

雄性叉尾斗鱼体表纹路的个体差异*

龚雅星, 杨清, 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:体色和纹路作为动物最明显的外部形态特征之一,在动物的生存和繁衍中起着重要作用。为考察雄性叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)体表纹路的个体差异,选取42尾该鱼种个体进行外部形态的标准化拍摄,并采用ImageJ软件提取鱼体面积参数(总面积、躯体面积和鱼鳍面积)及条纹参数(数量、面积、高度和宽度)进行统计分析。结果显示:雄性叉尾斗鱼的胸鳍面积变异系数最高而条纹数量变异系数最低;总面积、躯体面积与条纹数量、条纹总面积、条纹总高度和条纹总宽度均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$)。研究结果提示雄性叉尾斗鱼体侧面积的增加与鱼体的生长发育较为同步,具有一定的生态适应与性选择(配偶选择信号放大)的视觉信号意义。

关键词:体表条纹;个体间差异;体侧面积;形态特征;叉尾斗鱼

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2025)06-0054-08

动物体色和纹路的表型涵盖了多样的颜色、斑点和条纹,主要受遗传^[1]、环境^[2]等因素的调控,是动物生存与繁衍的适应性策略之一^[3]。对动物体色的科学研究可追溯至19世纪,当时的学者采用传统观察手段发现,体色与环境的相似性有助于降低动物被捕食的风险。这一发现揭示了动物体色多样性的进化机制,即动物体色和纹路是自然选择所塑造的适应性产物^[4]。此后,伴随着多学科技术的交叉融合,有关动物体色的研究方法也在不断革新。当前,深度神经网络^[5-7]、扫描电镜^[8]、多组学技术^[9-10]等技术的协同应用进一步促进了这一研究领域的发展。

研究发现,相较于哺乳动物,鱼类拥有更为丰富的色素细胞类型,且色素细胞的种类和组成在不同物种间存在明显差异^[11-12]。硬骨鱼类作为脊椎动物中演化最成功、种类最繁多的类群,它们的体色和纹路则更复杂多样^[13],且在生存和繁衍的过程中能起到一定的视觉欺骗或传递信号的作用^[14-16]。例如,鳊(*Siniperca chautsi*)的体表斑块状纹路能对捕食者造成一定的视觉干扰,可让该鱼种更好地隐匿于环境中^[17];伯氏妊丽鱼(*Astatotilapia burtoni*)雄鱼在竞争配偶时,能够依据竞争对手体色所展示的信号评估对手的战斗等级^[18]。除种间差异外,动物体色和纹路还表现出明显的表型可塑性,能够伴随温度、光线强弱、栖息地特征等多种环境因子以及捕食者的视觉特性、行为模式快速进行适应性调整^[19]。这一动态适应特征使体色和纹路成为研究动物的生物多样性与适应性进化机制的重要性状^[20-23]。

鱼类体色和纹路因可塑性较强而长期受到生态学家的关注^[24],该性状的表达受色素细胞的类型、形态结构和排布方式,胞内色素的迁移、合成状态等多重因素的精密调控,并可随个体生理状态或外界环境变化而发生适应性改变^[25-27]。研究发现:在经历环境变化时,睛斑鲃(*Bothus ocellatus*)能够依据栖息地特征动态调节自身体表斑纹的大小和明暗,以便于融入周围环境^[28];当存在捕食压力时,孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)能够在体表形成隐蔽色,它的虹膜也会变黑^[29];慈鲷科(Cichlidae)鱼类在繁殖季节会出现婚姻色,以便自身在生殖竞争中获得胜利^[30]。

叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)为硬骨鱼纲(Osteichthyes)鲈形目(Perciformes)斗鱼科(Belontiidae)斗鱼属(*Macropodus*)鱼类,多分布于中国及东南亚地区的河流与植被茂密的池塘、沟渠水域^[31-32]。该鱼种具有特殊的生理适应性及复杂的行为(如领地行为与求偶展示),现已成为行为遗传学研究的重要模式动物^[33-34]。此

* 收稿日期:2025-08-25 修回日期:2025-11-13 网络出版时间:2026-01-08T15:04

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 32571755)

第一作者简介:龚雅星,女,研究方向为鱼类生理生态与行为学,E-mail:3519628539@qq.com;通信作者简介:曾令清,男,副教授,博士,E-mail:lingqingzeng@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20260108.1351.006

