

叉尾斗鱼幼鱼空间学习能力探究*

龚雅星, 李武新, 许天琦, 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:为探究叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)的空间学习能力,以体型大小相近且健康状况良好的15尾叉尾斗鱼幼鱼为实验对象,在有路标作为可视线索的十字形迷宫中进行空间学习训练,每尾实验鱼每日中午和夜晚各训练1次为1个周期,连续训练15个周期,累计训练30次;通过比较实验鱼在空间学习训练前后的学习效果和运动特征差异来确定该鱼种的空间学习能力,并探究在此过程中它的运动特征变化。结果显示:随着空间学习训练次数的增加,叉尾斗鱼的正确率与训练次数呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),觅食时间和折返次数与训练次数均呈统计学意义上的负相关($p < 0.05$);但叉尾斗鱼在空间学习训练过程中的个体游泳速度、个体游泳加速度、运动时间比等运动特征参数并没有明显变化。研究结果提示叉尾斗鱼具有一定的空间学习能力,能够建立路标与食物奖赏间的联系,且在学习过程中的运动特征无明显改变。

关键词:空间认知;记忆;学习训练;路标

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2025)01-0052-08

空间学习是指动物通过感知环境和探索空间促进认知发展的过程。在空间学习过程中,动物往往选择通过记忆路标、方向、距离等信息的方式来进行空间定位^[1-3]。在自然界中,大多数动物通常在复杂的环境中进行维持自身生存和繁衍后代的活动,这需要动物对所处的空间位置和活动路线进行学习和记忆。空间学习能力有助于动物记住栖息地环境的空间特征以及日常的活动路线,使动物在原有经验的基础上更高效准确地到达目的地、觅食、躲避敌害以及群体迁徙,有助于提高动物个体的生存适合度;该项能力带来的生态收益对动物的生命活动具有重要意义^[4-7]。

现阶段对动物空间学习能力的研究多以哺乳类和鸟类为对象,而有关硬骨鱼类空间学习能力的研究相对较少^[8-9]。已有的研究表明,硬骨鱼类如三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)和斑马鱼(*Danio rerio*)具有良好的空间学习能力^[10-12];并且鱼类的学习行为呈现多样化,如反射、习惯化、印记等^[13]。鱼类在空间学习过程中使用的认知策略通常有2种:一是以体轴为中心的左右转向策略,即通过记忆一系列向左转或向右转的过程来实现对目标或目的地的定位;二是感觉线索提示策略,即通过视觉、嗅觉、触觉等感知能力寻找目的地^[14-17]。鱼类对这2种认知策略的选择和使用并非一成不变,而且部分鱼类能够同时使用或者根据具体情况来选择性地使用这2种策略^[18]。目前,关于硬骨鱼类空间学习能力的研究正逐渐成为鱼类生态学和行为学研究热点之一。

叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)又称天堂鱼、中国斗鱼,为硬骨鱼纲(Osteichthyes)鲈形目(Perciformes)斗鱼科(Belontiidae)斗鱼属(*Macropodus*)鱼类;它色彩艳丽、体态优美,是一种常见的淡水观赏鱼类,广泛分布于中国长江以南地区的江河、湖泊以及池塘中,具有非常鲜明的求偶行为,是鱼类行为学研究的理想模型^[19-20]。目前,有关叉尾斗鱼的研究已对该鱼种的摄食、遗传、能量代谢等方面进行了探究,但对它的空间学习能力考察得相对较少^[21-24]。本研究通过比较空间学习训练前后叉尾斗鱼的空间学习效果和运动特征差异来探究该鱼种的空间学习能力,以期进一步丰富鱼类空间认知能力领域的研究内容,同时也为鱼类资源保护与合理利用提供更多的参考资料。

* 收稿日期:2024-11-07 网络出版时间:2025-03-19T12:12

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 31300341);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项目青年项目(No. KJQN202000539)

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.20250319.1118.002

1 材料与方 法

1.1 实验鱼来源及驯化

实验用叉尾斗鱼购买于广东省,体质量、体长的平均值分别为 3.92 g、5.39 cm,运回实验室后在 2 个容积约为 250 L 的循环控温水槽中驯化 30 d 以上。在每个水槽的底部安置 3~5 株不同类型且高约 30 cm 的人工水草,用于模拟隐蔽场所并提升驯化水体的环境丰富度。驯化期间,每日 10:00 用解冻红线虫(*Limnodrilus*)对实验鱼饱足投喂 1 次;为了减少循环的水流以及水体充氧对鱼群摄食的影响,在每次投喂饵料开始前 10 min 关闭充气泵使水槽内水面保持平静。在投喂 1 h 后,使用虹吸管清除水体中残余的饵料和粪便,以维持驯化水体的清洁。驯化用水为曝气 4 d 的自来水,每个水槽的日换水量约为水槽内驯化水体体积的 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,光周期设定为 14 h 光照:10 h 黑暗,水体温度控制在 $(25.0 \pm 0.2) \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

