

养殖环境颜色和光照强度对慈鲷个性行为的影响

赵浩翔 龚文奥 夏继刚 付世建

COLOR AND ILLUMINATION INTENSITY IN AQUACULTURE ENVIRONMENT ON PERSONALITY BEHAVIOR OF CICHLIDS

ZHAO Hao-Xiang, GONG Wen-Ao, XIA Ji-Gang, FU Shi-Jian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2025.2024.0320>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

光照周期和光照强度对循环水系统中墨瑞鳕的生长、肌肉营养成分及养殖收益的影响

EFFECTS OF PHOTOPERIOD AND LIGHT INTENSITY ON THE GROWTH, MUSCLE NUTRITION AND ECONOMIC PERFORMANCE OF MURRAY COD (*MACCULLOCHELLA PEELII*) IN THE RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM

水生生物学报. 2021, 45(4): 781–789 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.105>

光照强度对大口黑鲈游泳协作能力的影响

DIFFERENT LIGHT INTENSITY ON SWIMMING COORDINATION ABILITY OF *MICROPTERUS SALMOIDES*

水生生物学报. 2024, 48(2): 275–282 <https://doi.org/10.7541/2023.2023.0184>

两种生态相关猎物鱼个性的种间差异及其捕食者效应

INTERSPECIFIC DIFFERENCES IN THE PERSONALITIES OF TWO ECOLOGICALLY RELATED PREY FISH AND THE EFFECTS OF THEIR PREDATOR

水生生物学报. 2022, 46(6): 788–795 <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0348>

体色和社会熟悉度对慈鲷选择集群的影响

BODY COLOR AND SOCIAL FAMILIARITY ON SHOAL SELECTION OF CICHLIDS

水生生物学报. 2024, 48(5): 780–786 <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0398>

动物个性和行为集: 概念、测试和分析

ANIMAL PERSONALITIES AND BEHAVIORAL SYNDROMES: CONCEPTION, MEASUREMENTS AND ANALYSIS

水生生物学报. 2022, 46(6): 922–932 <https://doi.org/10.7541/2023.2021.0393>

宽鳍个性与维持代谢、食物占有能力和日常能量消耗的关联

THE RELATIONSHIPS BETWEEN PERSONALITY AND MAINTENANCE METABOLISM, FOOD INTAKE RATE AND DAILY ENERGY EXPENDITURE IN *ZACCO PLATYPUS*

水生生物学报. 2022, 46(6): 872–879 <https://doi.org/10.7541/2022.2020.264>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2025.2024.0320

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0320

养殖环境颜色和光照强度对慈鲷个性行为的影响

赵浩翔 龚文奥 夏继刚 付世建

(重庆师范大学生命科学学院, 淡水鱼类资源保护与利用重庆市重点实验室, 进化生理与行为学实验室, 重庆 401331)

摘要: 为探究环境因素对慈鲷(Cichlidae)幼鱼个性的影响, 研究选取淡黑镊丽鱼(*Labidochromis caeruleus*)幼鱼作为实验对象, 通过设置养殖环境颜色(白色、红色、橙色、蓝色)和光照强度(35、300、2000 lx), 比较实验鱼在12种不同组合的环境中社会性、勇敢性和攻击性差异。结果显示, 在300 lx光照强度下, 红色养殖环境中实验鱼的社会性最高, 并且在相同环境配置下实验鱼的攻击性相对较低, 表明这种环境有效地平衡了社会性与攻击性。在蓝色养殖环境和300 lx光照强度下, 实验鱼的社会性和攻击性接近红色养殖环境, 同时勇敢性较高, 显示出较为积极的探索行为。研究表明, 不同颜色养殖环境和光照强度使淡黑镊丽鱼幼鱼呈现出不同程度的个性行为反应, 文章建议添加红色或蓝色元素作为水族馆养殖环境的背景, 并将光照强度设置为300 lx, 可为淡黑镊丽鱼创造一个既能促进其社会性和勇敢性, 又能适度控制其攻击性的最佳养殖环境, 该组合不仅促进了个体鱼类的探索倾向以及群体间的互动联系, 也有效遏制了负面刺激因素的扩散和传播。研究从观赏鱼养殖福利视角出发, 通过行为学方法初步揭示了淡黑镊丽鱼在不同环境因素中的个性特征, 为今后观赏鱼类行为学研究和水族业提供了基础参考资料。

关键词: 养殖环境; 光照强度; 个性; 慈鲷; 观赏鱼

中图分类号: Q178.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)03-032516-09



环境因素对于鱼类行为的影响一直是研究的热点领域^[1, 2]。在水产养殖中, 人工养殖环境与鱼类的自然栖息地存在一定的差异, 这种差异可能会对其觅食行为^[3]、生长模式^[4]、健康状态及整体福利产生潜在影响^[5, 6]。例如, 两者环境最主要的差别在于鱼类获取食物的方式^[7]。与自然栖息地相比, 人工养殖环境为鱼类定时提供食物, 改变了摄食行为, 导致其不再需要通过一系列复杂的行为来探测、追踪和捕获食物, 主要依靠有限的感官认知, 尤其是视觉能力^[8], 而对于生活在明亮环境中的鱼类来说, 视觉不仅与视网膜对不同波长光线的感光度有关, 还会受到栖息地光线和颜色分布的影响^[9, 10]。因此, 慈鲷作为世界上进化最成功的观赏鱼^[11], 为优化该物种的观赏性, 了解其在养殖条件下的行为和表现是至关重要的。

与大多数硬骨鱼一样, 慈鲷进食的成功与否取决于食物和栖息地背景间的对比度^[12]。然而, 人工

养殖存在多种影响对比度的环境因素, 如养殖环境颜色和光照强度。研究表明, 养殖环境颜色不仅影响鱼类的视觉感知和觅食效率, 还可能影响它们的社会互动和应激反应^[13, 14]。同时, 光照强度对鱼类的昼夜节律、繁殖行为及生理健康状态也有着不可忽视的影响^[15, 16]。例如, 在绿色养殖环境中的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼比在白色、红色和蓝色养殖环境中具有更高的特定生长率^[17]; 尼罗罗非(*Oreochromis niloticus*)和大西洋牙鲆(*Paralichthys dentatus*)在较暗的环境中血浆皮质醇浓度较低^[18]; 黑线鳉(*Melanogrammus aeglefinus*)在100 lx下比在30 lx光照强度下有更多的运动行为^[19]。综上, 养殖环境颜色和光照强度在调节不同鱼类的生理和行为等方面发挥着重要作用。

