

文章编号:1005-3832(2026)02-0001-06

# 准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐碱的耐受性分析

宋明波<sup>1</sup>,程兰玲<sup>2</sup>,王甜<sup>1</sup>,马莉<sup>1</sup>,呼德拉提·阿那斯<sup>1</sup>,时春明<sup>1</sup>,王雪<sup>1</sup>

(1.新疆维吾尔自治区水产科学研究所,新疆 乌鲁木齐 830000;

2.新疆农业职业技术大学,新疆 昌吉 831100)

**摘要:**本研究旨在探究准噶尔雅罗鱼(*Leuciscus merzbacheri*)幼鱼对盐碱胁迫的适应性,为其在盐碱水域的增养殖提供理论依据。采用单因子静态急性毒性试验方法,对准噶尔雅罗鱼幼鱼在不同盐度和碱度条件下进行暴露试验。在水温 22~25 °C、pH7.3±0.2 的条件下,准噶尔雅罗鱼幼鱼在 12 h、24 h、48 h、72 h 和 96 h 盐度暴露下的半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别为 17.480‰、15.629‰、14.578‰、14.060‰和 13.971‰,安全浓度(SC)为 3.805‰;在 pH8.7±0.4 时,12 h、24 h、48 h、72 h 和 96 h 碱度暴露下的 LC<sub>50</sub> 分别为 6.807 g/L、6.208 g/L、5.202 g/L、4.469 g/L 和 3.925 g/L,SC 为 1.096 g/L。准噶尔雅罗鱼幼鱼的盐度和碱度 SC 分别为 3.805‰和 1.096 g/L,说明准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐碱均具有较好的适应性,具备成为盐碱水域增养殖的优良品种的潜力。本研究结果对充分利用我国广阔的盐碱水域资源、提高渔业经济效益具有重要意义。

**关键词:**准噶尔雅罗鱼;盐度;碱度;安全浓度(SC);适应性

中图分类号:S917

文献标识码:A

## Analysis of the Adaptability of *Leuciscus merzbacheri* Juvenile to Salinity and Alkalinity

SONG Mingbo<sup>1</sup>, CHENG Lanling<sup>2</sup>, WANG Tian<sup>1</sup>, MA Li<sup>1</sup>, HUDRAT·Anas<sup>1</sup>, SHI Chunming<sup>1</sup>, WANG Xue<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Uygur Autonomous Region Fisheries Research Institute, Urumqi 830000, China;

2. Xinjiang Agricultural Vocational and Technical University, Changji 831100, China)

**Abstract:** This study aims to investigate the adaptability of *Leuciscus merzbacheri* juvenile to saline-alkaline stress, providing a theoretical basis for its aquaculture in saline-alkaline waters. A single-factor static acute toxicity test was employed to expose *L. merzbacheri* juvenile to different salinity and alkalinity conditions. Under the water temperatures of 22 - 25 °C and pH 7.3 ± 0.2, the 12 h, 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h LC<sub>50</sub> (median lethal concentration) values for salinity exposure were 17.480‰, 15.629‰, 14.578‰, 14.060‰, and 13.971‰, respectively, with a safe concentration (SC) of 3.805‰. When the pH was 8.7 ± 0.4, the 12 h, 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h LC<sub>50</sub> values for alkalinity exposure were 6.807 g/L, 6.208 g/L, 5.202 g/L, 4.469 g/L, and 3.925 g/L, respectively, with an SC of 1.096 g/L. *L. merzbacheri* juvenile demonstrated good adaptability to both salinity and alkalinity, making it a promising candidate for aquaculture in saline-alkaline waters. This research result had significant importance for the efficient utilization of Chinese vast saline-alkaline water resources and for enhancing the economic benefits of fisheries.

**Key words:** *Leuciscus merzbacheri*; salinity; alkalinity; safety concentration (SC); adaptability

我国盐碱地面积广阔,约有 9.94 × 10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>,低洼盐碱水约为 4.61 × 10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>,广泛分布于东北、华北、西北内陆地区的 19 个省、市和自治区<sup>[1]</sup>。这些盐碱地区因高盐、高碱和高 pH 的特性,对农作物生长造成严重危害,常导致粮食减产甚至绝收。然而,大量科学试验表明,“以渔改碱”是开发利用这部分土地资源的有效途径<sup>[2]</sup>。通过建立“以渔降盐、以渔治碱、种养结合”的盐碱渔农综合利用模式,可将盐碱

