

## 新引进萨罗罗非鱼与其它8种罗非鱼耐盐差异

李学军<sup>1,2\*</sup>, 李爱景<sup>1</sup>, 李思发<sup>2</sup>, 蔡完其<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学生命科学学院, 河南 新乡 453007;

2. 上海海洋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 201306)

**摘要:** 以萨罗罗非鱼、尼罗罗非鱼、以色列红罗非鱼和奥利亚罗非鱼自交和双列杂交后代共9种罗非鱼为实验材料, 通过耐盐致死实验、半致死盐度实验和慢性耐盐驯化实验, 对萨罗罗非鱼与其他几种罗非鱼耐盐生态特点的差异进行了比较分析, 结果表明, (1) 萨罗罗非鱼 MST 为  $(9.24 \pm 1.353)h$ ,  $ST_{50}$  为  $(6.20 \pm 1.235)h$ , MLS-96 理论值为 30.2, 观察值为 31.2, 远高于另外8种罗非鱼。(2) 根据耐盐能力, 9种罗非鱼可分为4类: 第一类是萨罗罗非鱼, 耐盐极强, 各项耐盐指标都远高于其他罗非鱼; 第二类是以色列红罗非鱼和尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂, 耐盐强, 离差值为正值; 第三类是奥利亚罗非鱼、尼罗罗非鱼♀×以色列红罗非鱼♂、以色列红罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂、尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂和奥利亚罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂, 耐盐较强, 离差值为负值; 第四类是尼罗罗非鱼, 耐盐较弱。(3) 当进行慢性耐盐驯化时, 萨罗罗非鱼在5d内, 死亡率由0达到30%, 以后缓慢增长, 14~15d有个死亡率的高增长期, 然后即进入缓慢增长期; 第11天, 盐度32.8时, 死亡率达到50%, 第39天, 盐度为102时全部死亡。死亡率与驯化时间之间的线性回归关系为  $\ln Y = 3.430 + 0.640X^*$  ( $R^2 = 0.976$ )。 (4) 萨罗罗非鱼是培育耐盐罗非鱼养殖新品种较理想的亲本材料。

**关键词:** 萨罗罗非鱼; 耐盐差异; 半致死盐度; 耐盐驯化

**中图分类号:** Q 958.1; S 917

**文献标识码:** A

罗非鱼是起源于海洋的广盐性鱼类<sup>[1]</sup>, 不同种类罗非鱼耐盐能力差别很大, 其中莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*)、佛罗里达红罗非鱼 (*O. mossambicus* ♀ × *O. hornorum* ♂)、台湾红罗非鱼 (*O. niloticus* ♀ × *O. mossambicus* ♂) 和萨罗罗非鱼 (*Sarotherodon melanotheron*) 等是国内外报道较多的几种耐盐较强的罗非鱼<sup>[2-6]</sup>。我国咸、海水资源非常丰富, 引进和培育适宜的耐盐罗非鱼养殖新品种很有必要。萨罗罗非鱼又叫黑颊罗非鱼 (blackchin tilapia), 自然分布于西非从象牙海岸到塞内加尔河海湾和内陆泻湖的广大水域, 是著名的耐盐罗非鱼。据报道<sup>[6]</sup>, 它可耐受100的盐度, 在盐度为35时可正常繁殖。2002年, 我们经由美国佛罗里达州引进了萨罗罗非鱼<sup>[7]</sup>。虽然萨罗罗非鱼有非常优异的耐盐特性,

但是由于长期偏于西非一隅, 因此对它的研究和开发极为有限<sup>[7-9]</sup>。通过研究, 我们发现新引进的萨罗罗非鱼与我国常见的几种罗非鱼无论是形态特点还是分子遗传特征都有较大差异<sup>[10-11]</sup>, 那么它的耐盐性能究竟如何呢? 长期在美国的淡水中生活其耐盐能力是否有退化? 因此, 通过对萨罗罗非鱼与其它几种罗非鱼耐盐生态差异进行比较研究, 希望对新引进我国的萨罗罗非鱼耐盐能力进行确定, 并对萨罗罗非鱼作为亲本, 培育耐盐罗非鱼养殖新品种进行一些理论探索。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验鱼准备

实验用亲鱼均来自河北中捷国家级罗非鱼良种场。萨罗罗非鱼是2002年从美国引进后繁育

收稿日期:2010-01-03 修回日期:2010-05-16

资助项目:国家自然科学基金项目(30972252);河南省动物学重点学科及河南省水产养殖重点学科资助

通讯作者:李学军, Tel:0373-3326340, E-mail:xjli67@126.com

的 F<sub>1</sub> 代,尼罗罗非鱼是 1994 年从 ICLARM 引进后繁育的 F<sub>7</sub> 代,以色列红罗非鱼 (Israel red tilapia) 是 2001 年从以色列引进后繁育的 F<sub>2</sub> 代, 奥利亚罗非鱼是 1998 年从埃及引进后繁育的 F<sub>5</sub>