外,叉尾斗鱼体表纹路清晰、色彩艳丽,常被作为观赏鱼进行人工养殖^[35]。目前,关于叉尾斗鱼的研究已涵盖摄食习性、遗传、能量代谢、空间学习等方面,然而对它的形态学特征尤其是对个体间体色和纹路的差异性研究仍相对有限^[36-40]。近些年来,体色和纹路特征已成为观赏鱼驯化与遗传育种中的重要目标性状,为此本研究将聚焦于雄性叉尾斗鱼的外部形态特征的差异,提取和分析体表纹路的相关参数,补充该鱼种在外部形态学研究领域的部分空缺,并为它的育种工作提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯化

实验用雄性叉尾斗鱼购于广东省阳江市,体质量、体长分别为 (4.83 ± 0.18) g、 (5.50 ± 0.13) cm。将实验鱼运回重庆师范大学进化生理与行为实验室后放入2个长×宽×高均为 $2\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 、槽内水位高约 0.4 m 的循环控温水槽中驯化30 d以上。为模拟隐蔽场所并提高驯化水体的环境丰富度,在每个驯化水槽底部放置3~5株高约30 cm绿色人工水草。驯化期间,每日10:00用通威股份有限公司生产的斗鱼科鱼类通用饲料对实验鱼饱足投喂1次,并在每次投喂前10 min关闭气泵和驯化水槽的循环系统以降低循环水流和充氧对鱼群摄食的影响;在投喂1 h后,捞出水槽中剩余的饵料,并使用虹吸管吸出水体底部的食物残渣和粪便以维持驯化水体清洁。驯化用水为充分曝气4 d的自来水,单个水槽的日换水量约为驯化水体体积的10%。驯化水体的溶解氧质量浓度维持在 $7.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,光周期为12 h光照:12 h黑暗,使用恒温加热棒以控制水温在 (26.2 ± 0.2) °C。在本研究中,所有动物实验均严格按照重庆市动物生物学重点实验室的伦理要求和动物护理建议(许可证号:FU2020112302)以及中华人民共和国国家标准《实验动物 环境及设施》(标准号:GB 14925—2023)。

1.2 实验方法

驯化结束后,随机取健康状况良好且体型相近的42尾雄性叉尾斗鱼作为实验对象并编号后用于后续形态测量,且所有实验鱼均进行相同的处理流程。在每次形态测量之前,将相机和形态测量装置固定在适当位置,避免由于拍摄造成的视觉差异,将实验鱼转移至标准化的拍摄环境中适应24 h,在此期间禁食以减少摄食行为对实验鱼体色可能产生的影响。实验期间,维持水温为 (26 ± 1) °C、pH为 7.0 ± 0.2 、光照强度为200 lx且光周期为12 h光照:12 h黑暗的恒定环境条件,并保持安静状态以减少对实验的干扰。实验当天9:00—11:00对实验鱼进行标准化拍摄和形态测量,以控制昼夜节律对实验鱼体色的潜在影响。实验旨在通过标准化的环境条件和重复测量以比较实验鱼体表纹路的个体差异,从而探究实验鱼体表纹路相关形态学参数间的潜在关联。

本研究通过测量和计算实验鱼鱼体面积参数(总面积、躯体面积和鱼鳍面积)以及条纹参数(数量、面积、高度和宽度)来探究实验鱼体表条纹的个体差异。除条纹数量外,其余形态特征参数名称及含义如下:1) 总面积,即鱼体侧视投影的最大面积;2) 躯体面积,即鱼体干侧视投影(图1中黑黑白底圆圈所围绕的部分)的最大面积;3) 尾鳍面积,指尾鳍展开后的最大投影面积;4) 胸鳍面积,指胸鳍展开后的最大投影面积;5) 背鳍面积,指背鳍展开后的最大投影面积;6) 臀鳍面积,指臀鳍展开后的最大投影面积;7) 总条纹面积,即鱼体单侧所有条纹的面积总和;8) 总条纹宽度,即鱼体单侧所有条纹的宽度总和;9) 总条纹高度,即鱼体单侧所有条纹的高度总和。