1.2 实验设计

1.2.1 空间学习训练实验鱼的选择

在驯化结束后,选取 15 尾体型相近、健康状况良好的叉尾斗鱼作为实验对象,编号后用于后续的空间学习训练。编号后的实验鱼被放入 1 个长×宽×高为 17 cm×10 cm×15 cm、内部水深为 12 cm 的多单元格循环控温水槽中单独饲养。由于本研究使用的叉尾斗鱼处于幼鱼阶段,故而在空间学习训练实验中对不同性别实验鱼进行随机分配,以消除性别对实验结果的影响。

1.2.2 空间学习训练实验装置

本研究采用 2 个结构完全相同的十字形迷宫(图 1)探究叉尾斗鱼的空间学习能力。该迷宫由厚度为 8 mm 的白色无毒 PVC 材料板制作而成,包括 4 个长×宽×高为 30 cm×15 cm×15 cm 的对称等轴长臂,迷宫内水深为 12 cm。选取 2 条位置相对的臂,在它们的末端 5 cm 处均安装 1 个正中开有 1 个长×宽为 5 cm 5 cm 的正方形门洞的固定挡板,并在末端设有食物奖赏区。另外 2 条长臂随机选取 1 条,在在离末端 5 cm 处安装 1 个不透明的可移动挡板作为起始格。当升起起始格可移动挡板时,鱼可自由进出起始格,并穿过 2 个固定挡板的中央门洞,进入食物奖赏区。与起始格位置相对的长臂则用可移动挡板封住入口,以便在实验中可以随时改变起始格的位置。在每个迷宫正上方安装 1 个连接电脑的高清广角摄像头,用于拍摄实验鱼的空间学习能力训练过程。

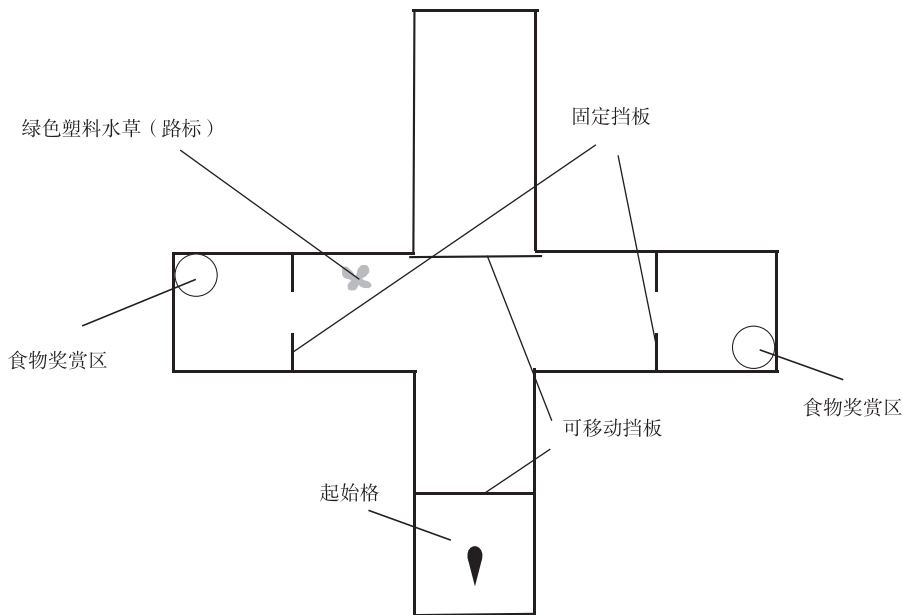


图 1 十字形迷宫

Fig. 1 Cross shaped maze

1.2.3 空间学习训练实验方案

空间学习训练分为 2 个部分:空间熟悉和记忆获得;两者的具体方案如下。

1) 空间熟悉。每尾实验鱼均在十字形迷宫中熟悉 2 次,但在此期间不获取有关实验数据。在空间熟悉过程中,迷宫中所有挡板和路标被全部移除以便实验鱼在迷宫中能自由游动,在迷宫各臂末端放置有足量的红线虫供实验鱼自由取食,空间熟悉过程共持续 30 min。

2) 记忆获得。每尾实验鱼每日中午和夜晚各训练 1 次为 1 个周期,连续训练 15 个周期,累计训练 30 次。在 2 个食物奖赏区均放置 10 条红线虫,其中无路标(绿色塑料水草)一侧食物盘中的红线虫用纱布包裹使得实验鱼靠近后也无法取食,而放置有路标一侧食物盘中的红线虫实验鱼靠近即可自由取食,从而消除食物气味对实验鱼的影响。对每尾实验鱼均严格执行以下操作步骤:先把单尾鱼放入起始格且此时挡板关闭,适应 5 min 后移除挡板,鱼可自由游出起始格,在鱼取食成功或超过 6 min 未取食则结束本次训练。全程拍摄训练过程,同时不定时调整路标方位与起始格位置以防实验鱼在训练中产生方向性。