代。选择发育良好的 4 种罗非鱼亲鱼进行自交和双列杂交配组。共繁殖出 9 组自交和杂交仔鱼 (表 1), 养成稚鱼清池, 用同一规格的鱼筛筛选出规格相近的实验鱼放入网箱备用。

表 1 实验罗非鱼的繁殖配组  
Tab. 1 The mating of trial tilapias

♀	♂			
	萨罗罗非鱼(S) <i>S. melanotheron</i>	尼罗罗非鱼(N) <i>O. niloticus</i>	以色列红罗非鱼(I) Israel red tilapia	奥利亚罗非鱼(A) <i>O. aureus</i>
萨罗罗非鱼(S) <i>S. melanotheron</i>	S			
尼罗罗非鱼(N) <i>O. niloticus</i>		N	NI	NA
以色列红罗非鱼(I) Israel red tilapia		IN	I	NA
奥利亚罗非鱼(A) <i>O. aureus</i>		AN		A

## 1.2 实验方法

**耐盐实验** (1) 急性耐盐致死实验。采用 9×3 随机区组设计。9 种罗非鱼各设 3 个重复, 每个重复各放体质健壮的实验鱼 100 尾, 由淡水直接移入盐度为 32 的海水中。发现死鱼即刻捞出, 记录死亡时间和尾数。

(2) 半致死盐度实验。采用 9×4×3 随机区组设计。根据预实验, 萨罗罗非鱼设立 30、35、40 和 45 共 4 个盐度梯度, 其他 8 种罗非鱼设立 9.5、18、23 和 29 共 4 个盐度梯度, 每盐度设 3 个重复。每重复各放体质健壮的实验鱼, 由淡水直接移入上述各种盐度的水体中, 记录 96 h 内各箱内实验鱼死亡时间和尾数, 并建立实验鱼死亡率 (%) 与盐度的线性回归方程。

(3) 慢性耐盐驯化实验。采用 3×3 随机区组设计。挑选体质健壮的萨罗罗非鱼、尼罗罗非鱼和以色列红罗非鱼放入初始盐度为 9.1 的实验网箱中。设 3 个重复, 每重复各放实验鱼 100 尾。每天提高约 2 个盐度, 记录各箱内实验鱼死亡时间和尾数, 对 3 种实验鱼死亡率与驯化时间进行回归分析。

上述实验均在 1 m×1 m×1 m 的网箱中进行, 网箱置于 12 m×5 m×2 m 的室内水泥池, 设一淡水对照组。实验鱼死亡标准为鳃盖停止活动、用玻璃棒轻触无反应<sup>[4]</sup>, 死亡实验鱼随即称量体重, 精确到 0.01 g。实验期间各实验池充气增氧, 不投饵。实验淡水来源于地下井水, 其它盐度的实验用水是由附近盐度为 65 的盐沼水或固体海盐与地下井水勾兑而成。实验用水盐度用美国海洋研究所生产的盐度计 (Aquatic Eco-Systems-Salinity Meter) 进行测定调节, 精确到

0.1。实验期间, 水温变动为 27.2~28.9 °C, 溶解氧变动为 4.52~6.13 mg/L; pH 为 7.82~8.21; 氨态氮变动为 0.45~2.53 mg/L。

**耐盐指标的选择**<sup>[3-4]</sup> (1) 平均成活时间 (mean survival time, MST): 将健康实验鱼从淡水直接移入盐度为 32 的海水后, 记录每尾试验鱼的成活时间, 然后计算其平均值, 即为平均成活时间。

(2) 50% 成活时间 (median survival time, ST<sub>50</sub>): 将健康实验鱼从淡水直接移入盐度为 32 的海水后, 记录正好有一半鱼存活的时间。

(3) 96 h 半致死盐度 (median lethal salinity-96 h, MLS-96): 将健康实验鱼直接移入各种盐度梯度中, 记录饲养 96 h 后各盐度中一半实验鱼死亡所对应的盐度即为 96 h 半致死盐度的观察值; 将盐度转换为自然对数, 将实验鱼死亡率转换为概率单位, 建立二者的一元线性回归方程, 计算 X=0 即 50% 死亡率时的盐度即为 MLS-96 的理论值。