近年来, 随着我国居民生活水平的提高, 水族爱好者对观赏鱼需求越来越大^[20]。具有极高观赏价值和超强水土适应能力的三湖慈鲷已成为淡水

收稿日期: 2024-08-22; 修订日期: 2024-10-10

基金项目: 国家自然科学基金(32370509)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (32370509)]

作者简介: 赵浩翔(1997—), 男, 博士; 主要研究方向为鱼类行为学。E-mail: haoxiang_zhao2020@163.com

通信作者: 付世建(1973—), 男, 教授; 主要研究方向为鱼类生理生态学。E-mail: shijianfu9@cqu.edu.cn

观赏鱼种的最佳选择^[21]。然而,由于它较强的领地意识和攻击性,许多用于科研和/或作为观赏鱼的慈鲷经常被人为隔离饲养,大大降低了观赏价值^[22-24]。体色为橙黄色,隶属于慈鲷科(Cichlidae)的淡黑镊丽鱼(*Labidochromis caeruleus*)是其中之一。本团队之前在关于其个性行为的研究中发现,它在不同光照强度的养殖环境中表现出差异化的个性行为响应,勇敢性与社会性呈现出同步增强的趋势。这一发现提示,环境因素能够调节鱼类个性特征之间的相互关系^[25],而鱼类针对多样环境因素所表现出的行为应答,映射出其适应性演化的成果^[26,27]。这一行为策略,正是鱼类针对环境中潜在风险进行判断并做出相关反应的过程,其目的在于个体通过行为调整以实现自我保护或增加收益^[28,29]。

目前,与环境因素(如养殖环境颜色和光照强度等)相关的研究大多聚焦于经济鱼类的生理和形态领域^[30,31],然而,对观赏鱼类尤其是慈鲷科鱼类个性行为的探讨仍然相对匮乏。理解和解释环境因子如何塑造观赏鱼的行为和个性,对于优化养殖条件、提高养殖效率及保障鱼类的福利具有重要意义^[32]。本研究旨在通过对不同颜色及光照强度的养殖环境中慈鲷幼鱼的行为模式进行系统观察和分析,来探讨这些环境因素对其个性的影响,进而为观赏鱼类行为学研究提供数据支持,并为水族业的环境配置提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源与驯化

于2022年9月向重庆市马氏水族馆购入人工饲养的淡黑镊丽鱼[体长:(4.46±0.4) cm; 体重:(1.40±0.22) g]幼鱼400尾(N=400),运回后均被转移到配备自净化循环控温系统的养殖设备中(规格为1 m×2 m×0.5 m),开启为期21d的饲养阶段,日常饲养用水和实验用水均使用经72h曝气处理且温度控制在(25±1)℃的自来水,日换水率定为水体总量的40%,且通过空气泵保持水中氧含量(≥7.0 mg/L)达到接近饱和的水平。设定实验鱼的光照周期为每日12h光照交替12h黑暗。每天投喂1次(8:00),投喂饲料为冷冻红线虫(*Chironomidae larvae*),喂食30min后清除所有未食的食物及鱼类排泄物,以保持水质清洁。

1.2 实验设计

在驯养结束后,选取健康且大小合适的实验鱼,将其转移至观赏鱼养殖系统中,该系统由12个透明鱼缸组成(单个鱼缸规格为20 cm×35 cm×35 cm),每个鱼缸正上方0.3 m处已安装可以自行调节光照强度的50 W节能灯带,其色温范围为5500—6500 K

(接近日光色)。将透明鱼缸壁色分别设置为白色、红色、橙色和蓝色;光照强度分别设置为35、300和2000 lx,组成12种不同颜色及光照强度的养殖环境,每个养殖环境中放入30尾实验鱼,并按照预定的驯化方案进行21d的二次驯化。在驯化结束后随机挑选实验鱼(n=14),分别拍摄每1尾实验鱼的社会性(鱼类对环境存在或不存在同类个体的行为反应,较高社会性的个体会主动寻找同类个体,而较低社会性的个体则逃避同类个体或群体)、勇敢性(鱼类应对已知的具有一定挑战性环境的认知能力及其行为对策,与动物的种群适合度及群落动态密切相关)和攻击性(鱼类个体对种内其他个体的好斗或竞争行为反应,这类行为在鱼类日常社交活动中普遍存在,如食物资源竞争、配偶竞争、领域防卫和幼体保卫等)行为视频(实验过程中的光照强度与不同养殖环境一致)。

1.3 实验装置

社会性测定装置 用于测定社会性的实验设备主要包括水槽、行为轨迹追踪系统和光源系统(图1)。水槽由不透明的白色亚克力塑料构成,其外形为长方体(70 cm×35 cm×35 cm),内部被透明有机玻璃隔板a和b划分为A、B、C 3个区域:A区域为刺激区(15 cm×35 cm×35 cm),B区域为实验区(40 cm×35 cm×35 cm),C区域为对照区(15 cm×35 cm×35 cm),在实验区中央放置一个透明的中空圆柱形有机玻璃适配器(r=10 cm)。行为轨迹追踪系统由监视器和一台位于水槽上方70 cm处的红外摄像机(C900,罗技科技有限公司,瑞士)组成,监视器则设置在距水槽2.5 m处的位置,用以捕捉和记录实验鱼的行为视频。实验光源安装在水槽上方,为可调节光照强度的节能环形灯(功率50 W),其色温范围为5500—6500 K,以确保实验过程中光线均匀分布,减少环境光线变化对实验结果的干扰。实验中随

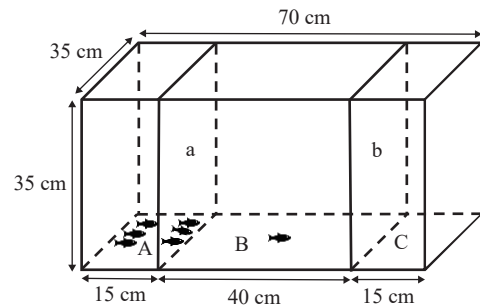


图1 鱼类社会性测定设备示意图(实验水槽)

Fig. 1 The structure diagram of the sociability measuring device A. 刺激区stimulus zones; B. 实验区experimental zone; C. 对照区control area; a, b. 透明隔板transparent dividers

