼的初始体重不够整齐。

1.3 饲养管理

正式试验从 2006 年 7 月 29 日至 9 月 24 日,共计 56 d。采用大江牌罗非鱼专用膨化饲料。每日投喂 4 次,每次投喂量以 20 min 内仍有剩料为准,以保证鱼饱食。每日 5:00、12:00、18:00、24:00,开鼓风机进行充氧。每日检查网箱,统计试验鱼的死亡数。

每隔 4 天吸一次网箱底污,换 1/4 池水,测量盐度、溶解氧、pH 值和氨态氮。试验期间,每种盐度保持在±0.1 的范围内;试验期间的水温为(27.8±2.2)℃,溶解氧变动为 3.5~6.2 mg·L⁻¹;pH 值变动为 7.6~8.5;氨态氮变动为 0.9~4.8 mg·L⁻¹。每隔 20 天检查一次生长,对箱内所有鱼逐一称量体重,测量体长。体重精确到 0.01 g,体长精确到 1 mm。

1.4 数据处理和分析

试验数据采用 SPSS 11.5 软件进行处理和统计分析。计算各盐度下 4 种罗非鱼的初始平均体重、最后平均体重、绝对增重率、瞬时增重率、成活率以及体重变异系数的平均值和方差,进行离差分析^[7]。分别就盐度、试验鱼种类作单因素方差分析,再就盐度和试验鱼种类作双因子方差分析,必要时作 Duncan 氏多重比较分析^[8]。

有关计算公式如下^[9]:

$$\text{成活率}(\%) = \text{收获尾数} / \text{放养尾数} \times 100$$

$$\text{日均增重率 AGR}(\text{g} \cdot \text{d}^{-1}) = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{瞬时增重率 IGR}(\% \cdot \text{d}^{-1}) = [(\text{Ln}W_2 - \text{Ln}W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100$$

$$\text{体重变异系数(CV, \%)} = \text{SD} / W \times 100$$

式中, W_1 、 W_2 分别为 t_1 日和 t_2 日的体重,SD 为标准差, W 为平均体重。

杂种优势(heterosis)按 Tave^[10]估算:

$$H = [(h - p) / p] \times 100$$

式中, h 为正反杂交后代的某性状的平均值的均值[如($W_1 + W_2$)/2], p 为两亲本的相应均值。如 $H > 0\%$,则表示有杂种优势, H 值越大,优势越强。

双亲对杂种优势的贡献力按作者提出的下式估算:

$$F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$$

式中, F_1 为正反交子代平均值, P_1 、 P_2 分别为亲本 1 与亲本 2 某性状的平均值; a_1 与 a_2 为系数,分别为两亲本某性状对杂种优势的贡献力, $a_1 + a_2 = 1$ 。

2 结果

2.1 生长

盐度对 4 种罗非鱼生长速度的影响 4 种盐度下 4 种罗非鱼的生长速度的差异以及均值多重比较见表 1。在 4 个盐度里,尼罗在 0 盐度下的日均增重率[(1.99±0.56)g·d⁻¹]显著地高于其它盐度($P < 0.05$),进一步证明其适合在淡水环境里饲养;萨罗在 25 盐度时的日均增重率为[(0.35±0.16)g·d⁻¹],与 15 及 20 盐度下相似,但高于在 0 盐度下,差异虽不显著,但也可表明该种鱼比较适合在有盐度的水里生长;而尼罗×萨罗(F_2)和萨罗×尼罗(F_2)都是在 20 盐度表现为最好,日均增重率分别为(1.49±0.27)

和 $(1.38 \pm 0.29) \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$,分别相当于 0 盐度时尼罗的 74%和 69%, 25 盐度时萨罗的 4.26 倍和 3.94 倍。除了在 15 盐度时 2 种杂交鱼的生长速度相差不大外,在 0、20 和 25 盐度,尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)均快于萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)。