## 1.3 统计分析

不同实验鱼的耐盐差异用方差分析进行检验, 如果检验为差异显著 ( $P < 0.05$ ), 则用 Duncan's 多重比较进行分析。将盐度或耐盐驯化时间转换为自然对数, 将实验鱼死亡率转换为概率单位, 建立驯化时间 (Y) 与死亡率 (X) 之间的简单线性回归关系式。以 MST、ST<sub>50</sub>、MLS-96 理论值和观察值共 4 个指标为耐盐依据, 求出 9 种罗非鱼 4 个耐盐指标和的平均值, 用每种罗非鱼上述 4 个指标的平均值减去总平均值, 得到各种罗非鱼耐盐指标的离差值, 用欧氏最短距离聚类和离差对 9 种罗非鱼进行耐盐差异的分类。

所有数据均用 SAS 9.1 软件进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 萨罗罗非鱼与其他 8 种罗非鱼 MST 和 ST<sub>50</sub> 的比较

9 种罗非鱼的平均体重、在盐度 32 的海水中的 MST、ST<sub>50</sub> 和死亡率见表 2。萨罗罗非鱼只有不到一半的鱼死亡,而其他罗非鱼则全部死亡;而且 MST 和 ST<sub>50</sub> 指标萨罗罗非鱼也远高于其他 8 种罗非鱼。经方差检验,萨罗罗非鱼与其他 8 种

罗非鱼 MST、ST<sub>50</sub> 和成活率间差异都极其显著 ( $P < 0.01$ )。

### 2.2 萨罗罗非鱼与其他 8 种罗非鱼 MLS-96 的比较

9 种罗非鱼盐度和死亡率回归关系、MLS-96 的理论值和观察值见表 3。由表 3 可知:9 种罗非鱼的盐度和死亡率回归关系都显著,而且观察值都高于理论值。萨罗罗非鱼的 MLS-96 值远高于其他 8 种罗非鱼,比最低的尼罗罗非鱼高出一倍多。

表 2 9 种罗非鱼的平均体重、MST、ST<sub>50</sub> 和死亡率  
Tab. 2 Average body weight, MST, ST<sub>50</sub> and mortality of 9 tilapias

种类 species	指标 indices			
	平均体重 (g) body weigh Mean ± SD (n=90)	平均存活时间 (h) MST Mean ± SD	50% 存活时间 (h) ST <sub>50</sub> Mean ± SD	死亡率 (%) mortality Mean ± SD
萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	6.36 ± 1.458	9.24 ± 1.353 <sup>a</sup>	6.20 ± 1.235 <sup>a</sup>	40.3 ± 7.024 <sup>b</sup>
尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	6.42 ± 1.353	1.62 ± 0.041 <sup>f</sup>	1.59 ± 0.013 <sup>c</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
以色列红罗非鱼 Israel red tilapia	7.55 ± 1.904	4.34 ± 0.245 <sup>b</sup>	4.35 ± 0.123 <sup>b</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
奥利亚罗非鱼 <i>O. aureus</i>	6.16 ± 1.553	3.05 ± 0.177 <sup>cd</sup>	3.10 ± 0.280 <sup>c</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
尼罗罗非鱼 ♀ × 以色列红罗非鱼 ♂ <i>O. niloticus</i> ♀ × Israel red tilapia ♂	6.58 ± 1.584	2.04 ± 0.099 <sup>ef</sup>	2.03 ± 0.199 <sup>dc</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
以色列红罗非鱼 ♀ × 尼罗罗非鱼 ♂ Israel red tilapia ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂	6.05 ± 1.205	4.33 ± 0.299 <sup>b</sup>	4.33 ± 0.290 <sup>b</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
尼罗罗非鱼 ♀ × 奥利亚罗非鱼 ♂ <i>O. niloticus</i> ♀ × <i>O. aureus</i> ♂	6.77 ± 1.642	2.71 ± 0.180 <sup>dc</sup>	2.86 ± 0.110 <sup>cd</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
奥利亚罗非鱼 ♀ × 尼罗罗非鱼 ♂ <i>O. aureus</i> ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂	6.69 ± 2.337	3.65 ± 0.139 <sup>bc</sup>	3.73 ± 0.248 <sup>bc</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>
以色列红罗非鱼 ♀ × 奥利亚罗非鱼 ♂ Israel red tilapia ♀ × <i>O. aureus</i> ♂	6.77 ± 1.721	4.17 ± 0.150 <sup>b</sup>	4.17 ± 0.216 <sup>b</sup>	100 ± 0 <sup>a</sup>

注:同一列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 row followed by the same letter are not different significantly ( $P > 0.05$ ).