1.3 空间学习训练实验参数

通过 6 个参数来考察实验鱼个体在空间学习训练过程中的学习效果和运动特征变化,参数的名称、定义或计算方法如下。

1) 觅食时间。从移除起始格挡板开始计时,实验鱼第 1 次进入正确的(有路标一侧)食物奖赏区时(以实验鱼的头部进入正确的食物奖赏区的挡板门洞为准)计时结束。上述时间段即为实验鱼的觅食时间(单位:s)。

2) 正确率。正确率表示实验鱼选择正确或错误情况。单尾实验鱼第 1 次进入正确食物奖赏区则记为 1,第 1 次进入错误食物奖赏区则记为 0。

3) 折返次数。实验鱼在游动过程中鱼体调转 180° 的次数即为折返次数。

4) 个体游泳速度。实验鱼的个体游泳速度计算公式如下:

$$v_t = \sqrt{[(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2]} / d_t$$

其中: v_t 为游泳速度数值,单位 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$; x_t, x_{t-1} 分别为实验鱼在 $t, t-1$ 时刻的横坐标数值,单位 cm ; y_t, y_{t-1} 分别为实验鱼在 $t, t-1$ 时刻的纵坐标数值,单位 cm , d_t 为每帧图像的时间间隔数值,单位 s 。

5) 个体游泳加速度。实验个体的速度变化量与发生这一变化所用时间的比值即为个体游泳加速度(单位: $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$)。

6) 运动时间比。运动时间比表示实验鱼个体的运动频率,即实验鱼的运动时间与静止时间的比值。本研究中当个体游泳速度超过 $1.75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,实验鱼个体则被认定为处于运动状态。

1.4 数据分析

空间学习训练实验结束后,先使用“格式工厂”软件将实验视频文件格式转码为“.avi”格式,然后使用图像跟踪软件 idTracker 对视频进行追踪分析,得到每尾实验鱼在拍摄期间每帧的运动轨迹坐标点(x 和 y 轴像素值)。再根据像素与空间学习训练装置的实际大小转换比例将得到的坐标点转化为实验鱼的实际位置坐标数据,再通过位置坐标数据计算相关实验参数。

使用独立样本 t 检验比较了路标放置在起始格左侧和右侧长臂时实验鱼的觅食时间差异,发现实验鱼并不存在方向偏好。采用 Microsoft Excel 2010 软件对实验数据进行常规计算,使用 SPSS 27.0 软件对实验数据进行统计分析。实验数据均用“平均值±标准误”形式表示。首先对实验数据进行正态性检验($K-S$ 检验)和方差齐性检验(Levene 检验),然后使用单因素方差分析考察测定时间对叉尾斗鱼的觅食时间、正确率、折返次数、个体游泳速度、个体游泳加速度和运动时间比的影响,最后采用独立样本 t 检验比较空间学习训练前后实验鱼上述 6 个参数的差异。当 $p < 0.05$ 时,上述统计分析的结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 空间学习训练中学习效果的变化

本研究发现,测定时间对实验鱼的觅食时间和折返次数有统计学意义上的影响($p < 0.05$),对正确率无统计学意义上的影响(表 1)。

图 2a 显示实验鱼的正确率与训练次数呈统计学意义上的正相关($p < 0.05$),但最初 2 次和最后 2 次空间学习训练的正确率没有统计学意义上的差异(图 2b)。由图 2c 可知,觅食时间与训练次数呈统计学意义上的负相关($p < 0.05$)。图 2d 则显示最后 2 次空间学习训练的觅食时间与最初 2 次空间学习训练的觅食时间相比有统

统计学意义上的减少($p < 0.05$)。此外,图 2e 显示折返次数与训练次数也有统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),而从图 2f 可知最后 2 次空间学习训练的折返次数与最初 2 次空间学习训练的折返次数相比也有统计学意义上的减少($p < 0.05$)。

表 1 测定时间对叉尾斗鱼空间学习训练过程中学习效果和运动特征参数影响的单因素方差分析结果

Tab. 1 The results of one-way ANOVA to determine the effect of measurement time on the parameters of spatial learning effectiveness and locomotor characteristics during spatial learning training in *M. opercularis*

学习效果参数	方差分析结果(影响因素:测定时间)	学习效果参数	单因素方差分析结果(影响因素:测定时间)
觅食时间	$F = 11.237, p = 0.001$	个体游泳速度	$F = 0.561, p = 0.457$
正确率	$F = 0.992, p = 0.323$	个体游泳加速度	$F = 0.083, p = 0.774$
折返次数	$F = 5.113, p = 0.028$	运动时间比	$F = 0.807, p = 0.373$

2.2 空间学习训练中运动特征的变化

表 1 显示,测定时间对实验鱼的个体游泳速度、个体游泳加速度和运动时间比均无统计学意义上的影响。

图 3a~f 显示:实验鱼的个体游泳速度、个体游泳加速度和运动时间比与训练次数无统计学意义上的相关关系,最初 2 次空间学习训练和最后 2 次空间学习训练的这 3 个运动特征参数之间也没有统计学意义上的差异。