机选取6尾淡黑镊丽鱼作为刺激鱼群放置在一侧的是刺激区,另一侧对照区不放置鱼群。整个实验采用了4个相同的装置同时进行社会性测定。

勇敢性测定装置 用于测定勇敢性的实验设备与上述社会性测定装置大体相似,不同点是水槽内部被1块非透明有机玻璃隔板b划分为两个区域(图2):遮蔽区A(15 cm×35 cm×35 cm)和开阔区B(55 cm×35 cm×35 cm)。在遮蔽区中央放置了塑料植物为实验鱼提供隐藏场所,其他环境条件则与开阔区一致。隔板底部设置了一个可开合的活动门a(10 cm×10 cm),用于连接遮蔽区和开阔区。整个实验采用了4个相同的装置同时进行勇敢性测定。

攻击性测定装置 攻击性测定装置的水槽内部没有被分隔区域(图3),实验开始后会在水槽内壁随机地放置1面镜子(10 cm×10 cm),其余部分与社会性测定装置一致。整个实验采用了4个相同的装置同时进行攻击性测定。

1.4 测定方法

社会性测定 将健康无病、鳞片完整的单尾实验鱼放入实验区的适配器中,经过5min的适应期后,轻柔迅速地取出适配器,随后对实验鱼的社会行为进行20min的连续视频拍摄(视频帧率为每

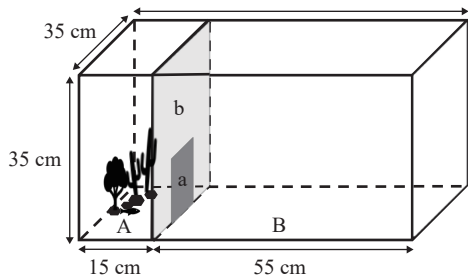


图2 鱼类勇敢性测定设备示意图(实验水槽)

Fig. 2 The structure diagram of the boldness measuring device
A. 遮蔽区 acclimatization area; B. 开阔区 open area; a. 活动门 detachable door; b. 不透明隔板 opaque partition

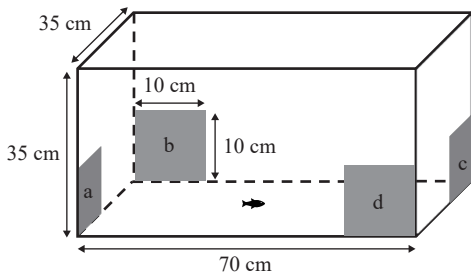


图3 鱼类攻击性测定装置结构图(水槽)

Fig. 3 The structure diagram of the aggressiveness measuring device

a, b, c, d. 镜子随机放置的区域
a, b, c, d. random placement area of mirrors

秒30帧),当图1实验区(B)中的实验鱼与刺激区透明隔板(a)的垂直距离 ≤ 15 cm时视为靠近刺激鱼群,以实验鱼靠近刺激鱼群的时间比作为衡量社会性的指标^[33,34]。

勇敢性测定 将健康无病、鳞片完整的单尾实验鱼置于活动门关闭的遮蔽区内,经过5min的适应期后,缓慢打开活动门,随即对实验鱼的勇敢行为进行20min的连续视频拍摄(视频帧率为每秒30帧),以实验鱼进入开阔区的时间比作为衡量勇敢性的指标^[35,36]。

攻击性测定 将健康无病、鳞片完整的单尾实验鱼放入实验区的适配器中,经过5min的适应期后,在水槽内壁随机安放一面10 cm×10 cm的镜子,随后对实验鱼的社会行为进行20min的连续视频拍摄(视频帧率为每秒30帧),以实验鱼靠近镜子的时间(追逐时间比)作为衡量攻击性的指标^[37,38]。

1.5 数据提取与分析

实验过程中录制的视频利用Format Factory软件进行处理,将WMV视频格式转换为AVI格式,同时将视频的帧率设置为每秒15帧。转换后的视频文件导入ID TRACKER (V 2.1)软件中,以此提取实验鱼在各帧中的像素坐标信息。该软件能够自动识别并跟踪每条实验鱼的质心位置,并记录其在视频中的X和Y坐标数据。通过像素与实际距离的比例关系,将坐标数据转换为实际空间中的位置信息,用于后续行为学分析^[39]。计算公式:

$$D(t) = \sqrt{(x(t) - x_1(t))^2}$$

式中, $D(t)$ 代表在 t 时刻,实验鱼距离透明隔板的垂直距离。 $x(t)$ 、 $x_1(t)$ 分别表示在 t 时刻实验鱼的横坐标和放置刺激鱼群区域旁透明有机玻璃隔板的横坐标,

靠近刺激鱼群时间比 P_1 (单位: %):

$$P_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} n_1}{N_1} \times 100$$

式中, n_1 表示 $D(t) \leq 15$ cm对应的帧数, N_1 为视频拍摄的总帧数。

开阔区时间比 P_2 (单位: %):

$$P_2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} n_2}{N_2} \times 100$$

式中, n_2 表示实验鱼进入开阔区对应的帧数, N_2 拍摄视频拍摄的总帧数。

追逐时间比 P_3 (单位: %):

$$P_3 = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} n_3}{N_3} \times 100$$

式中, n_3 表示实验鱼追逐镜相对应的帧数, N_3 为视频拍摄的总帧数。

实验数据通过Excel 2023软件进行整理, 所有数据均以平均值(mean)形式呈现。用SPSS Statistics 27进行显著性分析, 首先对数据检验正态性(Shapiro-Wilk)和方差齐性(Levene test), 若满足, 采用双因素方差分析(Two-way ANOVA)检验养殖环境和光照强度及其交互作用对实验鱼个性指标的影响, 若主效应存在, 则采用单因素方差分析检验各因素下具体差异。统计结果在 $P<0.05$ 的情况下具有显著性差异。

2 结果

2.1 不同颜色及光照强度的养殖环境对淡黑镊丽鱼幼鱼社会性的影响

在各组光照强度下, 红色养殖环境组实验鱼靠近刺激鱼群时间比最高。红色养殖环境组的靠近刺激鱼群时间比, 在35 lx组中, 显著高于白色养殖环境组($P<0.05$); 在300 lx组中, 显著高于橙色养殖环境组($P<0.05$); 在2000 lx组中, 显著高于白色和橙色养殖环境组($P<0.05$; 图4A)。

在白色、红色和蓝色养殖环境组中, 随着光照强度的增加, 靠近刺激鱼群时间比呈现先升高后降低的趋势。在白色养殖环境组中, 300 lx光照条件下的靠近刺激鱼群时间比, 显著高于35和2000 lx光照条件($P<0.05$); 在红色养殖环境组中, 2000 lx光照条件下的靠近刺激鱼群时间比, 显著低于35和300 lx

