

雄性叉尾斗鱼个性研究:个体变异与行为综合征*

朱寒霜, 王春花, 杨俊南, 李武新, 付世建, 曾令清

(重庆师范大学 进化生理与行为学实验室 淡水鱼类资源保护与利用重庆市重点实验室

动物生物学重庆市高校重点实验室, 重庆 401331)

摘要:动物个性指动物个体间行为的一致性差异,对于动物个体的生存繁殖及种群互动具有潜在影响。本研究采用了标准化行为测试和多变量统计分析的方法以探究雄性叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)的行为综合征,特别是勇敢性、活跃性和攻击性三者之间的相互关系。结果显示:雄性叉尾斗鱼种内个体间的个性特征表现出较高的个体差异,并且3种个性特征之间存在较为明显的正相关,即强攻击性个体在面对新奇刺激时表现出更高的活跃性和勇敢性。在上述结果基础上本研究还进一步讨论了雄性叉尾斗鱼个性特征之间的相关性以及这些个性特征所具有的生态和进化意义。研究结果为理解非模式物种的行为综合征提供了参考,并为探讨个体个性特征的差异和自然种群中行为多样性的适应性意义提供了新见解。

关键词:叉尾斗鱼;动物个性;勇敢性;活跃性;攻击性;行为综合征

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2026)03-0047-08

动物个性(animal personality)是指同一动物种群的不同个体在行为方面所展现的稳定差异,这些差异通常在不同情境中具有一致性^[1]。广义上的个性指动物及人类具有稳定个体差异的各类行为,狭义上的个性专指动物在不同时空条件下具有稳定个体差异的5类行为:社会性(sociability)、活跃性(activity)、勇敢性(boldness)、探索性(exploration)和攻击性(aggressiveness)^[2]。近些年来,有关动物个性的研究逐渐成为生态学和动物行为学领域的研究热点^[3-5],旨在揭示动物个体行为差异的生态学意义以及该行为对种群和群落动态的调控作用^[6]。动物个体间的个性差异可能使不同动物个体表现出不同的学习能力,例如勇敢性较高的斑马鱼(*Danio rerio*)相较于勇敢性低的个体而言表现出更强的学习能力^[7];而这种个性多样性使得动物种群在复杂多变的生境中能够保持长期稳定。

行为综合征(behavioral syndromes)是动物个性特征研究的重要框架之一,它强调当面对2类或更多功能有别的行为时,种群内个体的行为表现会呈现一致性和相关性^[8]。这种一致性的核心是个体行为在不同时间或各异情境中保持统一,本质上意味着个体拥有特定的行为类型。个体间的一致性发生在个体行为类型不同的时候,这在统计学上反映为个体之间的行为相关性^[9]。在行为综合征中,动物个体具有不同的行为类型,例如更具侵略性的行为类型与不太具侵略性的行为类型^[10]。行为生态学经常会忽略动物行为的个体差异,而是关注普遍行为对环境变化的反应,但行为综合征框架量化了行为的个体差异,并解释了这种差异的维持机制^[10-11]。因此,行为综合征这一概念为理解动物在自然环境中的适应和进化提供了新的视角,尤其是在资源竞争、捕食风险评估、种群动态等领域^[12]。

叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)为鲈形目(Perciformes)攀鲈亚目(Anabantoidei)斗鱼科(Belontiidae)斗鱼属(*Macropodus*)小型淡水鱼类,分布于中国南方以及部分东南亚国家^[13]。叉尾斗鱼因具有强烈的领土意识和攻击性而为人们所熟知,个性特征具有较强的代表性。因此,该鱼种在生态学和动物行为学研究中得到了较多的关注^[14-15]。雄性叉尾斗鱼在繁殖、领域防御、资源竞争等多方面表现出明显的个性差异,这些差异不仅影响到它们的生存和繁殖成功率,还可能以行为综合征的方式对种群动态和群落结构产生影响^[16]。在近些年研究

* 收稿日期:2025-10-09 修回日期:2026-01-13 网络出版时间:2026-06-01T13:36

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 32571755);重庆市自然科学基金面上项目(No. cstc2021jcyj-msxmX0124);重庆市教育委员会科学技术研究计划青年项目(No. KJQN202000539)

第一作者简介:朱寒霜,女,研究方向为鱼类生理生态与行为学,E-mail:2863982380@qq.com;通信作者简介:曾令清,男,教授,博士,E-mail:lingqingzeng@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20260601.1042.002

