第 43 卷第 3 期 水生态学杂志 Vol.43, No.3
2022年 5月 Journal of Hydroecology May 2022
DOI:10.15928/j.1674-3075.202203090064

不同眼型金线鲃洞穴鱼类趋触行为的对比研究

陈 兵,李香林,Madhava Meegaskumbura

(广西大学林学院,南宁 530004)

摘要:研究金线鲃(*Sinocyclocheilus*)的游动特征——趋触性(贴近边界前行),为人工养殖、繁育和物种保护提供理论支持。试验用金线鲃均为成鱼,8种51尾,其中盲眼种2种、小眼种和正常眼种各3种。试验在安静、黑暗的环境进行,刺激条件分别为无干扰、静止障碍物和振动吸引,使用软件追踪分析试验鱼位置(距离和方向)、时间以及相对于试验缸壁的游动速度,运用线性模型分析金线鲃趋触行为差异的关键因素。结果表明:趋触前行时间占比盲眼种为73.06%、小眼种为72.65%、正常眼种为54.62%;趋触距离盲眼种(197±18)SBL、小眼种(158±14)SBL、正常眼种(139±15)SBL;趋触游动速度盲眼种(0.53±0.19)cm/(s·SBL)、正常眼种(0.37±0.18)cm/(s·SBL)、小眼种(0.46±0.22)cm/(s·SBL)。金线鲃趋触前行的行为与游泳特性如游泳速度和时间高度相关,趋触行为可能作为一种自我保护作用和觅食策略,甚至作为一种防御策略。实践中可以依据金线鲃眼部形态和行为上的趋触性偏好分类培育饲养,同时增加缓沉型鱼食以及增添静止设施。

关键词:洞穴鱼;金线鲃;眼型;趋触行为

中图分类号:Q142.8,X176 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)03-0128-07

金线鲃(*Sinocyclocheilus*)属鲤形目(Cypringormes)鲤科(Cyprinidae)鲃亚科(Barbinae),仅分布于我国云贵高原岩溶喀斯特地区,包括云南东部、贵州南部以及广西西部和西北部等地区。我国西南地区喀斯特地貌分化特殊,金线鲃生活环境特殊且复杂。因生境破碎化产生的隔离使得金线鲃小种群成种事件频繁发生,其物种分化强烈。同时因洞穴营养贫瘠,金线鲃无法大量繁衍,种群数量十分微小,已成为濒危物种。目前全属鱼类均已作为国家二级重点保护野生动物。西畴金线鲃(*S. xichouensis*)进入2021年新调整的《国家重点保护野生动物名录》。曲靖金线鲃(*S. qujingensis*)、滇池金线鲃(*S. grahami*)等已被成功人工繁育,具备一定经济价值。有关该类群的研究正成为洞穴生物研究的热点,但是对于金线鲃行为的研究甚少。

洞穴鱼作为洞穴生物的典型代表,占据生态链的主导地位。它们已经在感觉器官和相关行为上产生了适应性进化,比如胸鳍增长、新陈代谢率降低、侧线系统发达、眼睛退化等(Jeffery, 2001)。我国特有种金线鲃属洞穴鱼还产生了一些特殊形态改变。如犀角金线鲃(*S. rhinocerous*)、双角金线鲃(*S. bicornutus*)背部区域隆起,生长出类似“角”的突起。金线鲃多数种类仅见于洞穴水体和地下河中(Romero et al, 2010; Zhao et al, 2009)。依据其生境可分为3类:一类是完全生活在黑暗的洞穴或地下水环境中,即完全穴居者;一类是生活史中周期性出现于洞穴或地下水环境中,离开这样的环境无法完成整个生活史的非典型洞穴鱼,即半穴居者;一类是整个生活史中大部分时间生活在地表的地表型洞穴鱼,即地表种(Mao et al, 2021)。依据其眼部有无可分类为眼部退化种(包括盲眼种和小眼种)和正常眼种。

