

# Study on Asphyxiation Point of *Procypris merus* at Different Salinity and pH

Zhijian Su, Xu Zhang, Liqun Wang, Fei Xue, Jinghua Li, Kai Huang\*, Hongmei Yang

College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning Guangxi  
Email: [hkai110@163.com](mailto:hkai110@163.com), [364757822@qq.com](mailto:364757822@qq.com)

Received: Sep. 19<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 4<sup>th</sup>, 2019; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In this experiment, the static water closed breathing chamber method was used to study the pH (5, 6, 7, 8, 9, 10) and salinity (0, 2, 4, 6, 8, 10) on the oxygen consumption rate and asphyxiation point of *Procypris merus*. The regression equation model of pH, salinity and oxygen consumption rate, and suffocation point was established. The experimental results showed that pH and salinity (S) had significant effects on the oxygen consumption rate and asphyxiation point of juveniles of *Procypris merus* ( $P < 0.05$ ). When the pH and salinity were 7.3 and 1.55, respectively, the asphyxiation point ( $D_{AP}$ ) was the lowest. The regression equations were  $D_{AP} = 0.0248pH^2 - 0.3558pH + 1.6129$  ( $R^2 = 0.929$ ), and  $D_{AP} = -0.0012S^3 + 0.025S^2 - 0.0668S + 0.4644$  ( $R^2 = 0.9958$ ); when the pH and salinity are 6.0 and 2.0 respectively, the oxygen consumption rate ( $R_o$ ) is the lowest, and the regression equations were:  $R_o = -0.003pH^3 + 0.0723pH^2 - 0.548pH + 1.6602$  ( $R^2 = 0.9602$ ), and  $R_o = -0.0001S^3 + 0.002S^2 - 0.0022S + 0.3037$  ( $R^2 = 0.965$ ). When dissolved oxygen was insufficient, the hypoxia tolerance of the *Procypris merus* was improved under the environmental conditions of pH 7.3 and salinity 1.55, respectively.

## Keywords

*Procypris merus*, pH, Salinity, Oxygen Consumption Rate, Asphyxiation Point

## 不同盐度、pH对禾花鲤窒息点的研究

宿志健, 张旭, 王丽群, 薛飞, 李菁华, 黄凯\*, 杨红梅

广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁  
Email: [hkai110@163.com](mailto:hkai110@163.com), [364757822@qq.com](mailto:364757822@qq.com)

收稿日期: 2019年9月19日; 录用日期: 2019年10月4日; 发布日期: 2019年10月11日

\*通讯作者。

## 摘要

本实验采用静水封闭呼吸室法,研究了pH(5、6、7、8、9、10)、盐度(0、2、4、6、8、10)对禾花鲤耗氧率、窒息点的影响,并且建立了pH、盐度与耗氧率、窒息点的回归方程模型。实验结果表明:pH、盐度(S)对禾花鲤幼鱼耗氧率和窒息点有显著影响( $P < 0.05$ )。当pH、盐度分别为7.3、1.55时,窒息点( $D_{AP}$ )最低,回归方程为 $D_{AP} = 0.0248pH^2 - 0.3558pH + 1.6129$  ( $R^2 = 0.929$ )、 $D_{AP} = -0.0012S^3 + 0.025S^2 - 0.0668S + 0.4644$  ( $R^2 = 0.9958$ );当pH、盐度分别为6.0、2.0时,耗氧率( $R_o$ )最低,回归方程为: $R_o = -0.003pH^3 + 0.0723pH^2 - 0.548pH + 1.6602$  ( $R^2 = 0.9602$ )、 $R_o = -0.0001S^3 + 0.002S^2 - 0.0022S + 0.3037$  ( $R^2 = 0.965$ )。当溶氧不充足时,pH、盐度分别为7.3、1.55的环境条件下,有助于提高禾花鲤耐低氧能力。