表 3 9 种罗非鱼盐度 - 死亡率回归关系及 MLS-96 理论值和观察值  
Tab. 3 Salt-mortality regress relation, theory values and observed values of MLS-96 of 9 tilapias

种类 species	指标 indices		
	盐度 (Y) - 死亡率 (X) 回归关系 salt-mortality regress relation	MLS-96 理论值 theoretical values	MLS-96 观察值 observed values
萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	$\lg Y = 1.484 + 0.056X$ $R^2 = 0.921, P = 0.040$	30.2	31.2
尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	$\lg Y = 1.155 + 0.102X$ $R^2 = 0.951, P = 0.025$	14.3	14.9
以色列红罗非鱼 Israel red tilapia	$\lg Y = 1.310 + 0.108X$ $R^2 = 0.918, P = 0.042$	20.4	23.3
奥利亚罗非鱼 <i>O. aureus</i>	$\lg Y = 1.249 + 0.094X$ $R^2 = 0.974, P = 0.013$	17.8	19.3
尼罗罗非鱼 ♀ × 以色列红罗非鱼 ♂ <i>O. niloticus</i> ♀ × Israel red tilapia ♂	$\lg Y = 1.232 + 0.094X$ $R^2 = 0.994, P = 0.003$	17.1	17.8
以色列红罗非鱼 ♀ × 尼罗罗非鱼 ♂ Israel red tilapia ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂	$\lg Y = 1.263 + 0.094X$ $R^2 = 0.943, P = 0.029$	18.3	20.4
尼罗罗非鱼 ♀ × 奥利亚罗非鱼 ♂ <i>O. niloticus</i> ♀ × <i>O. aureus</i> ♂	$\lg Y = 1.244 + 0.094X$ $R^2 = 0.982, P = 0.009$	17.5	18.8
奥利亚罗非鱼 ♀ × 尼罗罗非鱼 ♂ <i>O. aureus</i> ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂	$\lg Y = 1.257 + 0.094X$ $R^2 = 0.959, P = 0.021$	18.1	19.9
以色列红罗非鱼 ♀ × 奥利亚罗非鱼 ♂ Israel red tilapia ♀ × <i>O. aureus</i> ♂	$\lg Y = 1.285 + 0.098X$ $R^2 = 0.919, P = 0.042$	19.3	22

### 2.3 9 种罗非鱼基于耐盐差异的分类

9 种罗非鱼的聚类分析和离差分析结果见图 1 和图 2。9 种罗非鱼明显可分为 4 类:第一类是萨罗罗非鱼,耐盐极强,各项耐盐指标都远高于其他罗非鱼;第二类是以色列红罗非鱼和以色列红罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂,耐盐强,离差值为正值;第三类是奥利亚罗非鱼、尼罗罗非鱼♀×以色列红罗非鱼♂、以色列红罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂、尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂和奥利亚罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂,耐盐较强,离差值为负值;第四类是尼罗罗非鱼,耐盐较弱。

### 2.4 3 种罗非鱼死亡率同盐度及驯化时间的关系

萨罗罗非鱼、以色列红罗非鱼和尼罗罗非鱼的

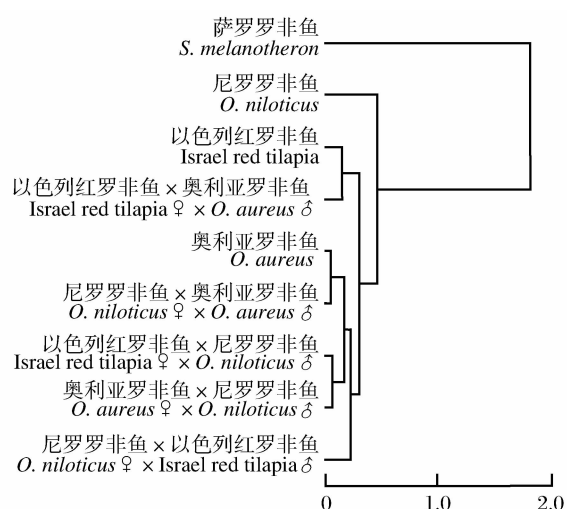


图 1 9 种罗非鱼耐盐特点的聚类分析图

Fig. 1 Cluster dendrogram of salt tolerance characters of nine tilapias

死亡率与驯化时间的回归关系见图 3,实验观察值和回归关系计算的理论值见表 4。萨罗罗非鱼( $P=2.73 \times 10^{-10}$ )、尼罗罗非鱼( $P=0.001$ )及以色列红罗非鱼( $P=1.19 \times 10^{-10}$ )死亡率同驯化盐度间的回归关系都达到极显著。可以看出,慢性耐盐驯化时,3 种罗非鱼死亡率随盐度或驯化时间的变化趋势同急性耐盐驯化近似。萨罗罗非鱼第 1 天的死亡率是 3.4%,第 11 天,盐度 32.8 时,死亡率达到 50%,第 39 天,盐度为 102 时才全部死亡。

