

慢性盐度胁迫对吉丽罗非鱼(尼罗罗非鱼♀×萨罗罗非鱼♂) 及其两亲本耐盐性的影响

李学军*, 郭 瑄, 聂国兴, 孔祥会, 乔志刚

(河南师范大学水产学院,河南 新乡 453007)

摘要:为深入研究养殖新品种吉丽罗非鱼[尼罗罗非鱼(♀)×萨罗罗非鱼(♂)]的耐盐性能,对吉丽罗非鱼及其两个亲本尼罗罗非鱼和萨罗罗非鱼进行了慢性盐度胁迫实验,分析了3种罗非鱼耐盐性能的差异,建立了盐度胁迫过程中死亡率与致死盐度及时间的回归模型,结果显示:(1)3种罗非鱼的耐盐能力差异显著,吉丽罗非鱼的耐盐性能接近于萨罗罗非鱼,远高于尼罗罗非鱼,耐盐胁迫时3种罗非鱼的平均致死盐度分别为57.9、66.7和18.5。(2)盐度胁迫实验中尼罗罗非鱼个体间死亡时间差异最大,萨罗罗非鱼个体之间差异最小,吉丽罗非鱼介于其间;吉丽罗非鱼和萨罗罗非鱼死亡时间都有极显著的正态负偏移,离群值和极值较多,尼罗罗非鱼有较显著正态正偏移,只有离群值,没有极值。(3)3种罗非鱼盐度胁迫实验中死亡率与死亡时间及盐度之间的回归关系更适合一元回归,吉丽罗非鱼盐度胁迫实验中死亡率(Y)与死亡时间(t)的回归模型为增长模型 $Y = e^{(-7.694 + 0.031t)}$ ($R^2 = 0.979$),死亡率(Y)与盐度(s)的回归模型为二次模型 $Y = 0.542 - 0.037s + 0.001s^2$ ($R^2 = 0.950$)。

关键词:吉丽罗非鱼;萨罗罗非鱼;尼罗罗非鱼;盐度胁迫;回归模型;耐盐性

中图分类号:Q 178.1; S 917.1

文献标志码:A

罗非鱼是起源于海水的广盐性鱼类^[1],不同种类罗非鱼耐盐能力差别很大。如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)生长快,个体大,但耐盐性差,是目前世界主要的养殖鱼类之一;萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)耐盐能力强,但生长慢,个体小^[2]。2种罗非鱼在分类上归不同属,尼罗罗非鱼雌鱼口孵,萨罗罗非鱼则主行雄鱼口孵,自然条件下不能杂交繁殖。2004年,李学军等^[2-3]以尼罗罗非鱼为母本、萨罗罗非鱼为父本,通过人工授精,获得了耐盐性能和生长性能兼优的杂交 F_1 ,再由 F_1 自繁得到 F_2 ,2009年,经由全国水产原良种审定委员会审定为新品种,命名为“吉丽”罗非鱼(*O. niloticus* × *S. melanotheron* F_2)(新品种登记号:GS-02-002-2009),由农业部公告推广^[4]。经初步研究,吉丽罗非鱼生长速度介于两个亲本之间^[5];在高盐度急性胁迫时,吉丽罗非鱼

的平均成活时间、50%成活时间和96h半数致死浓度也都介于两个亲本之间^[3]。2010年,为探讨盐度胁迫过程中吉丽罗非鱼及其两亲本的成活率与致死盐度及时间的最佳回归模型,本实验进行了盐度慢性胁迫实验,旨在深入研究吉丽罗非鱼耐盐性能,为吉丽罗非鱼的养殖推广提供参考数据。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼

实验用鱼均来自河北中捷国家级罗非鱼良种场。萨罗罗非鱼是2002年由美国引进,尼罗罗非鱼是1994年由国际水生生物资源管理中心(ICLARM)引进;吉丽罗非鱼是2007年尼罗罗非鱼与萨罗罗非鱼杂交后代的自繁鱼。