光照条件($P<0.05$); 在橙色养殖环境组中, 35 lx光照条件下的靠近刺激鱼群时间比, 显著高于300和2000 lx光照条件($P<0.05$); 在蓝色养殖环境组中, 300 lx光照条件下的靠近刺激鱼群时间比, 显著高于2000 lx光照条件($P<0.05$; 图4B)。

2.2 不同颜色及光照强度的养殖环境对淡黑镊丽鱼幼鱼勇敢性的影响

在各组光照强度下, 开阔区时间比呈现不同程度的变化。在35 lx组中, 橙色养殖环境组的开阔区时间比, 显著高于白色和蓝色养殖环境组($P<0.05$); 在300 lx组中, 白色养殖环境组的开阔区时间比, 显著高于红色和橙色养殖环境组($P<0.05$); 在2000 lx组中, 蓝色养殖环境组的开阔区时间比, 显著高于其他养殖环境组($P<0.05$; 图5A)。

在白色养殖环境组中, 300 lx光照条件下的开阔区时间比, 显著高于35和2000 lx光照条件($P<0.05$); 在红色和橙色养殖环境组中, 35 lx光照条件下的开阔区时间比, 显著高于2000 lx光照条件($P<0.05$); 而蓝色养殖环境组中, 35 lx光照条件下的开阔区时间比, 显著低于2000 lx光照条件($P<0.05$; 图5B)。

2.3 不同颜色及光照强度的养殖环境对淡黑镊丽鱼幼鱼攻击性的影响

在35 lx组中, 红色养殖环境组的追逐时间比, 显著高于白色和橙色养殖环境组($P<0.05$); 在300 lx组中, 橙色和蓝色养殖环境组的追逐时间比, 显著高于白色养殖环境组($P<0.05$); 在2000 lx组中, 红色和蓝色养殖环境组的追逐时间比, 显著高于白色养

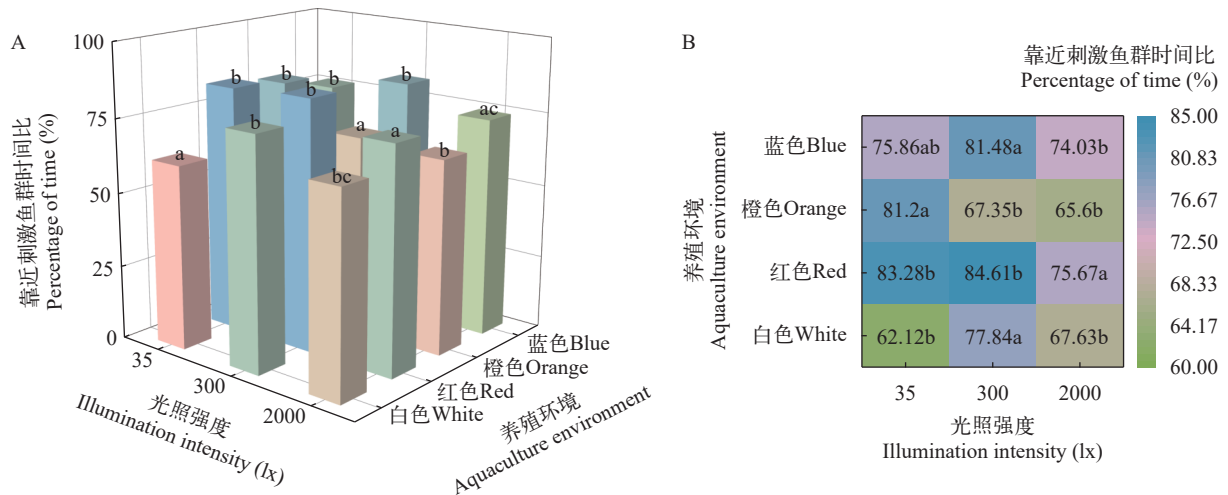


图4 养殖环境颜色和光照强度对淡黑镊丽鱼社会行为的影响

Fig. 4 Impact of color and light intensity in aquaculture environments on the sociability of *L. caeruleus* juvenile

图A表示在相同光照强度下, 不同养殖环境颜色组之间的差异; 图B表示在相同养殖环境颜色下, 不同光照强度之间的差异。图中的小写字母表示组间差异具有显著性($P<0.05$); 下文同

A shows the difference among color groups in different breeding environments under the same light intensity; B shows the difference among different light intensity under the same color of breeding environment. Lowercase letters in the figure indicate statistically significant differences among groups ($P<0.05$); the same applies below

殖环境组($P<0.05$; 图 6A)。

除橙色养殖环境组外, 其他养殖环境组的追逐时间比在35 lx光照条件中最高, 随着光照强度的增加, 追逐时间比呈现降低的趋势。在白色、红色和蓝色养殖环境组中, 35 lx光照条件下的追逐时间比, 显著高于300和2000 lx光照条件($P<0.05$); 在橙色养殖环境组中, 2000 lx光照条件下的追逐时间比, 显著低于35和300 lx光照条件($P<0.05$; 图 6B)。

养殖环境和光照强度两个因素及其交互作用均对淡黑镊丽鱼幼鱼的靠近刺激鱼群时间比、开阔区时间比和追逐时间比有显著影响($P<0.05$; 表 1)。

3 讨论

3.1 养殖环境颜色和光照强度对慈鲷社会性的影响

在养殖观赏鱼时, 了解它们的社会性对于维护相对和谐的群体结构非常重要。我们的结果显示,

养殖环境颜色和光照强度显著影响了淡黑镊丽鱼幼鱼的社会性。当光照强度为300 lx时, 对淡黑镊丽鱼幼鱼的非侵略相互关联行为有促进作用^[25], 实验鱼表现出强烈的靠近刺激鱼群行为, 尤其是在白色、红色和蓝色养殖环境中。有研究表明, 在此类光照条件下, 个体容易维持稳定的食物获取, 提高自身防御能力, 并且在繁殖上占据优势^[42, 43]。在400 lx的光照条件下, 花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼的摄食水平能够达到最高^[44]。在橙色养殖环境中, 随着光照强度的增加, 社会性呈现降低的趋势, 这可能是由于逐渐增强的光照引起了淡黑镊丽鱼幼鱼的应激反应^[25, 45]。同时, 有研究发现淡黑镊丽鱼幼鱼不偏好橙色, 这也可能是影响其个性行为的原因^[46]。在对虹鳉(*Oncorhynchus mykiss*)^[47]的研究中也发现了该现象。另外, 红色养殖环境中的实验鱼在所有光照条件下均展现出较高的社会性, 这可