定向入水,有机物质返土培肥,形成盐碱水土特有的生态动态循环系统,将原本贫瘠的白色盐碱荒漠转变为可种粮草、可养鱼虾的“渔米绿洲”。

新疆地区湖泊、水库众多,但多为盐碱高矿化度的水体,渔业开发潜力巨大,迫切需要筛选出一些能够适应高盐碱水域环境的优良品种,以提高这些水域的渔业经济效益<sup>[3]</sup>。准噶尔雅罗鱼(*Leuciscus merzbacheri*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤

收稿日期:2025-07-07

基金项目:新疆维吾尔自治区 2022 年第二批(人才、基地)创新环境建设专项--自然科学基金面上项目(2022D01A283)。

作者简介:宋明波(1982-),男,江苏铜山人,本科,高级农艺师,从事鱼类养殖繁育研究.E-mail: smb12369@163.com

通信作者:王雪(1987-),高级农艺师,从事水产养殖与环境监测研究.E-mail: 1051775244@qq.com

科(Cyprinidae)、雅罗鱼属(*Leuciscus*),作为一种湖泊型鱼类,原产于艾比湖和玛纳斯湖,随着自然环境条件的改变,如艾比湖水质盐化(现盐度为 70‰~140‰)和玛纳斯河干涸,被迫迁徙至两湖水系的入湖三角洲低洼坑塘或河道中<sup>[4,5]</sup>。准噶尔雅罗鱼具有耐高盐度的特性,在奎屯河艾比湖河口,矿化度高达 10.27 g/L,大部分鱼类均无法生存,而准噶尔雅罗鱼却能在此环境中栖息繁衍。此外,准噶尔雅罗鱼还具有较强的抗寒能力和耐盐碱特性,对水域生态环境具有较强的适应能力<sup>[3]</sup>。准噶尔雅罗鱼的上述特性,使其具备人工放流和引种推广的潜在优势,对于准噶尔盆地偏盐碱河流的增殖产业具有十分重要的意义。

目前,针对准噶尔雅罗鱼的研究主要集中在生物学特征<sup>[5]</sup>、遗传学<sup>[6]</sup>和分子生物学<sup>[7]</sup>等方面,而关于水生生态因子对其自身影响的研究还相对较少。本研究以准噶尔雅罗鱼幼鱼为试验材料,通过分析不同浓度梯度下的盐度和碱度对其急性胁迫和毒性的影响,旨在深入了解准噶尔雅罗鱼对盐碱环境的适应能力,旨在为准噶尔雅罗鱼盐碱池塘养殖的推广以及野生种群种质资源的保护提供科学依据,同时也为我国盐碱水域渔业资源的开发利用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验鱼

试验鱼为新疆水生野生动物救护中心自繁准噶尔雅罗鱼子一代苗种,其体质健壮、游动活跃、无伤无病,总计 1 200 尾,体质量和体长规格分别在  $(0.91 \pm 0.25)$  g、 $(4.30 \pm 0.38)$  cm。试验用水为曝气 24 h 的地下水(机井水),pH $7.2 \pm 0.3$ ,水温为  $(22 \pm 1)$  °C,NaCl 浓度 0.135 g/L,总碱度 0.496 mmol/L,溶解氧为  $(8.2 \pm 0.2)$  g/L,各项指标均符合《渔业水质标准》(GB 11607-89)<sup>[8]</sup>。试验容器为玻璃水族箱(60 cm × 35 cm × 35 cm)。

### 1.2 试验设计

单盐碱的单因子试验根据预试验结果采用等对数间距法<sup>[9]</sup>设置不同的浓度梯度,各个盐碱梯度组,分别设置 3 个平行组和 1 个对照组。试剂 NaCl 和 NaHCO<sub>3</sub> 为国产分析纯(生产厂家),分别用来调整盐度(‰)和碱度(g/L)。水样盐度采用电导率/盐度仪(上海雷磁 DDS-307A 型电导率仪)测定,使用前以 0.01 mol/L KCl 标准溶液(电导率为 1 413 μS/cm,

25 °C)进行校准,以确保测定精度。碱度采用酸碱滴定法测定,滴定过程中使用 pH 计监测终点 pH。pH 计在测定前使用国家标准缓冲溶液(pH=4.00、6.86 和 9.18)进行三级校准,并在试验过程中定期验证电极稳定性。

