

引文格式: 陈会琴, 毕保良, 胡青. 不同盐度驯化对罗非鱼肉质、血清生化指标及 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(6): 971–978. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202203043](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202203043)

不同盐度驯化对罗非鱼肉质、血清生化指标及 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响*

陈会琴¹, 毕保良^{1,2}, 胡青^{1,2**}

(1. 云南农业大学 动物科学技术学院, 高原渔业学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南省高校高原渔业资源保护与可持续利用重点实验室, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】研究盐度驯化对罗非鱼健康养殖的影响。【方法】以体质量为 (178.35 ± 46.44) g 的罗非鱼为研究对象, 分别将其驯养在盐度为 0 (S_0)、12 (S_{12}) 和 24 (S_{24}) 的水体中 0 和 12 d, 分析其对罗非鱼肉质、血清生化指标及 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响。【结果】盐度驯化 0 d, S_{12} 和 S_{24} 组罗非鱼血清三碘甲状腺原氨酸 (T_3) 水平显著高于 S_0 组 ($P<0.05$); 驯化 12 d, S_{24} 组血清游离三碘甲状腺原氨酸 (FT_3)、 T_3 和皮质醇的水平显著高于 S_0 组 ($P<0.05$)。盐度驯化可导致鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性显著升高 ($P<0.05$), 但血清各离子 (Na^+ 、 K^+ 和 Cl^-) 浓度无显著变化 ($P>0.05$); 此外, 盐度对肾脏和肠道 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性以及血清葡萄糖水平无显著影响 ($P>0.05$)。盐度驯化 0 d, S_{24} 组仅有部分质构指标(黏性、胶着性、咀嚼性和回弹性)显著高于 S_0 组 ($P<0.05$); 盐度驯化 12 d, S_{24} 组的罗非鱼肌肉硬度、胶着性和咀嚼性显著高于 S_0 组 ($P<0.05$), 肌肉水分显著低于 S_0 组 ($P<0.05$), 但感官指标受驯化盐度和驯化时间的影响不显著。【结论】不同盐度驯化后, 罗非鱼为了维持体内渗透压平衡, 鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性升高, 其肌肉品质也发生了不同程度的改变。本研究为罗非鱼的盐度驯化养殖提供了一定的数据支持。

关键词: 罗非鱼; 肉质; 应激; 渗透调节; $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性

中图分类号: S965.125

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2022) 06-0971-08

Effects of Different Salinity Acclimation on Tilapia Muscle Quality, Serum Biochemical Profiles and $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ Activity

CHEN Huiqin¹, BI Baoliang^{1,2}, HU Qing^{1,2}

(1. Faculty of Animal Science and Technology, Plateau Aquacultural College, Yunnan Agricultural University,

Kunming 650201, China; 2. Key Laboratory of Plateau Fishery Resources Protection and

Sustainable Utilization of Yunnan Province, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To study the effects of salinity acclimation on healthy tilapia farming.

[Methods] Tilapia with a body weight of (178.35 ± 46.44) g were used as the research object, which domesticated in 0 (S_0), 12 (S_{12}) and 24 (S_{24}) salinity for 0 and 12 days, respectively. The effects of salinity on muscle quality, serum biochemical indexes and $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ activity were analyzed.

[Results] After 0 day salinity acclimation, tilapia serum triiodothyronine (T_3) level in S_{12} and S_{24}

收稿日期: 2022-03-17

修回日期: 2022-09-07

网络首发日期: 2022-11-09

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060825, 31602141); 云南省基础研究计划项目 (2017FD077)。

作者简介: 陈会琴 (1996—), 女, 云南大理人, 在读硕士研究生, 主要从事鱼类生理及性腺发育研究。

E-mail: 1601026788@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 胡青 (1988—), 女, 云南景洪人, 博士, 副教授, 主要从事鱼类生殖生理研究。E-mail: huqinggw@126.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.s.20221107.1533.003.html>



groups were significantly higher than that in the S_0 group ($P<0.05$); on 12 days salinity acclimation, the levels of serum free triiodothyronine (FT_3), T_3 and cortisol in S_{24} group were significantly higher than those in the S_0 group ($P<0.05$). Salinity acclimation increased the $Na^+-K^+-ATPase$ activity in gill filaments significantly ($P<0.05$), but there was no significant change in the concentration of serum ion (Na^+ , K^+ and Cl^-) ($P>0.05$). In addition, salinity had no significant effect on the $Na^+-K^+-ATPase$ activity of the kidney and intestine and the serum glucose level ($P<0.05$). On salinity acclimation 0 day, only some of the texture profiles (viscosity, adhesiveness, chewiness, and resilience) in the S_{24} group were significantly higher than those in the S_0 group ($P<0.05$); on salinity acclimation 12 days, the muscle hardness, adhesiveness and chewiness were significantly higher than those in the S_0 group ($P<0.05$), the muscle moisture was significantly lower than S_0 group ($P<0.05$), but the sensory indexes had no significant influence by acclimation salinity concentration and time. [**Conclusion**] After acclimation with different salinity, the activity of $Na^+-K^+-ATPase$ in gill filaments of tilapia increases in order to maintain osmotic pressure balance in the body, and the muscle quality of tilapia also changes in different degrees. This study provides the data support for the salinity acclimation of tilapia.