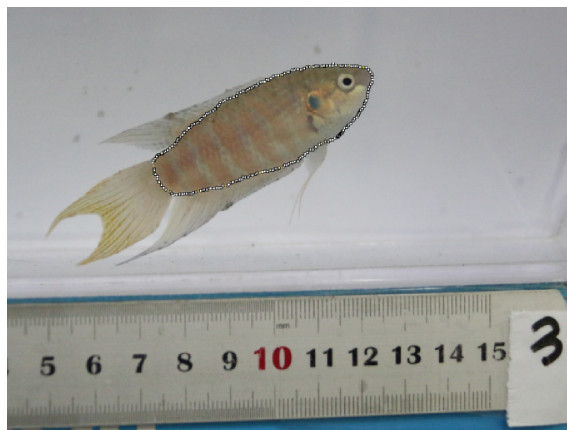


图1 雄性叉尾斗鱼的躯体部分

Fig. 1 The body part of male *M. opercularis*

在统计实验鱼条纹数量时,实验鱼体图像划分为头部、躯干、尾部等固定区域,逐区记录条纹数量,具体操作方法为:将标准化拍摄所得实验鱼照片导入 ImageJ 软件,通过阈值分割,增强条纹对比度,使用线段工具手动标记条纹,软件自动计数或导出坐标数据;当条纹断裂或融合时,按实际连续段数统计,例如条纹中间断裂则计为 2 条。此外,使用 ImageJ 软件对实验鱼图像中条纹的像素点总数进行测量,并依据图片中已知的实际长度计算图片中长度的像素比,从而计算条纹各部分的实际长度、宽度和高度。测量时,选取身体舒展无扭曲、条纹边界清晰、标尺可见且无遮挡的叉尾斗鱼照片。在使用 ImageJ 软件时,导入实验鱼照片,选择直线工具划出和比例尺大小相同的线条后点击“analyze”、“set scale”按钮,在设置好比例尺大小和单位后,使用多边形工具和直线工具测量叉尾斗鱼各条纹的面积、宽度和高度。

1.3 数据分析

采用 Excel 2019 软件对实验数据进行初步整理和常规计算,所得数据均以“平均值±标准误”形式表示;再使用 SPSS 27.0 软件进行线性回归分析以考察实验鱼各形态特征参数之间的相关性,当 $p < 0.05$ 时,统计分析结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 形态特征参数的个体间差异

表 1 显示了通过测量和计算得到的 42 尾实验鱼形态特征参数的描述性统计量,其中胸鳍面积变异系数最大,条纹数量变异系数最小。

表 1 雄性叉尾斗鱼形态特征参数汇总

Tab.1 Summary of morphological characteristics parameters of male *M. opercularis*

参数	平均值±标准误	范围	变异系数	参数	平均值±标准误	范围	变异系数
总面积/cm ²	11.09±0.34	7.39~15.53	19%	尾鳍面积/cm ²	2.12±0.08	1.25~3.33	25%
躯体面积/cm ²	6.06±0.17	4.33~8.19	18%	条纹总面积/cm ²	2.12±0.09	1.26~3.30	26%
背鳍面积/cm ²	0.97±0.04	0.36~1.77	28%	条纹总高度/cm	8.99±0.23	6.52~12.19	16%
臀鳍面积/cm ²	1.36±0.05	0.71~2.02	23%	条纹总宽度/cm	1.65±0.05	0.99~2.46	19%
胸鳍面积/cm ²	0.57±0.12	0.18~4.59	136%	条纹数量/条	7.31±0.12	6~9	11%

2.2 总面积、躯体面积与条纹数量的关系

图 2 显示,实验鱼的条纹数量与总面积、躯体面积均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$)。