#### 1.2.1 盐度耐受试验

预试验盐度范围在 6.0‰~34.0‰,以梯度 2‰ 设置 15 个梯度组,每组随机放入 10 尾准噶尔雅罗鱼幼鱼。根据预试验结果,确定设置 6 个盐度梯度试验组,分别为 13.0‰、14.0‰、15.0‰、16.0‰、17.0‰、18.0‰,和 1 个对照组(经曝气 48 h 的自来水,下同)。每组随机放入幼鱼 30 尾。

#### 1.2.2 碱度耐受试验

根据预试验结果——幼鱼在 24 h 全部死亡、96 h 全部存活对应的碱度浓度正式试验碱度范围设置在 3.0~7.0 g/L 之间,以 0.5 g/L 为梯度设 9 个试验组,分别为 3.0 g/L、3.5 g/L、4.0 g/L、4.5 g/L、5.0 g/L、5.5 g/L、6.0 g/L、6.5 g/L,及 7.0 g/L,并设 1 个空白对照组。每组随机放入幼鱼 30 尾。

#### 1.2.3 水质测定

试验所需溶液提前配置好,静置稳定 24 h 后测定,盐度用盐度计(北京远特信科技有限公司,型号 WS-31)测定和校准。水体通过适度稀释,用 0.02 mol/L 的 HCl 标定,以酚酞、甲基橙-苯胺蓝(混合)作指示剂进行碱度测定<sup>[8]</sup>。为保持水体的清洁稳定,每 24 h 换水 1/3(预试验中发现准噶尔雅罗鱼在盐碱的刺激下,会大量分泌体表黏液,水质逐渐发黄浑浊)。连续观察记录前 12 h 幼鱼的行为特征。同时根据鱼体鳃盖停止扇动,平躺于水底,轻触无反应为死亡,记录 96 h 内的死亡数量并及时捞出死亡个体。

### 1.3 数据分析

体长、体质量结果用平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示。采用 SPASS 19.0 软件进行回归分析,按照概率单位法,将各处理不同时间平均累计死亡百分率转化成概率单位,得出死亡率与试验溶液浓度的回归方程,并计算出盐度、碱度的半致死浓度(LC<sub>50</sub>)和 95%置信区间。安全浓度按照特伦堡(Turubell)公式计算<sup>[10]</sup>:

$$SC=48 \text{ h } LC_{50} \times 0.3 \div (24 \text{ h } LC_{50} \div 48 \text{ h } LC_{50})^2。$$

式中:SC 为安全浓度;48 h LC<sub>50</sub> 代表暴露时间为 48 h 的半数致死浓度;24 h LC<sub>50</sub> 代表暴露时间为

24 h 的半数致死浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐度的耐受性

在整个单因子盐度试验过程中,仔细观察准噶尔雅罗鱼幼鱼的行为特征和死亡情况。对照组所有试验鱼的游动和呼吸均正常,无死亡个体。但在盐度胁迫下,盐度低于 11‰ 的各组,幼鱼活动正常,无应激反应;当盐度介于 11‰~13‰ 之间时,幼鱼出现躁动性游动,鳃盖扇动较为频繁,适应一段时间后,幼鱼逐渐平稳,鳃盖扇动频率逐渐减缓之后逐渐平静;当盐度介于 13‰~16‰ 之间时,幼鱼反应强烈并出现中毒症状,鱼体大量分泌黏液,鱼鳍和眼球充血,鱼体贴壁狂游以及水质逐渐浑浊,部分幼鱼失去平衡,身体侧翻,腹部朝上浮于水面逐渐死亡;在盐度高于 16‰ 时,幼鱼出现急躁,狂游等现象,体色发白,浑身抽搐,快速死亡。结果表明,幼鱼应激反应强度随盐度的增加而加强。

盐度达到 13‰ 时,48 h 首次出现死亡;盐度达到 14‰ 时,96 h 死亡率为 40%,接近一半;盐度在 13‰~15‰ 范围时,48 h 的死亡率从 3.33% 增加至 73.33%,96 h 的死亡率从 23.33% 增加至 90%。随着盐度的升高,死亡速度加快,死亡率逐渐上升。在盐度达到 16‰ 时,12 h 内出现死亡,72 h 全部死亡;在盐度达到 18‰ 时,12 h 的死亡率达 76.67%,24 h 全部死亡(表 1)。由上述结果可知,准噶尔雅罗鱼幼鱼的死亡率随盐度和时间的增加而递增。