目前洞穴鱼类行为的研究报道多数集中于墨西哥丽脂鲤(*Astyanax mexicanus*)(Patton et al, 2010)。相对于地表鱼类,金线鲃洞穴鱼表现出对穴居环境的多种适应性进化。趋触前行是生物体与其栖息地边界保持密切接触的一种行为,是生物趋触性的一种表现方式。研究发现当洞穴鱼(盲眼种)和地表鱼(正常眼种)处在陌生环境中,其行为与身处在熟悉环境中的表现明显不同,但都以更快的速度围绕环境的边界游动前行(Wong et al, 2010)。洞穴鱼能够在复杂的环境中保持快速移动,不与物体发生碰撞。洞穴鱼显示出的攻击性和应激行为相比地表鱼都有所减少。洞穴鱼一个突出的游泳状态是趋触前行

收稿日期:2022-03-09

基金项目:广西大学研究生教育创新计划项目(#YCBZ2021008)、高层次人才引进启动经费(T3360097927)、留学生研究经费(Y3790021122)。

作者简介:陈兵,1997年生,女,硕士研究生,主要从事鱼类生态研究。E-mail: 18895368779@163.com

通信作者: Madhava Meegaskumbura,1970年生,男,教授,主要从事生态进化研究。E-mail:madhava_m@mac.com

（thigmotaxis behavior），属于生物趋触性的一种，最直观表现为鱼与环境的墙壁或边界保持接触状态游动前行，并且在趋触游动遇到障碍时，不会贸然离开。换言之，这种趋触前行是一种自发且持续的行为。

金线鲃作为我国特有的淡水洞穴鱼，具有重要的研究意义和保护价值。本文主要以3类不同眼型的8种金线鲃作为研究对象，通过不同类型刺激试验，验证趋触行为是否也存在于金线鲃当中，以及分析游泳特征参数对洞穴鱼行为的影响，旨在揭示鱼类适应洞穴极端环境下的行为变化，为金线鲃保护和养殖提供理论依据及参考。

1　材料与方法

1.1　试验鱼

51尾、8种试验用金线鲃均为成鱼，2017–2019年从云南省、贵州省以及广西壮族自治区收集，具体见表1。试验鱼眼型分类参考相关文献(Zhao et al, 2009；Mao et al, 2021)，眼部完全消失为盲眼种，标准眼径小于3mm为小眼种，标准眼径大于3mm为正常眼种。根据已有定种论文，按照体型将样本划分为纺锤型和侧扁形，纺锤型包括高肩金线鲃和尖头金线鲃(李维贤, 1985；王琳, 2005)，侧扁形包括其他金线鲃(Romero et al, 2010)。

表1　试验用金线鲃

Tab. 1　Information on *Sinocyclocheilus* specimens used as test fish

种类	数量/尾	体长/cm	胸鳍长/cm	眼型分类	生境分类	收集地区
田林金线鲃 *S. tianlinensis*	8	7.70±0.64	1.53±0.17	盲眼	洞穴种	广西
叉背金线鲃 *S. furcodorsalis*	8	7.85±0.65	1.52±0.21	盲眼	洞穴种	广西
小眼金线鲃 *S. microphthalmus*	5	6.34±0.87	1.10±0.21	小眼	洞穴种	广西
双角金线鲃 *S. bicornutus*	6	9.93±1.03	1.97±0.27	小眼	洞穴种	贵州
高肩金线鲃 *S. altishoulderus*	6	8.35±1.10	1.48±0.23	小眼	洞穴种	广西
宜山金线鲃 *S. yishanensis*	6	8.95±0.64	1.55±0.13	正常眼	洞穴种	广西
尖头金线鲃 *S. oxycephalus*	6	7.63±1.49	1.21±0.39	正常眼	地表种	云南
滇池金线鲃 *S. grahami*	6	8.52±0.62	1.43±0.21	正常眼	地表种	云南

1.2　试验仪器设备

试验装置采用矩形鱼缸（45cm×30cm×30cm，图1），试验前使试验鱼适应10min。试验使用系统过滤后的水（pH 7.5，电导率约398μm/s，水温19~20℃，溶解氧8.4mg/L）。佳能红外线摄像机（XF400/405）放置于试验缸上方，采用红外灯(4MbpsYCC 4:2:0，25p)拍摄记录。试验在安静、黑暗的环境进行，于固定时间段开展。为避免试验之间鱼类的互相干扰，在每个单独的测试之后，更换过滤水，消除先前试验化学信息等干扰。使用Etho.Vision XT（v15，Noldus）软件追踪分析试验鱼位置(距离和方向)、时间以及相对于试验缸壁的游动速度(平均、最大或最小速度)。设定软件开始分析的时间比视频播放的时间晚3s，减少仪器测量带来的误差。使用ImageJ v1.8.0软件测量标准体长（Standard Body Length，SBL）、胸鳍长，重复测量3次，取平均值。