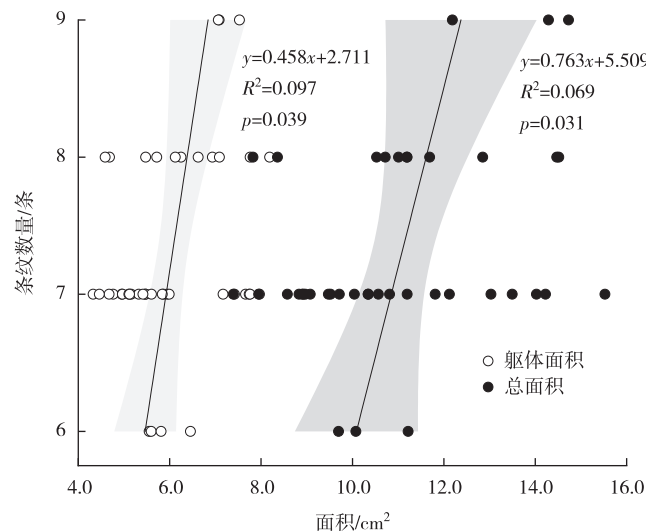


图 2 雄性叉尾斗鱼总面积、躯体面积与条纹数量的关系

Fig. 2 The relationship between the total area or body area and stripe number of male *M. opercularis*

2.3 总面积、躯体面积与条纹面积、宽度和高度的关系

由图 3a~c 可知,实验鱼的条纹总面积、条纹总宽度和条纹总高度与总面积均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$);图 3d~f 则显示,实验鱼的条纹总面积、条纹总宽度和条纹总高度与躯体面积也均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$)。