通过对准噶尔雅罗鱼幼鱼耐受性的分析,用概率单位法求得其盐度的 24 h、48 h、72 h、96 h 半致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别是 17.480‰、15.629‰、14.578‰、14.060‰ 和 13.971‰,SC 为 3.805‰。结果发现,准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐度的耐受性是逐步递减的。在盐度为 14‰ 时,96 h 内试验鱼死亡率为 40%,这与

表 1 不同盐度条件下准噶尔雅罗鱼幼鱼的死亡率

Tab. 1 Mortality rate of *L. merzbacheri* juveniles at different salinities

盐度 /‰ salinity	死亡率 mortality rate/%				
	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
0(对照组)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	3.33	20.00	23.33
14	0.00	3.33	20.00	36.67	40.00
15	10.00	26.67	73.33	83.33	90.00
16	13.33	80.00	96.67	100.00	—
17	16.67	80.00	100.00	—	—
18	76.67	100.00	—	—	—

注:“—”表示该处理组全部死亡,下同。

Note:“—”denoted all of juveniles were dead, et sequentia.

盐度与幼鱼死亡相关性分析结果得出的 96 h LC<sub>50</sub> (13.971‰) 比较接近(表 2),说明其对盐度的耐受性较强。本研究结果表明,准噶尔雅罗鱼的急性盐度耐受上限值为 14‰(96 h 存活率 ≥ 50%)。本研究结果对于在不同水域驯化养殖或增殖放流有重要的指导作用。

### 2.2 准噶尔雅罗鱼幼鱼对碱度的耐受性

碱度对准噶尔雅罗鱼的急性毒性试验结果见表 3。在整个碱度耐受性试验中,对照组无应激现象,游动平缓,呼吸正常,水质清洁,无泡沫等杂质。3.0~5.0 g/L 试验组中毒症状表现为入水快速游动,焦躁不安,体表和鳃分泌大量黏液,水质出现泡沫且较为浑浊。在幼鱼入水后随着碱度的升高,对碱度的耐受性逐渐下降,死亡率不断上升,表现在鱼体反应迟钝,出现抽搐失去平衡,扭曲不能恢复,腹部朝上,水质出现大量泡沫,试验鱼死亡时鱼体无光泽,鱼鳍充血眼球发黑,腹部有积水。5.5 g/L 以上试验组 48 h 以上死亡率高于 50%,96 h 全部死亡。6.0 g/L 试验组和 6.5 g/L 试验组的幼鱼在 48 h 内死亡率达 100%。

表 2 盐度与准噶尔雅罗鱼幼鱼死亡相关性分析

Tab. 2 Correlation analysis between salinity and lethal rate of *L. merzbacheri* juveniles

试验时间 experimental time/h	回归方程 regression equation	相关系数 relative coefficient	半数致死浓度 LC <sub>50</sub> /‰	95%置信区间 confidence interval for 95%	安全浓度 SC/‰
12	$y = -3.503 + 0.640x$	0.964	17.480	16.783~19.078	
24	$y = -6.013 + 1.388x$	0.982	15.629	15.116~16.124	
48	$y = -5.340 + 1.671x$	0.991	14.578	14.326~14.829	3.805
72	$y = -3.934 + 1.715x$	0.964	14.060	13.710~14.368	
96	$y = -3.592 + 1.733x$	0.964	13.971	13.621~14.275	

表3 不同碱度条件下准噶尔雅罗鱼幼鱼的死亡率  
Tab. 3 Mortality rate of *L. merzbacheri* juveniles at different alkalinities

浓度 / (g/L) concentration	死亡率 mortality rate/%				
	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h
0(对照组)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0	0.00	0.00	0.00	3.33	13.33
3.5	0.00	0.00	3.33	20.00	30.00
4.0	0.00	0.00	6.67	30.00	56.67
4.5	0.00	3.33	16.67	53.33	76.67
5.0	0.00	10.00	23.33	60.00	83.33
5.5	3.33	13.33	53.33	93.33	100.00
6.0	6.67	36.67	100.00	—	—
6.5	20.00	46.67	100.00	—	—
7.0	70.00	100.00	—	—	—