1.2 实验设计

3种实验亲鱼按雌雄比2:1同时配组。出苗

收稿日期:2012-07-12 修回日期:2012-10-04

资助项目:国家自然科学基金项目(30972252);河南省水产养殖省级重点学科资助

通信作者:李学军,E-mail:xjli67@126.com

后养殖 1 个月清池,筛选出规格相近的实验鱼,平均体质量(7.12 ± 1.21) g。放入 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 网箱中,网箱置于 $12 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的室内水泥池。均设 3 个重复和 1 淡水对照组。实验初始盐度为 10,适应 48 h 后开始耐盐胁迫。根据文献[6]和预实验结果,初始阶段,实验用水每天提高约 5 个盐度,待盐度达到 40 后,每天提高 10 个盐度,随时记录各实验网箱内实验鱼死亡时间和尾数。

实验鱼死亡标准为鳃盖停止活动,用玻璃棒轻触无反应^[7]。实验淡水来源于地下井水,其它盐度实验用水由附近盐度为 65 的盐沼水和固体海盐与地下井水勾兑而成。实验用水盐度用 Aquatic Eco-Systems-Salinity Meter 盐度计进行测定调节,精确到 0.1。实验期间持续通气,保持充足溶氧,实验期间不投饵。

1.3 统计分析

3 种实验鱼耐盐差异用方差分析进行检验,选择和建立盐度胁迫时死亡率(Y)与死亡时间

(t)及盐度(s)之间的回归模型,进行回归分析。用 3 种实验鱼 50% 死亡率时盐度和时间值进行聚类分析,得到 3 种实验鱼的耐盐差异系统聚类树。所有数据均用 SPSS 18.0 进行统计分析^[8]。

2 结果

2.1 回归模型的确定及曲线拟合

二元线性回归关系的判定 以盐度胁迫死亡率为因变量,死亡时间和盐度为自变量,建立二元线性回归模型,回归系数、 t 检验及共线性检验指标见表 1。除了吉丽罗非鱼 2 个自变量和萨罗罗非鱼盐度自变量外,其余拟合的自变量系数 t 检验结果都没有统计学意义;根据 Durbin-Watson (D-W) 值,3 种罗非鱼建立的二元回归模型符合线性关系,但线性关系较弱;另外根据表 1 共线性检验指标,3 种罗非鱼死亡时间和盐度两个自变量间都存在共线性问题,因此会对拟合二元线性回归模型带来严重影响。

表 1 3 种罗非鱼二元线性回归系数、 t 检验和共线性检验指标
Tab. 1 Regression coefficients R^2 , t -test and collinearity diagnostic index of three tilapias under dualistic linear regression model

来源 source	萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>		尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>		吉丽罗非鱼 F_2 of <i>O. niloticus</i> × <i>S. melanotheron</i>	
	时间 time	盐度 salinity	时间 time	盐度 salinity	时间 time	盐度 salinity
回归系数 regression coefficients	0.893		0.855		0.936	
自变量系数 t 检验 t -test of independent coefficients	0.213	0.001	0.279	0.672	0.002	0.001
D-W 值 Durbin-Watson	0.479		0.115		0.585	
自变量间相关系数 correlation of independent	0.973		0.986		0.955	
容忍度 tolerance	0.052	0.052	0.027	0.027	0.088	0.088
方差膨胀因子 variance inflation factor	19.087	19.087	37.274	37.274	11.396	11.396
特征根 eigenvalue	0.001		0.002		0.002	
条件指数 condition index	50.256		41.877		36.704	

一元回归模型确定及曲线拟合 3 种罗非鱼平均死亡率与死亡时间及盐度间不同回归模型系数 R^2 见表 2。从方差检验结果看,拟合的回归关系均有极显著统计学意义。3 种罗非鱼死亡率与死亡时间或盐度线性回归 D-W 值在 0.098 ~ 0.208 之间,符合线性回归关系,但线性关系不显著。以回归系数的大小及回归方程的简繁作为模型的选择标准。直线回归、对数回归及逆回归的

回归系数都较小,应予以剔除。因此,确定吉丽罗非鱼死亡率 - 时间回归关系为增长模型,死亡率 - 盐度回归关系为二次模型;萨罗罗非鱼死亡率 - 时间回归关系和死亡率 - 盐度回归关系均为增长模型;尼罗罗非鱼死亡率 - 时间回归关系为三次模型,死亡率 - 盐度回归关系为二次模型。回归模型及拟合曲线见图 1。