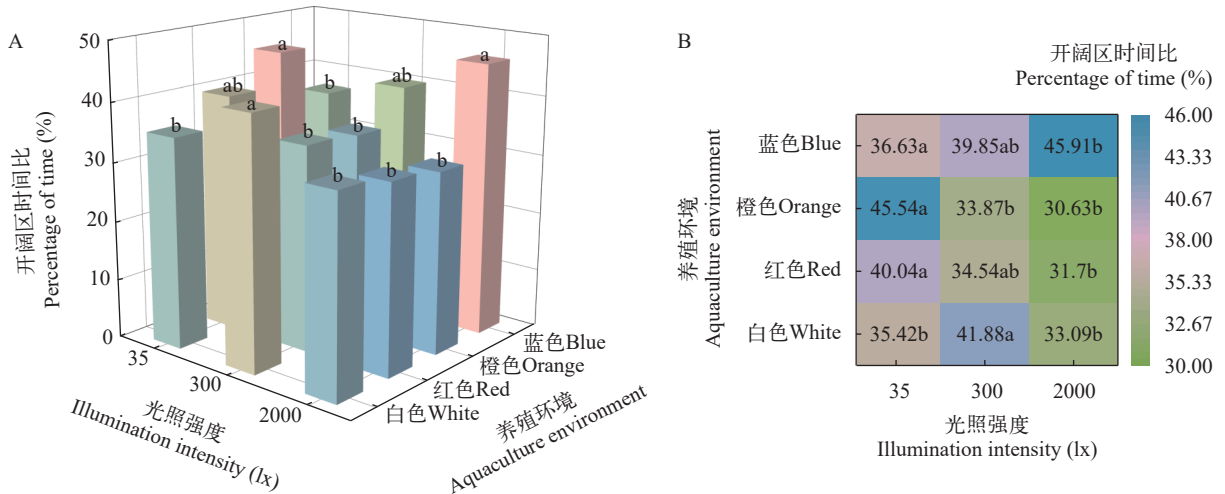


图 5 养殖环境颜色和光照强度对淡黑镊丽鱼勇敢行为的影响

Fig. 5 Impact of color and light intensity in aquaculture environments on the boldness of *L. caeruleus* juvenile

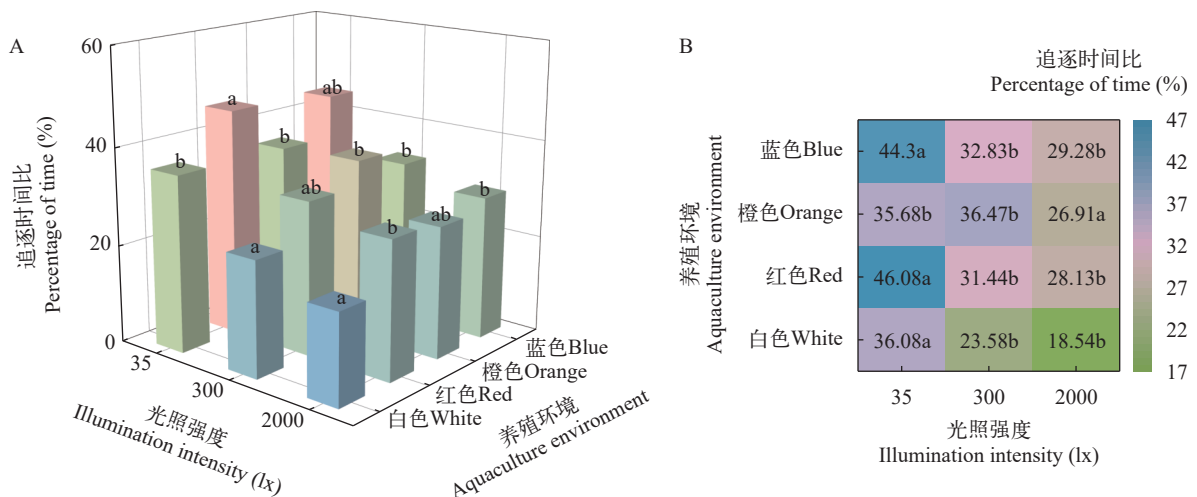


图 6 养殖环境颜色和光照强度对淡黑镊丽鱼攻击行为的影响

Fig. 6 Impact of color and light intensity in aquaculture environments on the aggressiveness of *L. caeruleus* juvenile

表 1 养殖环境和光照强度对淡黑镊丽鱼幼鱼个性行为的影响
Tab. 1 Effects of color and illumination intensity in aquaculture environment on personality behavior of juvenile *L. caeruleus*

影响因子 Impact factor	靠近刺激鱼群 时间比 Percentage of stimulate shoal time (%)	开阔区 时间比 Percentage of open areas time (%)	追逐时间比 Percentage of chase time (%)
养殖环境 Aquaculture environment	$F=22.682$ $P<0.001$	$F=4.575$ $P=0.004$	$F=10.752$ $P<0.001$
光照强度 Illumination intensity	$F=13.165$ $P<0.001$	$F=4.673$ $P<0.011$	$F=41.858$ $P<0.001$
光照强度×养殖环境 Illumination intensity× Aquaculture environment	$F=10.287$ $P<0.001$	$F=9.900$ $P<0.001$	$F=2.316$ $P=0.036$

能是由于淡黑镊丽鱼像鲤(*Cyprinus carpio*)和鳊(*Aristichthys nobilis*)^[48-50]等一样偏好红色,进而提高了个体的社会关系愉悦度,对群体中个体成员的行为以及生长发育产生了积极影响^[51]。

3.2 养殖环境颜色和光照强度对慈鲷勇敢性的影响

“勇敢性”这一行为特性通常涉及到鱼单独面对新奇环境或潜在威胁时所展现的行为。结果表明,光照强度从35增加到2000 lx时,除蓝色养殖环境外,淡黑镊丽鱼幼鱼在开阔区时间比均低于35 lx。这可能是由于高光照会增强视觉透明度,使得鱼类更容易被捕食者发现,进而增加了鱼群的警觉性,导致在这种条件下表现出更谨慎和保守的行为,以减少被捕食的风险^[25, 45]。与35 lx相比,300和2000 lx与蓝色养殖环境组合,使得淡黑镊丽鱼幼鱼的勇敢性有所增加,这可能是由于光照强度的增加在一定程度上模拟了自然环境中白天的光照条件,实验鱼展现出更加积极的行为,以利用这一时段丰富的觅食机会^[52, 53]。在橙色养殖环境中,实验鱼在35 lx光照条件下表现出更多的探索行为和较少的避难行为,本文分析这种行为表现不应直接等同于勇敢性的增加,而可能是应对橙色养殖环境产生的一种压力反应,因为它不偏好橙色,进而导致实验鱼试图更多地去探索环境以寻找出口或更“安全”的区域。由于没有测量激素水平,对于这种解释,我们需要在以后的实验中通过测量皮质醇水平进一步研究,这种与压力相关的激素可以作为一种生物指标,帮助不同物种在短时间内选择最佳的养殖环境颜色^[54, 55]。