用概率单位法求得其碱度的 12 h、24 h、48 h、72 h、96 h  $LC_{50}$  分别是 6.807 g/L、6.208 g/L、5.202 g/L、4.469 g/L、3.925 g/L, SC 为 1.096 g/L(表 4)。值得注意的是, 12 h  $LC_{50}$  的回归方程相关系数( $r=0.707$ )明显低于其他时间点(0.852~0.987), 主要原因是低浓度组( $\leq 3.5$  g/L)死亡率为 0, 而 6.5 g/L 及以上浓度组死亡率骤升, 导致剂量-死亡率曲线在该时段呈非线性。以上结果可以发现, 准噶尔雅罗鱼幼鱼对碱度的耐受性是逐步递减的。在  $NaHCO_3$  浓度为 5.0 g/L 时, 96 h 内试验鱼死亡率为 83.33%, 这与 96 h  $LC_{50}$  为 3.925 g/L 比较接近, 说明其对碱度的耐受性较强。综上可知, 准噶尔雅罗鱼对碱度的耐受上限值为 5.0 g/L。

### 3 讨论

#### 3.1 准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐度的适应性

其他种类的雅罗鱼, 如滩头雅罗鱼(*Leuciscus branditi*)的 24 h 和 96 h 盐度  $LC_{50}$  分别为 28.57‰和

28.40‰, SC 为 8.52‰<sup>[8]</sup>。相比之下, 准噶尔雅罗鱼的 96 h 盐度  $LC_{50}$  为 13.97‰, SC 为 3.805‰, 这表明准噶尔雅罗鱼在盐度耐受性方面低于滩头雅罗鱼。滩头雅罗鱼能够在更高盐度的环境中生存, 这可能与其长期适应特定的高盐水域环境有关。有些鱼类可能在一些盐度较高的河流入海口或内陆咸水湖中进化出了更有效的渗透调节机制, 如太湖新银鱼通过鳃和皮肤的离子交换系统更好地维持体内渗透压平衡<sup>[11]</sup>。高体雅罗鱼的 24 h 和 96 h 盐度  $LC_{50}$  分别为 11.54‰和 9.890‰, SC 为 2.77‰<sup>[12]</sup>。准噶尔雅罗鱼在盐度耐受性上比高体雅罗鱼稍强, 这种差异可能源于二者不同的生态位和生存策略。高体雅罗鱼可能更倾向于生活在盐度相对较低的水域, 其生理结构和代谢过程对高盐环境的适应性改造不如准噶尔雅罗鱼<sup>[13]</sup>。与淡水鱼类相比(表 5), 欧鲌(*Silurus glanis*)的 24 h 盐度  $LC_{50}$  为 9.79‰, 96 h  $LC_{50}$  为 3.91‰, SC 为 1.52‰<sup>[14]</sup>; 乌苏里拟鲮(*Pseudobagrus ussuriensis*)的 24 h 盐度  $LC_{50}$  为 12.51‰, 96 h  $LC_{50}$  为 9.81‰, SC 为 2.97‰<sup>[15]</sup>。准噶尔雅罗鱼的盐度耐受性均高于上述 2 种淡水鱼类。研究表明, 鱼类在高盐环境中的适应性主要依赖于渗透压调节机制, 包括鳃部的离子通道数量增加或通透性改变, 以及肾脏对盐分的调节能力<sup>[16-18]</sup>。在高盐环境中, 淡水鱼类的渗透压调节能力相对较弱, 其鳃和肾脏等器官可能无法有效地处理高盐带来的渗透压变化<sup>[19,20]</sup>。而准噶尔雅罗鱼能够适应更高盐度, 说明其在进化过程中获得了更强大的渗透压调节能力, 可能通过增加鳃部的离子通道数量或改变离子通道的通透性来更好地适应盐度变化。

本试验中准噶尔雅罗鱼生活在高盐度的水体中, 所栖息的赛里木湖湖水含盐量达 3.00 g/L<sup>[3]</sup>。本试验结果表明, 准噶尔雅罗鱼幼鱼的安全盐度为 3.805‰, 即 3.805 g/L, 说明准噶尔雅罗鱼具有较好

表4 碱度与准噶尔雅罗鱼幼鱼死亡相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis between alkalinity and lethal rate of *L. merzbacheri* juveniles