## 关键词

禾花鲤, pH, 盐度, 耗氧率, 窒息点

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

禾花鲤(*Procypris merus*)又称禾花乌鲤、禾花鱼,禾花鲤,原产地为广西桂林、全州、灌阳等地,是中国的土著鱼类,在禾花鲤的原产地因其以稻田的禾花为食,而被称为禾花鱼[1]。禾花鲤为鲤科温水、小型鱼类,生长速度快,繁殖能力强(水温在18℃以上就能产卵孵化,培育苗种)[2],生长水温是22~29℃[3]。禾花鲤背部呈青黑或青灰色,腹部偏紫[4]。

耗氧率和窒息点是衡量鱼类不同发育阶段对水体中溶氧量需求及对低氧耐受能力的重要参数,也是鱼类有机体内代谢活动的重要反应指标,所以它们在鱼类生理和阶段性方面有着重要参考作用,也在养殖学方面具备一定的理论和应用价值。有关于鱼类的耗氧率和窒息点等方面,我国许多学者都进行过大量的研究,如陈宁生等[5]对草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率进行了初步研究、张中英等[6]对尼罗罗非鱼耗氧率的初步研究、刘飞等[7]对湘云鲫耗氧率和溶氧临界窒息点的研究、陈琴等[8]对黄颡鱼耗氧率与窒息点的初步研究,朱华平等[9]对翘嘴红鲌鱼苗耗氧率和窒息点的初步研究、徐绍刚等[10]研究了温度对溪红点鲑耗氧率、排氨率和窒息点的影响。对耗氧率和窒息点的有关研究,主要是pH、盐度等外界因子对鱼类耗氧率和窒息点的影响。

pH对鱼类耗氧率与临界窒息点的影响。表现为pH对鱼类的呼吸有一定影响,当氢离子浓度超过鱼类生长的适宜范围时(偏高或偏低),鱼类对溶解氧有更高要求。杨春等[11]认为,如果鱼类生活在适宜的pH值水体中耗氧率就较低,这是因为鱼类体内蛋白质的代谢水平低和脂肪和碳水化合物分解代谢比例大的缘故;在不适合的pH值环境下时,鱼体则表现出不适应的状态,为了适应外界环境而消耗体内较多的能量用来改变代谢状况,主要表现是耗能增大、耗氧率升高从而增大蛋白质的代谢比例。

盐度是影响生物生长、发育及渗透调节的一个环境因子。盐度转变对鱼类耗氧有较大的影响,有研究表明,盐度的转变对鱼的耗氧率、窒息点有较大的影响。当鱼类被置于不同可耐受的盐度范围中时,会表现出的是一种暂时性代谢反应,这时鱼类的耗氧会突然下降,当然不是每一种鱼类都跟以上结果一

致, 因为鱼类在不同环境、不同发育阶段对低氧的耐受能力有很大差异。例如, 海水鱼海鲷的适宜范围为 15‰~40‰, 其最适盐度为 25 [12]; 硬头鱮仔鱼盐度为 8 时代谢率较低, 而盐度为 12 时代谢率较高[13]; 淡水鱼如草鱼可以在盐度为 2 时能很好地提高其生长率和对食物的转化率[14]。窒息点反映了鱼类体内代谢活动对外界环境的适应能力[15]。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

实验于 2017 年 4 月至 2017 年 5 月在广西大学水产实验室开展。实验鱼为桂林良种场无病无伤, 且行动迅速, 生命力强的禾花鲤幼鱼。实验前在广西大学水产养殖基地(水温  $20.0 \pm 0.5$  °C、pH  $8.6 \pm 0.2$ )中暂养 7 d。在暂养期间使用连续曝气的自来水, 每天早(8:00)和傍晚(17:00)各投喂饲料 1 次。

### 2.2. 试验用水

实验中用水为曝气 24 小时后的自来水, 水温为(20°C~23°C), 盐度为 0, pH 为  $8.4 \pm 0.2$ , 溶氧量大于 7.0 mg/L。