3 讨论

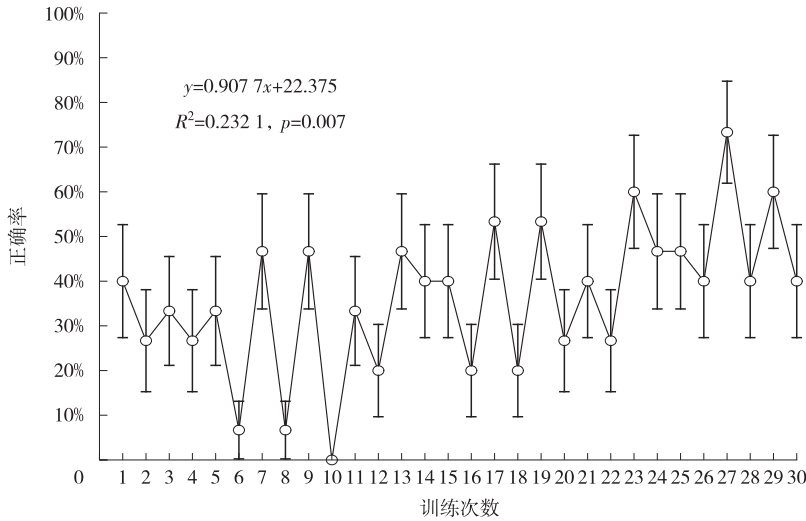
动物的空间学习能力与觅食、躲避敌害、繁殖等生命活动密切相关。目前已有不少研究表明鱼类具有一定的空间学习能力,例如:在空间学习的研究中,三刺鱼能够在更少的试验次数中获得食物^[10];在探究路标影响鱼类空间学习与记忆的研究中,高体鳊鲂(*Rhodeus ocellatus*)通过空间学习训练能够建立路标与食物报偿之间的联系^[1];在对锦鲤(*Carassius auratus*)的个性、脑容量、代谢和空间学习能力进行相关性分析的研究中,实验鱼在空间学习训练后,觅食时间明显减少,正确率明显提升,且群体学习比个体学习更具优势^[26];在对斑马鱼的群体学习测试中,发现该鱼种具有空间学习能力,且它的群体是集体学习和重新定向的^[27]。

本研究发现,随着空间训练次数的增加,叉尾斗鱼的觅食时间和折返次数均明显减少,正确率较训练前有明显提升,实验鱼均能更快到达食物奖赏区。这表明叉尾斗鱼具有空间学习能力,能够建立食物与路标之间的连接,并在脑中形成记忆。觅食时间减少也说明了觅食准确度提高;而随着训练次数的增加,实验鱼能在训练过程中建立起路标与食物奖励间的联系,为了更快地获得食物报偿,实验鱼可能会表现出更快的游动速度。因此,实验鱼到达食物奖赏区的时间还可能会受到游泳速度等因素的影响。

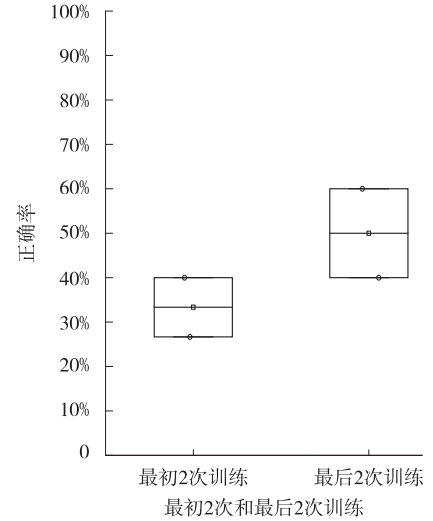
然而,相较于其他鱼类空间学习研究的结果,本研究中叉尾斗鱼在空间学习训练过程中的正确率并不高,而在锦鲤幼鱼空间学习能力的研究中,实验鱼在经历训练后的平均正确率较本研究结果高出近 10%^[27]。造成上述差异的原因在于:1) 本研究中即使实验鱼未游出起始格,在规定训练时间结束后仍计为选择错误,这在一定程度上导致了在分析数据时正确率被这些特殊数值拉低;2) 叉尾斗鱼的空间学习能力可能并非预期中的那么强。此外,本研究还发现叉尾斗鱼空间学习训练的正确率范围在 13.3%~76.6%,这表明叉尾斗鱼的空间学习能力具有明显的个体差异。

本研究还发现空间学习训练前后叉尾斗鱼的个体游泳速度、个体游泳加速度和运动时间比均无明显变化,这可能与叉尾斗鱼的生活环境与捕食习性有关。叉尾斗鱼一般生活在小型水沟、池塘、湖泊等静水或缓流水体中,是一种以动物性食物如浮游动物、水生昆虫等为主的杂食性鱼类,它所生活的环境使得它不一定需要通过短时间内快速加速来获取食物。本研究中的饵料红线虫有较强的诱食效果且活动能力弱,实验鱼同样无需通过短时间内快速加速来获取食物,因此即便在经历了数次空间学习训练后又尾斗鱼通过路标建立了与食物奖赏区之间的关联,它的个体游泳速度和个体游泳加速度相较于空间学习训练前也就没有了明显的变化。