表 2 3 种罗非鱼不同回归模型下的 R^2 系数Tab. 2 Regression coefficients R^2 of three tilapias under different models

模型 model	死亡率 - 时间 mortality-time			死亡率 - 盐度 mortality-salinity		
	萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	吉丽罗非鱼 F_2 of <i>O. niloticus</i> × <i>S. melanotheron</i>	萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	吉丽罗非鱼 F_2 of <i>O. niloticus</i> × <i>S. melanotheron</i>
直线 linear	0.704 ($P < 0.01$)	0.729 ($P < 0.01$)	0.689 ($P < 0.01$)	0.787 ($P < 0.01$)	0.720 ($P < 0.01$)	0.821 ($P < 0.01$)
对数 logarithmic	0.577 ($P < 0.01$)	0.929 ($P < 0.01$)	0.489 ($P < 0.01$)	0.681 ($P < 0.01$)	0.841 ($P < 0.01$)	0.681 ($P < 0.01$)
逆 inverse	0.441 ($P < 0.01$)	0.966 ($P < 0.01$)	0.268 ($P < 0.01$)	0.540 ($P < 0.01$)	0.871 ($P < 0.01$)	0.502 ($P < 0.01$)
二次 quadratic	0.943 ($P < 0.01$)	0.970 ($P < 0.01$)	0.918 ($P < 0.01$)	0.889 ($P < 0.01$)	0.915 ($P < 0.01$)	0.950 ($P < 0.01$)
三次 cubic	0.950 ($P < 0.01$)	0.993 ($P < 0.01$)	0.927 ($P < 0.01$)	0.889 ($P < 0.01$)	0.917 ($P < 0.01$)	0.950 ($P < 0.01$)
复合曲线 compound	0.963 ($P < 0.01$)	0.605 ($P < 0.01$)	0.979 ($P < 0.01$)	0.924 ($P < 0.01$)	0.603 ($P < 0.01$)	0.900 ($P < 0.01$)
乘幂曲线 power	0.921 ($P < 0.01$)	0.851 ($P < 0.01$)	0.914 ($P < 0.01$)	0.932 ($P < 0.01$)	0.753 ($P < 0.01$)	0.902 ($P < 0.01$)
S 形曲线 S curve	0.832 ($P < 0.01$)	0.978 ($P < 0.01$)	0.703 ($P < 0.01$)	0.875 ($P < 0.01$)	0.839 ($P < 0.01$)	0.816 ($P < 0.01$)
增长 growth	0.963 ($P < 0.01$)	0.605 ($P < 0.01$)	0.979 ($P < 0.01$)	0.924 ($P < 0.01$)	0.603 ($P < 0.01$)	0.900 ($P < 0.01$)
指数 exponential	0.963 ($P < 0.01$)	0.605 ($P < 0.01$)	0.979 ($P < 0.01$)	0.924 ($P < 0.01$)	0.603 ($P < 0.01$)	0.900 ($P < 0.01$)
逻辑 logistic	0.926 ($P < 0.01$)	0.797 ($P < 0.01$)	0.926 ($P < 0.01$)	0.932 ($P < 0.01$)	0.787 ($P < 0.01$)	0.932 ($P < 0.01$)