1.3　试验设置和参数测算

为研究趋触行为是否是一种固定的自发行为，是否会受各种刺激影响，采取无干扰、静止障碍物和振动源吸引刺激3类试验。分析定义趋触行为是鱼沿着内壁在0.5倍标准体长（SBL）的距离中游泳，并且移动距离大于2个标准体长（≥2SBL）。当鱼的移动速度小于0.2cm/s时，定义软件识别为静止状态。

首先记录时长10min的无障碍前进运动；接着在鱼缸的中心放置一个直径5 cm不透明圆柱体，进行5min静止障碍物的测试；最后使用振动源（氧气泵Jialu，振动产生频率 40~50Hz）模拟猎物或者捕食者，进行3min振动吸引试验。本试验选择了以刺激物为中心的长方形区域（10cm×16cm）作为可感知刺激范围。测算的行为参数为趋触距离、趋触时间、游动速度、静止时长、最大速度，测算的刺激范围内游泳参数为发生时长、游动速度、游动距离。

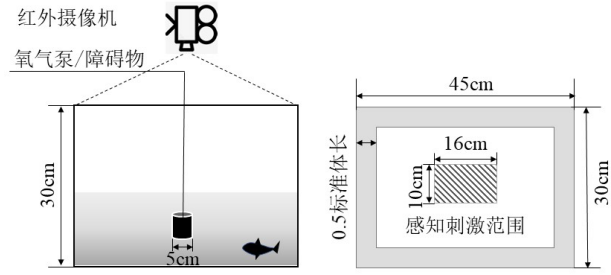

图1　试验装置和趋触行为范围示意

Fig.1　Diagram of the experimental apparatus

1.4 数据统计与分析

所有分析均采用R v4.1.2 (R Foundation for Statistical Software, Vienna, Austria)。考虑到个体差异，移动距离以SBL表示，游泳速度以cm/(s·SBL)表示，趋触行为的时间换算为占测试时间的百分比。为检查参数对于趋触行为的影响，分析采用“lme4”包运算广义线性混合模型(Bates et al, 2015; Jose et al, 2021)，将鱼类形态参数（眼型、体型、标准体长和胸鳍长）、游动特征参数（趋触距离、静止时长、趋触时间、最大速度、游动速度）以及在相同的测试条件下刺激范围的游动特征参数（刺激范围移动距离，刺激范围发生时长）作为固定变量，将测试刺激类型作为随机变量。由于数据类型为非正态分布，分析选择负二项分布模型。数据先使用评估方差膨胀因子排除共线性问题。线性模型分析使用“MuMIn”包来评估筛出最优模型，并使用矫正R^2评判模式拟合程度(Bartoń, 2019)。

对于物种间的比较，非参数数据分析使用克鲁斯卡尔-沃利斯检验（Kruskal-Wallis test），检测到显著性时，采用Dunnett's T3经行事后双尾检验，并且对P值使用Bonferroni校正。变量在$P<0.05$的水平上被认为有统计学意义，分析图的绘制使用R的“ggplot2”包。

2 结果与分析

试验鱼对新环境都表现出典型的“趋向性”反应，有明显的趋触行为，但不同眼型鱼行为的表现程度存在显著差异。盲眼种（田林金线鲃，叉背金线鲃）在进入测试缸后，持续趋触前行，且游动速度均匀，游泳状态平稳。同等条件下，有视觉能力的金线鲃也存在趋触行为，但是相比盲眼种行为明显减少。正常眼种（宜山金线鲃，尖头金线鲃，滇池金线鲃）初进入新环境时，部分个体反应激烈，表现极端化：首先在整个试验缸内游动速度急剧升高，偶然发生跳跃行为，异常活跃；接着，短暂“适应”试验缸环境后在角落区域停滞。总体而言，随视觉线索的增强，金线鲃的运动情况逐渐复杂化。