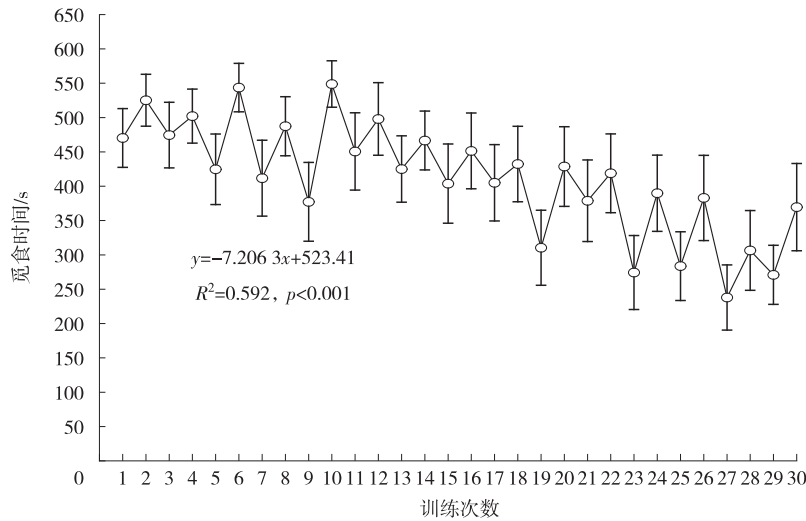
运动时间比在空间学习训练前后未表现出明显差异还可能与叉尾斗鱼所处环境有关。叉尾斗鱼的好斗性较强,集群行为较少,种内竞争十分激烈,使得该鱼种的活跃性在自然环境下相比在实验室环境下更为强烈。在本研究的实验装置中,迷宫中仅有 1 条实验鱼且食物充足,因此它在觅食过程中无竞争压力。但整体上看,随着空间学习训练次数的增加,实验鱼的运动时间比仍有略微增加,这可能是因为叉尾斗鱼对所处空间的熟悉程度随着学习和记忆的过程不断提升,觅食过程中的犹豫表现有所减少,且运动频率提高。