Keywords: tilapia; muscle quality; stress; osmotic adjustment; $Na^+-K^+-ATPase$ activity

盐度是影响广盐性鱼类生长发育的重要因子, 当鱼类进入不同盐度的水体后, 为了维持渗透压稳定, 机体需通过主动运输的方式运输离子和水分, 使机体对能量的需求增加, 从而使机体的各项生理机能发生改变。有研究表明: 环境盐度变化可对水产动物的肌肉品质^[1-3]、血清生化指标^[4-6]及血清激素^[7-9]等造成重要影响, 而水产动物可以通过改变血清离子浓度^[10-11]以及鳃丝、肾脏和肠道的 Na^+-K^+-ATP 酶活性^[12-13]来适应环境盐度的改变, 进而调节体内渗透压平衡。因此, 利用环境盐度改变鱼体肌肉品质并研究鱼类对盐度的适应性, 对养殖优质、健康鱼类具有重要意义。

罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 属丽鱼科 (Cichlidae) 罗非鱼属 (*Tilapia*) 鱼类, 分布于湖泊、河流、小水沟甚至稻田。罗非鱼肉质鲜嫩、骨刺少, 含有多种不饱和氨基酸和丰富的蛋白质, 是当今中国乃至世界重点培养的淡水鱼类。虽然国内罗非鱼主要养殖于淡水, 但其对盐度的适应范围较广, 可生活在不同盐度的水体中。盐度驯化会影响罗非鱼的生长和肌肉品质^[14-15]。适宜的盐度环境对罗非鱼的生长性能和肌肉品质至关重要。目前, 淡水资源短缺, 有效利用微咸水和海水进行水产养殖已成为克服淡水短缺的重要替代方案。有研究表明: 海水或半咸水养殖的罗非鱼无泥腥味, 肌肉的营养价值和感官特征明显优于

淡水养殖^[16-17]。因此, 本研究探讨盐度对罗非鱼肉质、血清生化指标及 Na^+-K^+-ATP 酶活性等综合指标的影响, 旨在通过控制养殖水体的盐度进一步提高罗非鱼的经济价值, 为罗非鱼的盐度驯化养殖提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 供试鱼

试验挑选无病无伤、生命力旺盛、体质量为 (178.35 ± 46.44) g 的罗非鱼 (表 1) 放入驯养池暂养, 水温控制在 (28 ± 2) $^{\circ}C$, 每天 9:00 和 18:00 各投喂 1 次配合饲料, 暂养 7~10 d 后进行盐度驯养试验。

表 1 不同处理组罗非鱼的体质量和肌肉质量

Tab. 1 Body weight and muscle weight of tilapia in different treatment groups

驯化时间/d acclimation time	组别 group	体质量 body weight	肌肉质量 muscle weight
0	S_0	167.89 ± 0.88	48.12 ± 1.62
	S_{12}	174.18 ± 19.92	52.00 ± 5.11
	S_{24}	189.01 ± 20.38	51.42 ± 7.53
12	S_0	173.37 ± 35.61	53.16 ± 9.71
	S_{12}	166.40 ± 10.20	52.81 ± 3.44
	S_{24}	199.76 ± 17.07	62.43 ± 4.34

1.2 罗非鱼的盐度驯养及样品采集

用海水晶调配, 设置 3 个盐度: 0、12 和 24, 分别记为 S₀、S₁₂ 和 S₂₄ 组, S₁₂ 和 S₂₄ 盐度驯化组每 2 d 提升 2 个盐度(即 S₂₄ 盐度驯化组先升高盐度, 待盐度升高至 12 时, S₁₂ 盐度驯化组再开始升高盐度), 并在同一时间内升到最终设置盐度, 此时记为 0 d, 之后再驯养 12 d, 采样时间分别记为 0 和 12 d。驯养期间, 每天换水 1 次, 并补充曝气后盐度相同的自来水, 换水后用盐度计 (LYT-610, 上海淋誉) 检测水体盐度, 维持设定盐度。每个盐度组设置 3 个平行。

不同盐度驯化后的罗非鱼用 100 mg/L 间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐 (MS-222) 麻醉后采用尾动脉采血法采集血液, 静置 1 h 后, 1 500 r/min 离心 30 min, 取上清; 每个平行取 3 条鱼, 血清混合后用于测定各血清生化指标。采血后采集罗非鱼的鳃丝、肾脏和肠道组织, -80 ℃ 保存, 用于 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性的测定。采集鱼体全部肌肉, 用于采肉率的测定; 采集各驯化组背部同一部位肌肉, 肌肉的长×宽×高分别为 2.0 cm×1.0 cm×0.5 cm, 用于质构指标的测定; 再采集另一侧背部肌肉, 切成大小约为 1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm 的均匀块状, 用于感官指标的测定; 剩余的肌肉用于水分的测定。

1.3 罗非鱼各指标的测定

1.3.1 采肉率和肌肉水分

采肉率根据公式计算: 采肉率=采肉后获得的碎肉质量/采肉前鱼料原质量×100%; 肌肉水分的测定采用 105 ℃ 恒重法^[18]。

1.3.2 血清生化指标

罗非鱼血清葡萄糖、Na⁺、K⁺和 Cl⁻水平的测定均按照南京建成试剂盒说明书进行; 皮质醇水平的测定按照鱼皮质醇酶联免疫分析 (ELISA) 试剂盒 (上海酶联生物科技有限公司) 说明书进行; 三碘甲状腺原氨酸 (triiodothyronine, T₃)、甲状腺素 (thyroxine, T₄)、游离三碘甲状腺原氨酸 (free triiodothyronine, FT₃) 和游离甲状腺素 (free thyroxine, FT₄) 水平的测定根据北京北方生物技术研究所有限公司试剂盒说明书进行。