### 2.3. 实验仪器与设备

玻璃呼吸瓶(2000 ml)、10L 塑料桶、冰袋(块)、温度计、盐度计(上海人和三信 EC-500)、pH 计(上海雷磁 Phs-3c)、恒温计、增氧机、保鲜膜, 健康活力好的禾花鲤幼鱼, 高端电子溶氧仪(美国 YSI), 电子秤, 尺子。

### 2.4. 实验方法

#### 2.4.1. pH 对禾花鲤耗氧率、窒息点的影响

实验中, 温度 22.3°C、盐度 0、溶解氧  $5.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上。实验用鱼的体质量为  $1.80 \pm 0.18 \text{ g}$ 。实验中 pH 梯度设置为 5、6、7、8、9、10, 实验前 2 星期在 10 L 的塑料桶中进行 pH 实验驯化。每个 pH 随机放入 100 尾禾花鲤作为驯化用鱼。pH 测定使用上海雷磁 Phs-3cpH 计。实验用均匀过度法调节 pH 值, 每日 pH 值变化不超过 0.5, 驯化至相应的实验 pH 值后, 停止喂食, 饲养 2 天后再进行试验。本实验在 2000 mL 的玻璃呼吸瓶中进行, 每个呼吸瓶放置鱼 15 尾, 每组 3 个重复, 将禾花鲤放入后立即用豆油封闭液面(1~2 cm)。在呼吸瓶口处密封一层封口膜。以半数死亡时的溶解氧量作为窒息点, 实验鱼死亡标准为鳃盖停止运动, 用解剖针轻扎无反应。水中的溶解氧用高端电子溶氧仪测定。

#### 2.4.2. 盐度对禾花鲤耗氧率、窒息点的影响

实验中, 温度 21.9°C、pH 8.2、溶解氧  $5.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上、实验用鱼的体质量为  $1.79 \pm 0.31 \text{ g}$ 。实验中盐度梯度设置为 0、2、4、6、8、10 实验前 2 星期在 10 L 的塑料桶中进行盐度实验驯化。每个盐度随机放入 100 尾禾花鲤作为驯化用鱼。盐度测定使用上海人和三信 EC-500 盐度计。实验用均匀过度法调节盐度, 每日盐度变化不超过 1/00-2, 驯化至相应的实验盐度后, 饲养 2 天后再进行试验。

实验结果数据用平均值±标准差(Mean ± SD)表示, 利用 Excel 和 SPSS23.0 软件进行数据统计分析, 利用方差分析来检验各种环境因子对窒息点影响显著性, 显著水平为  $P < 0.05$ , 极显著水平为  $P < 0.01$ 。

$$\text{静水呼吸室耗氧率: } \text{OCR} = (\text{B1} - \text{B2}) \times V / (\text{W} \times \text{T}) \quad (1)$$

(OCR)耗氧率、(W)试验鱼体总重量(g)、(B1)试验前溶解氧(mg/L)、(B2)试验后溶解氧(mg/L)、(V)呼吸室水体积(L)、(T)试验前后时间差值(h)。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 禾花鲤耗氧率与 pH 值的关系

从图 1 可以看出, 在 pH 值为 5~10 的范围内, 耗氧率呈现先下降再升高趋势, 在 pH 值为 6 时耗氧率最低, 在 pH 值为 10 最高, 且从 5 到 6 时耗氧率下降幅度非常大。在单因素方差分析中得出, pH 在 5 和 10、5 和 9 之间无显著差异外( $P > 0.05$ ), pH 在 6、7、8 时, 对禾花鲤幼鱼耗氧率的影响存在着显著性差异( $P < 0.05$ ), 分析结果显示 pH 值对禾花鲤耗氧率的影响极显著( $P < 0.01$ )。pH 与耗氧率的线性方程表示为:  $R_o = -0.003pH^3 + 0.0723pH^2 - 0.548pH + 1.660$  ( $R^2 = 0.9602$ )。