者对叉尾斗鱼的个性特征及行为综合征的讨论中,叉尾斗鱼的个性特征主要体现在活跃性、勇敢性和攻击性这 3 个方面,其中:活跃性是指该鱼种在安全熟悉的环境中自发运动的频率和强度,勇敢性则是指该鱼种面对特定环境中各类风险时的行为反应,而攻击性表现为该鱼种攻击其他个体的倾向^[10-11]。本研究旨在深入探究雄性叉尾斗鱼的个性特征和个体变异状况,着重考察活跃性、勇敢性和攻击性这三者之间的关联,从而有助于深入理解叉尾斗鱼行为综合征的生态学和进化生物学意义,并为鱼类生物多样性保护及资源合理化利用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及驯养

实验用叉尾斗鱼从广东省阳江市人工繁殖渔场购得,并被放置于重庆师范大学进化生理与行为学的实验室内的循环水养殖系统中进行为期 14 d 的驯养。循环水养殖系统每个鱼缸的长、宽和高均分别为 35、18 和 20 cm,缸内水深约为 15 cm;驯养水体为经过 4 d 曝气处理并且水温保持在 $(25.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 的自来水,水体中溶解氧质量浓度维持在 $7\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上以保证叉尾斗鱼的健康和活力;在每个鱼缸的底部都放置 5 株 10 cm 高的不同类型人工水草,用以提升驯养水体环境丰富度以及作为叉尾斗鱼的隐蔽场所。在每个鱼缸中放入 5 尾叉尾斗鱼,光周期设为 14 h 光照:10 h 黑暗以确保与自然环境中的光照时间接近。驯养期间每日 9:00 向叉尾斗鱼投喂通威股份有限公司生产的颗粒浮性饵料 1 次,每次投喂至鱼群食用饱和为止^[10]。此外,在饵料投喂开始前 10 min 关闭鱼缸内的充气泵让水面平静,以避免充氧操作对鱼群摄食造成影响;在饵料投喂完成 1 h 后,需用虹吸管将鱼缸内剩余饵料和排泄物清理干净,然后进行每日 1 次的换水操作以保持驯养水体清洁,日换水量约为鱼缸内水体总体积的 10%。通过上述的驯养过程,叉尾斗鱼逐渐适应了实验室的环境和饲养条件,为后续的实验研究奠定了良好的基础。

1.2 个性测定装置

本研究采用 3 个规格和结构相同的个性测定装置对叉尾斗鱼的个性进行测定^[11]。单个装置的长、宽和高分别为 60、20 和 20 cm,装置内水深为 15 cm;装置由厚 1 cm 的聚甲基丙烯酸甲酯制成,并在它的四周及底部均用白色无毒塑料纸覆盖,还对内壁进行了模糊处理,以免镜像效应影响叉尾斗鱼个性特征的表现。装置内的空间被划分为准备区域和实验区域。准备区域长、宽均为 20 cm,用作叉尾斗鱼的庇护所和适应区域,其中有 2 株 10 cm 高的绿色塑料水草;在该区域正上方放置用白色广告纸包裹的不透明 PVC 板的盖子,用于叉尾斗鱼的隐蔽。实验区域长 40 cm、宽 20 cm,是用于观察叉尾斗鱼个性行为的区域,它与准备区域的交界处有 1 块不透明 PVC 板做的长、宽均为 20 cm 的门。在实验区域的正上方安装 1 个 $15\text{ 帧} \cdot \text{s}^{-1}$ 的罗技 Pro 9000 型高清广角摄像头,并将它与电脑连接,用于全程拍摄叉尾斗鱼的个性特征测定过程。

1.3 实验方案

驯养阶段结束后,选取 56 尾身体健康、体表无明显损伤、大小适宜(体质量和体长分别为 $(6.12 \pm 0.08)\text{ g}$ 和 $(5.92 \pm 0.07)\text{ cm}$)的叉尾斗鱼,将它们转移至重庆师范大学进化生理与行为学实验室内 1 个装有约 250 L 驯养水体的控温循环水槽中。水槽内设有用不透明的 PVC 隔板拼装的长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 且按 10 列、6 行排列的长方体小隔间,小隔间内水深均为 15 cm;将单尾叉尾斗鱼在独立的小隔间中驯养 3 d,并给每个个体进行单独编号以便于后续的实验和数据记录。由于叉尾斗鱼的雄性个体攻击性较雌性个体更强,为排除性别、个体大小、年龄等因素的干扰,本研究用于个性测定的实验鱼均选用处于性成熟期的雄性叉尾斗鱼。在当日的饵料投喂完成后依次对实验鱼的活跃性、勇敢性、攻击性等个性特征进行观察和拍摄,所有个性特征测定均在水温为 $(25.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 的个性测定装置内完成。将整个实验分为活跃性测试、勇敢性测试和攻击性测试共 3 个部分,分别对实验鱼的这几种个性特征进行独立测定。鉴于叉尾斗鱼在不同的个性特征测试实验之间可能存在生理疲劳、行为习惯化等现象,故不同的个性特征测定实验需间隔 1 d。虽然目前尚无文献明确指出 1 d 的间隔时间为叉尾斗鱼生理恢复的最佳时间,但根据预备实验观察及鱼类生理恢复的一般规律,上述间隔时间可在一定程度上减少实验中已完成测试对后续测试的干扰,让鱼体恢复到相对稳定的健康状态。每个个性特征每轮测定实验历时 3 d,前 2 日每日测试 20 尾实验鱼的个性特征,最后 1 日测试 16 尾实验鱼的个性特征,每个个性特征需要测定 2 轮以减小实验误差。