试验时间 / h experimental time	回归方程 regression equation	相关系数 relative coefficient	半数致死浓度 / (g/L) $LC_{50}$	95%置信区间 confidence interval for 95%	安全浓度 / (g/L) SC
12	$y=-12.000+1.763x$	0.707	6.807	6.639~7.052	
24	$y=-8.159+1.314x$	0.852	6.208	5.928~6.567	
48	$y=-7.764+1.493x$	0.928	5.202	4.874~5.569	1.096
72	$y=-4.850+1.085x$	0.983	4.469	4.273~4.683	
96	$y=-4.666+1.189x$	0.987	3.925	3.721~4.110	

表 5 常见淡水鱼类盐、碱度的半致死浓度(LC<sub>50</sub>)和安全浓度(SC)Tab. 5 The median lethal concentration (LC<sub>50</sub>) and safety concentration (SC) of salinity and alkalinity of freshwater species

种类 species	盐度 salinity/(g/L)			碱度 alkalinity/(mmol/L)			规格 specifications	来源 source
	24 h LC <sub>50</sub>	96 h LC <sub>50</sub>	SC	24 h LC <sub>50</sub>	96 h LC <sub>50</sub>	SC		
滩头雅罗鱼 <i>Leuciscus brandti</i>	28.57	28.40	8.52	89.31	68.44	18.79	(5.83 ± 0.50) cm	[18]
高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>	11.54	9.89	2.77	68.73	58.51	18.04	(3.36 ± 0.24) cm	[12]
欧鲇 <i>Silurus glanis</i>	9.79	3.91	1.52	55.47	4.98	4.75	(2.20 ± 0.50) cm	[14]
乌苏里拟鲿 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	12.51	9.81	2.97	32.10	13.76	4.21	(2.60 ± 0.17) cm	[15]
黑龙江泥鳅 <i>Misgurnus mohoity</i>	15.64	13.58	4.12	117.10	72.62	18.77	(16.30 ± 0.53) g	[27]
达里湖鲫 <i>Carassius auratus</i>	11.57	10.61	2.94	71.93	63.42	20.02	(4.10 ± 0.47) cm	[30]
青海湖裸鲤 <i>Gymnocypris przewalskii</i>	21.15	18.20	4.49	165.02	150.18	43.56	(12.52 ± 0.32) g	[31]
黄鲢 <i>Monopterus albus</i>	17.63	15.62	4.17	109.15	75.94	41.42	(11.82 ± 1.51) g	[32]
梭鲈 <i>Sander lucioperca</i>	—	20.40	6.12	—	40.93	12.28	(5.0~6.0) cm	[33]
准噶尔雅罗鱼 <i>Leuciscus merzbacheri</i>	15.63	13.97	3.81	73.89	46.72	13.05	(4.30 ± 0.38) cm	本文

的耐盐潜力和适宜能力,显示出广盐型的生态特征,这与蔡林钢等<sup>[3]</sup>研究结果一致。但是试验得出的盐度 SC(3.805 g/L)低于艾比湖河口现场矿化度(10.27 g/L)。因此,3.805‰的 SC 更适用于池塘引种初期的安全上限,而非自然栖息地的极端高盐阈值。在实际应用中,建议在池塘引种初期将盐度控制在 3.805‰以下,并随着鱼类的逐渐适应,逐步提高盐度,但需谨慎操作,避免超过鱼类的耐受极限。

### 3.2 准噶尔雅罗鱼幼鱼对碱度的适应性

水体的碱度是指水中能与强酸发生中和作用的物质总量,一般水体中的碱度来自 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>,其中组成的缓冲体系对维持水体 pH 相对稳定具有重要作用<sup>[21]</sup>。碱度致毒是个综合作用,在 pH9.0~9.5 之间,可能主要是 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 致毒;在 pH>9.5 时,CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 OH<sup>-</sup> 起协同作用<sup>[22-24]</sup>。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 对鱼产生危害的途径可能有两个方面:一方面影响血液中二氧化碳的平衡系统;另一方面是对鳃、皮肤的腐蚀作用,这种腐蚀作用可能是直接的,也可能是达到表皮后,水解产生 OH<sup>-</sup> 造成的<sup>[12]</sup>。

碱度对鱼的理化影响主要表现在酶活力、新陈代谢等方面。由试验结果可知,准噶尔雅罗鱼在 pH8.7 ± 0.4 时,安全碱度为 1.096 g/L,经计算为 13.05 mmol/L。通过对比,准噶尔雅罗鱼在碱度耐受性上低于滩头雅罗鱼和高体雅罗鱼<sup>[8,12]</sup>,这可能是由于滩头雅罗鱼和高体雅罗鱼长期生活在碱度较高且 pH 相对稳定的水域,其生理机能已经适应了这种高碱环境,通过调节鳃部的离子交换过程,减少碱性离子的吸收,同时增加酸性离子的分泌,以维