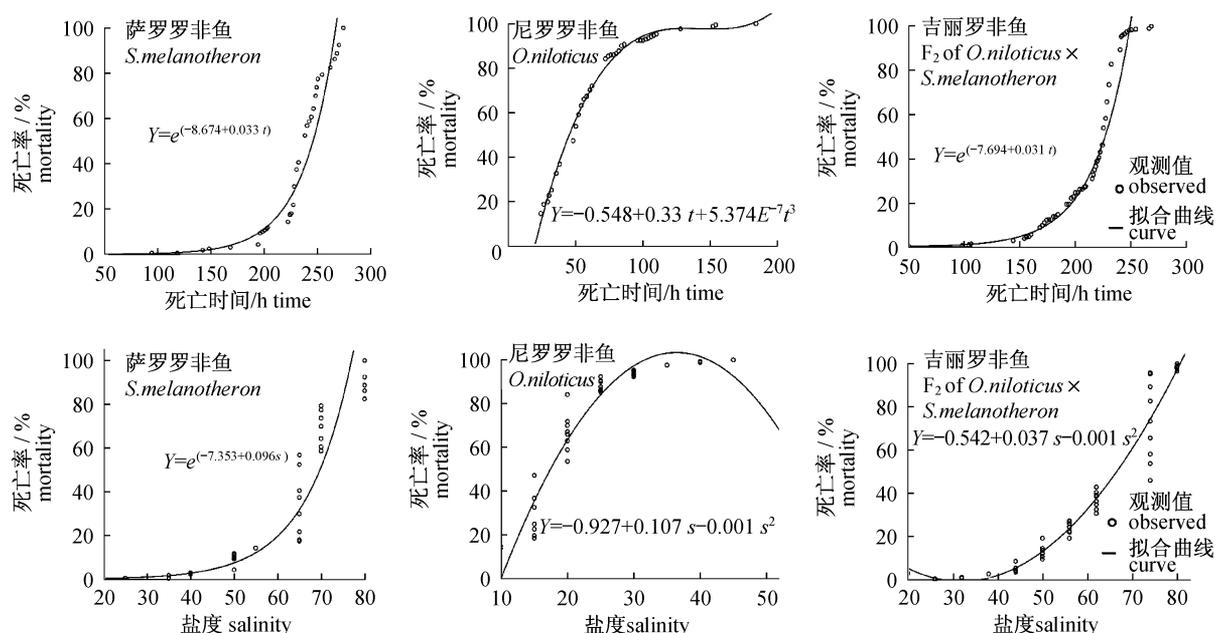
图 1 3 种罗非鱼盐度胁迫平均死亡率与死亡时间 (t) 和盐度 (s) 的回归曲线

Fig. 1 Regression curve of three tilapias between mortality ratio and gradual domestication time or salinity

2.2 死亡率随胁迫时间及盐度的变化

在死亡率与死亡时间的关系中,吉丽罗非鱼在开始盐度胁迫后的 172 h 和 196 h 有两个死亡的小高峰,死亡率分别是 5.3% 和 7.5%,胁迫 214 h 以后死亡率开始急剧上升,232 h 达到死亡高峰,死亡率为 29.0%,到了 244 h,累积死亡率超过了 96%;而尼罗罗非鱼在开始盐度胁迫的第一

天死亡率较高,24 h 达到 14.6%,其后的死亡率开始下降,54 h 和 72 h 又出现两个死亡高峰,死亡率分别达到了 15.8% 和 12.3%,累积死亡率已接近 85%;萨罗罗非鱼是在开始盐度胁迫的 196 h 有个死亡的小高峰,死亡率为 6.3%,胁迫 220 h 后死亡率开始急剧上升,232 h 达到死亡高峰,死亡率为 22.5%,到了 250 h,胁迫累积死亡率达

到 77%。

在死亡率与盐度的关系中,吉丽罗非鱼死亡率随盐度增加呈现先缓后急的特点,在盐度达到 45 时,死亡率开始上升,盐度达到 65 时,死亡率也达到高峰,为 53%,累积死亡率超过了 95%;萨罗罗非鱼与吉丽罗非鱼类似,是在盐度达到 50 后,死亡率开始上升,盐度为 65 时,死亡率达到 42.5% 的高峰,但累积死亡率只有 56%,其后死亡率略有下降;而尼罗罗非鱼随着盐度的增加,死亡率平稳上升,几乎为一条直线,盐度 20 时,死亡率就已经达到 50%,能耐受的最高盐度约为 45。

2.3 3 种罗非鱼耐盐差异性分类

3 种罗非鱼耐盐性差异 3 种罗非鱼盐度

胁迫致死时间及盐度结果见表 3。3 种罗非鱼为胁迫致死时间和盐度都差异显著,吉丽罗非鱼与萨罗罗非鱼较接近,二者都明显高于尼罗罗非鱼。根据标准差、四分位数间距及峰度系数等值,胁迫死亡时间尼罗罗非鱼个体间差异最大,萨罗罗非鱼个体之间差异最小,吉丽罗非鱼介于其间;而致死盐度尼罗罗非鱼个体间差异明显小于萨罗罗非鱼,吉丽罗非鱼较复杂,虽然标准差和全距值都低于萨罗罗非鱼,但由于四分位数间距显著大于尼罗罗非鱼和萨罗罗非鱼,导致其峰度系数极低。根据偏度系数,萨罗罗非鱼和吉丽罗非鱼都有极显著的正态负偏移,尼罗罗非鱼有较显著正态正偏移。