1.3.3 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性

称取鳃丝、肾脏和肠道组织 0.2 g, 加入该质量 9 倍体积的生理盐水, 冰浴匀浆后, 1 000 r/min 离心 20 min, 取上清液。各组织中 Na⁺-K⁺-ATP

酶活性的测定根据南京建成试剂盒说明书进行。上清液中蛋白的含量根据 BCA 蛋白浓度测定试剂盒 (北京酷来搏科技有限公司) 说明书进行。

1.3.4 肉质

(1) 质构指标的测定: 将肌肉断面的中心置于质构仪探头的正下方样品台上, 选用的探头为 P/36R, 测前速率为 1 mm/s, 测中速率为 1 mm/s, 测后速率为 5 mm/s, 压缩比例为 40%, 测定肌肉硬度、弹性、粘聚性、胶着性、咀嚼性和回弹性等指标。

(2) 感官指标的测定^[19]: 通过比较部分肌肉的感官指标 (包括肌肉的肉色、质地、易嚼、嚼碎、多汁、香味、残留和总体接受度等) 评价不同盐度驯化后罗非鱼肌肉整体的品质。将同一驯化组采集的肉块作为同一批次放入同一锅内蒸熟, 每组蒸煮时间一致, 除盐以外不放任何调料。请 18 名经过简单感官评价培训的测试员独自进行感官测评。测评方法参考沈秋霞等^[20]和陈俊杰等^[21]的方法, 以 10 分为满分, 对各指标进行量化评分, 评分方法见表 2。

表 2 罗非鱼肉质感官指标评价和评分
Tab. 2 Sensory indexes evaluation and score of tilapia muscle quality

指标 index	评价 (评分) evaluation (score)			
肉色 muscle color	暗灰色 (0) dark gray	青灰色 (3) lividity	灰白色 (6) greyish white	白色 (10) white
质地 texture	非常粗糙 (0) very rough	粗糙 (3) rough	较为细致 (6) more delicate	细致 (10) delicate
易嚼 chewiness	非常难 (0) very hard	较难 (3) hard	一般 (6) general	容易 (10) easy
嚼碎 chew	非常难 (0) very hard	较难 (3) hard	一般 (6) general	容易 (10) easy
多汁 juicy	很干燥 (0) very dry	干燥 (3) dry	一般 (6) general	多汁 (10) juicy
香味 scent	异味 (0) peculiar smell	无味 (3) no smell	清香 (6) delicate fragrance	浓香 (10) strong fragrance
残留 residue	很多 (0) many	较多 (3) more	较少 (6) less	无 (10) without
总接受度 total acceptance	无法接受 (0) unacceptable	一般 (3) general	可接受 (6) acceptable	非常接受 (10) very accept

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 16.0 进行处理分析, 采用单因素方差分析 Tukey 法检验, $P<0.05$ 为差异显著, $P>0.05$ 为差异不显著。所有数据采用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同盐度驯化对罗非鱼采肉率和肌肉水分的影响

由表 3 可知：驯化 12 d 后，不同盐度驯化对罗非鱼的采肉率无显著影响，但 S₂₄ 组的肌肉水分显著低于 S₀ 组 ($P<0.05$)。

2.2 不同盐度驯化对罗非鱼血清生化指标的影响

由图 1 可知：驯化 0 d 后，不同盐度驯化组的血清游离三碘甲状腺原氨酸 (FT₃)、游离甲状腺素 (FT₄) 和甲状腺素 (T₄)、葡萄糖、皮质醇、Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 的水平与 S₀ 组均无显著差异，但三碘甲状腺原氨酸 (T₃) 的水平显著高于 S₀ 组 ($P<0.05$)；驯化 12 d 后，不同盐度驯化组的 FT₄、T₄、葡萄糖、Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 的水平与 S₀ 组均无显著差异，但 S₂₄ 组的 FT₃ 和 T₃ 水平显著高