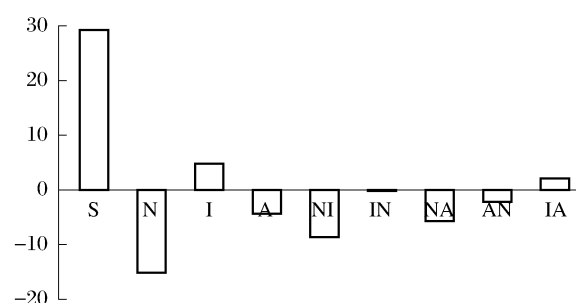


图 2 9 种罗非鱼耐盐指标的离差图

S: 萨罗罗非鱼, N: 尼罗罗非鱼, I: 以色列红罗非鱼, A: 奥利亚罗非鱼, NI: 尼罗罗非鱼♀×以色列红罗非鱼♂, IN: 以色列红罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂, NA: 尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂, AN: 奥利亚罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂, IA: 以色列红罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂。

Fig. 2 Residuals of salt tolerance indices of nine tilapias

S: *S. melanotheron*, N: *O. niloticus*, I: Israel red tilapia, A: *O. aureus*, NI: *O. niloticus* ♀ × Israel red tilapia ♂, IN: Israel red tilapia ♀ × *O. niloticus* ♂, NA: *O. niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂, AN: *O. aureus* ♀ × *O. niloticus* ♂, IA: Israel red tilapia ♀ × *O. aureus* ♂.

表 4 3 种罗非鱼慢性耐盐驯化时达到不同死亡率的时间和盐度

Tab. 4 The time and salinity corresponded with different mortalities when fish were domesticated gradually into seawater in 3 tilapias

种类 species	项目 items					
	观察值(d) observed values			理论值(d) theoretical values		
	开始死亡 beginning dead	50% 死亡率 mortality of 50%	100% 死亡率 mortality of 100%	5% 死亡率 mortality of 5%	50% 死亡率 mortality of 50%	95% 死亡率 mortality of 95%
萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	1.00(11.6)	11.00(32.8)	39.00(102)	1.23(10.78)	10.12(30.91)	35.59(88.58)
尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	1.00(11.6)	2.00(13.3)	8.00(26.3)	-0.22(7.48)	1.62(11.66)	4.49(18.16)
以色列红罗非鱼 Israel red tilapia	1.00(11.6)	5.00(20.5)	21.00(52.8)	1.30(10.92)	5.65(20.78)	13.93(39.54)

注:括号内的数字表示盐度。

Notes: The numbers in parentheses denote salinity.

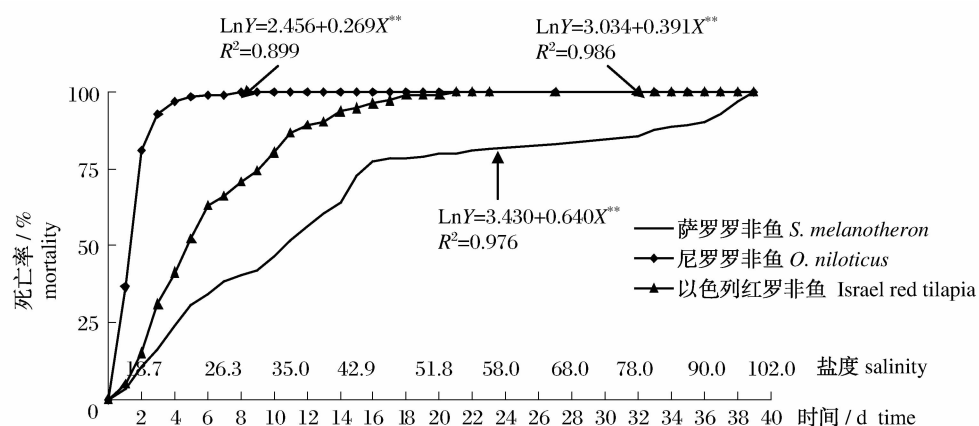


图3 3种罗非鱼慢性耐盐驯化时间及盐度同死亡率的回归曲线

Fig. 3 Regression curve of three tilapias between mortality and gradual domestication time or salinity