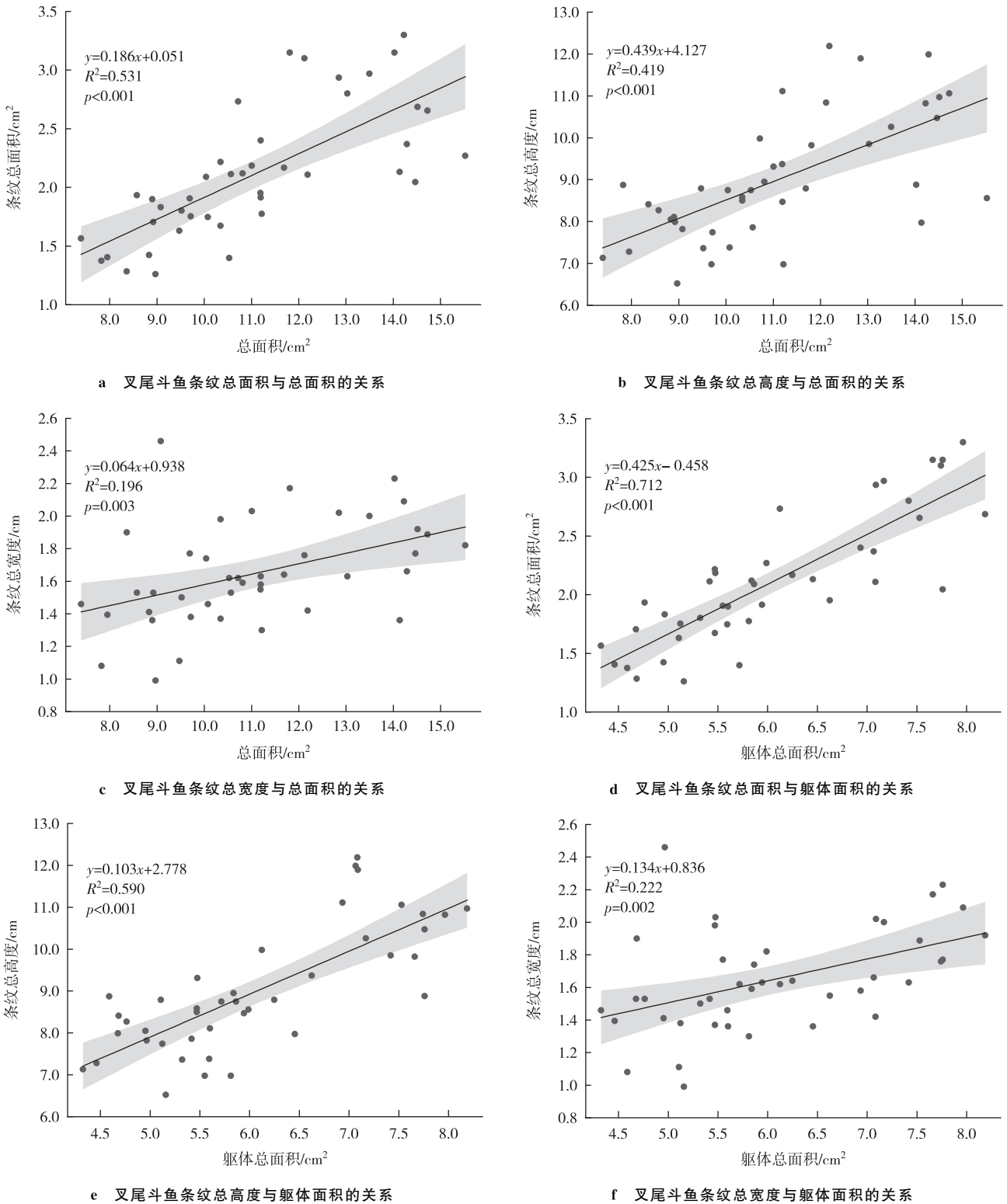


图 3 雄性叉尾斗鱼总面积、躯体面积与条纹面积、条纹宽度和条纹高度的关系
Fig. 3 The relationship between the total area or body area and total stripe area, total stripe width, and total stripe height of male *M. opercularis*

4 讨论

鱼类体色和体表纹路是一类高度多样化的表型性状,具有拟态、体温调节、威慑、作为性选择信号等多种功能;在观赏鱼类产业中,体表纹路和体色的优劣直接决定了相关鱼类的市场价值^[41-42]。对于生活在近岸水生环境中的鱼类而言,它们可以通过展现重复的色彩图案(如斑点)来模糊身体形状,从而与周围环境相融合,例如生存于亚马逊河流域的 3 种鱼类体表的黑色斑块与纵带可模拟水体中的落叶或枝条的颜色^[43]。生活在开放水体的鱼类则可以通过身体的银色反光迷惑捕食者,提高自身存活率^[16]。鱼类体表的体色和纹路作为自然选择和性选择的性状,它们高度变异的特征与物种的进化也存在着紧密的逻辑关联^[44]。在光照、遗传、神经调节等因素的影响下,部分个体的体表可能会出现不同的体色和纹路,它们的快速进化可能导致同一属内的不同物种间呈现高度多样性,而不同属的物种间却可能表现出高度的相似性^[3,45]。叉尾斗鱼作为典型的观赏性鱼类,它的体表纹路具有独特的生物学特征,例如处于繁殖期的雄性会产生鲜艳的婚姻色,且体表垂直条纹明显加深^[39]。

本研究测定了 42 尾雄性叉尾斗鱼的总面积、躯体面积、尾鳍面积、胸鳍面积、背鳍面积、臀鳍面积、条纹总面积、条纹总宽度、条纹总高度、条纹数量等 10 个指标,发现胸鳍面积的变异系数最大,而条纹数量变异系数最小。这一结果说明叉尾斗鱼的胸鳍面积存在较大的个体差异,而条纹数量则比较稳定,个体差异较小。鱼类除了由身体波动引起的流体运动外,鱼鳍在运动过程中也会产生流体动力尾流,鱼鳍的鳍条可以主动变形,进而使得鱼鳍表面可以主动抵抗流体动力载荷^[46]。鱼类的胸鳍较为灵活,在运动中表现出明显的变形特性,并在推进与操控身体运动过程中发挥着关键作用^[47]。由此本研究推测胸鳍面积大小在一定程度上也决定了叉尾斗鱼的游泳能力,进而决定了该鱼种在捕食、躲避敌害以及繁殖中是否能占据优势。

叉尾斗鱼喜栖息于静水河沟、池塘、稻田等生境中,然而此类水体的面积和水量较小,易受干旱、洪涝等自然灾害和人类活动的影响——这往往会导致叉尾斗鱼有效繁育群体减小、种群遗传多样性降低。本研究发现:雄性叉尾斗鱼的条纹数量较为稳定,常为 7 或 8 条;条纹总面积则呈现出较大的个体差异,变异系数可达 26%。推测这一结果应与遗传因素和外界环境作用有关。此外,本研究通过线性回归分析发现叉尾斗鱼的总面积、躯体面积和条纹总面积均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),表明条纹总面积可随着鱼体面积的增加而增加,这在该鱼种的性选择中可能作为一种求偶信号并占据繁殖优势。此外,相对较大的条纹也可能作为一定的视觉信号(如警戒色或社群地位优势),具有一定的生态适应意义。此外,本研究还发现,叉尾斗鱼总面积、躯体总面积与条纹总高度、条纹总宽度也均呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),这也表明了该鱼种的体型越大,体表条纹的各项特征参数数值也会相应增加。