1.4 实验过程

1.4.1 实验鱼适应阶段

严格按照相同的实验程序对所有实验鱼进行测试,每尾实验鱼在进行个性测定实验前于个性测定装置的准

备区域中适应 10 min,以减弱实验鱼因转移和环境变化所产生的应激反应。

1.4.2 活跃性测试

待单尾实验鱼在个性测定装置的准备区域中度过适应阶段,打开准备区域和实验区域交界处的门。此时实验区域的水体内没有其他物体,通过该区域正上方的摄像头拍摄装置中实验鱼的自发行为,拍摄时长为 20 min。在拍摄完成后将装置中的水体全部更换为新鲜且充分曝气的自来水以便对下一尾实验鱼进行测试。

1.4.3 勇敢性测试

对实验鱼的勇敢性测试过程与活跃性测试过程相似,两者主要区别在于:在进行勇敢性测试前需在实验区域距离准备区域的最远端放置 1 个食物环;在勇敢性测试开始后,当观察到实验鱼游出准备区域的距离超过 1 倍实验鱼体长时,用白鹭(*Egretta garzetta*)模型模拟水面捕食者对实验鱼进行攻击,迫使后者游回准备区域内,同时在食物环中迅速放置 3 个颗粒浮性饵料作诱饵,待水面平静之后再通过实验区域正上方的摄像头拍摄实验鱼的自发行为。拍摄时长仍为 20 min,且后续测试前对装置内的换水操作与活跃性测试时相同。需要说明的是,勇敢性测试实验中以白鹭模型作为模拟捕食者是因为在自然水域中白鹭是典型的水面捕食者,与众多鱼类存在天然的捕食与被捕食关系。

1.4.4 攻击性测试

对实验鱼的攻击性测试过程与活跃性测试过程基本一致,区别仅在于在攻击性测试前于实验区域距离准备区域的最远端垂直于装置底部放置 1 个长、宽均为 20 cm 的镜子,并将从镜面到距离镜面约为 1 倍实验鱼体长的这一范围记为攻击区域。

1.5 个性特征指标的定义

1.5.1 活跃性指标

本研究通过以下 3 个指标来考察实验鱼的活跃性。

1) 总移动距离(单位:cm)。该指标表示实验鱼在 1 200 s 内实验区域内游动的总距离,用以反映实验鱼的活动范围和活动强度。

2) 运动时间比。该指标为实验鱼在 1 200 s 内在实验区域中处于运动状态的累积时长(单位:s)与处于非运动状态的累积时长(单位:s)的比值,通常以百分数表示。

3) 平均速度(单位:cm·s⁻¹)。该指标表示实验鱼在实验区域内的平均游动速度,通过实验鱼的总移动距离除以它处于运动状态的累积时长得到。

1.5.2 勇敢性指标

本研究通过以下 2 个指标来衡量实验鱼的勇敢性。

1) 首次进入开阔区域时间(单位:s)。该指标表示当使用白鹭模型模拟水面捕食者攻击实验鱼后,从实验鱼游回准备区域(此时开始拍摄)到实验鱼首次进入实验区域这一过程所经历的时长,这里的实验区域即为开阔区域。该指标用于衡量实验鱼对新环境或具有潜在风险环境的探索意愿和速度;它的数值越小表明实验鱼越勇敢。

2) 开阔区域停留时间的百分比。该指标指使用白鹭模型模拟水面捕食者攻击实验鱼后,从实验鱼游回准备区域内开始拍摄之时实验鱼累计在实验区域停留的总时长占整个实验时长(1 200 s)的百分比。该指标反映了实验鱼对开阔区域的适应程度和停留意愿,它的数值越大表明实验鱼越勇敢。