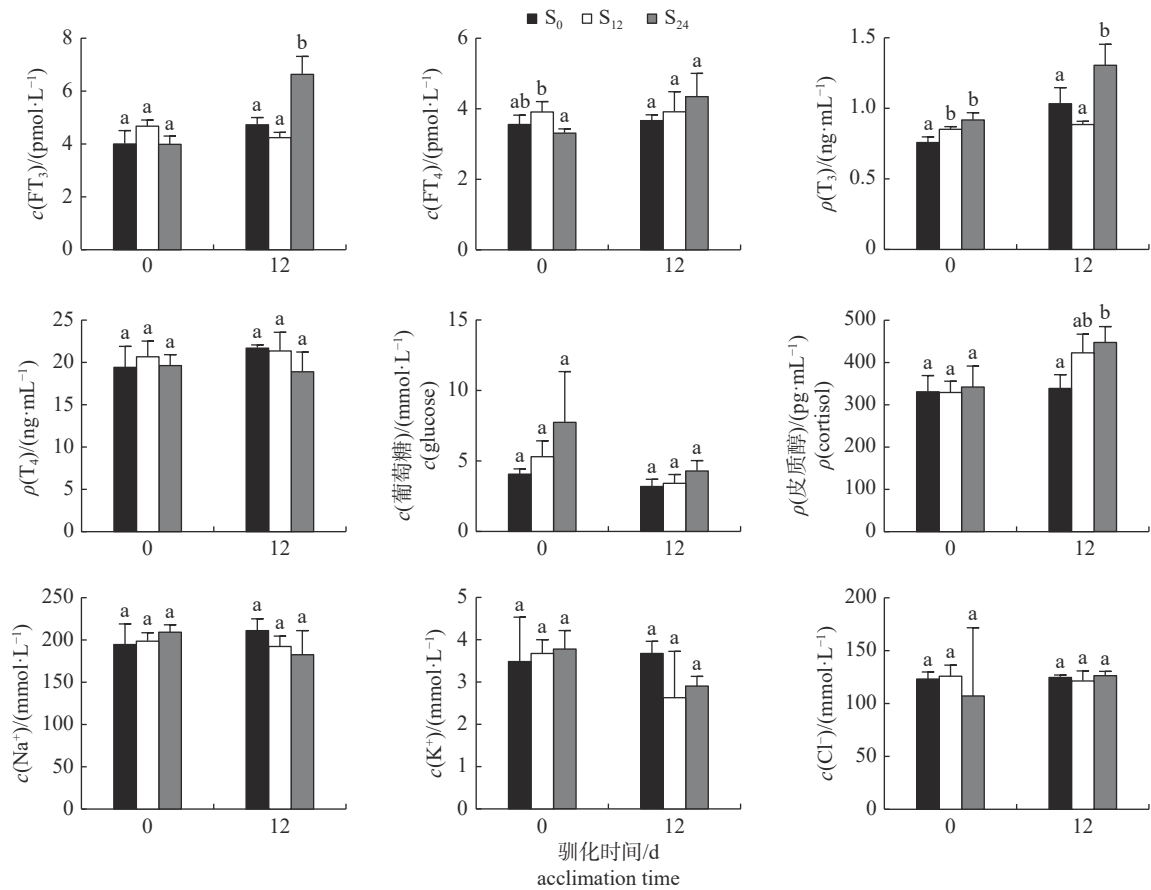
表 3 不同盐度驯化对罗非鱼采肉率和肌肉水分的影响

Tab. 3 Effects of different salinity acclimation on the tilapia flesh content and muscle moisture %

驯化时间/d acclimated time	组别 group	采肉率 meat-producing rate	水分 moisture
0	S ₀	28.62±0.77 ab	78.98±0.61 a
	S ₁₂	29.65±0.48 b	78.56±0.70 a
	S ₂₄	26.97±1.56 a	77.12±1.67 a
12	S ₀	30.48±0.68 a	79.25±0.67 b
	S ₁₂	31.14±2.30 a	78.47±0.74 ab
	S ₂₄	31.15±0.78 a	77.61±0.27 a

注：同列不同小写字母表示有显著差异 ($P<0.05$)， $n=3$ ；下同。
Notes: In the same column, different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$), $n=3$; the same as below.

于 S₀ 组和 S₁₂ 组 ($P<0.05$)，S₂₄ 组的皮质醇水平显著高于 S₀ 组 ($P<0.05$)。



注：FT₃：游离三碘甲状腺原氨酸，FT₄：游离甲状腺素，T₃：三碘甲状腺原氨酸，T₄：甲状腺素；不同小写字母表示有显著差异 ($P<0.05$)， $n=3$ ；下同。
Note: FT₃: free triiodothyronine, FT₄: free thyroxine, T₃: Triiodothyronine, T₄: thyroxine; different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$), $n=3$; the same as below.

图 1 不同盐度驯化对罗非鱼血清生化指标的影响

Fig. 1 Effects of different salinity acclimation on the serum biochemical indexes of tilapia

2.3 不同盐度驯化对罗非鱼 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性的影响

由图 2 可知: 不同盐度驯化罗非鱼 0 和 12 d, 对肠道和肾脏 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性均无显著影响; 驯化 0 d 后, S₁₂ 组鳃丝 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性显著高于 S₀ 组和 S₂₄ 组 ($P<0.05$); 驯化 12 d 后, S₂₄ 组鳃丝 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性显著高于 S₀ 组和 S₁₂ 组 ($P<0.05$)。

2.4 不同盐度驯化对罗非鱼肉质的影响

由表 4 可知: 不同盐度驯化 0 和 12 d, 对罗非鱼肌肉的感官指标 (肉色、质地、易嚼、嚼

碎、多汁、香味、残留和总接受度) 均无显著影响。由表 5 可知: 驯化 0 d 后, 不同盐度对罗非鱼肌肉的硬度、弹性和粘聚性均无显著影响, 但罗非鱼肌肉的黏性、胶着性和咀嚼性均为 S₂₄ 组显著高于 S₀ 组 ($P<0.05$), 罗非鱼肌肉的回弹性表现为 S₁₂ 和 S₂₄ 组显著高于 S₀ 组 ($P<0.05$); 驯化 12 d 后, 不同盐度对罗非鱼肌肉的黏性、弹性、粘聚性和回弹性均无显著影响, 但罗非鱼肌肉的硬度、胶着性和咀嚼性均为 S₂₄ 组显著高于 S₀ 组 ($P<0.05$)。