持体内的酸碱平衡。而准噶尔雅罗鱼在碱度适应性上相对较弱,可能是由于其生活环境的碱度变化范围较窄,其生理调节能力没有得到充分的进化。雷衍之等<sup>[22]</sup>研究表明,碱度 10 mmol/L 可以作为鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*) 养殖用水的危险指标。准噶尔雅罗鱼的安全碱度为 13.05 mmol/L,略高于鲢和鳙,这说明准噶尔雅罗鱼在碱度耐受性上比鲢和鳙更强。鲢和鳙作为典型的淡水鱼类,其生理结构和生理功能对淡水环境的碱度适应性相对较弱。在高碱度环境中,鲢和鳙的鳃和皮肤等组织可能会受到碱性物质的腐蚀,导致呼吸困难和渗透压调节紊乱<sup>[25,26]</sup>。而准噶尔雅罗鱼能够适应更高的碱度,可能是因为在进化过程中形成了更有效的防护机制,如鳃部的黏液分泌增加,能够保护鳃组织免受碱性物质的侵害。黑龙江泥鳅(*Misgurnus mohoity*)<sup>[27]</sup>的 24 h 碱度 LC<sub>50</sub> 为 117.10 mmol/L,96 h LC<sub>50</sub> 为 72.62 mmol/L,SC 为 18.77 mmol/L,而准噶尔雅罗鱼的碱度耐受性明显低于黑龙江泥鳅。黑龙江泥鳅作为一种适应性极强的鱼类,生活在泥底环境中,经常接触到含有较高碱度的底质和水体,其生理机能已经适应了这种环境。鱼类可能通过皮肤和鳃的特殊结构,减少碱性物质的吸收,同时其体内的代谢系统也能够更好地调节酸碱平衡<sup>[28,29]</sup>。而准噶尔雅罗鱼虽然具有一定的碱度适应性,但在极端高碱度环境下的耐受能力不如黑龙江泥鳅。

综上所述,准噶尔雅罗鱼的碱耐受能力比大多数淡水鱼高,可作为碱水域的增养殖鱼类(表 5)。需要指出的是,本文 SC 基于 96 h 急性毒性数据推导,

未涵盖慢性或世代毒性效应。在实际养殖过程中, 鱼体需经历性腺发育、繁殖等多阶段长期暴露, 安全阈值可能进一步降低。因此, 建议在产业化推广前开展不少于 30 d 的亚慢性毒性试验, 系统观察生长状况、抗氧化酶活性、组织病理学等指标, 以校正经急性毒性实验外推得出的安全浓度。

### 3.3 单因子试验的局限性

本研究采用单因子急性毒性试验分别评估盐度、碱度对立雅罗鱼幼鱼的致死效应, 但天然盐碱水体中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、pH 等多因子共存, 盐度与碱度常表现为协同或拮抗作用。已有研究表明, 高盐可加剧高碱对鳃上皮细胞的渗透-腐蚀双重胁迫, 使联合毒性显著高于单因子预测值<sup>[9]</sup>。因此, 本文给出的安全浓度(SC)仅适用于单因子突增场景, 后续应开展盐-碱双因子或多因子正交试验, 建立基于响应面模型的联合毒性阈值, 为准噶尔雅罗鱼在盐碱水域的精准驯化与生态增殖提供更为可靠的理论依据。

### 3.4 结论与展望

本试验研究了准噶尔雅罗鱼幼鱼对盐、碱度的适应性, 采用概率单位法得到准噶尔雅罗鱼盐度 96 h  $\text{LC}_{50}$  为 13.971‰, SC 为 3.805‰; 碱度 96 h  $\text{LC}_{50}$  为 3.925 g/L, SC 为 1.096 g/L。通过与其他鱼类相比, 准噶尔雅罗鱼的盐碱耐受能力表现出一定的优势。与滩头雅罗鱼、高体雅罗鱼相比, 准噶尔雅罗鱼在盐度适应性上稍弱于滩头雅罗鱼, 但强于高体雅罗鱼; 在碱度适应性上, 准噶尔雅罗鱼的安全碱度低于滩头雅罗鱼<sup>[8]</sup>和高体雅罗鱼<sup>[12]</sup>。与淡水鱼类如欧鲇<sup>[14]</sup>、乌苏里拟鲿<sup>[15]</sup>、黑龙江泥鳅<sup>[27]</sup>以及其他鱼类<sup>[30-33]</sup>等相比, 准噶尔雅罗鱼的盐碱适应性也具有一定的竞争力。新疆地区的湖泊、水库多为盐碱高矿化度的水体, 生产实践表明, “以渔治碱”是盐碱水资源开发和利用的一种有效方式<sup>[34,35]</sup>, 根据准噶尔雅罗鱼的生态习性特征, 可按照生态保护或增殖的需求, 研究选择开展增殖与放流工作。