2.1 趋触行为的定量分析

计算不同眼型金线鲃趋触行为发生时长百分比，得出所有物种的趋触时长占测试时长均超过50%，并且不同眼部形态的金线鲃之间存在极显著差异（Kruskal-Wallis chi-squared=22.773, df=2, $P<0.001$）。盲眼种趋触行为种的趋触时长最久（73.06%±19.66%），正常眼种的趋触行为时长最短（54.62%±24.66%），而小眼种趋触时长十分接近盲眼种（72.65%±14.27%）。眼部退化组之间的趋触时长并没有显著差异（Wilcoxon signed-rank test, Z=0.45，P=1）。趋触行为在眼部退化的金线鲃当中更加明显。

2.2 趋触行为影响因素分析

线性模型变量分析结果（图2），体长、趋触时长、静止时长、最大游动速度以及刺激区域的移动距离显著影响趋触行为。具体而言，静止时长与趋触行为呈线性负相关，即静止时长增多，趋触前行缩短；趋触前行时长、趋触前行最大速度以及刺激区域范围内的移动距离都与趋触行为呈线性正相关，即在其他条件不变的情况下，随着趋触游动时长和速度的增加，趋触程度加深。研究发现形态上的差异不是影响金线鲃行为的主要因素，尽管体长和胸鳍长与趋触行为距离可能呈负相关（胸鳍长：Z=1.18，P=0.24；标准体长：Z=1.88，P=0.06；表2）。

表2 金线鲃参数与趋触距离

Tab. 2 Measurements and thigmotaxis distance of *Sinocyclocheilus*

趋触距离	参数	估计值	标准误差	Z值	P值
AIC=1536.25 R^2=0.51 adjR^2=0.88	体型	0.15	0.03	1.88	0.06
	标准体长	-0.11	0.03	-3.63	<0.001
	胸鳍长	0.15	0.13	1.18	0.24
	趋触时长	0.01	0.001	9.01	<0.001
	静止时长	-0.01	0.002	-8.28	<0.001
	最大速度	0.04	0.01	5.54	<0.001
	刺激区域游动距离	0.02	0.003	6.89	<0.001

2.3 不同刺激下鱼的行为差异

不同眼型金线鲃在无刺激、静止障碍物和振动吸引下的趋触距离见图3，趋触行为存在显著差异（Kruskal-Wallis chi-squared=81.659, df=2, $P<0.001$）。具体表现为：盲眼种的趋触距离最长，可达（197±18）SBL，小眼种平均距离在（158±14）SBL，而正常眼种距离最短，（139±15）SBL。盲眼种趋触距离最长，所以受干扰程度最小。比较发现，2种刺激（静止障碍物，振动吸引）都能明显影响洞穴鱼游泳行为，但是没有差异（无刺激-障碍物：Z=6.93, $P<0.01$;无刺激-振动吸引：Z=8.49, $P<0.01$; 障碍物-振动吸引：Z=1.56, P=0.36）。说明障碍物的存在影响趋触行为，并且不同物种对于不同刺激的适应度不尽相同。小眼金线鲃对于振动吸引产生了十分强烈的好奇，表现为游动距离显著增加；而正常眼种尖头金线鲃反而避免接触振动源，表现为趋触移动距离相对减小。