3.3 养殖环境颜色和光照强度对慈鲷攻击性的影响

“攻击性”行为在自然界中通常是一种适应机制,它可以帮助个体在资源有限的环境中生存和繁衍^[56]。结果表明,红色和蓝色养殖环境中的淡黑镊丽鱼幼鱼与白色养殖环境相比,在所有光照条件下

均展现出相对较高的追逐时间比,分析原因可能是这些颜色可能提供了一种安慰或吸引效果,导致实验鱼在这些颜色养殖环境中更加活跃。之前的研究表明,淡黑镊丽鱼对红色和蓝色背景颜色有相对较高的偏好,这可能使得实验鱼在红色和蓝色养殖环境中更倾向于进行互动,而不是以攻击为目的^[46, 52]。可见,追逐行为不一定只代表攻击性,它也可能是正常的社交活动的一部分,例如求偶行为等^[27]。在特定颜色的养殖环境中,这种行为的增加可能反映了更复杂的社交动态^[28],潜在的生理和行为机制及生态相关性还需要进一步研究。值得注意的是,随着光照强度的增加,除橙色养殖环境外,淡黑镊丽鱼幼鱼追逐时间比均呈现降低的趋势,可能是鱼类更容易识别环境和其他鱼,从而减少不必要的防御或领土追逐行为所采取的节能策略,减少移动以降低能量消耗^[57, 58]。有研究已经证实鱼类的行为适应策略很大程度上是在能量收益与成本(Benefit-cost)之间的权衡作用下形成的^[59]。随着光照强度的增加,日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[60]倾向于展现更频繁的回避行为,这一行为反映了在高光照环境下避免潜在威胁的适应策略。这些现象说明,通过科学调控养殖条件中的光照强度,可以有效地减少如淡黑镊丽鱼等种类的攻击性行为。这不仅有益于改善养殖鱼类的生活福利,也为养殖业提供了优化鱼群管理的有效途径。

综上所述,本研究探讨了在4种颜色(白色、红色、橙色、蓝色)及3种光照强度(35、300、2000 lx)的养殖环境中淡黑镊丽鱼幼鱼的个性行为。研究表明,养殖环境颜色和光照强度显著影响淡黑镊丽鱼幼鱼的个性行为,包括个体寻求同伴的非侵略相互关联、个体对风险评估后的承担趋向和个体向相伴传递有害或潜在有害的攻击行为。不同颜色及光照强度组合的养殖环境能够使淡黑镊丽鱼幼鱼呈现出不同程度的个性行为响应,建议添加红色或蓝色元素作为水族馆养殖环境的背景颜色,并将光照强度设置为300 lx,该组合不仅促进了个体实验鱼的探索倾向以及群体间的互动联系,也有效遏制了负面刺激因素的扩散和传播。总之,通过控制养殖环境颜色和光照强度等环境因素,既反映了观赏鱼的健康状况,也为养殖者提供了提高养殖效率的有效手段,对于理解观赏鱼的行为和福利具有积极作用^[32, 40, 41]。上述发现为理解观赏鱼类行为生态提供了新的视角,也为观赏鱼类养殖环境和行为研究领域提供了重要参考,未来的研究可以进一步探讨不同环境条件下鱼类的具体生理和行为机制,为观赏鱼类行为的环境适应提供基础资料。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Truax J, Vonk J, Meri E, *et al.* Aquarium visitors catch some rays: rays are more active in the presence of more visitors [J]. *Animals*, 2023, **13**(22): 3526.
- [2] Jones M, Alexander M E, Snellgrove D, *et al.* How should we monitor welfare in the ornamental fish trade [J]? *Reviews in Aquaculture*, 2022, **14**(2): 770-790.
- [3] Peng J, Dou Y Q, Liang H, *et al.* Social learning of acquiring novel feeding habit in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, **20**(18): 4399.
- [4] Venkatachalam S, Kandasamy K, Krishnamoorthy I, *et al.* Survival and growth of fish (*Lates calcarifer*) under integrated mangrove-aquaculture and open-aquaculture systems [J]. *Aquaculture Reports*, 2018(9): 18-24.
- [5] Bastos Gomes G, Jerry D R, Miller T L, *et al.* Current status of parasitic ciliates *Chilodonella* spp. (Phylopharyngea: Chilodonellidae) in freshwater fish aquaculture [J]. *Journal of Fish Diseases*, 2017, **40**(5): 703-715.
- [6] Stevens C H, Croft D P, Paull G C, *et al.* Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture [J]? *Journal of Fish Biology*, 2017, **91**(2): 409-428.
- [7] Clements S A, Dorr B S, Davis J B, *et al.* Diets of sculpin occupying baitfish and sportfish farms in eastern Arkansas [J]. *Food Webs*, 2020(23): e00141.
- [8] Zhang J D, Amenogbe E, Yang E J, *et al.* Feeding habits and growth characteristics of cobia (*Rachycentron canadum*) larval and juvenile stages [J]. *Aquaculture*, 2021(539): 736612.
- [9] de Busserolles F, Cortesi F, Fogg L, *et al.* The visual ecology of Holocentridae, a nocturnal coral reef fish family with a deep-sea-like multibank retina [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2021, **224**(Pt 1): jeb233098.
- [10] Escobar-Camacho D, Marshall J, Carleton K L. Behavioral color vision in a cichlid fish: *Metriaclima benetos* [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2017, **220**(Pt 16): 2887-2899.
- [11] Carleton K L, Yourick M R. Axes of visual adaptation in the ecologically diverse family Cichlidae [J]. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2020(106): 43-52.
- [12] Pauers M J, Kuchenbecker J A, Joneson S L, *et al.* Correlated evolution of short wavelength sensitive photoreceptor sensitivity and color pattern in lake Malawi cichlids [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2016(4): 12.
- [13] Bera A, Kailasam M, Mandal B, *et al.* Effect of tank colour on foraging capacity, growth and survival of milkfish (*Chanos chanos*) larvae [J]. *Aquaculture*, 2019(512): 734347.
- [14] Mat Nawang S U S, Ching F F, Senoo S. Comparison on growth performance, body coloration changes and stress response of juvenile river catfish, *Pangasius hypophthalmus* reared in different tank background colour [J]. *Aquaculture Research*, 2019, **50**(9): 2591-2599.
- [15] Fobert E K, Schubert K P, Burke da Silva K. The influence of spectral composition of artificial light at night on clownfish reproductive success [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2021(540): 151559.
- [16] Kupprat F, Hölker F, Knopf K, *et al.* Innate immunity, oxidative stress and body indices of Eurasian perch *Perca fluviatilis* after two weeks of exposure to artificial light at night [J]. *Journal of Fish Biology*, 2021, **99**(1): 118-130.
- [17] Luchiani A C, Pirhonen J. Effects of ambient colour on colour preference and growth of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) [J]. *Journal of Fish Biology*, 2008, **72**(6): 1504-1514.
- [18] Mclean E, Cotter P, Thain C, *et al.* Tank color impacts performance of cultured fish [J]. *Ribarstvo*, 2008, **2**(2): 43-54.
- [19] Wei H, Li H D, Xia Y, *et al.* Effects of light intensity on phototaxis, growth, antioxidant and stress of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Aquaculture*, 2019(501): 39-47.
- [20] Harrington L A, Mookerjee A, Kalita M, *et al.* Risks associated with the global demand for novel exotic pets: a new and emerging trade in snakehead fish (*Channa* spp.) from India [J]. *Biological Conservation*, 2022(265): 109377.
- [21] Msukwa A V, Cowx I G, Harvey J P. Vulnerability assessment of Lake Malawi's ornamental fish resources to export ornamental trade [J]. *Fisheries Research*, 2021(238): 105869.
- [22] O'Connor C M, Reddon A R, Ligoeki I Y, *et al.* Motivation but not body size influences territorial contest dynamics in a wild cichlid fish [J]. *Animal Behaviour*, 2015(107): 19-29.
- [23] Boileau N, Cortesi F, Egger B, *et al.* A complex mode of aggressive mimicry in a scale-eating cichlid fish [J]. *Biology Letters*, 2015, **11**(9): 20150521.
- [24] Nyalungu N P, Couldridge V. Female mate choice and species recognition between two closely related cichlid fish of Lake Malawi, *Metriaclima estherae* and *M. callainos* [J]. *Journal of Fish Biology*, 2020, **97**(1): 75-82.
- [25] Gong W A, Zhao H X, Zhang J H, *et al.* Effects of different illumination intensity on personality of *Labidochromis caeruleus* juvenile [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2023, **40**(3): 16-21. [龚文奥, 赵浩翔, 张久蕊, 等. 不同光照强度对淡黑镊丽鱼幼鱼个性的影响 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2023, **40**(3): 16-21.]
- [26] Tiddy I C, Schneider K, Elmer K R. Environmental correlates of adaptive diversification in postglacial freshwater fishes [J]. *Journal of Fish Biology*, 2024, **104**(3): 517-535.
- [27] Zhao H X, Gong W A, Wang L Y, *et al.* Body color and