综上所述,叉尾斗鱼体表纹路存在个体差异,且条纹各参数数值随鱼体面积的增加而增加,具有一定的生态适应与性选择(求偶信号放大)的视觉信号意义。需要注意的是,有研究表明体表色素沉着模式和鱼体质量之间存在共遗传变异关系,不同体色的同种鱼类表现出生长性能的差异性^[48]。因此,未来研究还可以研究表型特征的生理和遗传基础在鱼类性选择中的相关作用机制,以进一步丰富动物性选择理论。

参考文献:

- [1] KOTTLER V A, SCHARTL M. The colorful sex chromosomes of teleost fish[J]. *Genes*, 2018, 9(5): 233.
- [2] LIN X Z, TIAN C X, HUANG Y, et al. Comparative transcriptome analysis identifies candidate genes related to black-spotted pattern formation in spotted scat (*Scatophagus argus*) [J]. *Animals*, 2021, 11(3): 765.
- [3] NILSSON SKÖLD H, ASPENGRÉN S, WALLIN M. Rapid color change in fish and amphibians—function, regulation, and emerging applications[J]. *Pigment Cell & Melanoma Research*, 2013, 26(1): 29-38.
- [4] WALLACE A R. Mimicry, and other protective resemblances among animal [J]. *The Westminster and Foreign Quarterly Review*, 1867, 88: 1-48.
- [5] WEN Y L, KE W, SHENG H. Camouflaged object detection based on deep learning with attention-guided edge detection and multi-scale context fusion[J]. *Applied Sciences*, 2024, 14(6): 2494.
- [6] ZHANG C, BI H B, MO D S, et al. CCNet: collaborative camouflaged object detection via decoder-induced information interaction and supervision refinement network[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 133: 108328.
- [7] WANG X, XU J F, DING J J. Polarization-based camouflaged object detection with high-resolution adaptive fusion network[J].