表 3 3 种罗非鱼胁迫死亡时间及盐度统计结果

Tab.3 Descriptives of the mortality time and salinity domesticed gradually into seawater in three tilapias

模型 models	时间 time			盐度 salinity		
	萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	吉丽罗非鱼 F_2 of <i>O. niloticus</i> × <i>S. melanotheron</i>	萨罗罗非鱼 <i>S. melanotheron</i>	尼罗罗非鱼 <i>O. niloticus</i>	吉丽罗非鱼 F_2 of <i>O. niloticus</i> × <i>S. melanotheron</i>
均数 mean	237.1 ^a	54.80 ^c	215.3 ^b	66.70 ^a	18.50 ^c	57.90 ^b
去除 5% 极值均数 5% trimmed mean	239.4 ^a	51.70 ^c	217.7 ^b	67.40 ^a	17.90 ^c	58.50 ^b
标准差 std. deviation	27.18	29.02	28.40	10.05	6.446	9.831
最小值 minimum	94.00	24.00	50.00	25.00	10.00	20.00
最大值 maximum	274.0	184.0	268.0	80.00	45.00	70.00
偏度系数 skewness	-1.728	1.598	-1.799	-1.056	1.363	-0.997
峰度系数 kurtosis	5.880	3.423	4.957	2.244	2.926	0.194

注:均数后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Mean followed by the different letter are different significantly ($P < 0.05$).

3 种罗非鱼基于耐盐性差异的分类 3 种罗非鱼基于胁迫死亡时间和盐度差异的聚类分析见图 2,由图中可以看出,吉丽罗非鱼的耐盐性更接近萨罗罗非鱼,与尼罗罗非鱼差异较大。

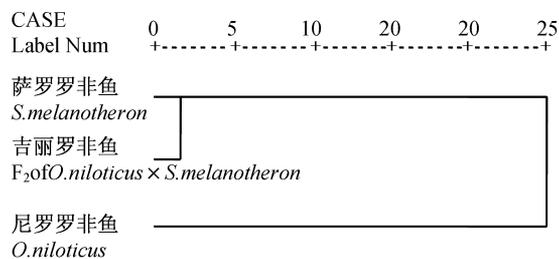


图 2 3 种罗非鱼耐盐差异的聚类分析图

Fig.2 Cluster dendrogram of salt tolerance difference of three tilapias

3 讨论

3.1 死亡率与耐盐指标间回归模型的选择

在生物学研究中,因变量与自变量有着较为复杂的关系,有时是通过非线性函数关系相联系。尽管可通过一些函数的转换方法,在一定范围内将它们转变为线性关系,但是这种转换可能会导致更复杂的计算或数据失真。要把这两者的关系恰当地表现出来,可利用曲线估计,在众多的回归模型中建立一个简单合适的模型。李学军等^[6]研究了萨罗罗非鱼和尼罗罗非鱼等耐盐驯化死亡率与死亡时间和盐度的回归关系,通过对数据的对数转换,建立了回归系数较高的一元线性回归模型,但未进行线性关系、共线性和曲线拟合等的进一步分析。