双因子方差分析表明,除了萨罗,盐度的高低对其他 3 种罗非鱼的生长有极显著影响($P < 0.01$),而在同一盐度中,不同罗非鱼的生长有极显著差异($P < 0.01$),此外,盐度-鱼类交互作用对鱼的生长也有极显著影响($P < 0.01$)。

表 1 4 种盐度 4 种试验鱼的初始体重、最后体重、生长率、成活率和体重变异系数

Tab. 1 The initial body weight, final body weight, growth rate, survival rate and coefficient of variation of body weight of four tilapias under four salinities

盐度 salinity	鱼别 fish	初始体重(g) initial weight	最后体重(g) final weight	日均增重率 ($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) AGR	成活率(%) survival rate	体重变异系数(%) coefficient of variation of body weight
0	尼罗	5.16 ± 2.37^c	116.75 ± 6.19^a	1.99 ± 0.56^a	95.60 ^{abc}	32.80 ^{bcd}
	尼罗 $\times$ 萨罗(F ₂)	6.53 ± 2.38^{bc}	70.25 ± 5.25^g	1.14 ± 0.39^g	90.00 ^d	39.25 ^{ab}
	萨罗 $\times$ 尼罗(F ₂)	5.34 ± 1.55^c	54.60 ± 4.67^h	0.88 ± 0.34^h	95.60 ^{abc}	39.98 ^{ab}
	萨罗	2.80 ± 0.77^e	18.31 ± 2.79^i	0.28 ± 0.13^i	96.70 ^{ab}	42.49 ^a
15	尼罗	4.31 ± 1.28^d	95.04 ± 4.87^c	1.62 ± 0.40^c	94.30 ^{abc}	24.92 ^d
	尼罗 $\times$ 萨罗(F ₂)	7.80 ± 2.68^b	82.03 ± 5.01^f	1.33 ± 0.33^f	92.20 ^{cd}	30.61 ^{bcd}
	萨罗 $\times$ 尼罗(F ₂)	8.02 ± 2.15^b	83.51 ± 4.84^{ef}	1.35 ± 0.34^f	96.70 ^{ab}	28.09 ^{cd}
	萨罗	3.84 ± 1.18^{de}	22.68 ± 2.92^i	0.34 ± 0.13^i	94.30 ^{abc}	37.70 ^{ab}
20	尼罗	3.32 ± 1.47^e	104.65 ± 5.04^b	1.81 ± 0.42^b	92.20 ^{cd}	24.30 ^d
	尼罗 $\times$ 萨罗(F ₂)	9.11 ± 2.73^a	92.46 ± 4.75^{cd}	1.49 ± 0.27^{cd}	93.30 ^{bcd}	24.48 ^d
	萨罗 $\times$ 尼罗(F ₂)	8.65 ± 2.83^{ab}	85.32 ± 4.76^{def}	1.38 ± 0.29^{def}	95.60 ^{abc}	26.55 ^d
	萨罗	3.49 ± 0.94^e	22.94 ± 2.95^i	0.34 ± 0.14^i	97.80 ^a	37.88 ^{ab}
25	尼罗 $\times$ 萨罗(F ₂)	8.30 ± 3.18^b	90.59 ± 5.56^{de}	1.47 ± 0.34^{de}	93.30 ^{bcd}	34.10 ^{bcd}
	萨罗 $\times$ 尼罗(F ₂)	6.87 ± 2.93^{bc}	73.34 ± 5.36^f	1.28 ± 0.36^f	96.70 ^{ab}	36.74 ^{abc}
	萨罗	3.31 ± 0.93^e	23.12 ± 3.21^i	0.35 ± 0.16^i	95.60 ^{abc}	44.51 ^a

注:同一栏内平均值后字母相同者表示差异不显著($P > 0.05$)

Notes: Means in the same column followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$)

尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)、萨罗 $\times$ 尼罗(F₂) 及亲本生长速度比较 在各盐度下,尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)和萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)的日均增重率离差均小于尼罗,高于萨罗(图 1),表明这两个回交杂种的生长速度居于两个亲本之间,但偏向尼罗。同萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)相比,尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)除了在 15 盐度时的离差稍低外,均大于前者,表明尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)在生长上的比萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)略具优势。

2.2 成活率

双因子方差分析表明,在 4 种盐度中,萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)的成活率都明显地高于尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)($P < 0.01$);萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)的成活率同原始亲本之一萨罗没有显著差异(表 1),但同另一原始亲本尼罗相比,盐度越高,差别越大。

2.3 体重变异系数

双因子方差分析表明,鱼的种类和盐度对体重变异系数都有极显著影响($P < 0.01$),而盐度-鱼类交互作用($P = 0.58$)对体重变异系数没有显著影响(表 1)。体重变异系数最大的是 25 盐度下的萨罗,最小是 20 盐度下的尼罗。与尼罗 $\times$ 萨罗(F₂)相比,萨罗 $\times$ 尼罗(F₂)的体重变异系数除在 15 盐度下较低外,在其它盐度下都较高。而在各个盐度梯度下,两种杂交鱼的体重变异系数都大于尼罗,小于萨罗。

2.4 杂种优势和双亲贡献力的估算

杂种优势的估算 依据表 1 的数据,计算得在日增重率、成活率及体重变异系数等方面的杂种优势如表 2。因盐度 25 没有尼罗,未能计算该盐度下的贡献力。

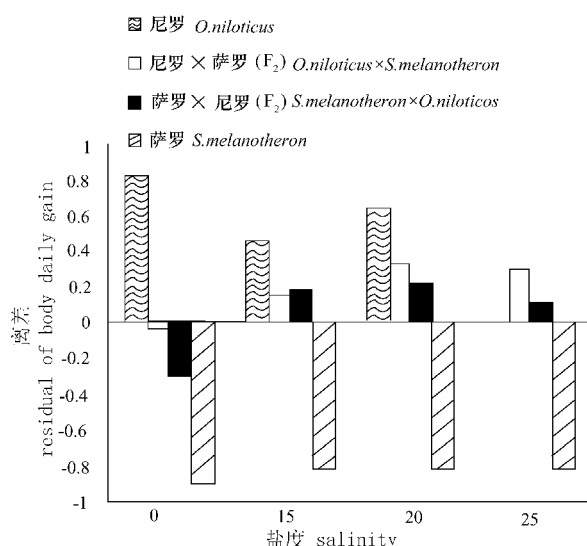


图1 4种罗非鱼在4个盐度下日均增重率的离差图
Fig. 1 The residual of body daily gain of four tilapias under four salinities

表2 尼罗罗非鱼×萨罗罗非鱼的杂种优势估算值(H)
Tab. 2 Estimated heterosis of hybrids between *O. niloticus* and *S. melanotheron*

	盐度 salinity		
	0	15	20
日增重率($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$)AGR	-11.01	+36.73	+33.33
成活率(%)survival rate	-3.48	-0.16	-0.59
体重变异系数(%)CV	+5.23	-6.26	-17.92

生长速度方面,杂种优势在盐度15与20都很明显;在成活率方面,杂种优势没有明显反映;在体重变异系数方面,盐度0对这一指标有微弱提升影响,盐度15与20对这一指标有较明显的降低影响,表明两种杂交鱼在盐度15与20条件下的生长较在盐度0时整齐。