- social familiarity on shoal selection of cichlids [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(5): 780-786. [赵浩翔, 龚文奥, 王丽英, 等. 体色和社会熟悉度对慈鲷选择集群的影响 [J]. *水生生物学报*, 2024, **48**(5): 780-786.]
- [28] Hulthén K, Hill J S, Jenkins M R, *et al.* Predation and resource availability interact to drive life-history evolution in an adaptive radiation of livebearing fish [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021(9): 619277.
- [29] El-Sabaawi R W. How fishes can help us answer important questions about the ecological consequences of evolution [J]. *Copeia*, 2017, **105**(3): 558-568.
- [30] Xiang T, Dong X H, Ju T, *et al.* Anthropogenic activities and environmental filtering have reshaped freshwater fish biodiversity patterns in China over the past 120 years [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023(344): 118374.
- [31] Li H X, Wang J, Zhang X, *et al.* Comparing behavioral performance and physiological responses of *Sebastes schlegelii* with different aggressiveness [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2022, **48**(5): 1333-1347.
- [32] Toni M, Manciocco A, Angiulli E, *et al.* Review: Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives [J]. *Animal*, 2019, **13**(1): 161-170.
- [33] Ward A J W, Thomas P, Hart P J B, *et al.* Correlates of boldness in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2004, **55**(6): 561-568.
- [34] Cattelan S, Lucon-Xiccato T, Pilastro A, *et al.* Is the mirror test a valid measure of fish sociability [J]? *Animal Behaviour*, 2017(127): 109-116.
- [35] Brown C, Jones F, Braithwaite V. In situ examination of boldness-shyness traits in the tropical poeciliid, *Brachyrhaphis episcopi* [J]. *Animal Behaviour*, 2005, **70**(5): 1003-1009.
- [36] Forsatkar M N, Ali Nematollahi M, Biro P A, *et al.* Individual boldness traits influenced by temperature in male Siamese fighting fish [J]. *Physiology & Behavior*, 2016(165): 267-272.
- [37] Vøllestad L A, Quinn T P. Trade-off between growth rate and aggression in juvenile coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* [J]. *Animal Behaviour*, 2003, **66**(3): 561-568.
- [38] Church K D W, Grant J W A. Does increasing habitat complexity favour particular personality types of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]? *Animal Behaviour*, 2018(135): 139-146.
- [39] Pérez-Escudero A, Vicente-Page J, Hinz R C, *et al.* id-Tracker: tracking individuals in a group by automatic identification of unmarked animals [J]. *Nature Methods*, 2014, **11**(7): 743-748.
- [40] Kiessling A, van de Vis H, Flik G, *et al.* Welfare of farmed fish in present and future production systems [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, **38**(1): 1-3.
- [41] Jones R C. Science, sentience, and animal welfare [J]. *Biology & Philosophy*, 2013, **28**(1): 1-30.
- [42] Cote J, Fogarty S, Sih A. Individual sociability and choosiness between shoal types [J]. *Animal Behaviour*, 2012, **83**(6): 1469-1476.
- [43] Webster M M, Hart P J B. Subhabitat selection by foraging threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*): previous experience and social conformity [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2006, **60**(1): 77-86.
- [44] Jiang Z Q, Tan S R. Effect of light intensity on feeding intensity of *Lateolabrax japonicus* juvenile [J]. *Fisheries Science*, 2002, **21**(3): 4-5. [姜志强, 谭淑荣. 不同光照强度对花鲈幼鱼摄食的影响 [J]. *水产科学*, 2002, **21**(3): 4-5.]
- [45] Vandewalle G, Maquet P, Dijk D J. Light as a modulator of cognitive brain function [J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2009, **13**(10): 429-438.
- [46] Zhao H X, Gong W A, Zhang J H, *et al.* Preference of *Labidochromis caeruleus* for environment and fish shoal with different color [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2022, **39**(6): 46-51. [赵浩翔, 龚文奥, 张久菘, 等. 淡黑镊丽鱼对不同环境颜色和不同颜色鱼群的选择偏好 [J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2022, **39**(6): 46-51.]
- [47] Kasagi S, Miura M, Okazaki T, *et al.* Effects of tank color brightness on the body color, somatic growth, and endocrine systems of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2020(298): 113581.
- [48] Zeng Z X, Long J X, He J Y, *et al.* Effects of photoperiod on sociability and behavioral strategies under social reward scenarios in two fish species [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2024, **43**(4): 959-966. [曾足仙, 龙家兴, 何骄阳, 等. 光照周期对两种鱼类社会性及社会奖赏情景下行为策略的影响 [J]. *生态学杂志*, 2024, **43**(4): 959-966.]
- [49] Xu C C, Yi S H, Chen Y. Attracting of different colors of light to common carp *Cyprinus carpio* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, **23**(1): 20-23. [许成才, 伊善辉, 陈勇. 不同颜色的光对鲤的诱集效果 [J]. *大连水产学院学报*, 2008, **23**(1): 20-23.]
- [50] Qin X H, Wang C F, Mo W J, *et al.* Effect of light color and intensity for attracting *Ariastichthys nobilis* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, **36**(3): 66-71. [秦孝辉, 王从锋, 莫伟均, 等. 鲮对光色和光强的选择性试验 [J]. *水生生态学杂志*, 2015, **36**(3): 66-71.]
- [51] Champagne F A, Curley J P. How social experiences influence the brain [J]. *Current Opinion in Neurobiology*, 2005, **15**(6): 704-709.
- [52] Schneider R F, Rometsch S J, Torres-Dowdall J, *et al.* Habitat light sets the boundaries for the rapid evolution of cichlid fish vision, while sexual selection can tune it within those limits [J]. *Molecular Ecology*, 2020, **29**(8): 1476-1493.
- [53] Bejarano-Escobar R, Blasco M, Martín-Partido G, *et al.* Light-induced degeneration and microglial response in