根据 D-W 值和回归系数,3 种罗非鱼死亡率

与死亡时间或盐度的一元回归更接近曲线模型而不是线性模型。

在死亡率-时间回归关系中,萨罗罗非鱼和吉丽罗非鱼回归拟合优度最高的模型都是复合曲线模型、增长模型和指数模型,但由于复合曲线模型和指数模型中常数项都为0,因此确定这2种罗非鱼死亡率-时间回归关系为增长模型;在死亡率-盐度回归关系中,萨罗罗非鱼回归拟合优度最高的模型是乘幂曲线模型和逻辑模型,都为0.932,其次是复合曲线模型、增长模型和指数模型,都为0.924。由于乘幂曲线模型和逻辑模型拟合的常数项值都较大,前者为 $3.039/10^{10}$,后者为7 303.543,模型都较繁琐,因此从拟合优度次高的复合曲线模型、增长模型和指数模型中选择较为简练的增长模型;尼罗罗非鱼回归拟合优度最高的模型是三次模型,为0.917,其次是二次模型,为0.915。由于二者的回归拟合优度值差距不大,而前者比后者模型复杂,因此确定尼罗罗非鱼死亡率-盐度回归关系为二次模型;而吉丽罗非鱼回归拟合优度最高的模型是三次模型和二次模型,都为0.950,因此确定吉丽罗非鱼死亡率-盐度回归关系为二次模型。

3.2 吉丽罗非鱼的耐盐能力

李学军等^[2]和李思发等^[3]在对萨罗罗非鱼与尼罗罗非鱼正反杂交代间的分子遗传学差异进行研究时都发现,吉丽罗非鱼与萨罗罗非鱼间的遗传距离远小于与尼罗罗非鱼间的遗传距离;李学军等^[2]认为萨罗罗非鱼对正反杂交后代的遗传影响力都高于尼罗罗非鱼,杂交后代性状应更接近于萨罗罗非鱼。本实验进行的盐度慢性胁迫实验证明了这个推断,吉丽罗非鱼耐盐能力介于双亲之间,但更接近于萨罗罗非鱼,远高于尼罗罗非鱼。其死亡时间和盐度的平均值与尼罗罗非鱼和萨罗罗非鱼的比值分别为3.929、3.130和0.908、0.868。而李思发等^[3]在进行高盐度急性胁迫实验时发现,吉丽罗非鱼耐盐能力接近于二个亲本耐盐能力的平均值,平均成活时间、50%成活时间和96 h半数致死浓度与尼罗罗非鱼和萨罗罗非鱼的比值分别为2.442、2.529、1.652和0.516、0.616、0.673;因此,相对于高盐度急性胁迫,盐度慢性胁迫更能体现出吉丽罗非鱼耐盐能力与其双亲间的遗传关系。

本研究中,吉丽罗非鱼耐盐特性接近萨罗罗非鱼,与尼罗罗非鱼差异较大。与已报道的盐度慢性胁迫结果比较,吉丽罗非鱼胁迫致死盐度低于萨罗

罗非鱼^[6,9]、莫桑比克罗非鱼(*O. mossambicus*)^[10],略高于以色列红罗非鱼(*Israel red tilapia*)^[6],远高于尼罗罗非鱼^[6,11]、奥里亚罗非鱼(*O. aureus*)^[12]、史比罗奴罗非鱼(*O. spilurus*)^[11]和台湾红罗非鱼(*Taiwanese red tilapia*)^[13];在高盐度急性胁迫报道中吉丽罗非鱼的96 h半致死盐度为22.8^[3],低于萨罗罗非鱼^[6,14]和佛罗里达红罗非鱼(*Florida red tilapia*)^[10],高于尼罗罗非鱼^[3,6,7,15]、奥里亚罗非鱼^[6-7]、尼罗罗非鱼×以色列红罗非鱼(*O. niloticus*×*Israel red tilapia*)^[6]、以色列红罗非鱼×尼罗罗非鱼(*Israel red tilapia*×*O. niloticus*)^[6]、以色列红罗非鱼×奥里亚罗非鱼(*Israel red tilapia*×*O. aureus*)^[6]、尼罗罗非鱼×奥里亚罗非鱼(*O. niloticus*×*O. aureus*)^[6]和奥里亚罗非鱼×尼罗罗非鱼(*O. aureus*×*O. niloticus*)^[6],与萨罗罗非鱼×尼罗罗非鱼(F_2 of *S. melanotheron*×*O. niloticus*)^[3]、以色列红罗非鱼^[6]、莫桑比克罗非鱼^[15]、莫桑比克罗非鱼×尼罗罗非鱼(*O. mossambicus*×*O. niloticus*)^[7,15]和尼罗罗非鱼×莫桑比克罗非鱼(*O. niloticus*×*O. mossambicus*)^[15]接近。在本研究中,根据偏度系数,胁迫死亡时间和胁迫致死盐度,萨罗罗非鱼和吉丽罗非鱼都有显著的正态负偏移,尼罗罗非鱼有显著正态正偏移,离群值和极值增高了尼罗罗非鱼平均值,降低了萨罗罗非鱼和吉丽罗非鱼平均值,导致吉丽罗非鱼和萨罗罗非鱼耐盐指标小于相关报道中的数据^[6,9]。由此,可以推断,吉丽罗非鱼的耐盐能力应该与以色列红罗非鱼、萨罗罗非鱼×尼罗罗非鱼、莫桑比克罗非鱼×尼罗罗非鱼和尼罗罗非鱼×莫桑比克罗非鱼相当。