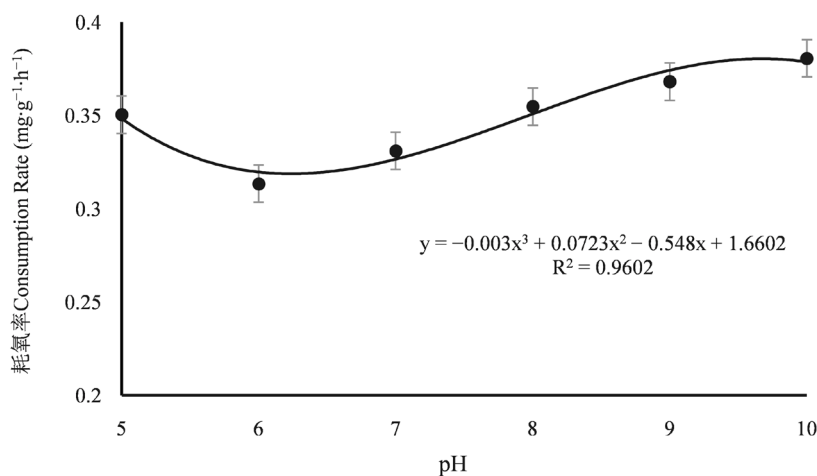


Figure 1. Relation between oxygen consumption rate and pH value of *Procypris merus*  
图 1. 禾花鲤耗氧率与 pH 值的关系

#### 3.2. 禾花鲤窒息点与 pH 的关系

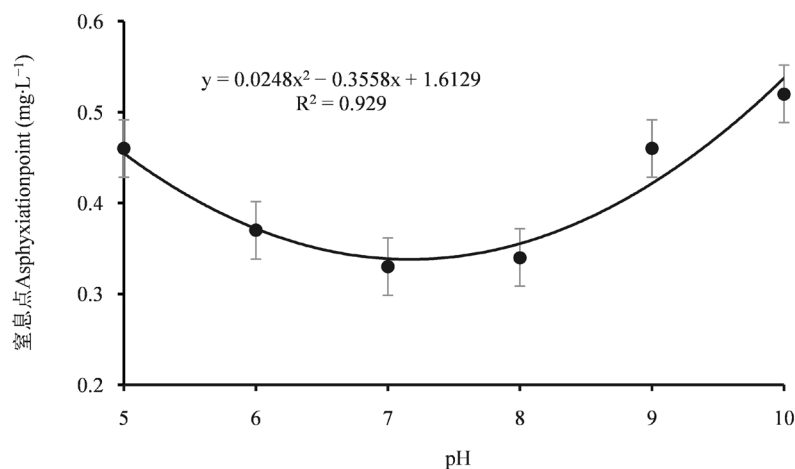
如图 2 所示, pH 在 5~10 范围内, 随着水体 pH 值的升高, 禾花鲤幼鱼窒息点呈先下降再上升的变化趋势, pH 对禾花鲤幼鱼的窒息点有极显著的影响( $P < 0.01$ )。pH 为 7 时, 幼鱼的窒息点最低, 为  $0.33 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; pH 为 10 时窒息点最高, 为  $0.52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。pH 与窒息点( $D_{AP}$ )间的回归方程可表示为:  $D_{AP} = 0.0248pH^2 - 0.3558pH + 1.6129$  ( $R^2 = 0.929$ ,  $P < 0.05$ )。由方程可以推算出 pH 值为 7.3 时, 禾花鲤的最低窒息点为  $0.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