双亲对杂种优势贡献力的估算 在生长速度方面,以本研究的盐度20环境下的结果(表1)为例, $F_1 = (1.49 + 1.38)/2 = 1.44$, $P_1 = 1.81$, $P_2 = 0.34$, 则, $F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$ 成为: $1.44 = a_1 1.81 + a_2 0.34$, 由此估算得, $a_1 \approx 0.75$, $a_2 \approx 0.25$, 即 $a_1 \approx 3a_2$, 显示尼罗对杂交后代生长方面的贡献力要比萨罗的贡献力大3倍;如以盐度15环境下的生长为例,则 $a_1 \approx 0.80$, $a_2 \approx 0.20$, 即 $a_1 \approx 4a_2$, 显示尼罗对杂交后代生长方面的贡献力要比萨罗的贡献力大4倍;在盐度25环境下,也是 $a_1 \approx 4a_2$ 。在成活率方面,以本研究的盐度25环境下的结果为例, $F_1 = (93.3 + 96.7)/2 = 95$, $P_1 \approx 0$, $P_2 = 95.6$,

则, $F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$ 成为: $95 = a_1 0 + a_2 95.6$, 由此估算得, $a_1 \approx 0$, $a_2 \approx 1$ 。

3 讨论

3.1 关于适宜两种杂交鱼生长的盐度

从理论上讲,鱼类生活在等渗条件下时,即血液里的离子浓度和水环境中的离子浓度相等时,由于不需要调节渗透压,能量可以得到一定程度的节省,而省下的部分能量将被用于生长^[11]。据报道,盐度12的水体,是奥利亚罗非鱼(*O. aureas*)的一种等渗环境,用于渗透调节的能量最小,生长应该最快^[12]。但是渗透压的平衡又受到很多因素的影响,如温度、光照等。Jeremy等^[13]报道,在光照强度一定时,只有温度与盐度的组配合理,如 $32^\circ\text{C} + \text{盐度} 8$,才能使平均体重为 $4.60 \sim 4.83 \text{ g}$ 的尼罗罗非鱼达到最佳的生长速度。但在不同种或属的鱼类,其与调节渗透压有关的结构如鳃^[14-15]、肾^[16]等的显微结构是不同的,而这些结构随着渗透压的变化所产生的自身的变化幅度也不一样^[16]。身体结构的改变无疑会对鱼类的耐盐性能产生影响。此外,不同盐度下,鱼类产生的与渗透压调节有关激素的能力也会发生变化^[17]。所以说,造成鱼类在不同盐度下的生长差异的原因是很复杂的。本试验的水温维持在 $(27.8 \pm 2.2)^\circ\text{C}$,温度变动的影响可以排除。试验表明,从日均增重率看,尼罗×萨罗(F_2)、萨罗×尼罗(F_2)都是在盐度20下表现最佳;从瞬时增重率看,尼罗×萨罗(F_2)、萨罗×尼罗(F_2)则是在25盐度下最佳。由此可认为,20~25盐度是尼罗×萨罗(F_2)与萨罗×尼罗(F_2)的适宜生长盐度。

3.2 关于杂交优势贡献力的估量

杂交是遗传育种的传统手段之一,旨在通过动植物属间、种间、种群间的个体的交配,谋求杂种优势(heterosis 或 hybrid vigour),获得在生长性能、繁殖力、适宜力、抗病性、肉质等方面超越双亲或兼具双亲某些特点的杂种。杂种优势的理想结果应是 $F_1 \geq P_1 + P_2$, 或 $F_1 \geq (P_1 + P_2)/2$ 。这方面不乏成功事例,如在农作物中,杂交玉米、杂交水稻等均取得巨大成功;在鱼类中,斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)×长鳍叉尾鲷(*I. furcatus*)的显著生长优势^[18],尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)×奥利亚罗非鱼(*O. aureus*)的雄性率