1.5.3 攻击性指标

本研究中用于考察实验鱼攻击性的指标有以下 5 个。

1) 首次攻击时间(单位:s)。该指标指实验鱼在攻击区域内首次对自身镜像发起攻击的时间,用于衡量实验鱼的攻击反应速度;它的数值越小表明实验鱼的攻击性越强。

2) 进攻次数。该指标为实验鱼在攻击区域内对自身镜像发起攻击的次数,用于直接反映实验鱼的攻击行为频率。

3) 与镜子的平均距离(单位:cm)。该指标为实验鱼与镜子之间的平均距离,由所有实验鱼与镜子之间测量距离的总和除以测量次数得到。该指标可用于衡量实验鱼对自身镜像的攻击意愿和攻击强度,它的数值越小表明实验鱼的攻击性越强。

4) 攻击区域累计停留时间(单位:s)。该指标指实验鱼在攻击区域停留的总时长,用于衡量实验鱼对攻击区

域的关注程度和攻击行为的持续性;它的数值越大说明实验鱼的攻击性越强。

5) 攻击区域平均速度(单位: $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)。该指标指实验鱼在 1 200 s 内于攻击区域中的运动速度(大于 $1.75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)平均值,用于衡量实验鱼的攻击强度;它的数值越大表明实验鱼的攻击性越强。

1.6 个性特征数据采集与分析

运动时间比、平均速度、首次进入开阔区域时间、开阔区域停留时间的百分比、与镜子的平均距离、攻击区域累计停留时间、攻击区域平均速度等指标的实验数据均通过行为学软件 EthoVision XT 9 从视频中提取和计算得到,以确保上述数据的客观性和可重复性。首次攻击时间和进攻次数的实验数据因上述行为学软件难以统计,故改为通过人工观看视频并计数测量的方式来获取。得到所有实验数据后,使用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理与分析。在对实验数据的正态性和方差齐性进行检验后,本研究对活跃性、勇敢性和攻击性这 3 类指标进行降维分析;并以体质量为控制变量,采用基于 Pearson 相关逻辑的偏相关分析探究 3 种个性特征之间的关联性,并使用 Origin 2021 软件制图。上述有关统计结果具有统计学意义的评判标准为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 雄性叉尾斗鱼个性特征的个体差异

实验初始样本量为 56 尾,但在实验过程中有 5 尾实验鱼死亡、4 尾实验鱼生病。这可能是在转运实验鱼过程中温差较大所致。鉴于上述情况可能对实验的结果产生较大影响,故将这些生病和死亡的个体均予以剔除。最终得到了 47 尾有效样本的个性特征数据用于后续的实验分析。由表 1 可知:1) 实验鱼个性特征指标的种内差异较大,变异系数从 47.9%到 151.9%不等;2) 实验鱼活跃性指标的变异系数总体上比勇敢性指标和攻击性指标的变异系数更大;3) 在所有的个性特征指标中,首次攻击时间的取值范围最大,表明该指标个体间离散程度较高。

表 1 雄性叉尾斗鱼($n=47$)个性特征的个体差异分析
Tab. 1 Individual differences analysis of personality traits in male *M. opercularis* ($n=47$)

个性特征	指标	范围	中值	平均值	标准差	变异系数
活跃性	总移动距离/cm	0~397.1	166.1	150.3	112.5	74.9%
	运动时间比	0~667.8%	136.5%	211.2%	195%	92.3%
	平均速度/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	0~553.9	9.2	65.8	99.9	151.9%
勇敢性	首次进入开阔区域时间/s	187.0~1 200	670.0	683.5	327.7	47.9%
	开阔区域停留时间的百分比	0~0.3%	0.03%	0.05%	0.07%	123.4%
攻击性	首次攻击时间/s	0.5~1 200	254.5	357.2	319	89.3%
	攻击次数	0~355.5	48.5	75.8	82.5	108.8%
	与镜子的平均距离/cm	0.3~112.8	11.5	15.1	17.5	115.9%
	攻击区域累计停留时间/s	24.2~1 015.1	421.5	455.7	247.3	54.3%
	攻击区域平均速度/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.3~9.0	1.2	1.7	1.6	93.1%

2.2 雄性叉尾斗鱼攻击性、活跃性和勇敢性的关联

图 1a 显示实验鱼的攻击性与活跃性呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$)。而由表 2 可知:攻击次数、攻击区域平均速度分别与运动时间比呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$);攻击次数与总移动距离也呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$);首次攻击时间、与镜子的平均距离分别与运动时间比呈统计学意义上的负相关($p < 0.05$);其余攻击性指标与活跃性指标大多呈正相关,但无统计学意义。