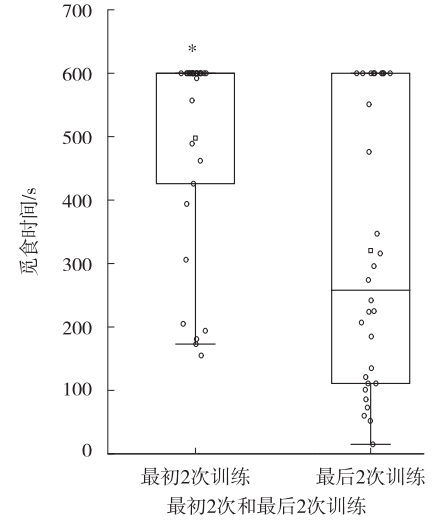
a 正确率



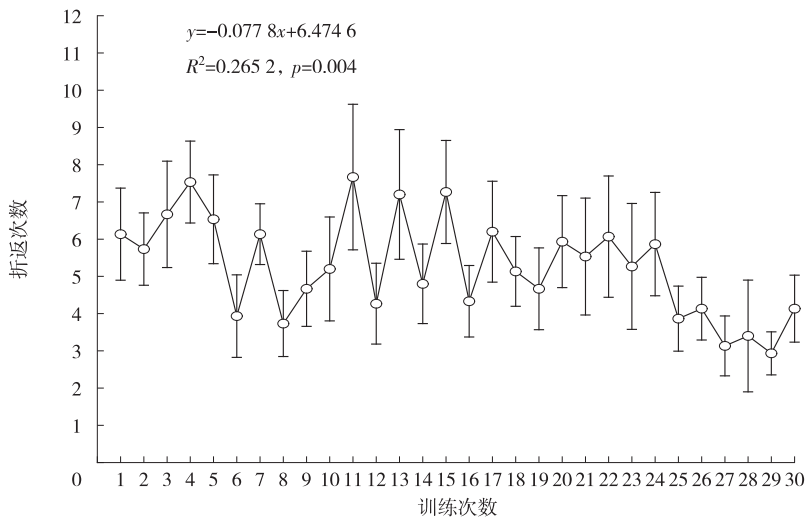
b 最初 2 次和最后 2 次训练的正确率



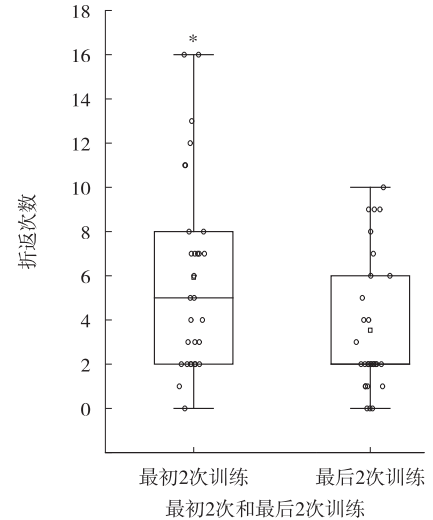
c 觅食时间



d 最初 2 次和最后 2 次训练的觅食时间



e 折返次数

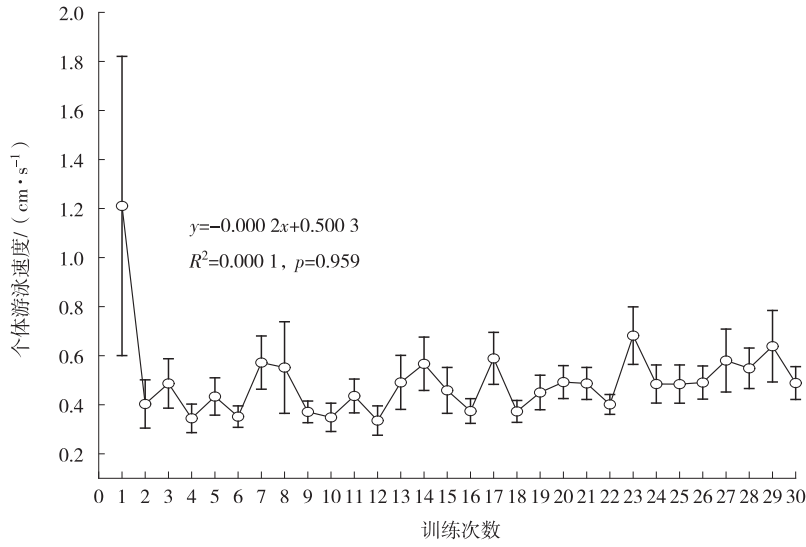


f 最初 2 次和最后 2 次训练的折返次数

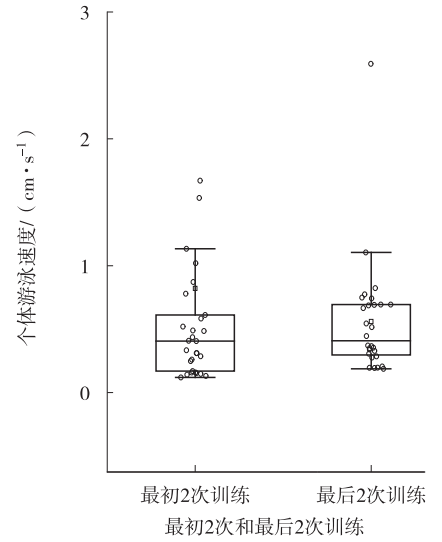
注：“*”表示叉尾斗鱼最初 2 次训练和最后 2 次训练的学习效果参数差异在 $p<0.05$ 水平上具有统计学意义。

图 2 空间学习过程中叉尾斗鱼的学习效果变化

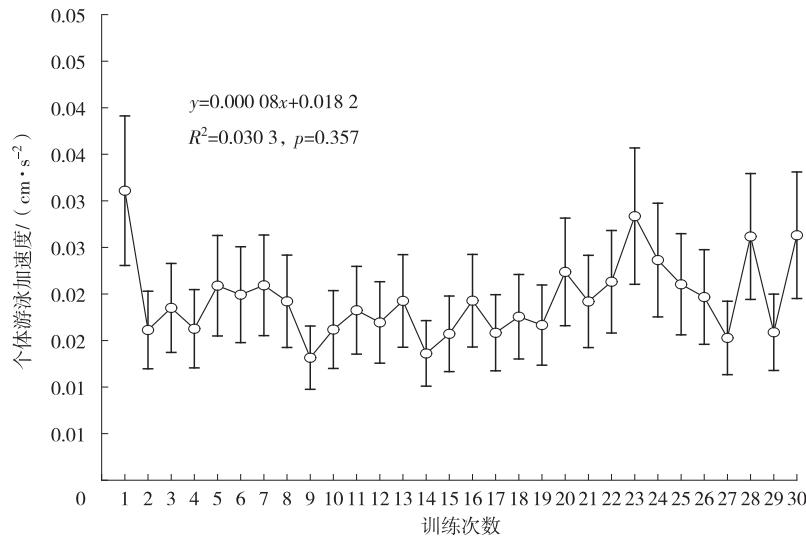
Fig. 2 Changes in the learning effectiveness of *M. opercularis* during spatial learning training