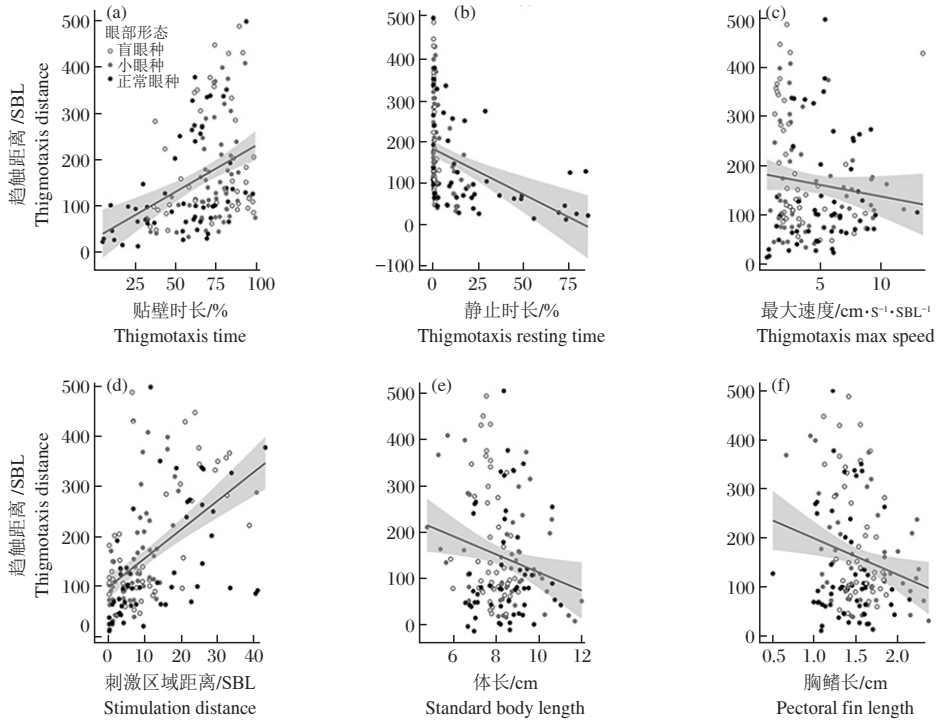

图2　金线鲃行为参数与趋触距离的关系

Fig.2　Relationship between behavioral parameters and thigmotaxis distance of *Sinocyclocheilus*

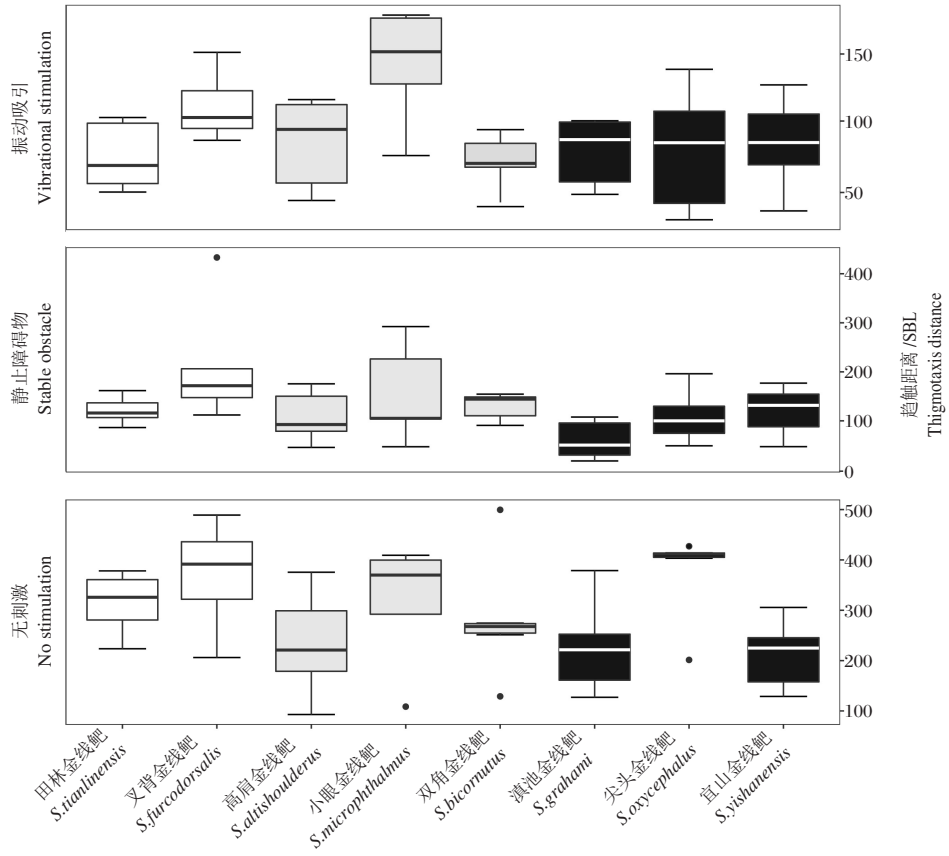

图3　不同刺激条件下金线鲃趋触游动距离

Fig.3　Thigmotaxis distance of *Sinocyclocheilus* under different stimulation conditions