#### 3.3. 禾花鲤耗氧率与盐度的关系

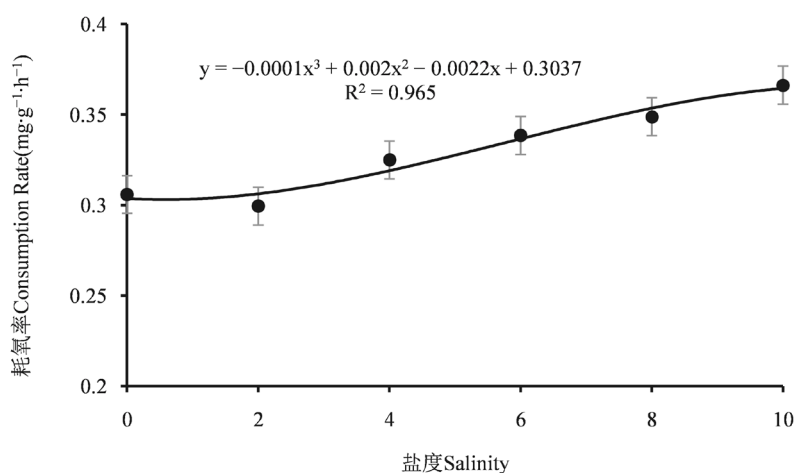
盐度对禾花鲤幼鱼耗氧率的关系如图 3 所示, 盐度为 2~10 时, 随着盐度的升高, 禾花鲤耗氧率呈上升趋势。在盐度为 10 时有最大值  $0.3841 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。盐度从 2 到 4 的耗氧率变化幅度较大, 差异性表现为极显著( $P < 0.01$ )。盐度与耗氧率的线性方程表示为:  $R_o = -0.0001S^3 + 0.002S^2 - 0.0022S + 0.3037$  ( $R^2 = 0.965$ )。

#### 3.4. 禾花鲤窒息点与盐度的关系

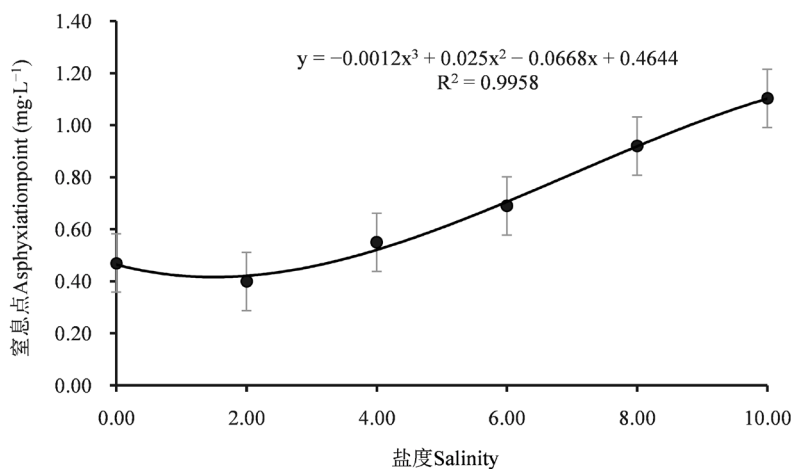
如图 4 所示, 盐度在 0~10 时, 随着盐度的升高, 禾花鲤幼鱼窒息点呈先下降再上升的趋势。盐度对禾花鲤幼鱼的窒息点有极显著的影响( $P < 0.01$ )。盐度为 10 时, 窒息点最高为  $1.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 与其他各组差异极显著( $P < 0.01$ )。盐度( $S$ )与窒息点( $D_{AP}$ )间的回归方程可表示为:  $D_{AP} = -0.0012S^3 + 0.025S^2 - 0.0668S + 0.4644$  ( $R^2 = 0.9958$ ,  $P < 0.05$ )。由方程可以推算出盐度为 1.55 时, 禾花鲤的最低窒息点为  $0.39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。



**Figure 2.** Relationship between suffocation point and pH in juvenile *Procypris merus*  
**图 2.** 禾花鲤幼鱼窒息点与 pH 的关系



**Figure 3.** Relationship between oxygen consumption rate and salinity in juvenile *Procypris merus*  
**图 3.** 禾花鲤幼鱼耗氧率与盐度的关系