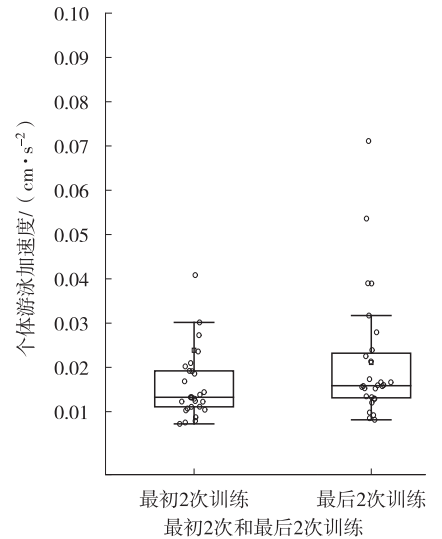
a 个体游泳速度



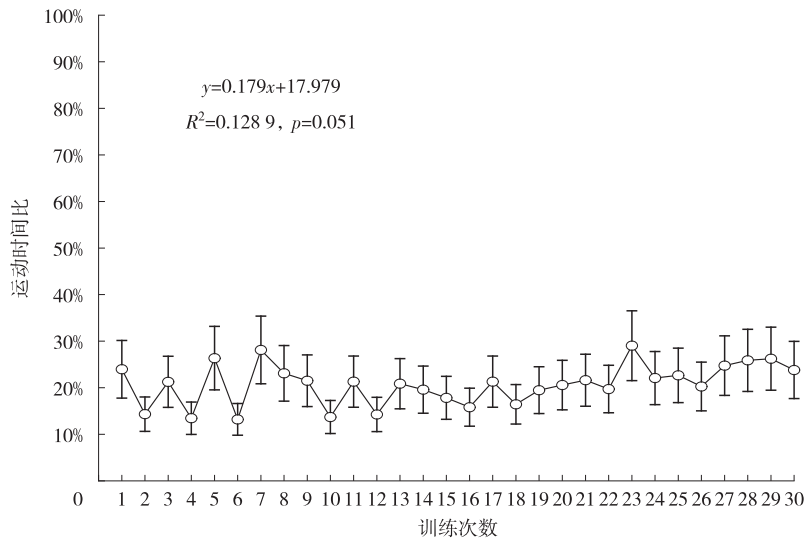
b 最初 2 次和最后 2 次训练的个体游泳速度



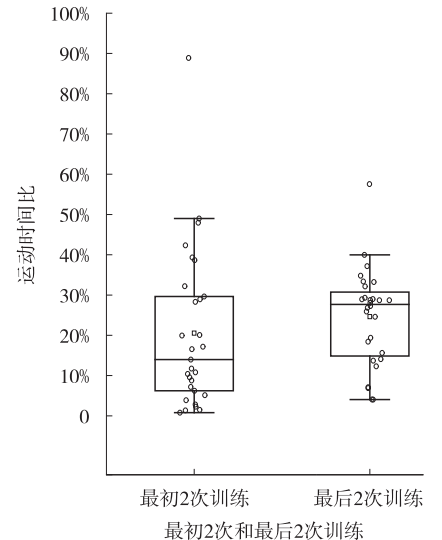
c 个体游泳加速度



d 最初 2 次和最后 2 次训练的个体游泳加速度



e 运动时间比



f 最初 2 次和最后 2 次训练的运动时间比

图 3 空间学习训练过程中叉尾斗鱼运动特征的变化

Fig. 3 Changes in the locomotor characteristics of *M. opercularis* during spatial learning training

综上所述,叉尾斗鱼具有空间学习能力,能通过建立路标与食物之间的关联进行记忆。随着空间训练次数增加,叉尾斗鱼的学习效果明显提升,但运动特征无明显变化。值得一提的是,许多研究表明同一物种的雌性和雄性对学习的投资成本存在差异^[28]。因此在未来的研究中,可以进一步地考察雌、雄性叉尾斗鱼在空间认知和学习成本投入方面的差异,这将更深层次地揭示叉尾斗鱼的认知能力。

参考文献:

- [1] 朱玉蓉,刘焕章.路标影响高体鲫的空间学习与记忆[J].华中农业大学学报,2015,34(1):91-95.
ZHU Y R, LIL H Z. Influence of landmark in spatial learning and memory in *Rhodeus ocellatus* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(1): 91-95.
- [2] VORHEES C V, WILLIAMS M T. Assessing spatial learning and memory in rodents[J]. ILAR Journal, 2014, 55(2): 310-332.
- [3] PEARCE J M. Animal learning and cognition: an introduction[M]. 3rd edition. New York: Psychology Press, 2008.
- [4] JONES C M, BRAITHWAITE V A, HEALY S D. The evolution of sex differences in spatial ability [J]. Behavioral Neuroscience, 2004, 117(3): 403-411.
- [5] HEALY S D, BRAHAM S R, BRAITHWAITE V A. Spatial working memory in rats: no differences between the sexes [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 1999, 266(1435): 2303-2308.
- [6] PRAVOSUDOV V V, ROTH II T C. Cognitive ecology of food hoarding: the evolution of spatial memory and the hippocampus [J]. Annual Review of Ecology Evolution & Systematics, 2013, 44(1): 173-193.
- [7] COSTANZO M S, BENNETT N C, LUTERMANN H. Spatial learning and memory in African mole-rats: the role of sociality and sex [J]. Physiology & Behavior, 2009, 96(1): 128-134.
- [8] RODRIGUEZ F, QUINTERO B, AMORES L, et al. Spatial cognition in teleost fish: strategies and mechanisms [J]. Animals, 2021, 11(8): 2271.
- [9] SHETTLEWORTH S J. Animal cognition and animal behavior [J]. Animal Behaviour, 2001, 61(2): 277-286.
- [10] ODLING-SMEE L C, BOUGHMAN J W, BRAITHWAITE V A. Sympatric species of threespine stickleback differ in their performance in a spatial learning task [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2008, 62(12): 1935-1945.
- [11] FONTANA B D, ALNASSAR N, PARKER M O. Tricaine methane-sulfonate (MS222) has short-term effects on young adult zebrafish (*Danio rerio*) working memory and cognitive flexibility, but not on aging fish [J]. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 2021, 15: 686102.
- [12] 马阳光,赵可欣,董武,等.环境浓度多西环素对斑马鱼焦虑行为、认知记忆能力的影响与肠道菌群变化的关联[J].水生生物学报,2024,48(5):762-771.
MA Y G, ZHAO K X, DONG W. Environmental doxycycline anxious behavior cognitive memory ability and intestinal microflora of zebrafish [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2024, 48(5): 762-771.
- [13] 朱玉蓉.几种淡水鱼类空间学习与记忆的研究[D].武汉:中国科学院水生生物研究所,2007.
ZHU Y R. Studies on spatial learning and memory of some freshwater fishes [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [14] BURGESS N. Spatial memory: how egocentric and allocentric combine [J]. Trends in Cognitive Sciences, 2006, 10(12): 551-557.
- [15] SHETTLEWORTH S J. Cognition, evolution, and behavior [M]. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- [16] WOLBERS T, HEGARTY M. What determines our navigational abilities [J]. Trends in Cognitive Sciences, 2010, 14(3): 138-146.
- [17] TIERNEY A J, ANDREWS K. Spatial behavior in male and female crayfish (*Orconectes rusticus*): learning strategies and memory duration [J]. Animal Cognition, 2013, 16(1): 23-34.
- [18] BROWN A A, SPETTCH M L, HURD P L. Growing in circles: rearing environment alters spatial navigation in fish [J]. Psychological Sciences, 2007, 18(7): 569-573.
- [19] 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.
- [20] NICHOLS J T. The fresh-water fishes of China [M]. New York: American Museum of Natural History, 1943: 241-242.
- [21] 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. The individual differences of standard metabolic rate and behavior and their relationship in *Macropodus opercularis* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(11): 2695-2701.

- [22] 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. Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 441-448.
- [23] 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, LIM X, XIAO J. Analysis of genetic diversity of paradisefish *Macropodus opercularis* using RAPD markers [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(2): 158-161.
- [24] 谢增兰,胡锦涛,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. Observation on the breeding behavior of *Macropodus opercularis* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2006, 41(5): 7-12.
- [25] BRAITHWAITE V A, GIRVAN J R. Use of water flow direction to provide spatial information in a small-scale orientation task [J]. Journal of Fish Biology, 2003, 63(S1): 74-83.
- [26] 李武新. 锦鲤空间学习能力与其个性和能量代谢及脑容量的关联[D]. 重庆:重庆师范大学,2023.
LI W X. Relationship between spatial learning ability, personality, energy metabolism and brain size of crucian carp (*Carassius auratus*) [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2023.
- [27] KAREKLAS K, ELWOOD R W, HOLLAND R A. Personality effects on spatial learning: comparisons between visual conditions in a weakly electric fish [J]. Ethology, 2017, 123(8): 551-559.
- [28] 朱玉蓉,刘焕章.中华鲮空间认知能力的性别差异[J].华中农业大学学报,2016,35(4):82-86.
ZHU Y R, LIU H Z. Sex differences in spatial cognition ability of *Rhodeus ocellatus* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(4): 82-86.

Animal Sciences

The Spatial Learning Ability of *Macropodus opercularis*

GONG Yaxing, LI Wuxin, XU Tianqi, ZENG Lingqing

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

Abstract: Fifteen juvenile of *Macropodus opercularis* of uniform size and optimal health were utilized as experimental subjects to investigate their spatial learning capabilities. The experiment was conducted in a cross-shaped maze with road signs as visual cues, where each experimental fish underwent continuous training for 15 cycles, with one training session at noon and one at night each day, totaling 30 training sessions. To determine the spatial learning ability of *M. opercularis* by comparing the differences in learning outcomes and movement characteristics before and after spatial learning training, and to explore the changes in its locomotor characteristics during this process. Results indicated a significantly positive correlation between the number of training sessions and percentage correct of *M. opercularis* ($p < 0.05$), while foraging time and the number of reversal exhibited significantly negative correlations with the number of training sessions ($p < 0.05$). The individual swimming speed, individual swimming acceleration, percent time spent on moving, and other motion characteristic parameters of *M. opercularis* did not change significantly before and after training. The research results indicate that *M. opercularis* possesses a certain capacity for spatial learning, can establish the connection between food and visual landmarks, and there are no changes significantly in locomotor characteristics during the learning process.

Keywords: spatial cognition; memory; learning to train; landmark

(责任编辑 方 兴)