2.4 不同眼型鱼的行为差异

不同眼型金线鲃的游动速度也存在极显著差异（Kruskal−Wallis chi−squared=16.434, d*f*=2,*P*<0.001）。具体表现为：盲眼种趋触游动的速度最快，（0.53±0.19）cm/（s·SBL）；正常眼种的速度最慢，（0.37±0.18）cm/（s·SBL）；而小眼种速度位居两者之间，（0.46±0.22）cm/（s·SBL）。盲眼种活跃程度最高。研究发现，盲眼种最大游动速度最低，（3.5±0.37 ）cm/（s·SBL）；正常眼种的最大游动速度最高，（5.23±0.36）cm/（s·SBL）；小眼物种则居中，（4.21±0.41）cm/（s·SBL）。所以，正常眼种的运动能力最强，盲眼种运动能力最弱。最大瞬时速度出现在滇池金线鲃（地表生境，正常眼种），达到了12.95 cm/（s·SBL）。

3 讨论

3.1 金线鲃的趋触行为

本研究主要分析趋触行为的3个参数：时间、速度和距离。趋触行为的时间分配显示了游泳倾向，速度展示了游泳状态(Teyke, 1985; Windsor et al, 2008)。首先，研究发现所有试验金线鲃超过50%时间是趋触前行，证明了金线鲃存在趋触行为。盲眼种金线鲃趋触前行更久，则代表该种对此游动模式倾向性增加。金线鲃可能采用趋触游动模式收集环境信息，以弥补眼部退化的视觉感知缺陷。其次，游动速度间接表示个体活动的强度，盲眼种金线鲃趋触行为速度最高，则代表该种活跃程度最高。而游动能力（最大速度）的减弱，可能与闭塞环境导致的运动能力下降有关。再次，趋触前进距离作为综合结果，该参数可以体现趋触水平强弱。盲眼种趋触前进距离最长，代表着更强的趋触水平。总之，以稳定速度长时间趋触游动，有利于洞穴鱼在黑暗中感知洞穴环境，建立空间地图。身体摆动振幅的增加，加快游动速度，进而从水体中获得更多周围环境信息(Hoke et al, 2012)。洞穴环境食物营养匮乏，对于产生振动的物体，会被更大可能判定为“食物”，从而吸引金线鲃靠近（趋触性增强）。所以，趋触行为可使得洞穴鱼类直接适应环境和探索空间。研究认为，趋触状态的加强，使得盲眼种在栖息环境——洞穴环境中更具有选择优势。

3.2 洞穴鱼行为策略的适应性演化

研究发现，金线鲃偏向于探索试验缸内拐角处，洞穴鱼实际上可能是在寻找“角落”，即表现出对角落的偏好(Sharma et al, 2009)。从流体力学角度看，角落空间的稳定性更高，气味等化学信息沿着墙壁扩散速度较慢，甚至角落食物沉积更多(Grécias et al, 2018)。因此，洞穴鱼的角落和趋触的探索行为，可能是应对没有捕食条件情况时最优化地利用资源(Weissburg, 2011)。正常眼种金线鲃出现的角落停滞行为，可能是由于在自然状态下，地表生活的正常眼种善于用视觉线索探索空间。一旦对周围环境有初步认知，它们会停在认为相对安全的地方（墙壁，角落）伺机而动，活动的频率相应减少。所以，趋触行为可能也是作为一种保护和防御机制。

3.3 洞穴鱼行为学的协同进化

对比发现，金线鲃属鱼类种内、种间（内容未发表）与其他洞穴鱼在适应洞穴环境的行为表现存在一致，均出现明显的趋触行为。说明该行为是作为一种显著的洞穴适应性能力。金线鲃的趋触行为表现与 *A. mexicanus* 的试验结果(Patton et al, 2010; Sharma et al, 2009)相似，此外，也在其他洞穴鱼类中得到观察和解释，比如索马里洞穴鱼（*Phreatichthys andruzzii*）的探索策略(Sovrano et al, 2018)。可以得出，洞穴鱼类共同采用行为上趋触前行游动的模式，进行空间探索(Bianco et al, 2015)。这是为适应洞穴环境而产生的相似进化机制。研究推测，此类行为在放松选择的情况下会持续存在。