从图 1b 可以看出实验鱼的攻击性与勇敢性呈统计学意义上的正相关($p < 0.001$)。表 2 则显示:首次攻击时间、与镜子的平均距离与首次进入开阔区域时间均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),攻击次数、攻击区域累计停留时间和开阔区域停留时间的百分比也均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$);攻击次数、攻击区域累计停留时间与首次进入开阔区域时间呈统计学意义上的负相关($p < 0.05$);开阔区域停留时间的百分比与首次攻击时间呈统计学意义上的负相关($p < 0.05$),表明勇敢性较高的个体攻击反应更快;其余攻击性和勇敢性指标的

相关性无统计学意义。

由图 1c 可知,实验鱼的活跃性与勇敢性呈统计学意义上的正相关($p<0.05$)。表 2 进一步显示:运动时间比与开阔区域停留时间的百分比呈统计学意义上的正相关($p<0.05$);运动时间比、平均速度分别与首次进入开阔区域时间呈统计学意义上的负相关($p<0.05$);其余活跃性指标与勇敢性指标的相关性无统计学意义。

表 2 还显示:在实验鱼的攻击性指标中,攻击次数和攻击区域平均速度呈统计学意义上的正相关($p<0.01$),首次攻击时间、与镜子的平均距离分别与攻击区域累计停留时间呈统计学意义上的负相关($p<0.01$),说明攻击性较强的个体在进行攻击时的游泳速度会更快,但不一定更倾向于在攻击区域内进行更长时间的停留。实验鱼的 3 个活跃性指标两两之间均呈统计学意义上的正相关($p<0.01$),表明较为活跃的个体运动时间会更长,运动速度也相对较快。此外,实验鱼的 2 个勇敢性指标间呈统计学意义上的负相关($p<0.01$)。

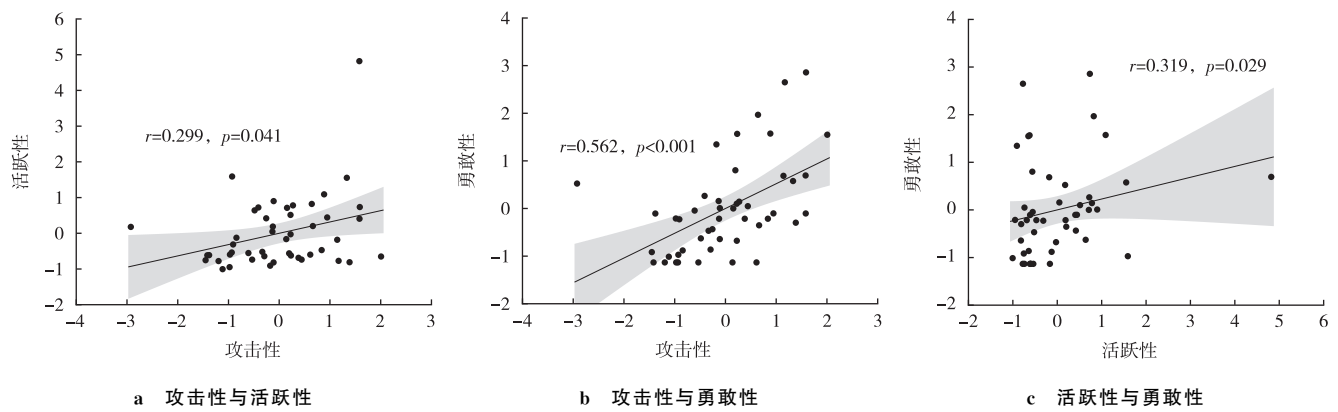


图 1 雄性叉尾斗鱼活跃性、勇敢性和攻击性之间的关联性

Fig. 1 Relationships among activity, boldness and aggressiveness of male *M. opercularis*

表 2 雄性叉尾斗鱼不同个性特征指标的关系

Tab. 2 Relationships among different indices of personality traits of male *M. opercularis*

个性特征	指标	活跃性		勇敢性		攻击性			
		运动时间比	平均速度	首次进入开阔区域时间	开阔区域停留时间的百分比	首次攻击时间	攻击次数	与镜子的平均距离	攻击区域累计停留时间
活跃性	总移动距离	0.674 **	0.901 **	-0.279	0.163	-0.255	0.351 *	-0.165	0.225
	运动时间比		0.557 **	-0.409 **	0.348 *	-0.350 *	0.417 **	-0.331 *	0.211
	平均速度			-0.309 *	0.123	-0.188	0.230	0.040	0.165
勇敢性	首次进入开阔区域时间				-0.476 **	0.423 **	-0.313 *	0.343 *	-0.475 **
	开阔区域停留时间的百分比					-0.333 *	0.596 **	-0.110	0.438 **
攻击性	首次攻击时间						-0.505 **	0.593 **	-0.707 **
	攻击次数							-0.505 **	0.593 **
	与镜子的平均距离								-0.436 **
	攻击区域累计停留时间								0.218