**Figure 4.** Relationship between suffocation point and salinity in juvenile *Procypris merus*  
**图 4.** 禾花鲤幼鱼窒息点与盐度的关系

## 4. 讨论

### 4.1. 低氧状态下禾花鲤的行为影响

呼吸是鱼类维持一系列生命活动(摄食、生长、繁殖等)的基础,是鱼类从外界吸取氧气,用来氧化和分解从外界摄取并贮存在机体组织内的营养物质所释放出来的[16]。本试验中观察鱼的呼吸活动情况,随着时间的加长,呼吸瓶中溶氧也急速下降,幼鱼先表现出呼吸频率加快,这时实验鱼上下窜动。并不时从瓶底上窜水面,之后呼吸频率逐渐下降,失去了正常平游能力,侧卧或者腹面朝上,休克前作垂死挣扎数次,最后昏迷,侧卧水底部或呼吸室顶部,鳃盖停止运动。在实验中发现规格较大的禾花鲤幼鱼更具运动活力。这与浅色黄姑鱼[17] (*Nibea coibor*)以及胭脂鱼[18] (*Myxocyprinus asiaticus*)等在窒息点时的运动行为相似。

### 4.2. 不同 pH 值对禾花鲤耗氧率的影响

鱼类对水环境 pH 值有一定的适应范围,当 pH 值大于或小于这个范围时,鱼类的活动、摄食、代谢及其生长会受到抑制[19],朱爱意等[20]认为鱼类在合适的 pH 值条件下,其耗氧率会较低。本实验研究结果显示,禾花鲤幼鱼在 pH 为 10 时的耗氧率最高,说明试验鱼在 pH 为 10 时用于维持体内的稳态需要消耗最多的能量,pH 在 6 时该鱼的耗氧率最低,说明禾花鲤幼鱼更加适宜在中性或偏酸的养殖水环境中生长。这与吴常文等[21]研究杂交鲟耗氧率的结果吻合。在实验中发现,pH 为 6~8 的范围内其幼鱼生活状态良好,在 pH 值为 5 和 10 时幼鱼有轻微的皮肤发白和鳃出血现象,可能是因为在这两种 pH 值条件下鱼体皮肤和鳃丝已经被腐蚀。由此可见,禾花鲤幼鱼适合在 pH 为 6~8 的水体中生长。

### 4.3. 不同 pH 值对禾花鲤窒息点的影响

在鱼类生活的水域中,pH 过高或过低均能刺激鱼类鳃、皮肤的感觉神经,影响呼吸运动,使鱼类从水中摄氧的能力降低[22]。水生动物如果长期生存在强酸环境中,会引起机体离子调节的紊乱、血液酸碱平衡破坏[23]、抑制细胞液中  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$  活力[24]。王辉等[25]研究发现 pH 为 8.06 时,尼罗罗非鱼幼鱼的窒息点最低,增加或降低 pH 会相应提高窒息点。本实验中禾花鲤在 pH 为 7 时,窒息点最低为  $0.33 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。因此建议在禾花鲤幼鱼养殖过程中,尽量降低池塘底质积累和水中有机物浓度,保持水质清新,尽量维持 pH 在 7 左右,这样禾花鲤的窒息点最低,成活率较高。