3.3 胁迫和适应时间对罗非鱼耐盐能力的影响

经适当盐度胁迫后,罗非鱼耐盐能力一般会显著提高^[6]。从胁迫致死时间看,尼罗罗非鱼个体间差异最大,萨罗罗非鱼个体之间差异最小,吉丽罗非鱼介于其间;死亡率达到50%占用的时间比率尼罗罗非鱼只有26.1%,而吉丽罗非鱼和萨罗罗非鱼分别为84.3%和86.9%。但即使是耐盐能力最强的萨罗罗非鱼,在胁迫早期、盐度较低时仍有一定的死亡率,这说明除了实验鱼规格与体质对鱼类耐盐能力有一定影响外^[16],生理调节能力对其耐盐能力影响较大。渗透压调节结构,比如肾脏及腮中氯细胞结构^[17-18]和数量^[19]以及渗透压调节因子,比如 $Na^+-K^+-ATPase$ ^[20]、催乳素^[21]、生长激

素^[22]、皮质醇^[23]和钙泵^[24]等,在从淡水转换到高盐度水环境中需要一定的时间和过程去调节;Al-Amoudi^[11]研究也认为罗非鱼每胁迫到一个较高的盐度需要 48 h 的适应时间。因此,在进行罗非鱼耐盐胁迫实验时,除了考虑胁迫时提高的盐度频率外,还应充分考虑胁迫和适应的时间,以保证盐度驯化时鱼类有较高的成活率和较好的耐盐能力。

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(1): 45-60.
- [2] 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代间的分子遗传学差异[J]. *四川动物*, 2008, 27(5): 777-780.
- [3] 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.
- [4] 王兵,范武江,李思发. 不同盐度下“吉丽”罗非鱼(尼罗罗非鱼♀×萨罗罗非鱼♂)NKCC1a mRNA 的组织特异性表达[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(3): 515-522.
- [5] 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 F₂ 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.
- [6] 李学军,李爱景,李思发,等. 新引进萨罗罗非鱼与其它 8 种罗非鱼耐盐差异[J]. *水产学报*, 2010, 34(7): 1072-1079.
- [7] 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.
- [8] 何丽娟,李征,韦玉. SPSS 统计分析简明教程[M]. 10 版. 北京:电子工业出版社,2011.
- [9] 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.
- [10] Watanabe W O, Ellingson L J, Olla B L, et al. Salinity tolerance and seawater survival vary ontogenetically in Florida red tilapia[J]. *Aquaculture*, 1990, 87(3-4): 311-321.
- [11] Al-Amoudi M M. Acclimation of commercially cultured *Oreochromis* species to sea water-an experimental study[J]. *Aquaculture*, 1987, 65(3-4): 333-342.
- [12] Chervinski J, Yashouv A. Preliminary experiments on the growth of *Tilapia aurea* Steindachner (Pisces, Cichlidae) in sea water ponds [J]. *Bamidgeh*, 1971, 23(4): 125-129.
- [13] Hopkins K D, Ridha M, Leclercq D, et al. Screening tilapia for culture in sea water in Kuwait [J]. *Aquaculture Research*, 1989, 20(4): 389-397.
- [14] Suresh A V, Lin C K. Tilapia culture in saline waters: a review [J]. *Aquaculture*, 1992, 106(3-4): 201-226.
- [15] Villgeas C T. Evaluation of the salinity tolerance of *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus* and their F₁ hybrids[J]. *Aquaculture*, 1990, 85(1-4): 281-292.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Lee T H, Hwang P P, Shieh Y E, et al. The relationship between “deep-hole” mitochondria-rich cells and salinity adaptation in the euryhaline teleost, *Oreochromis mossambicus* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, 23(2): 133-140.
- [19] Avella M, Berhaut J, Bornancin M. Salinity tolerance of two tropical fishes, *Oreochromis aureus* and *O. niloticus*, 1. Biochemical and morphological changes in the gill epithelium [J]. *Journal of Fish Biology*, 1993, 42(2): 243-254.
- [20] McCormick S D. Effects of growth hormone and insulin-like growth factor I on salinity tolerance and gill Na⁺, K⁺-ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*): interaction with cortisol [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1996, 101(1): 3-11.
- [21] Shepherd B S, Sakamoto T, Hyodo S, et al. Is the primitive regulation of pituitary prolactin tPRL sub (177) and tPRL sub (188) secretion and gene expression in the euryhaline tilapia (*Oreochromis mossambicus*) hypothalamic or environmental? [J]. *Journal Endocrinology*, 1999, 161(1): 121-129.
- [22] Xu B, Miao H, Zhang P, et al. Osmoregulatory actions of growth hormone in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 1997, 17(1-6): 295-301.