较高的优势^[19]。然而在实践中,往往达不到上述理想结果,如 $F_1 \leq P_1 + P_2$, 或 $F_1 \leq (P_1 + P_2)/2$ 的情况也常见。我们的试验表明,正反交鱼的耐盐性能和生长性能界于两个亲本之间,但生长速度偏向母本(尼罗),耐盐性偏向父本(萨罗)。为度量亲本的贡献力,我们对上面的概念公式稍作细化,则成为: $F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$ 。式中 a_1 与 a_2 为系数,可分别表示两亲本对杂种某性状的杂种优势的遗传贡献力, $a_1 + a_2 = 1$ 。作者以本研究的盐度 15、20 环境下的生长为例,估算得 $a_1 \approx 3 \sim 4a_2$, 显示尼罗对杂交后代生长方面贡献力要比萨罗的贡献力大 3~4 倍,即尼罗的生长速度有较强的遗传力。在成活率方面,以本研究的盐度 25 环境下的结果为例,估算得 $a_1 \approx 0$, $a_2 \approx 1$ 。显示尼罗对杂交后代在盐度 25 下的成活率的贡献力几乎为零,而萨罗的贡献力几乎为 100%。这说明,不同亲本鱼类的强势性状,比如尼罗的快速生长、萨罗的高耐盐性,对杂交后代的不同性状在不同盐度中有着不同的贡献力。

由于杂种优势的遗传基础的复杂性,及其研究与验证方法的局限性,杂交育种研究工作一直存在着一些颇难预测和驾驭的问题,如杂种优势能否显示,显示程度,显示于哪一(些)性状,等等。1990 年以前,对杂种优势的认识基本上围绕“显性假说”和“超显性假说”这两个代表性的单基因理论开展,都认为杂种优势来源于双亲异质性的结合后等位基因间相互作用的结果。1990 年以后,随着分子生物学技术的发展及其同数量遗传学的结合,从基因组水平、基因定位、基因相互作用等方面为杂种优势的遗传机理提供了更多的理论解释和检验手段。但是,迄今我们对杂种优势的本质或遗传机理仍不太清楚,量化分析尚缺少有效手段,致使难以定向调控杂交效果。这是我们今后要深入研究的。

参考文献:

- [1] 李学军,李思发,么宗利,等. 不同盐度下尼罗罗非、萨罗罗非鱼和以色列红罗非鱼幼苗生长、成活率及肥满系数的差异[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 245-251.
- [2] 颜 标,李思发,蔡完其. 尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼及其正反杂交后代的微卫星分析[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 411-415.
- [3] Ouattara N I, Teugels G G, Douba V N, et al. Aquaculture potential of the black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Cichlidae). Comparative study of the effect of stocking density on growth performance of landlocked and natural populations under cage culture conditions in Lake Ayame [J]. Aquaculture Research, 2003, 34, 1223-1229.
- [4] Gilles S, Amon-Kothias J B, Tean F A. Comparison of brackish water growth performances of *Sarotherodon melanotheron* (Cichlidae) from three West African populations [J]. Genetics and Aquaculture in Africa, 1998, 43(2): 199-210.
- [5] 李学军,李思发,冯金海,等. 以色列红罗非鱼耐盐性的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(3): 205-208.
- [6] 么宗利,李思发,李学军,等. 尼罗罗非鱼和以色列红罗非鱼耐盐驯化初步报告[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(2): 97-101.
- [7] Neter J, Wasserman W. Applied linear statistical models [M]. Rechard D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois, 1974: 501-506.
- [8] 李松岗. 实用生物统计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 139-169.
- [9] 李思发. 淡水鱼类种群生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 25-30.
- [10] Tave D. Genetics for fish hatchery managers (2 ed.) [M]. Van Nodtrand Reinhold, New York. 1993: 212-213.
- [11] Russel J B, Joanne S M, Steffen S M. Effects of environmental salinity on pituitary growth hormone content and cell activity in the euryhaline Tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. General and Comparative Endocrinology, 1994, 95(3): 483-494.
- [12] Lotan R. Oxygen consumption in the gills of *Tilapia aurea* (Steindachner) (Pisces, Cichlidae) in various saline conditions [J]. Israel J Zool, 1966 13(8): 33-37.
- [13] Jeremy S L, Timothy D S, Jay R S, et al. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. Aquaculture, 1996, 146(1-2): 37-46.
- [14] Avella M, Berhaut J, Bomancin M. Salinity tolerance of two tropical fishes, *Oreochromis*