3.4 金线鲃保护和养殖的建议

金线鲃进化历史相比世界上任何一种洞穴鱼都悠久，洞穴是它们赖以生存的特殊环境。由于缺乏光照、初级生产力低下、寒冷和溶解氧稀少，地下栖息地是地球上的生命最具有挑战的环境之一(Niemiller et al, 2015)。任何突然的变化，比如地下水质量的改变，都可能威胁到它们的生存。金线鲃洞穴鱼祖先表现出对洞穴栖息地的偏好(Mao et al, 2021)，致使行为上共同发生显著的适应性进化。广西境内仍有许多尚未探索的洞穴，部分物种在被发现前可能已灭绝，所以需加快对洞穴鱼类的研究及保护。目前，金线鲃已被《中国生物多样性保护区战略与行动计划》确定为内陆“中南西区山地丘陵区”水生生物的重点保护对象。

由于洞穴鱼的珍稀性以及其生物学价值丰富，从行为学上展开研究，提供保护建议也十分有必要。本研究为金线鲃的培育和养殖提供行为学上的基础数据支持和部分养殖建议如下：培育设备方面，可适当增多养殖箱，采用红砖、卵石、金鱼草等材料做成人工鱼巢(郗啟文 等, 2017; 杨瑞林, 2016)，再依据不同类型及生境设置繁育条件；环境方面，建议设计特制的水槽或水道，适当增添静止装置，如隔离板、管

道、砾石或卵石等,为金线鲃活动提供依附物,考虑定期流水刺激,模拟其原始生境,并且光线的布置尽可能依据不同眼型要求调整,例如有眼物种的微光条件和盲眼物种的全黑条件;饲养方面,建议增加缓沉型鱼食,投放饵料时考虑沉积型角落投放点等;由于洞穴鱼对环境高度敏感,培育过程中尽量减少迁移,减少对鱼类的刺激。

参考文献

李维贤,1985. 云南金线鲃属鱼类四新种(鲤形目:鲤科)[J]. 动物学研究, (4): 125-129.

王琳,2005. 高肩金线鲃(*Sinocyclocheilus altishoulderus*)与滇池金线鲃(*Sinocyclocheilus grahami*)线粒体DNA全序列比较分析[D]. 昆明:云南大学.

郗啟文, 陈俊, 华泽祥, 等, 2019. 滇池金线鲃池塘种草健康养殖技术[J]. 科学养鱼, (7):42-42.

杨瑞林,2016. 金线鲃的生物特性及其养殖[J]. 南方农业, 10 (30): 2.

Bartoń K, 2019. MuMIn: Multi-Model Inference[Z]. https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn.

Bates D, Mächler M, Bolker B, et al, 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4[J]. Journal of Statistical Software, 67(1): 1-48.

Bianco *Isaac* h, Engert F, 2015. Visuomotor transformations underlying hunting behavior in zebrafish[J]. Current Biology, 25(7): 831-846.

Grécias L, Valentin J, Aubin-Horth N, 2018. Testing the parasite mass burden effect on alteration of host behaviour in the *Schistocephalus*-stickleback system[J]. Journal of Experimental Biology, 221 (6): jeb174748.

Hoke K, Schwartz A, Soares D, 2012. Evolution of the fast start response in the cavefish *Astyanax mexicanus*[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 66(8): 1157-1164.

Jeffery W R, 2001. Cavefish as a model system in evolutionary developmental biology[J]. Developmental Biology, 231 (1): 1-12.

Jose P, Douglas B, Saikat D, et al, 2021. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models [Z]. https://CRAN.R-project.org/package=nlme

Mao T R, Liu Y W, Meegaskumbura M, et al, 2021. Evolution in *Sinocyclocheilus* cavefish is marked by rate shifts, reversals, and origin of novel traits[J]. BMC Ecology and Evolution, 21(1): 45.

Niemiller M L, Soares D, 2015. Cave environments[M]// Riesch R, Tobler M, Plath M . Extremophile Fishes: Ecology, Evolution, and Physiology of Teleosts in Extreme Environments. Cham:Springer International Publishing:161-191.

Patton P, Windsor S, Coombs S, 2010. Active wall following by Mexican blind cavefish (*Astyanax mexicanus*)[J]. Journal of Comparative Physiology A, 196(11): 853-67.

Romero A, Zhao Y H, Chen X Y, 2010. The hypogean fishes of China[M]// Noakes D L G, Romero A, Zhao Y H, et al. Chinese Fishes. Dordrecht: Springer Netherlands: 211-278.