- the retina of an epibenthonic pigmented teleost: age-dependent photoreceptor susceptibility to cell death [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2012, **215**(Pt 21): 3799-3812.
- [54] Zhao H X, Zhang J H, Gong W A, *et al.* *Labidochromis caeruleus* cichlid preference for background colour varied between individuals and groups but did not vary for body colour of other fish [J]. *Journal of Ethology*, 2024, **42**(1): 9-18.
- [55] Lin C Y, Dai H C, Shi X T, *et al.* Investigating feasible light configurations for fish restoration: An ethological insight [J]. *Fisheries Research*, 2021(234): 105807.
- [56] Luo Q P, Yuan C G, Ruan C X, *et al.* Analysis of behavioral response of guppy fry in optical field [J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2007, **35**(4): 631-634. [罗清平, 袁重桂, 阮成旭, 等. 孔雀鱼幼苗在光场中的行为反应分析 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2007, **35**(4): 631-634.]
- [57] Moss S, Tittaferrante S, Way G P, *et al.* Interactions between aggression, boldness and shoaling within a brood of convict cichlids (*Amatitlania nigrofasciatus*) [J]. *Behavioural Processes*, 2015(121): 63-69.
- [58] Pauers M J, Kapfer J M, Fendos C E, *et al.* Aggressive biases towards similarly coloured males in Lake Malawi cichlid fishes [J]. *Biology Letters*, 2008, **4**(2): 156-159.
- [59] Zhang Q, Fu S J, Xia J G. Recent progress on the personality of fish [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, **36**(12): 3623-3628. [张婧, 付世建, 夏继刚. 鱼类“个性”行为及其研究进展 [J]. 生态学杂志, 2017, **36**(12): 3623-3628.]
- [60] Vowles A S, Kemp P S. Effects of light on the behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) encountering accelerating flow: application to downstream fish passage [J]. *Ecological Engineering*, 2012, **47**(1): 247-253.

COLOR AND ILLUMINATION INTENSITY IN AQUACULTURE ENVIRONMENT ON PERSONALITY BEHAVIOR OF CICHLIDS

ZHAO Hao-Xiang, GONG Wen-Ao, XIA Ji-Gang and FU Shi-Jian

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Chongqing Key Laboratory of Conservation and Utilization of Freshwater Fishes, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Ornamental fishery plays a crucial role in the development of modern fishery economy, yet the welfare of ornamental species remains underexplored. This study aimed to investigate the influence of environmental factors on the personality traits of Cichlidae juveniles, specifically *Labidochromis caeruleus*. The experimental design involved variations in aquaculture tank color (white, red, orange, blue) and illumination intensity (35, 300, 2000 lx) to compare sociability, boldness, and aggressiveness across 12 different environmental combinations. The results demonstrated that at an illumination intensity of 300 lx, the red-colored environment led to the highest levels of sociability, while maintaining relatively low aggressiveness, indicating an optimal balance between these traits. Similarly, in the blue environment at the same illumination intensity, the fish displayed comparable sociability and aggressiveness, coupled with higher boldness, indicating increased exploratory behavior. The study showed that different color and light intensity conditions can elicit specific behavioral responses in juvenile *L. caeruleus*. It is recommended to incorporate red or blue elements as the background in aquaculture environments with a lighting intensity of 300 lx to create an optimal rearing environment for *L. caeruleus* that promotes both sociability and boldness while moderately controlling aggressiveness. This combination not only enhances individual exploration tendencies and group interactions but also effectively mitigates negative stimuli propagation within the aquarium environment. From the perspective of the welfare of ornamental fish farming, this study provides initial insights into the behavioral tendencies of *L. caeruleus* under different environmental factors through behavioral methods, offering valuable reference points for future research and practical applications in the ornamental fish industry.

Key words: Aquaculture environment; Illumination intensity; Personality; Cichlidae; Ornamental fish