### 3 讨论

#### 3.1 萨罗罗非鱼与其它罗非鱼耐盐性的比较

在本文中,9种罗非鱼的耐盐性表现出了极大的差异,萨罗罗非鱼明显高于其他8种罗非鱼,这表明不同种罗非鱼表现出的耐盐差异与遗传因素有关。根据相关的研究报告(表5),以色列红罗非鱼、奥利亚罗非鱼和莫桑比克罗非鱼等的耐盐性高

于其它种类,但是没有它们与萨罗罗非鱼的直接比较研究报道。根据本文结果,另外依据萨罗罗非鱼原产于西非海湾和泻湖的背景,因此可以认为萨罗罗非鱼比目前所常见的一些罗非鱼的耐盐能力都要强。但是,由于罗非鱼的耐盐情况非常复杂,除了遗传因素外,生理调节、环境因子、规格大小等因素<sup>[12]</sup>对罗非鱼的耐盐能力都有影响,因此,还需要进行多方面的比较才能获得更准确的结论。

表5 几种罗非鱼耐盐指标比较

Tab. 5 Comparison of salt tolerance indices among several tilapias

种类 species	96 h 半致死盐度 MLS-96	急性致死盐度 acute fatal salinity	驯化致死盐度 domestication fatal salinity
萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	31.2*, 33.9 <sup>[13]</sup>	35 <sup>[6]</sup>	102*, 100 <sup>[6]</sup>
尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	14.9*, 18.5 <sup>[4]</sup> , 18.6 <sup>[3]</sup> , 13.9 <sup>[12]</sup>	18 <sup>[14]</sup>	26.3*, 36 <sup>[14]</sup>
以色列红罗非鱼 Israel red tilapia	23.3*		52.8*
奥利亚罗非鱼 <i>O. aureus</i>	19.3*, 20.3 <sup>[4]</sup>	27 <sup>[14]</sup>	40 <sup>[15]</sup>
莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	24 <sup>[3]</sup>	27 <sup>[6]</sup>	120 <sup>[5]</sup>
史比罗奴罗非鱼 <i>O. spilurus</i>		27 <sup>[14]</sup>	36 <sup>[14]</sup>
佛罗里达红罗非鱼 Florida red tilapia	30.2 <sup>[5]</sup>	27~29 <sup>[16]</sup>	
台湾红罗非鱼 Taiwanese red tilapia			35 <sup>[17]</sup>
莫桑比克×尼罗 <i>O. mossambicus</i> ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂	25.2 <sup>[4]</sup> , 22.8 <sup>[3]</sup>		
尼罗×莫桑比克 <i>O. niloticus</i> ♀ × <i>O. mossambicus</i> ♂	22.6 <sup>[3]</sup>		
尼萨(F <sub>2</sub> ) <i>O. niloticus</i> ♀ × <i>S. melanotheron</i> ♂ (F <sub>2</sub> )	22.8 <sup>[12]</sup>		
萨尼(F <sub>2</sub> ) <i>S. melanotheron</i> ♀ × <i>O. niloticus</i> ♂ (F <sub>2</sub> )	23.3 <sup>[12]</sup>		

注: \* 表示本实验结果。

Notes: \* indicates results of this trial.

#### 3.2 驯化后罗非鱼耐盐指标的变化

实验结果表明,经适当盐度驯化后,萨罗罗非鱼和尼罗罗非鱼、以色列红罗非鱼的耐盐能力均有显著提高。从驯化过程看,耐盐性强的罗非鱼类,驯化时高死亡率出现的时间较晚,而且不同个体间耐盐差异也较大。萨罗罗非鱼虽然有很强的耐盐

性,但在驯化的早期,盐度远低于其半致死盐度时,仍有一定的死亡率,这除了说明个体间有差异外,还表明罗非鱼的生理调节对其耐盐性影响也非常大。因为引进的萨罗罗非鱼长期在淡水中养殖,其渗透压调节结构,比如肾脏及鳃中氯细胞<sup>[18-19]</sup>,以及渗透压调节机制,比如  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$  活性<sup>[20]</sup>

等都已适应淡水环境,转换到适应海水环境可能需要一定的时间和过程。Al-Amoudi<sup>[14]</sup>认为罗非鱼每驯化到一个较高盐度需要 48 h 的适应时间也证明了这个推断。而且,耐盐性较差的罗非鱼,比如尼罗罗非鱼可能需要更长的时间<sup>[13]</sup>。因此,罗非鱼的耐盐问题非常复杂,还需要我们从生理、遗传等角度再进一步研究探讨。