Sharma S, Coombs S, Patton P, et al, 2009. The function of wall-following behaviors in the Mexican blind cavefish and a sighted relative, the Mexican tetra (*Astyanax*) [J]. Journal of Comparative Physiology A, 195(3): 225-240.

Sovrano V A, Potrich D, Foà A, et al, 2018.Extra-visual systems in the spatial reorientation of cavefish[J]. Scientific Reports, 8(1): 17698.

Teyke T, 1985. Collision with and avoidance of obstacles by blind cave fish *Anoptichthys jordani* (Characidae)[J]. Journal of Comparative Physiology A, 157(6): 837-843.

Weissburg M J, 2011. Waterborne chemical communication: Stimulus dispersal dynamics and orientation strategies in crustaceans[M]//Breithaupt T, Thiel M. Chemical Communication in Crustaceans. New York, NY: Springer New York: 63-83.

Windsor S P, Tan D, Montgomery J C, 2008. Swimming kinematics and hydrodynamic imaging in the blind Mexican cave fish (*Astyanax fasciatus*)[J]. Journal of Experimental Biology, 211(18): 2950-2959.

Wong K, Elegante M, Bartels B, et al, 2010. Analyzing habituation responses to novelty in zebrafish (*Danio rerio*) [J]. Behavioural Brain Research, 208(2): 450-457.

Zhao Y H, Zhang C G, 2009. Endemic fishes of *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes: Cyprinidae) in China —— species diversity, cave adaptation, systematics and zoogeography [M]. Beijing: Science Press.

(责任编辑　张俊友)

Comparison of Thigmotaxis of *Sinocyclocheilus* Cavefish with Different Eye Morphologies

CHEN Bing, LI Xiang-lin, Madhava Meegaskumbura

(Forestry college, Guangxi University, Nanning 530004, P.R. China)

Abstract: *Sinocyclocheilus*, belonging to Barbinae, Cyprinidae and Cypriniformes, is a peculiar genus of freshwater cavefish endemic to the karst region of Yunnan-Guizhou Plateau. Different species of *Sinocyclocheilus* dwell in surface streams, semi-subterranean streams and subterranean streams, and the eyes of different species show adaptation to their habitat. Thus, cavefish have significant research and conservation value. In this study, we explored the thigmotaxis of *Sinocyclocheilus* using different stimulation tests and analyzed the effect of thigmotaxis on swimming characteristics. Our aim was to reveal the behavioral adaptations of cavefish under the extreme environment of caves and provide basic information and theoretical support for farming, breeding, and protecting cavefish. A total of 51 adult individuals from 8 species were sampled for the test, identified as 2 blind species with no external eyes, 3 reduced-size eye species and 3 normal-size eye species. All tests were performed under quiet, dark condition, and the swimming characteristics of test fish were tracked under three test conditions: no stimulation, stable obstacle and vibrational stimulation along the swimming path. Tracking software was used to analyze the location (distance and orientation), swimming time and relative speed of the test fish, and a linear model was used to analyze swimming characteristics related to thigmotaxis. Results show that all test fish displayed thigmotaxis, but with significant differences among the three species. Blind species displayed the thigmotaxic behavior of swimming near the wall 73.06% of the test time and the reduced-size eye species for 72.65% of the time, while the species with normal sized eyes spent only 54.62% of the time near a wall. In terms of swimming locomotion during the test, reported as standard body lengths (SBL), the blind species swam (197±18) SBL, the reduced-size eye species swam (158±14) SBL and the normal-size eye species swam only (139±15) SBL. The swimming speed of the blind species was (0.53±0.19) cm/(s·SBL), the reduced-size eye species swam at (0.46±0.22) cm/(s·SBL) and the normal-size eye species at (0.37±0.18) cm/(s·SBL). Thigmotaxis in *Sinocyclocheilus* was highly correlated with swimming behavior, including swimming time and speed. Results also suggest that thigmotaxis in *Sinocyclocheilus* is contributes to survival, as it is related to foraging and defense. In practice, *Sinocyclocheilus* should be classified and reared with consideration given to eye morphology and thigmotaxis preference. It is also recommended to use a slowly sinking fish food and add static objects for species with reduced or no vision.

Key words: cavefish; *Sinocyclocheilus*; eye morphology; thigmotaxis