- Engineering Applications of Artificial Intelligence,2025,146:110245.
- [8] LI R S, D'ALBA L, DEBRUYN G, et al. Mesozoic mammaliaforms illuminate the origins of pelage coloration[J]. Science,2025,387(6739):1193-1198.
- [9] WANG S T, TENG D Q, LI X Y, et al. The evolution and diversification of oakleaf butterflies[J]. Cell,2022,185(17):3138-3152.
- [10] LIVRAGHI L, HANLY J J, EVANS E, et al. A long noncoding RNA at the cortex locus controls adaptive coloration in butterflies[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2024,121(36):e2403326121.
- [11] PROTAS M E, PATEL N H. Evolution of coloration patterns[J]. Annual Review of Cell and Developmental Biology,2008,24:425-446.
- [12] 关乐. 鄱阳湖泥鳅三种表型的体色特征及其体色相关基因 *MaMCH* 初步功能的研究[D]. 南昌:南昌大学,2021.
GUAN L. Study on the body color characteristics of three phenotypes of loach from Poyang Lake and the preliminary function of the body color-related gene *MaMCH*[D]. Nanchang:Nanchang University,2021.
- [13] CAL L, SUAREZ-BREGUA P, MORAN P, et al. Fish pigmentation, a key issue for the sustainable development of fish farming [M]//YÚFERA M. Emerging issues in fish larvae research. Cham:Springer,2018:229-252.
- [14] 欧志杰,边芳芳,杨瑞斌,等.用改进石蜡切片法观察大鳞副泥鳅皮肤虹彩细胞[J].华中农业大学学报,2018,37(4):121-125.
OU Z J, BIAN F F, YANG R B, et al. Improved paraffin section method for observing iridophores in skin of *Paramisgurnus dabryanus*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2018,37(4):121-125.
- [15] 黄睿宇.大菱鲂白花斑体色形成生理机制的初步研究[D].青岛:中国海洋大学,2015.
HUANG R Y. Preliminary studies of turbot (*Scophthalmus maximus*) white spotted body color formation physiological mechanism[D]. Qingdao:Ocean University of China,2015.
- [16] HIRATA M, NAKAMURA K I, KANEMARU T, et al. Pigment cell organization in the hypodermis of zebrafish [J]. Developmental Dynamics,2003,227(4):497-503.
- [17] 刘伟,赵金良,魏磊,等.鳊早期色素发育和色彩图案的形成[J].动物学杂志,2019,54(2):236-244.
LIU W, ZHAO J L, WEI L, et al. The early pigmentation and color pattern formation of mandarin fish *Siniperca chautsi*[J]. Chinese Journal of Zoology,2019,54(2):236-244.
- [18] GROSENICK L, CLEMENT T S, FERNALD R D. Fish can infer social rank by observation alone[J]. Nature,2007,445(7126):429-432.
- [19] WIENS J J, EMBERTS Z. How life became colourful: colour vision, aposematism, sexual selection, flowers, and fruits [J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society,2025,100(1):308-326.
- [20] SANTOS M E, BALDO L, GU L Y, et al. Comparative transcriptomics of anal fin pigmentation patterns in cichlid fishes[J]. BMC Genomics,2016,17(1):712.
- [21] HUBBARD J K, UY J A C, HAUBER M E, et al. Vertebrate pigmentation: from underlying genes to adaptive function[J]. Trends in Genetics,2010,26(5):231-239.
- [22] MILLS M G, PATTERSON L B. Not just black and white: pigment pattern development and evolution in vertebrates [J]. Seminars in Cell & Developmental Biology,2009,20(1):72-81.
- [23] WITTKOPP P J, BELDADE P. Development and evolution of insect pigmentation: genetic mechanisms and the potential consequences of pleiotropy [J]. Seminars in Cell & Developmental Biology,2009,20(1):65-71.
- [24] LECLERCQ E, TAYLOR J F, MIGAUD H. Morphological skin colour changes in teleosts [J]. Fish and Fisheries,2010,11(2):159-193.
- [25] 刘晓东,陈再忠.鱼类色素细胞及体色调控[J].水产科技情报,2008,35(1):13-18.
LIU X D, CHEN Z Z. Fish pigment cells and body color regulation [J]. Fisheries Science & Technology Information,2008,35(1):13-18.
- [26] VISSIO P G, DARIAS M J, DI YORIO M P, et al. Fish skin pigmentation in aquaculture: the influence of rearing conditions and its neuroendocrine regulation [J]. General and Comparative Endocrinology,2021,301:113662.
- [27] 张艳苹.红鳍笛鲷皮肤转录组分析及体色相关基因克隆、表达与进化研究[D].长沙:湖南师范大学,2016.
ZHANG Y P. Study on skin transcriptome of crimson snapper (*Lutjanus erythropterus*), and their pigment genes related cloning, expression and evolution analysis [D]. Changsha: Hunan Normal University,2016.
- [28] RAMACHANDRAN V S, TYLER C W, GREGORY R L, et al. Rapid adaptive camouflage in tropical flounders [J]. Nature,