- aureus, and *O. niloticus*, biochemical and morphological changes in the gill epithelium[J]. Journal of Fish Biology, 1993, 42(2): 243–254.
- [15] Olivier S, Philippe L R, Françoise R D, *et al.* Transfer of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to a hyperosmotic environment is associated with sustained expression of prolactin receptor in intestine, gill, and kidney [J]. General and Comparative Endocrinology, 2002, 123(3): 295–307.
- [16] Brian D, Zackary W W, Russell J B. Glucocorticoid receptor upregulation during seawater adaptation in a euryhaline teleost, the tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. General and Comparative Endocrinology, 2003, 132(1): 112–118.
- [17] Hideya T, Patrick P, Takashi K, *et al.* Prolactin receptor and proliferating/apoptotic cells in esophagus of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in fresh water and in seawater [J]. General and Comparative Endocrinology, 2007, 28(1): 1–6.
- [18] Chappell J A. An evaluation of twelve genetic groups of catfish for suitability in commercial production[D]. Doctoral Dissertation, Auburn Univ, AL, 1979.
- [19] Pruginin Y S, Rothbard G, Wohlfarth A, *et al.* All male breeds of *Tilapia nilotica* × *T. aurea* hybrids[J]. Aquaculture, 1975, 6: 11–21.

Evaluation of growth, salt tolerance and parents' heterosis contribution in reciprocal hybrids F_2 between *Oreochromis niloticus* and *Sarotherodon melanotheron*

LI Si-fa¹, YAN Biao¹, CAI Wan-qi¹, LI Teng-yun¹

JIA Jin-hua², ZHANG Yan-hong²

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecosystem Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. National Tilapia Seed Farm in Zhongjie, Cangzhou 061108, China)

Abstract: In order to select a good breed both with ideal culture performance and high salt tolerance, taking Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and black-chip tilapia (*Sarotherodon melanotheron*) as control groups, two reciprocal hybrids, i.e., $O. n. \text{♀} \times S. m. \text{♂}$ (F_2) and $S. m. \text{♀} \times O. n. \text{♂}$ (F_2) as trial groups, comparisons were conducted under 4 salinities (0, 15, 20 and 25). The major results were: (1) Both $O. n. \text{♀} \times S. m. \text{♂}$ (F_2) and $S. m. \text{♀} \times O. n. \text{♂}$ (F_2) showed a better growth under salinities 20 and 25, equal to about 75% of growth of Nile tilapia under salinity 0, and 4 times of growth of black-chip tilapia. under salinity 25. It indicated that the growth of hybrids close to *O. n.*, but much better than black-chip tilapia. Under 25 salinity, $O. n. \text{♀} \times S. m. \text{♂}$ (F_2) showed 7% faster growth than $S. m. \text{♀} \times O. n. \text{♂}$ (F_2). (2) Under 15 and 20 salinity, the heterosis showed higher in growth rate and coefficient variation of body weight, and it was found that salinities 0, 15, 20, 25 could not cause a significant difference in survival of two hybrids. (3) It is found that, the superior traits from different parent fish species, such as the fast growth of Nile tilapia, and the high salt tolerance of black-chip tilapia, are of different contribution for different traits of hybrids under different salinities. Estimated by the formula $F_1 \leq a_1 P_1 + a_2 P_2$, the contribution for growth of hybrids from Nile tilapia is 3–4 times higher than that from black-chip tilapia at salinity 15–25, and the contribution for survival of hybrids in 25 salinity is almost 0 from Nile tilapia, but 100% from black-chip tilapia.

Key words: *Oreochromis niloticus*; *Sarotherodon melanotheron*; reciprocal hybrids; growth; salt tolerance; contribution for heterosis