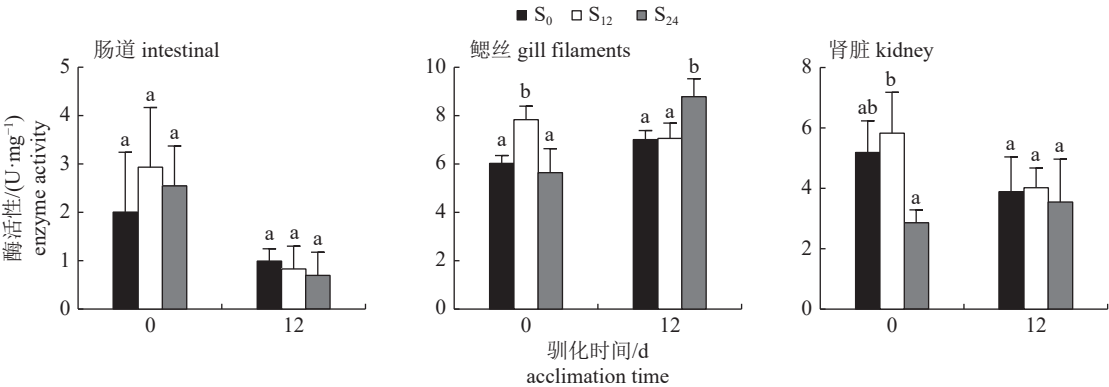


图 2 不同盐度驯化对罗非鱼 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性的影响
Fig. 2 Effects of different salinity acclimation on the Na⁺-K⁺-ATPase activity of tilapia

表 4 不同盐度驯化对罗非鱼感官指标评分的影响

Tab. 4 Effects of different salinity acclimation on the sensory indexes score of tilapia

驯化时间/d acclimated time	组别 group	肉色 muscle color	质地 texture	易嚼 chewiness	嚼碎 chew	多汁 juicy	香味 scent	残留 residue	总接受度 total acceptance
0	S ₀	6.83±0.78 a	6.04±0.89 a	6.78±0.20 a	7.00±0.20 a	6.80±1.56 a	5.57±0.55 a	6.67±0.33 a	6.59±0.66 a
	S ₁₂	6.89±0.19 a	6.07±0.39 a	6.69±0.20 a	6.87±0.12 a	6.96±0.69 a	5.54±0.72 a	6.54±0.39 a	6.76±0.62 a
	S ₂₄	7.06±1.08 a	6.15±1.05 a	6.67±0.46 a	6.93±0.56 a	6.50±1.47 a	5.76±0.99 a	6.50±0.44 a	7.02±1.04 a
12	S ₀	6.72±0.69 a	6.11±0.69 a	6.14±0.43 a	6.47±0.29 a	5.92±0.51 a	6.06±0.79 a	6.14±0.38 a	6.28±0.10 a
	S ₁₂	6.67±0.25 a	5.64±0.38 a	6.72±0.17 a	6.61±0.17 a	6.25±0.38 a	5.67±0.66 a	6.33±0.30 a	6.25±0.44 a
	S ₂₄	6.94±1.07 a	5.69±0.34 a	6.47±0.73 a	6.72±0.42 a	5.97±0.46 a	6.17±0.17 a	5.86±0.42 a	6.53±0.25 a

表 5 不同盐度驯化对罗非鱼质构指标的影响

Tab. 5 Effects of different salinity acclimation on the texture indexes of tilapia

驯化时间/d acclimated time	组别 group	硬度/N hardness	黏性/(N·s) viscosity	弹性/mm elasticity	粘聚性 cohesiveness	胶着性/N adhesiveness	咀嚼性/N chewiness	回弹性 resilience
0	S ₀	15.44±5.33 a	-0.06±0.01 b	0.44±0.04 a	0.34±0.01 a	5.20±1.82 a	2.23±0.58 a	0.16±0.02 a
	S ₁₂	24.13±4.42 a	-0.10±0.01 ab	0.48±0.02 a	0.37±0.01 a	8.84±1.50 ab	4.33±0.76 ab	0.19±0.01 b
	S ₂₄	27.11±4.24 a	-0.13±0.04 a	0.46±0.03 a	0.37±0.02 a	10.07±1.75 b	4.76±1.13 b	0.19±0.01 b
12	S ₀	27.32±1.82 a	-0.08±0.01 a	0.42±0.03 a	0.33±0.01 a	9.19±1.01 a	3.89±0.50 a	0.15±0.01 a
	S ₁₂	34.44±6.39 ab	-0.09±0.02 a	0.46±0.03 a	0.34±0.01 a	11.97±2.39 ab	5.70±1.38 ab	0.17±0.02 a
	S ₂₄	37.71±1.89 b	-0.11±0.02 a	0.48±0.04 a	0.38±0.03 a	14.26±1.90 b	6.90±1.40 b	0.19±0.03 a

3 讨论

3.1 不同盐度驯化对罗非鱼采肉率和肌肉水分的影响

盐度对鱼类是一种重要的环境因子,其变化对鱼体渗透压调节、能量代谢、摄食生长以及肌肉的生化成分都会产生一定的影响^[22]。有研究发现:将斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 幼鱼驯化于不同盐度水体后,肌肉水分含量升高且在盐度 3 和 5 的环境中生长良好^[23];而急性和慢性盐度胁迫均不会改变马来西亚红罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*) 的肌肉水分^[24];不同盐度驯化草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 后,其肌肉水分也无显著差异^[25]。本研究发现:驯化罗非鱼 0 d,对其肌肉水分无显著影响;驯化 12 d 后, S₂₄ 组肌肉水分含量显著低于 S₀ 组,但盐度对罗非鱼的采肉率无显著影响。因此,不同鱼类对环境盐度的适应能力不同,且驯化盐度与驯化时间的差异也会对肌肉水分造成不同程度的影响。本研究的罗非鱼经过驯化后能适应一定盐度的水体,而在高盐度环境下,罗非鱼体内的渗透压低于外界环境,导致驯化一段时间后鱼体内大量水分散失,进而造成肌肉水分含量下降。