- [23] Dang Z C, Balm P H M, Flik G, *et al.* Cortisol increase Na^+/K^+ -ATPase density in plasma membranes of gill chloride cells in the freshwater tilapia *Oreochromis mossambicus* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2000, 203(15): 2349 – 2355.
- [24] Verbost P M, Schoenmakers TH J M, Flik G, *et al.* Kinetics of ATP-and Na^+ -gradient driven Ca^{2+} transport in basolateral membranes from gills of freshwater-and seawater-adapted tilapia[J]. *Journal of Experimental Biology*, 1994, 186: 95 – 108.

Effects to salt tolerance of GILI tilapia (*O. niloticus* × *S. melanotheron*) and its two parents in the chronic salinity stress experiment

LI Xuejun*, GUO Xuan, NIE Guoxing, KONG Xianghui, QIAO Zhigang

(College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: In order to further study salt tolerance performance of a hybrid by *Oreochromis niloticus* (♀) × *Sarotherodon melanotheron* (♂) which had been examined and approved by China National Aquaculture Variety Approval Committee as a new variety for aquaculture and named “GILI tilapia” in 2009, researches have been carried out to study the salt tolerance in the chronic salinity stress experiment to GILI tilapia and its two parents, the differences of salt tolerance performance of three kinds of tilapia are analysed, and the regression model between mortality of salt tolerance in the chronic salinity stress and death of time, death of salinity are established. The results of the study show that: (1) There are significant differences in capacity of salt tolerance among three kinds of tilapia, the performance of salt tolerance of GILI tilapia is close to *S. melanotheron*, it is much higher than *O. niloticus*, the average death salinity of three kinds of tilapia when they are domesticated in salt are 57.9, 66.7 and 18.5 respectively. (2) There are the greatest differences of death time domesticated among individuals in *O. niloticus*, it is the least in *S. melanotheron*, it is medium in GILI tilapia. There are the most significant normal negative deviation in GILI tilapia and *S. melanotheron*, there are the more values of outlier and extremum, *O. niloticus* has a significant normal positive deviation, it has outlier values, no extremum values. (3) The regression relationships between the mortality of chronic salinity stress to salt and the death time, death salinity of three kinds of tilapia are fit for single-element regression model, the single-element regression model between the salt tolerance mortality (Y) and the domestication time of death (t) and salinity of death (s) of GILI tilapia are growth model $Y = e^{(-7.694 + 0.031t)}$ ($R^2 = 0.979$) and quadratic model $Y = 0.542 - 0.037s + 0.001s^2$ ($R^2 = 0.950$) respectively.

Key words: GILI tilapia; *Sarotherodon melanotheron*; *Oreochromis niloticus*; the chronic salinity stress; regression model; salt tolerance

Corresponding author: LI Xuejun. E-mail: xjli67@126.com