### 4.4. 不同盐度对禾花鲤耗氧率的影响

盐度是日常养殖中重要的环境因子之一,盐度的高低对鱼类的生理代谢具有显著的影响[26]。本研究结果得出,盐度为 0~10 的范围内,随盐度的升高禾花鲤的耗氧率呈上升趋势。这与李加儿等[17]研究表明,浅色黄姑鱼(*Nibea coibor*)在早期生长阶段,在低盐度环境下的耗氧率较低,随着水体盐度的逐渐增加,其排氨率和耗氧率不断提高。与本研究结果相符。Wang JQ 等[27]认为如果按照渗透压调节原理,在等渗点时鱼类的渗透压最小,此时代谢率最低,而生长率最高,这是因为维持体内稳态的渗透压的调节耗能最少,当远离等渗点时则要消耗大量的能量用于其渗透压调节。本实验中的禾花鲤属于狭盐性鱼类,对盐度有比较苛刻的要求,在盐度为 0~10 时符合渗透压原理。本实验中禾花鲤在盐度为 2 时,耗氧率出现最低点为 0.2994,根据渗透压原理推断,禾花鲤的等渗点在盐度为 2 左右。

### 4.5. 不同盐度对禾花鲤窒息点的影响

盐度是鱼在水体中重要的环境因子,盐度对水生动物的新陈代谢有显著的影响[28]。按照渗透调节原理,鱼类在等渗点时渗透压力最小,代谢率最低,生长率最高,因为此时维持内稳态的渗透压调节耗能

最少, 而远离等渗点时需要消耗更多的能量用于渗透压调节, 本实验中禾花鲤的等渗透压出现在盐度为 1.55 时, 窒息点为  $0.39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 并且呈现出先下降后上升的趋势, 这与王辉等[25]研究盐度对尼罗罗非鱼幼鱼窒息点、李加儿[28]盐度对鲮幼鱼窒息点的影响中盐度 5~10 的结果一致。有些学者认为, 水生动物的标准代谢由两部分组成, 一是组织的修复和更新所需要的能量; 二是维持机体内环境稳定所消耗的能量, 本实验中随着盐度的升高, 禾花鲤为了维持机体内环境稳定所消耗的能量也增加, 导致窒息点随盐度的升高而增大, 与实验中所得数据相吻合。

随着禾花鲤养殖区域的不断扩大, 禾花鲤幼鱼在孵化、运输过程中成活率较低的现象, 根据本次实验的研究结果将盐度和 pH 分别保持在 1.55 和 7.3 左右, 有助于提高禾花鲤幼鱼在运输过程中的成活率, 减少死亡率, 达到最大化效益。

## 致 谢

感谢广西大学动物科学技术学院本课题组同学参与实验工作。

## 项目基金

广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204094-5), 广西重点研发计划(桂科 AB18294011)。