3.2 不同盐度驯化对罗非鱼血清生化指标的影响

鱼类生活于不适宜的盐度环境时,其机体产生不同程度的应激反应,进而引发一系列生理变化以维持内环境的稳定^[8]。有研究发现:鱼类的早期发育、幼鱼的生长以及基础代谢等受甲状腺激素 (THs) 的调节,环境因子则可通过下丘脑—垂体—甲状腺轴调节一系列甲状腺激素的合成与转化^[26]。同时,甲状腺激素还可以与皮质醇协同调控鱼类的生长发育、新陈代谢以及渗透压等^[27]。本研究发现:环境盐度的改变可使罗非鱼产生一定程度的应激反应,如不同盐度驯化 0 d,血清 T₃ 水平显著升高,但对血清 T₄、FT₃、FT₄ 和皮质醇水平无显著影响;驯化 12 d 后, S₂₄ 组血清 FT₃、T₃ 和皮质醇水平显著升高。同样地,驯化盐度升高或降低均会导致黄条鰺 (*Seriola aureovittata*) 血清 T₄ 水平升高^[8];在盐度驯化过程中,尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 血清 T₃ 水平出现不同程度的升高,待稳定后,血清 T₃ 水平均比对照组有所升高^[28];急性盐度胁迫下,军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 稚鱼血清中的皮质醇水平出现不同程度的波动^[29];低盐度暴露后,短时间

内也会造成褐点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*) 幼鱼血清皮质醇水平显著升高^[30]。因此,大多数鱼类处于不适宜的环境盐度下,导致其机体产生一系列的应激反应,进而使血清甲状腺激素和皮质醇水平出现不同程度的升高。本研究发现:盐度升高后仅会导致血清 T₃ 水平升高,但罗非鱼长时间处于不适宜的盐度环境中,应激程度随之加强,进而导致血清 FT₃、T₃ 和皮质醇水平都呈显著升高的趋势。

此外,鱼类对环境盐度变化的调节作用也可造成血清无机盐离子、血液渗透压、血糖和血脂发生改变,因此,这些血液生化指标可用于评价鱼类在不同环境下的健康状态和适应程度^[6]。海水鱼类半滑舌鳎 (*Cynoglossus semilaevis*) 幼鱼低盐驯化后,其血清葡萄糖水平随着盐度的降低而显著下降^[31];淡水鱼类花斑剑尾鱼 (*Xiphophorus maculatus*) 暴露于不同盐度中 24 h 后,其血清葡萄糖水平随暴露盐度的升高而升高,但暴露 96 h 后,其血清葡萄糖水平在不同盐度组间无显著差异^[32]。而广盐性鱼类罗非鱼在不同盐度下驯化 0 和 12 d 后,其血清葡萄糖、Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 水平均无显著的变化,说明不同鱼类对盐度的适应能力不同。有研究发现:将 7 月龄俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 幼鱼直接从淡水转到不同盐度的水体中 96 h 后,其血清 Na⁺ 和 Cl⁻ 水平随盐度升高而增加,但在其渗透调节范围内,各处理组间各项指标与对照组相比差异不大^[33]。因此,不同鱼类所处的环境盐度若在其渗透调节范围内,并不会造成血清离子水平的变化。

3.3 不同盐度驯化对罗非鱼 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性的影响

在盐度适应阶段,大量酶参与了鱼类的渗透调节过程,其中对渗透调节最重要的是 Na⁺-K⁺-ATP 酶,该酶也是监测广盐性鱼类渗透调节过程的重要指标之一^[34]。一些器官参与了这一系列的渗透调节过程,如鳃丝、肾脏和肠道^[35]。鲮鱼 (*Mugil cephalus*) 饲养于不适应的盐度环境中,其鳃丝、肠道和肌肉中 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性均有不同程度的升高^[36];驯养 42 d 后,广盐性鱼类大麻哈鱼 (*Oncorhynchus keta*) 幼鱼鳃中 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性随着盐度的升高呈先升高后降低的变化趋势^[37];但盐度对洄游广盐性鱼类鳗鲡属 (*Anguilla*) 肾脏 Na⁺-K⁺-ATP 酶活性的影响不显著^[38]。

本研究发现:盐度驯化0和12 d后,对罗非鱼肠道和肾脏 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响均不显著,仅鳃丝的 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性随着驯化时间的不同而出现不同程度的波动,因此,对于广盐性鱼类罗非鱼而言,鳃丝主要参与其渗透调节,进而维持体内离子水平的稳定。经盐度驯化后,罗非鱼血清 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+ 含量无显著变化,表明罗非鱼逐渐适应了不同的盐度环境,使其渗透压维持在稳定范围内。