### 3.3 萨罗罗非鱼与其他罗非鱼杂交后代耐盐性的预测

根据本文的研究结果,几种罗非鱼杂交后代的耐盐性:以色列红罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂ > 以色列红罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂ > 奥利亚罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂ > 尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂ > 尼罗罗非鱼♀×以色列红罗非鱼♂; Villgeas<sup>[3]</sup>和 Watanabe 等<sup>[4]</sup>的研究结果是莫桑比克罗非鱼♀×尼罗罗非鱼♂ > 尼罗罗非鱼♀×莫桑比克罗非鱼♂。许多研究结果都表明,杂种优势和遗传距离之间呈显著正相关<sup>[21]</sup>。根据李学军等<sup>[11]</sup>的研究结果,奥利亚罗非鱼与尼罗罗非鱼间的遗传距离大于以色列红罗非鱼与奥利亚罗非鱼,更大于尼罗罗非鱼与以色列红罗非鱼。由此可以看出来,杂交后代的耐盐强弱与母本的关系相对较为密切,以以色列红罗非鱼为母本的杂交后代耐盐性相对较强,表现出了明显的母本效应;在母本相同的情况下,亲本遗传距离的远近比父本效应的影响更大。基于这种情况,可以预测:以萨罗罗非鱼为母本与其他罗非鱼杂交,可以获得耐盐性较强的后代。李思发等<sup>[12]</sup>的研究结果萨罗♀×尼罗♂(F<sub>2</sub>)的耐盐性能优于尼罗♀×萨罗♂(F<sub>2</sub>),也证明了这个结论。而且,萨罗罗非鱼与尼罗罗非鱼杂交子代微卫星的研究结果表明<sup>[22]</sup>,无论萨罗罗非鱼为父本还是母本,杂交子代的耐盐遗传特性都和萨罗罗非鱼更为接近;李思发等<sup>[23]</sup>的研究结果表明,盐度 20~25 是尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼正、反交 F<sub>2</sub>代鱼的适宜生长盐度,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。因此,可以认为,用耐盐性强的萨罗罗非鱼和生长速度快的尼罗罗非鱼作为亲本培育耐盐罗非鱼养殖新品种是极为可行的。

### 参考文献:

[1] Kirk R G. A review of recent developments in tilapia culture, with special reference to fish farming in the

heated effluents of power stations[J]. Aquaculture, 1972, 1: 45-60.

- [2] 李家乐,李思发. 罗非鱼类耐盐性进展[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 81-84.
- [3] Villgeas C T. Evaluation of the salinity tolerance of *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus* and their F<sub>1</sub> hybrids[J]. Aquaculture, 1990, 85(1-4): 281-292.
- [4] Watanabe W O, Kuo C M, Huang M C. The ontogeny of salinity tolerance in the tilapias *Oreochromis aureus*, *O. niloticus*, and an *O. mossambicus* × *O. niloticus* hybrid, spawned and reared in freshwater[J]. Aquaculture, 1985, 47(4): 353-367.
- [5] Watanabe W O. Salinity tolerance and seawater survival vary ontogenetically in Florida red tilapia [J]. Aquaculture, 1990, 87(3-4): 311-321.
- [6] Jennings D P, Williams J D. Factors influencing the distribution of blackchin tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Osteichthyes: Cichlidae) in the Indian River system, Florida [J]. Northeast Gulf Science, 1992, 12(2): 111-117.
- [7] 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.
- [8] Blay J, Asabere-Ameyaw A. Assessment of the fishery of a stunted population of the Cichlid, *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell) in a "closed" lagoon in Ghana [J]. J Appl Ichthyol, 1993, 9(1): 1-11.
- [9] Hem S, Avit J L B. First results on "acadja-enclos" as an extensive aquaculture system (West Africa) [J]. Bulletin of Marine Science, 1994, 55(2-3): 1038-1049.
- [10] 李学军,李爱景,李思发. 萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)与其它 5 种罗非鱼形态差异的多元统计分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6): 683-688.
- [11] 李学军,李爱景,李思发,等. 萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)与其它 5 种罗非鱼遗传多样性比较研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 85-90.
- [12] 李思发,颜标,蔡完其,等. 尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼正反杂交后代耐盐性能的杂种优势及其与遗传的相关性的 SSR 分析[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 189-197.
- [13] Suresh A V, Lin C K. Tilapia culture in saline waters: a review[J]. Aquaculture, 1992, 106(3-4): 201-226.
- [14] Al-Amoudi M N. Acclimation of commercially