- 1996,379(6568):815-818.
- [29] MAGURRAN A E, SEGHERS B H. Population differences in predator recognition and attack cone avoidance in the guppy *Poecilia reticulata*[J]. *Animal Behaviour*,1990,40(3):443-452.
- [30] SEFC K M, BROWN A C, CLOTFELTER E D. Carotenoid-based coloration in cichlid fishes[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*,2014,173:42-51.
- [31] WAKIYAMA A, KOHNO H, TAKI Y. Genetic relationships of anabantid fishes[J]. *Journal of the Tokyo University of Fisheries (Japan)*,1997,83(1/2):93-102.
- [32] NICHOLS J T. The fresh-water fishes of China[M]. New York: American Museum of Natural History,1943:241-242.
- [33] SZABÓ N, FODOR E, VARGA Z, et al. The paradise fish, an advanced animal model for behavioral genetics and evolutionary developmental biology[J]. *Journal of Experimental Zoology Part B, Molecular and Developmental Evolution*,2024,342(3):189-199.
- [34] CSÁNYI V. How genetics and learning make a fish an individual: a case study on the paradise fish[J]. *Perspectives in Ethology: Behavior and Evolution*,1993,10:1-51.
- [35] RÁCZ A, ADORJÁN G, FODOR E, et al. Housing, husbandry and welfare of a “classic” fish model, the paradise fish (*Macropodus opercularis*)[J]. *Animals*,2021,11(3):786.
- [36] 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 W Q, ZHENG S L, ZHANG Y L, 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.
- [37] 王培欣, 白俊杰, 胡隐昌, 等. 叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理[J]. *生态学报*,2011,31(2):441-448.
WANG P X, BAI J J, HU Y C, et al. Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis*[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(2):441-448.
- [38] 刘宏毅, 黎明星, 肖俊, 等. 叉尾斗鱼遗传多样性的 RAPD 分析[J]. *大连海洋大学学报*,2012,27(2):158-161.
LIU H Y, LI M X, XIAO J, et al. Analysis of genetic diversity of paradisefish *Macropodus opercularis* using RAPD markers [J]. *Journal of Dalian Ocean University*,2012,27(2):158-161.
- [39] 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 Z L, HU J C, GUO Y S, et al. Observation on the breeding behavior of *Macropodus opercularis*[J]. *Chinese Journal of Zoology*,2006,41(5):7-12.
- [40] 龚雅星, 李武新, 许天琦, 等. 叉尾斗鱼幼鱼空间学习能力探究[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*,2025,42(1):52-59.
GONG Y X, LI W X, XU T Q, et al. The spatial learning ability of *Macropodus opercularis*[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*,2025,42(1):52-59.
- [41] CUTHILL I C, ALLEN W L, ARBUCKLE K, et al. The biology of color[J]. *Science*,2017,357(6350):eaan0221.
- [42] RODGERS G M, KELLEY J L, MORRELL L J. Colour change and assortment in the western rainbowfish [J]. *Animal Behaviour*,2010,79(5):1025-1030.
- [43] SAZIMA I, CARVALHO L N, MENDONÇA F P, et al. Fallen leaves on the water-bed: diurnal camouflage of three night active fish species in an Amazonian streamlet[J]. *Neotropical Ichthyology*,2006,4(1):119-122.
- [44] MCMILLAN W O, WEIGT L A, PALUMBI S R. Color pattern evolution, assortative mating, and genetic differentiation in brightly colored butterflyfishes (Chaetodontidae)[J]. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*,1999,53(1):247-260.
- [45] SATO M, ISHIKURA R, OSHIMA N. Direct effects of visible and UVA light on pigment migration in erythrocytes of Nile tilapia[J]. *Pigment Cell Research*,2004,17(5):519-524.
- [46] LAUDER G V, MADDEN P G A. Fish locomotion: kinematics and hydrodynamics of flexible foil-like fins[J]. *Experiments in Fluids*,2007,43(5):641-653.
- [47] GREEN M H, CURET O M, PATANKAR N A, et al. Fluid dynamics of the larval zebrafish pectoral fin and the role of fin bending in fluid transport[J]. *Bioinspiration & Biomimetics*,2013,8(1):016002.
- [48] 傅建军, 朱文彬, 罗文韬, 等. 不同体色鲤的生长、酪氨酸酶活性、黑色素含量及基因表达比较[J]. *中国水产科学*,2021,28(8):939-947.
FU J J, ZHU W B, LUO W T, et al. Comparison of growth, tyrosinase activity, melanin content, and gene expression between common carps with different pigmentations[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*,2021,28(8):939-947.

Animal Sciences**Individual Differences in the Body Stripe of Male Paradise Fish (*Macropodus opercularis*)**

GONG Yaxin, YANG Qing, ZENG Lingqing

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

Abstract: Body coloration and patterns are distinctive external morphological features in animals, significantly contributing to survival and reproduction. This investigation quantified individual variation in body surface patterns of male paradise fish (*Macropodus opercularis*) by analyzing standardized photographs of 42 individuals. Using ImageJ software, body area parameters—including total area, body area, and fin area—as well as stripe parameters such as number, area, height, and width, were extracted and statistically evaluated. Results indicated the highest coefficient of variation in pectoral fin area and the lowest in stripe number. Both the total area and body area showed significant positive correlations with the stripe number, total stripe area, total stripe height, and total stripe width ($p < 0.05$). These findings suggest that increased lateral body area in male paradise fish is relatively synchronized with overall growth, serving as a visual signal relevant to ecological adaptation and sexual selection, likely through signal amplification in mate choice.

Keywords: body surface stripes; inter-individual differences; lateral body area; morphological traits; *Macropodus opercularis*

(责任编辑 方兴)