3.4 不同盐度驯化对罗非鱼肉质的影响

前期研究发现:盐度可以通过影响肌肉的组织学结构和氨基酸组成进而影响鱼类肌肉的品质和口感。肌肉质构参数则是通过模拟牙齿咀嚼食物的过程将肌肉的细嫩程度量化。对乌鳢(*Channa argus*)的研究发现:高盐度处理会使其肌纤维直径变小,而质构指标随着盐度的升高呈现出不同程度的改善^[3];关岛红罗非鱼(*Oreochromis spp.*)的肌肉咀嚼性在海水养殖模式下显著高于淡水养殖模式^[39]。也有研究通过肌纤维密度和肌肉失水率描述盐度对鱼类肌肉品质的影响^[2]。本研究发现:高盐驯化0 d可影响罗非鱼肌肉的黏性、胶着性、咀嚼性和回弹性;驯化12 d后,高盐驯化组罗非鱼肌肉的硬度、胶着性和咀嚼性均不同程度升高,说明盐度可以通过影响肌肉的质构指标来影响罗非鱼的肌肉品质,进而影响肌肉口感。此外,本研究通过肉质感官的测评后发现,盐度驯化对罗非鱼肌肉的感官指标(肉色、质地、易嚼、嚼碎、多汁、香味、残留和总接受度)无显著影响。可见,盐度驯化对罗非鱼部分肌肉质构指标产生影响,但这种影响并不能被人们的感官所识别。

4 结论

盐度为12和24的水体驯化罗非鱼0和12 d后,可使其肌肉水分出现不同程度的下降,进而影响肌肉的部分质构指标,使其口感发生改变,但这种改变并不能通过人们的感官识别。此外,盐度驯化可造成血清应激激素(甲状腺激素和皮质醇)升高,但罗非鱼可以通过启动鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性使血清各离子水平维持在稳定的状态。本研究为今后罗非鱼的盐度驯化养殖提供了一定的数据支持。

[参考文献]

- [1] 郭振. 改变水体盐度对吉富罗非鱼肉质的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2014.
- [2] 李小勤, 李星星, 冷向军, 等. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 343. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0615.2007.03.011.
- [3] 李小勤, 刘贤敏, 冷向军, 等. 盐度对乌鳢(*Channa argus*)生长和肌肉品质的影响[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(5): 505. DOI: 10.3321/j.issn:0029-814X.2008.05.012.
- [4] 成智丽, 孙鹏飞, 罗珺, 等. 盐度驯化下许氏平鲉血清生化指标及渗透压的变化[J]. 水产科学, 2021, 40(3): 310. DOI: 10.16378/j.cnki.1003-1111.18163.
- [5] 姜欣彤, 董安然, 王伟, 等. 盐度驯化对杂交鲟血清生化指标及渗透压的影响[J]. 经济动物学报, 2018, 22(2): 99. DOI: 10.13326/j.jea.2017.1219.
- [6] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 盐度对马苏大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(4): 466. DOI: 10.13331/j.cnki.jhau.2020.04.014.
- [7] 胡静, 叶乐, 吴开畅, 等. 急性盐度胁迫对克氏双锯鱼幼鱼血清皮质醇浓度和 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 116. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0780.2016.02.017.
- [8] 史宝, 柳学周, 刘永山, 等. 盐度渐变对黄条魮消化酶和超氧化物歧化酶活力及甲状腺激素的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 48. DOI: 10.16441/j.cnki.hdx.20180187.
- [9] MOHAMED N A, SAAD M F, SHUKRY M, et al. Physiological and ion changes of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under the effect of salinity stress[J]. Aquaculture Reports, 2021, 19: 100567. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100567.
- [10] 王雯, 区又君, 温久福, 等. 不同盐度对斜带石斑鱼幼鱼血清离子浓度和激素水平的影响及其与鳃MRCs渗透调节功能的关系[J]. 水产学报, 2017, 41(9): 1383. DOI: 10.1194/jfc.20160110229.
- [11] 章龙珍, 罗集光, 赵峰, 等. 盐度对点篮子鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活力的影响[J]. 海洋渔业, 2015, 37(5): 449. DOI: 10.13233/j.cnki.mar.fish.2015.05.008.
- [12] 石英, 李燕舞, 庞纪彩, 等. 盐度胁迫对黄河鲤幼鱼耐受性、肝脏抗氧化酶和鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2021, 51(5): 37. DOI: 10.13721/j.cnki.dsyy.2021.05.005.
- [13] ZHU H P, LIU Z G, GAO F Y, et al. Characterization and expression of $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ in gills and kidneys of the teleost fish *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis urolepis hornorum* and their hybrids in response to salinity challenge[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2018, 224: 1. DOI: 10.1016/j.cbpa.2018.05.017.
- [14] 程亚美, 赵金良, 宋凌元, 等. 盐度、碱度对尼罗罗非鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 水产科学, 2020, 39(3): 341. DOI: 10.16378/j.cnki.1003-1111.2020.03.006.
- [15] 吕宏波, 张志勇, 张美玲, 等. 水体盐度与饲料脂肪含量