注:上标“*”“**”分别表示指标间相关性在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平上具有统计学意义。

3 讨论

3.1 雄性叉尾斗鱼的个性特征及种内变异

本研究结果显示,雄性叉尾斗鱼个体的个性特征均表现出了较大的差异,这种同一物种不同个体个性特征之间的较大差异是构成种内变异的重要体现^[17]。

遗传因素在动物的个性特征种内变异形成中扮演了重要的角色。基因的差异会导致个体神经在发育和功能方面出现差别,进而影响个体的个性特征表达^[18]。基因作为生物遗传信息的基本单位,携带着控制生物性状的指令;它通过复杂的分子机制影响着生物体的形态、生理、行为等表型特征,不同个体个性特征的遗传稳定性使得种群内能够维持一定的行为多样性^[19]。某些基因可能与神经递质相关,它们的表达差异会影响个体对环境风险的认知从而表现出较大的个性特征差异^[20]。从物种进化角度来看,遗传因素的稳定性使得种群内能够维持一定的个性特征多样性,从而为自然选择提供原材料^[21]。

环境因素也对个性特征的种内变异有着明显的影响。由于雄性叉尾斗鱼通常表现出较为频繁的争斗行为以及较少的集群倾向^[16],因而它们的种内竞争尤为激烈。明显且稳定的个性特征个体差异性对于构建叉尾斗鱼稳定的社会等级结构并进而缓解叉尾斗鱼的种内激烈竞争具有积极的意义。叉尾斗鱼的自然栖息地环境具有较高的复杂性,而个性特征的种内变异通常有助于该鱼种种群内的不同个体在栖息地选择上产生多种多样的分化,由此有利于降低叉尾斗鱼的种内竞争的激烈程度。因此,复杂多样的生境可能是促成叉尾斗鱼种群内出现个性特征个体差异的重要驱动因素^[22]。叉尾斗鱼个体对环境的熟悉程度和风险评估策略也会对相应的勇敢性行为产生影响。在面对新环境或潜在风险时,部分个体会迅速进入开阔区域探索,而另一些个体则较为谨慎且需要有更长的时间来加以适应^[23]。食物资源分布及社会互动经历同样也塑造了叉尾斗鱼个体独特的行为特征^[24]。一般而言,在资源有限的环境中,雄性叉尾斗鱼个体通常更容易表现出较高的活跃性和攻击性,从而争夺更多的食物和更大的领地。同时,高攻击性和高活跃性个体在有限的资源环境中可能具有更大的繁殖优势^[25],这也会进一步影响叉尾斗鱼对生活史策略的选择。有些个体采取“高风险、高回报”策略,试图在短时间内获得更多繁殖机会;另一些个体则选择谨慎保守的行为方式以提高生存概率^[26]。这也为理解叉尾斗鱼在竞争激烈的栖息地中的不同行为适应提供了新视角。

3.2 雄性叉尾斗鱼的行为综合征

本研究深入探讨了雄性叉尾斗鱼的攻击性、活跃性和勇敢性这 3 种个性特征之间的关联性,结果显示实验鱼在实验室的个性测定装置环境中展现出一定程度的个性特征组合倾向,符合行为综合征特征^[8]。例如,活跃性指标中的总移动距离、运动时间比分别与攻击性指标中的攻击次数呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),而勇敢性指标中的开阔区域停留时间的百分比与攻击性指标中的进攻次数也呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$)。由此可以推测,在本研究中,雄性叉尾斗鱼个体活跃性或勇敢性越高,它的攻击性大概率也越强。这一结果与过去有关叉尾斗鱼的研究结果较为相似^[27-28]。总之,本研究结果符合“行为综合征”假说,这种个性特征之间的关联虽然会使个性特征组合的可塑性受到一定限制,但对于维持个性特征的个体间变异稳定性并以此来达成种群生态模式的稳定性却具有十分重要的意义^[29]。

雄性叉尾斗鱼的行为综合征对它的生态适应性具有重要意义,即不同个性特征的个体在种群中会扮演不同角色;强攻击性和高活跃性的个体在资源竞争中往往会占据优势^[30],而相对谨慎的个体则更善于在复杂的环境中生存——这 2 类个性特征的种内变异模式共同维持了种群的社会稳定性^[31-32]。这种物种内稳定的行为综合征也会影响雄性叉尾斗鱼个体与其他物种在自然界生存的相互作用方式(如捕食关系和共生关系)^[33]。不同个性特征组合方式也可以为自然选择提供原材料,使种群能在复杂多变环境中能持续进化,增强种群在自然界中的适应性。同时,攻击性的增强和活跃性的升高同时也会增加雄性叉尾斗鱼个体的被捕食风险和能量的消耗;而在不同生态环境中,优势个性特征的组合会有所不同^[34-35],相应的行为综合征的适应性也会有所不同。