### 参考文献

- [1] 刘永新, 方辉, 来琦芳, 等. 我国盐碱水渔业现状与发展对策[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 74-78.
- [2] 郑伟刚, 张兆琪, 张美昭, 等. 澎泽鲫幼鱼对盐度和碱度耐受性的研究[J]. 集美大学学报, 2004, 9(2): 127-130.
- [3] 蔡林钢, 李红, 韩生玮, 等. 新疆博尔塔拉蒙古自治州河
- 流生态与鱼类资源[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2009: 61-72.
- [4] 郭炎, 张人铭, 蔡林钢. 新疆鱼类志[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2012: 77-79.
- [5] 郭炎, 蔡林钢, 张人铭, 等. 新疆赛里木湖准噶尔雅罗鱼生物学特征观测[J]. 干旱区研究, 2005, 22(2): 197-200.
- [6] 胡文革, 王金富, 盛金良, 等. 新疆 3 种雅罗鱼属鱼类 mtDNA-loop 多态性及起源分化分析[J]. 遗传, 2003, 25(4): 414-418.
- [7] 王业宁, 李胜忠, 刘长龙, 等. 新疆 3 种雅罗鱼的多元形态[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 636-645.
- [8] 池炳杰, 梁利群, 刘春雷, 等. 滩头雅罗鱼幼鱼对 NaCl 浓度和碱度的适应性分析[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 689-694.
- [9] 李洪涛, 周文宗, 高红莉, 等. 运用均匀设计法检验盐度和碱度对泥鳅的联合毒性作用[J]. 水产科学, 2006, 25(11): 563-566.
- [10] 陈辉, 杨先乐. 渔用药无公害使用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 177-200.
- [11] 孟玉欣, 王玉芬. 太湖新银鱼对温度、盐度适应能力试验[J]. 中国水产科学, 1998, 5(4): 23-26.
- [12] 艾克达·热合曼, 李雯, 黄晶, 等.  $\text{NaHCO}_3$  碱度和 NaCl 盐度对两种规格高体雅罗鱼幼鱼的急性毒理研究[J]. 水产学杂志, 2023, 36(5): 32-41.
- [13] 李雯. 达里湖瓦氏雅罗鱼盐碱适应的 DNA 甲基化表观调控机制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2024.
- [14] 魏玉众, 张人铭, 宋明波, 等. 欧鲇幼鱼对盐碱的耐受性[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(7): 1335-1343.
- [15] 杨广, 王心华, 胡玉花, 等. 乌苏里拟鲿对盐度、碱度的适应性[J]. 天津农学院学报, 2012, 19(3): 32-35.
- [16] 樊佳慧. 中华鲟细胞系的建立及渗透压调节机制研究[D]. 荆州: 长江大学, 2024.
- [17] 朱佳华. 肌醇调节罗非鱼脂代谢与盐度适应生理机制初探[D]. 上海: 华东师范大学, 2024.
- [18] 王辰奇, 刘奇, 张若楠, 等. 东方鲀属(*Takifugu*)鱼类渗透压调节机制的研究进展[J]. 河北渔业, 2024, 46(12): 39-44.
- [19] 张正启. 盐度胁迫下金钱鱼肾脏多巴胺合成、分解代谢和转运及对渗透压调节的影响[D]. 深圳: 深圳大学, 2023.
- [20] 张宁璐, 周胜杰, 陈成勋, 等. 急性低盐胁迫对黄鳍金枪鱼幼鱼渗透调节影响研究[J]. 天津农学院学报, 2024, 31(4): 55-65, 73.
- [21] 丁芳林, 彭书练. 酸、碱度与淡水养鱼[J]. 江西水产科技, 2001, 23(2): 39-40.