- cultured Oreochromis* species to seawater-an experimental study [J]. *Aquaculture*, 1987, 65 (3 - 4):333 - 342.
- [15] Chervinski J, Yashouv A. Preliminary experiments on the growth of *Tilapia aurea* Steindachner (Pisces, Chichlidae) in seawater ponds [J]. *Bamidgeh*, 1971, 23:125 - 129.
- [16] Perschbacher P W, McGeachin R B. Salinity tolerances of red hybrid tilapia fry, juveniles and adults [C] // Pullin R S V, Bhukaswan T, Tonguthai K, *et al.* The second international symposium on tilapia in aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 1988, 415 - 419.
- [17] Hopkins K, Ridha M, Leclercq D, *et al.* Screening tilapias for sea water culture in Kuwait [J]. *Aquacult Fish Manage*, 1989, 20(4):389 - 397.
- [18] 姜明, 刘晓云, 范瑞青. 蓝非鲫生活于不同渗透压下肾脏显微与超微结构变化的初步研究 [J]. *水生生物学报*, 1996, 20(2):186 - 189.
- [19] Lee T H, Hwang P P, Lin H C, *et al.* Mitochondria-rich cells in the branchial epithelium of the teleost, *Oreochromis mossambicus*, acclimated to various hypotonic environments [J]. *Fish Physiol Biochem*, 1996, 15(6):513 - 523.
- [20] McCormick S D. Effects of growth hormone and insulin-like growth factor I on salinity tolerance and gill  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*): interaction with cortisol [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 1996, 101(1):3 - 11.
- [21] 张敬虎, 熊远著, 邓昌彦, 等. 微卫星标记对杂种优势研究杂交猪群的遗传评价 [J]. *农业生物技术学报*, 2006, 14(4):462 - 467.
- [22] 李学军, 李爱景, 王阅雯, 等. 萨罗罗非鱼与尼罗罗非鱼正反杂交子代间的分子遗传学差异 [J]. *四川动物*, 2008, 27(5):777 - 780.
- [23] 李思发, 颜标, 蔡完其, 等. 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 [J]. *水产学报*, 2008, 32(3):335 - 341.

## Differences of salt-tolerance between *Sarotherodon melanotheron* and the other 8 tilapias

LI Xue-jun<sup>1,2\*</sup>, LI Ai-jing<sup>1</sup>, LI Si-fa<sup>2</sup>, CAI Wan-qi<sup>2</sup>

(1. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. The Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** *Sarotherodon melanotheron*, *Oreochromis niloticus*, Israel red tilapia and *Oreochromis aureus* were used as parents which produced nine offspring by selfed and diallel crossing. After trials of lethal salt tolerance, median lethal salinity and gradual salt-tolerance domestication, differences of salt-tolerance ecological characteristics were compared and analyzed. The major results were: (1) There were greatest significant differences ( $P < 0.01$ ) of MST,  $ST_{50}$  and survival rate between *S. melanotheron* and the other 8 tilapias, *S. melanotheron*'s MST was  $(9.24 \pm 1.353)$  h,  $ST_{50}$  was  $(6.20 \pm 1.235)$  h, theoretic MLS-96 was 30.2, observed MLS-96 was 31.2, these values were far higher than those of the other 8 tilapias. (2) 9 tilapias might be divided into four groups based on their salt tolerance: the first group was *S. melanotheron* which had the strongest salt-tolerance among nine tilapias; the second group was Israel red tilapia and *O. niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂ which had strong salt-tolerance and had positive residual values; the third group was *O. aureus*, *O. niloticus* ♀ × Israel red tilapia ♂, Israel red tilapia ♀ × *O. niloticus*, ♂ *O. niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂, and *O. aureus* ♀ × *O. niloticus* ♂ which had stronger salt-tolerance and had negative residual values; the fourth group was *O. niloticus* which had inferior salt-tolerance. (3) When domesticated gradually salinity rising, *S. melanotheron*'s mortality rose from 0 to 30%, then it rose slowly, there was a fast rising during the fourteenth day to fifteenth day, and then it rose slow too, 50% mortality occurred on the eleventh day which had a 32.8 salinity, all trial fish dead on the thirty-ninth day, which salinity was 102. The regress relation between mortality and domestication time of *S. melanotheron* was  $\text{Ln}Y = 3.430 + 0.640X$  ( $R^2 = 0.976$ ). (4) *S. melanotheron* would be a perfect parent which bred new seed of salt tolerance.

**Key words:** *Sarotherodon melanotheron*; salt tolerance differences; median lethal salinity; salt tolerance domestication

**Corresponding author:** LI Xue-jun. E-mail: xjli67@126.com