在未来的研究中,可以进一步探讨叉尾斗鱼个性特征的生理和遗传机制,例如通过测量叉尾斗鱼个体的激素水平和基因表达,从而深入分析这些生理指标与个性特征和行为综合征之间的关系。

参考文献:

- [1] Biro P A, Stamps J A. Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior?[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2010, 25 (11): 653-659.
- [2] 郑世龙, 周苛莹, 付世建, 等. 性别和个性影响高体鲃 (*Rhodeus ocellatus*) 对同性及异性同类的偏好[J]. *生态学报*, 2024, 44 (24): 11459-11471.
Zheng Shilong, Zhou Keying, Fu Shijian, et al. The influence of gender and personality on the preference of *Rhodeus ocellatus* for same- and opposite-sex conspecifics[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44 (24): 11459-11471.

- [3] De Azevedo C S, Young R J. Animal personality and conservation: basics for inspiring new research[J]. *Animals*, 2021, 11 (4): 1019.
- [4] Gartland L A, Firth J A, Laskowski K L, et al. Sociability as a personality trait in animals: methods, causes and consequences[J]. *Biological Reviews*, 2022, 97 (2): 802-816.
- [5] Chen Y L, Li W W, Xiang L L, et al. Fish personality affects their exposure to microplastics[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, 233: 113301.
- [6] Réale D, Dingemanse N J, Kazem A J N, et al. Evolutionary and ecological approaches to the study of personality[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 2010, 365 (1560): 3937-3946.
- [7] Wolf M, Weissing F J. Animal personalities: consequences for ecology and evolution[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2012, 27 (8): 452-461.
- [8] 李思平, 张东, 段明. 动物个性和行为集: 概念、测试和分析[J]. *水生生物学报*, 2022, 46 (6): 922-932.
Li Siping, Zhang Dong, Duan Ming. Animal personalities and behavioral syndromes: conception, measurements and analysis[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46 (6): 922-932.
- [9] Corcoran J, Storks L, Wong R Y. Bold zebrafish (*Danio rerio*) learn faster in a classical associative learning task[J]. *Scientific Reports*, 2025, 15: 16331.
- [10] Sih A, Bell A M, Johnson J C. Behavioral syndromes: an ecological and evolutionary overview[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2004, 19 (7): 372-378.
- [11] Sih A, Bell A M. Insights for behavioral ecology from behavioral syndromes[J]. *Advances in the Study of Behavior*, 2008, 38: 227-281.
- [12] Clark A B, Ehlinger T J. Pattern and adaptation in individual behavioral differences[M]//Bateson P P G, Klopfer P H. *Perspectives in ethology*. Boston: Springer, 1987: 1-47.
- [13] Bolnick D I, Svanbäck R, Fordyce J A, et al. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization[J]. *The American Naturalist*, 2003, 161 (1): 1-28.
- [14] Budaev S V. "Personality" in the guppy (*Poecilia reticulata*): a correlational study of exploratory behavior and social tendency[J]. *Journal of Comparative Psychology*, 1997, 111 (4): 399-411.
- [15] Duckworth R A. Ecological and evolutionary feedbacks in the evolution of aggression[M]//Yasukawa K. *Function and evolution of animal behavior*. Santa Barbara: Praeger/ABC-Clio, 2014: 295-326.
- [16] Sih A, Bell A M, Johnson J C, et al. Behavioral syndromes: an integrative overview[J]. *The Quarterly Review of Biology*, 2004, 79 (3): 241-277.
- [17] 刘宇航, 陈国柱, 林小涛. 不同光照条件下叉尾斗鱼仔鱼摄食节律[J]. *生态学杂志*, 2010, 29 (6): 1161-1166.
Liu Yuhang, Chen Guozhu, Lin Xiaotao. Feeding rhythms of *Macropodus opercularis* larvae under different light condition[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29 (6): 1161-1166.
- [18] 谢增兰, 胡锦矗, 郭延蜀, 等. 叉尾斗鱼繁殖行为的观察[J]. *动物学杂志*, 2006, 41 (5): 7-12.
Xie Zenglan, Hu Jinchu, Guo Yanshu, et al. Observation on the breeding behavior of *Macropodus opercularis* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41 (5): 7-12.
- [19] Tang Z H, Fu S J. Qingbo (*Spinibarbus sinensis*) personalities and their effect on shoaling behavior[J]. *Acta Ethologica*, 2019, 22 (2): 135-144.
- [20] Deyoung C G, Gray J R. Personality neuroscience: explaining individual differences in affect, behaviour and cognition [M]//Corr P J, Matthews G. *The Cambridge handbook of personality psychology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 323-346.
- [21] Booy G, Hendriks R J J, Smulders M J M, et al. Genetic diversity and the survival of populations[J]. *Plant Biology*, 2000, 2 (4): 379-395.
- [22] 李武新, 孙春艳, 曾令清. 鱼类个性测定方法研究进展[J]. *生态学杂志*, 2021, 40 (2): 544-558.
Li Wuxin, Sun Chunyan, Zeng Lingqing. A review on methodology for the measurement of personality in fish[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40 (2): 544-558.
- [23] Titulaer M, Van Oers K, Naguib M. Personality affects learning performance in difficult tasks in a sex-dependent way [J]. *Animal Behaviour*, 2012, 83 (3): 723-730.
- [24] 曾令清, 付世建, 曹振东. 鲫幼鱼 (*Carassius auratus*) 标准代谢个体差异与力竭后代代谢特征及行为的关联[J]. *生态学报*, 2016, 36 (6): 1746-1755.