## 参考文献

- [1] 周进, 崔琴. 禾花鱼调查简报[J]. 农业户, 2012(6): 22-25.
- [2] 唐春. 探索发展农村经济支柱产业的新路——全州县发展稻田养殖禾花鱼的调查与思考[J]. 广西农学报, 2004(1): 36-39.
- [3] 唐东姣. 关于广西全州县禾花鱼养殖的气象条件分析与区划探究[J]. 农业与技术, 2017, 37(2): 233.
- [4] 唐春. 稻田养殖禾花鱼高产技术探讨[J]. 广西农业科学, 2004, 35(2): 150-152.
- [5] 陈宁生, 施琼芳. 草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率[J]. 动物学报, 1955, 7(1): 43-58.
- [6] 张中英, 胡玫, 吴福煌. 尼罗罗非鱼耗氧率的初步研究[J]. 水产学报, 1982, 6(1): 369-378.
- [7] 刘飞, 张轩杰, 刘筠. 湘云鲫耗氧率和溶氧临界窒息点[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2000, 23(3): 72-75.
- [8] 陈琴, 章太卓, 徐夏声. 黄颡鱼耗氧率鱼窒息点的初探[J]. 内陆水产, 2001, 26(3): 9-11.
- [9] 朱华平, 等. 翘嘴红鲌鱼苗耗氧率和窒息点的初步研究[J]. 水利渔业, 2003, 23(4): 10-11.
- [10] 徐绍刚, 杨贵强, 王跃智, 等. 温度对溪红点鲢耗氧率、排氨率和窒息点的影响[J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(1): 93-96.
- [11] 杨春, 李达, 徐光龙, 等. 鄱阳湖鳊鱼窒息点与耗氧率的初步研究[J]. 江西农业学报, 1998(1): 45-48.
- [12] Tandler, A., Anav, F.A. and Chosniak, I. (1995) The Effect of Salinity on Growth Rate, Survival and Swimbladder Inflation in Gilthead Seabream, *Sparus aurata*, Larvae. *Aquaculture*, **135**, 343-353. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01029-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01029-7)
- [13] Morgan, J.D., Jensen, J.O. and Iwama, G.K. (1992) Effects of Salinity on Aerobic Metabolism and Development of Eggs and Alevins of Steelhead Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Fall Chinook Salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *Canadian Journal of Zoology*, **70**, 1341-1346. <https://doi.org/10.1139/z92-189>
- [14] Konstantinov, A.S and Martynova, V.V. (1993) Effect of Salinity Fluctuations on Energetics of Juvenile Fish. *Ichthyol*, **33**, 161-166.
- [15] van Aardt, W.J. and Venter, L.C.R. (2004) The Effects of Lead, Water Hardness and pH on Oxygen Consumption, Plasma Chlorides and Bioaccumulation in the Freshwater Fish *Tilapia sparrmani*. *African Journal of Aquatic Science*, **29**, 37-46. <https://doi.org/10.2989/16085910409503790>
- [16] 陈松波, 范兆廷, 陈伟兴. 不同温度下鲤鱼呼吸频率与耗氧率的关系[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(6): 801-804.
- [17] 李加儿, 刘士瑞, 区又君, 等. 浅色黄姑鱼幼鱼耗氧率、排氨率及窒息点的初步研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(5): 165-170.

- [18] 潘莹, 唐文乔, 张饮江. 胭脂鱼幼鱼的耗氧率及窒息点研究[J]. 淡水渔业, 2007, 37(6): 48-51.
- [19] 王武. 鱼类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 53-75.
- [20] 朱爱意, 赵向炯, 付俊. 褐菖鲉耗氧率及窒息点的初步研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(1): 95-100.
- [21] 吴常文, 朱爱意, 赵向炯. 海水养殖杂交鲟耗氧量、耗氧率和窒息点的研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2005, 24(2): 100-104.
- [22] 赵维信. 鱼类生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 8-98.
- [23] Morgan, D.O. and McMahon, B.R. (1982) Acid Tolerance and Effects of Sulethalacid Exposure on Iono-Regulation and Acid-Base Status in Two Crayfish *Procambarus clarki* and *Orconectes rusticus*. *Journal of Experiment Biology*, **97**, 241-252
- [24] Wang, W.N., Wang, A.L., Chen, L., Liu, Y. and Sun, R.-Y. (2002) Effects of pH on Survival, Phosphorus Concentration, Adenylate Energy Charge and Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase Activities of *Penaeus chinensis* Osbeck Juveniles. *Aquatic Toxicology*, **60**, 75-83. [https://doi.org/10.1016/s0166-445x\(01\)00271-5](https://doi.org/10.1016/s0166-445x(01)00271-5)
- [25] 王辉, 强俊, 李瑞伟, 等. 温度、盐度、pH 和体质量对尼罗罗非鱼幼鱼窒息点的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(3): 37-42.
- [26] 陈松波, 陈伟兴, 范兆廷. 鱼类呼吸代谢研究进展[J]. 水产学杂志, 2004, 17(1): 82-89.
- [27] Wang, J.Q., Lui, H.L., Po, H.Y. and Fan, L. (1997) Influence of Salinity on Food Consumption, Growth and Energy Conversion Efficiency of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Fingerlings. *Aquaculture*, **148**, 115-124. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01334-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01334-8)
- [28] 李加儿, 曹守花, 区又君, 等. 温度、盐度和 pH 对鲮幼鱼耗氧率、排氨率以及窒息点的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5): 954-962.