- 对尼罗罗非鱼生长、营养组成和肉质的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(7): 1156. DOI: [10.11964/jfc.20191012029](https://doi.org/10.11964/jfc.20191012029).
- [16] 程亚美, 赵金良, 唐首杰, 等. 盐碱水和淡水养殖模式下尼罗罗非鱼肌肉品质比较[J]. 河南农业科学, 2019, 48(4): 125. DOI: [10.15933/j.cnki.1004-3268.2019.04.019](https://doi.org/10.15933/j.cnki.1004-3268.2019.04.019).
- [17] 冉凤霞, 金文杰, 黄岫, 等. 盐度变化对鱼类影响的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(8): 10. DOI: [10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.08.002](https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.08.002).
- [18] GB/T 6435—2006. 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定[S].
- [19] 王景伟. 架设水蔬菜浮床对池塘养殖草鱼生长、肌肉品质和组织抗氧化能力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [20] 沈秋霞, 李明元, 朱克永, 等. 3种保鲜剂及其复配对虹鳟鱼片冷藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 145. DOI: [10.13652/j.issn.1003-5788.2019.11.030](https://doi.org/10.13652/j.issn.1003-5788.2019.11.030).
- [21] 陈俊杰, 陈季旺, 谭玲, 等. 富硒虹鳟鱼冷藏过程中食用和营养品质的变化[J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(3): 1. DOI: [10.3969/j.issn.2095-7386.2021.03.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-7386.2021.03.001).
- [22] 吴庆元, 蒋玫, 李磊, 等. 水体盐度对鲮鱼(*Mugil cephalus*)幼鱼摄食、生长及肌肉成分的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(Z1): 112.
- [23] 张世勇, 邵俊杰, 陈校辉, 等. 盐度对斑点叉尾鲷幼鱼生长性能、肌肉持水力和营养组成的影响[J]. 生物学杂志, 2018, 35(3): 57. DOI: [10.3969/j.issn.2095-1736.2018.03.057](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1736.2018.03.057).
- [24] 何燕富, 王兰梅, 刘念, 等. 急性盐度胁迫和慢性盐度驯化对马来西亚红罗非鱼存活及肌肉组分的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(3): 280. DOI: [10.16535/j.cnki.dlhyxb.2016.03.009](https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2016.03.009).
- [25] ZHANG X, SHEN Z Y, QI T P, et al. Slight increases in salinity improve muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Fishes, 2021, 6(1): 7. DOI: [10.3390/fishes6010007](https://doi.org/10.3390/fishes6010007).
- [26] MOREIRA L B, DIAMANTE G, GIROUX M, et al. Changes in thyroid status of *Menidia beryllina* exposed to the antifouling booster irgarol: impacts of temperature and salinity[J]. Chemosphere, 2018, 209: 857. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.06.152](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.152).
- [27] PEYGHAN R, ENAYATI A, SABZEVARIZADEH M. Effect of salinity level on TSH and thyroid hormones of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Veterinary Research Forum: an International Quarterly Journal, 2013, 4(3): 175.
- [28] 梁妹, 叶富良. 盐度对尼罗罗非鱼血清甲状腺素浓度和成活率的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(3): 33. DOI: [10.3969/j.issn.1673-9159.2007.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2007.03.008).
- [29] 徐力文, 苏友禄, 刘广锋, 等. 急性盐度胁迫下军曹鱼稚鱼应激反应的血清学指标[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2): 91. DOI: [10.3969/j.issn.1001-411X.2007.02.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-411X.2007.02.023).
- [30] TAHIR D, SHARIFF M, SYUKRI F, et al. Serum cortisol level and survival rate of juvenile *Epinephelus fuscoguttatus* following exposure to different salinities[J]. Veterinary World, 2018, 11(3): 327. DOI: [10.14202/vetworld.2018.327-331](https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.327-331).
- [31] 房子恒, 田相利, 董双林. 低盐驯化对半滑舌鳎幼鱼生长、渗透生理及糖代谢酶活力影响的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, 46(8): 19. DOI: [10.16441/j.cnki.hdx.20150179](https://doi.org/10.16441/j.cnki.hdx.20150179).
- [32] VALENTE W, CARDOSO A J S, MARTINS M T S, et al. Acute salinity tolerance of juvenile platy, *Xiphophorus maculatus*[J]. Aquaculture Research, 2021: 1. DOI: [10.1111/are.15277](https://doi.org/10.1111/are.15277).
- [33] 屈亮, 庄平, 章龙珍, 等. 盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 243.
- [34] ZHANG X Y, WEN H S, QI X, et al. Na^+/K^+ -ATPase and *nka* genes in spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*) and their involvement in salinity adaptation[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2019, 235: 69. DOI: [10.1016/j.cbpa.2019.05.017](https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.05.017).
- [35] YANG W K, CHUNG C H, CHENG H C, et al. Different expression patterns of renal Na^+/K^+ -ATPase α -isoform-like proteins between tilapia and milkfish following salinity challenges[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2016, 202: 23. DOI: [10.1016/j.cbpb.2016.07.008](https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2016.07.008).
- [36] 吴庆元, 蒋玫, 李磊, 等. 低盐度胁迫对鲮鱼(*Mugil cephalus*)幼鱼鳃丝、肌肉、肠 Na^+/K^+ -ATP酶活性和MDA含量的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 481. DOI: [10.3969/j.issn.1673-4831.2014.04.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-4831.2014.04.012).
- [37] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 盐度对大麻哈鱼幼鱼存活率、鳃ATP酶活力及其组织结构的影响[J]. 水生生物学报, 2020, 44(3): 562. DOI: [10.7541/2020.069](https://doi.org/10.7541/2020.069).
- [38] 罗鸣钟, 关瑞章, 靳恒. 盐度对花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)和太平洋双色鳗鲡(*A. bicolor pacifica*)幼鳗鳃丝及肾脏 Na^+/K^+ -ATP酶活力的影响[J]. 海洋与湖泊, 2013, 44(3): 807. DOI: [10.11693/hyhz201303041041](https://doi.org/10.11693/hyhz201303041041).
- [39] 赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(7): 1396. DOI: [10.3969/j.issn.2095-1191.2018.07.21](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1191.2018.07.21).

责任编辑: 何馨成