- Zeng Lingqing, Fu Shijian, Cao Zhendong. Correlations between standard metabolic rate and metabolic characteristics after exhaustive exercise, and behavior in the juvenile crucian carp (*Carassius auratus*) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (6): 1746-1755.
- [25] Jensen P. From nature to nurture: how genes and environment interact to shape behaviour[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2025, 285: 106582.
- [26] Uusi-Heikkilä S. Implications of size-selective fisheries on sexual selection[J]. *Evolutionary Applications*, 2020, 13 (6): 1487-1500.
- [27] Stinchcombe J R, Hoekstra H E. Combining population genomics and quantitative genetics: finding the genes underlying ecologically important traits[J]. *Heredity*, 2008, 100 (2): 158-170.
- [28] Bouchard T J, Loehlin J C. Genes, evolution, and personality[J]. *Behavior Genetics*, 2001, 31 (3): 243-273.
- [29] Leite T, Branco P, Ferreira M T, et al. Activity, boldness and schooling in freshwater fish are affected by river salinization[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 819: 153046.
- [30] Winberg S, Sneddon L. Impact of intraspecific variation in teleost fishes: aggression, dominance status and stress physiology[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2022, 225 (20): jeb169250.
- [31] 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.
Zhang Qiang, Fu Shijian, Xia Jigang. Recent progress on the personality of fish[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36 (12): 3623-3628.
- [32] 周文茜, 郑世龙, 张雨林, 等. 叉尾斗鱼标准代谢率和行为的个体差异及其关联[J]. *生态学杂志*, 2023, 42 (11): 2695-2701.
Zhou Wenqian, Zheng Shilong, Zhang Yulin, et al. The individual differences of standard metabolic rate and behavior and their relationships in *Macropodus opercularis*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42 (11): 2695-2701.
- [33] Kortet R, Hedrick A V, Vainikka A. Parasitism, predation and the evolution of animal personalities[J]. *Ecology Letters*, 2010, 13 (12): 1449-1458.
- [34] Dugatkin L A. Principles of animal behavior[M]. 4th ed. New York: W. W. Norton & Company, 2018.
- [35] Braddock J C, Braddock Z I. Aggressive behavior among females of the Siamese fighting fish, *Betta splendens* [J]. *Physiological Zoology*, 1955, 28 (2): 152-172.

Animal Sciences

Male *Macropodus opercularis* Personality Research: Individual Variation and Behavioral Syndromes

ZHU Hanshuang, WANG Chunhua, YANG Junnan, LI Wuxin, FU Shijian, ZENG Lingqing

(Chongqing Municipal Key Laboratory of Animal Biology for Higher Education Institutions, Chongqing Key Laboratory of Conservation and Utilization of Freshwater Fishes, Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Animal personality refers to consistent individual differences in behavior among animals, which may have potential impacts on survival, reproduction, and population interactions. This study employed standardized behavioral tests and multivariate statistical analyses to investigate the behavioral syndrome of male *Macropodus opercularis*, particularly the interrelationships among boldness, activity, and aggressiveness. Results show that male *M. opercularis* exhibits high individual variation in personality traits within the species, and the three traits are significantly positively correlated—individuals with higher aggressiveness displays greater activity and boldness when exposed to novel stimuli. Based on these findings, this study further discusses the correlations among personality traits in male *M. opercularis* and their ecological and evolutionary implications. The results provide insights into understanding behavioral syndromes in non-model species and offer new perspectives on the adaptive significance of individual personality differences and behavioral diversity in natural populations.

Keywords: *Macropodus opercularis*; animal personality; boldness; activity; aggressiveness; behavioral syndrome

(责任编辑 方 兴)