

DOI: 10.3969/j.issn.2095-9869.20251031001

http://www.yykxjz.cn/

郭浩宇, 吕陈航, 朱超军, 陈诗柳, 王玉成, 刘宇阳, 张秀梅. 鱼类认知能力研究进展. 渔业科学进展, 2026, 47(2): 129–140  
GUO H Y, LÜ C H, ZHU C J, CHEN S L, WANG Y C, LIU Y Y, ZHANG X M. Research progress of fish cognitive abilities. Progress in Fishery Sciences, 2026, 47(2): 129–140

## 鱼类认知能力研究进展\*

郭浩宇<sup>①</sup> 吕陈航 朱超军 陈诗柳 王玉成 刘宇阳 张秀梅

(浙江海洋大学 浙江 舟山 316022)

**摘要** 动物的认知能力是当前行为生态学与比较心理学的研究热点之一。作为脊椎动物中唯一完全适应水生环境的类群, 鱼类在感知、信息处理和行为决策等方面展现出独特的适应性特征。其生存所依赖的水体环境在物理结构、信号传递及生态压力等方面均与陆地存在显著差异, 这种差异塑造了鱼类独特的认知特征与行为策略。系统了解鱼类的认知行为表现及其背后的行为生态学机制, 有助于揭示动物认知能力的演化路径与适应性意义, 且对推进渔业资源可持续管理、优化水产养殖生产实践、提升养殖鱼类福利水平等也具有重要的理论指导与应用参考价值。本文围绕鱼类认知能力的研究内容展开, 重点介绍鱼类在学习记忆、空间认知、辨别能力及社群认知四个领域的研究进展, 总结了当前常用鱼类认知行为研究的实验方法与技术路径, 并在此基础上, 分析了该领域研究仍存在的局限与挑战及未来研究的重点方向, 以期深化鱼类认知理论研究、拓展其在水产养殖与渔业生态管理中的实践应用提供参考。

**关键词** 鱼类认知; 学习记忆; 鱼类福利; 社群行为; 鱼类行为

**中图分类号** S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2026)02-0129-12

动物认知是指动物通过感知系统获取外部信息, 进行神经处理与存储, 并据此做出行为决策的复杂过程, 涵盖感知、学习、记忆与决策等多个环节 (Shettleworth, 2001)。认知能力(cognitive ability)在动物的栖息地选择、觅食策略、繁殖行为以及社群互动中发挥着关键作用。动物认知机制研究已成为认知科学研究领域的重要方向之一(Lind *et al.*, 2025)。早期的行为学研究曾普遍认为, 动物的认知水平与其在进化树上的位置直接相关(van Horik, 2011)。相较于鸟类和哺乳类, 鱼类在进化树上处于相对较早的分支位置, 因此通常被视为神经结构相对简单、记忆保持时间较短, 且行为模式多受本能驱动的低认知能力类群(Rodríguez *et al.*, 2021)。近年来, 随着脑科学、行为生态学、比较心理学等研究不断深入, 学界对鱼类认

知能力的认识逐步深化(Lucon-Xiccato *et al.*, 2017)。作为完全适应水生环境的脊椎动物类群, 鱼类展现出了丰富且独特的认知行为。部分鱼类不仅具备个体识别、习惯化与条件反射等基础认知学习能力, 还能够完成包括社群学习、跨物种协作乃至工具使用在内的多种复杂认知行为(Kristiansen *et al.*, 2020)。在记忆与学习任务中, 它们表现出与某些哺乳类和鸟类相当的认知水平, 能够形成条件化联想, 并完成包括操作性条件反射在内的高级认知过程。例如, 脑斑丹鲮(*Danionella cerebrum*)可利用环境视觉线索, 预测奖励位置(Lee *et al.*, 2023)。斑马鱼(*Danio rerio*)经训练后可记忆特定视觉线索与环境几何信息之间的关联性, 形成“认知地图”, 使其能在迷宫任务中有效回避电击(Yashina *et al.*, 2019)。神经解剖学研究亦发现, 鱼类

\* 国家自然科学基金(32573485; 32102755)和国家重点研发计划项目(2023YFD2401903)共同资助。

① 通信作者: 郭浩宇, 副教授, Email: haoyuguo@163.com

收稿日期: 2025-10-31, 收修改稿日期: 2025-12-16

在执行上述认知任务时所依赖的部分脑区结构与陆生脊椎动物具有高度相似性(Bshary *et al.*, 2002; Hurtado-Parrado, 2010)。一些小型鱼类如斑马鱼, 其神经系统的基本结构、细胞类型及神经化学物质在进化上较为保守, 与人类神经系统具有一定同源性, 因而已成为研究阿尔茨海默病、帕金森病等神经退行性疾病的理想模型(Kalueff *et al.*, 2014; 刘延英, 2023)。这些研究进展不仅在一定程度上改变了鱼类为“低认知生物”的传统观点, 也为深入理解脊椎动物认知能力的演化路径与神经基础提供了重要科学依据。

此外, 近年来有关养殖鱼类福利的问题日益受到科学界与公众的关注(Chiang *et al.*, 2024)。鱼类所具备的认知能力与行为灵活性, 是其适应养殖环境和管理措施的关键基础, 与其福利状态密切相关。对鱼类认知行为的科学评估, 已成为判断其福利水平的重要依据, 理解鱼类如何感知、学习与记忆, 有助于设计更符合其行为需求的养殖系统, 优化饲养管理流程, 从而在提升生产效益的同时, 切实保障鱼类福利。

本文围绕近年来在鱼类认知研究领域关注较多的学习记忆、空间认知、辨别能力及社群认知等相关研究方向进行综述, 系统梳理最新研究进展与理论成果, 并探讨其在水产养殖与渔业管理中的潜在应用, 以期对鱼类认知相关领域的研究提供参考与启示。

## 1 鱼类的学习与记忆

动物认知过程通常涵盖感知、学习与记忆等关键环节(Shettleworth, 2001)。对于鱼类而言, 其感知过程首先通过物理与化学感受器接收外部环境刺激, 并转化为神经信号传递至中枢神经系统。大脑通过整合来自外部世界的感觉输入、自身的本体感觉信号以及其他内部生理信号, 不断构建并更新对外部环境的认知模型(Rodríguez *et al.*, 2021)。动物的感知能力是其与环境互动的基础, 而学习与记忆则是认知功能中更为高级的组成部分(Munro *et al.*, 2024)。学习是指由经验引起的行为或神经表征发生相对持久改变的过程; 记忆则是指对这些经验信息进行编码、存储和提取的能力(Okano *et al.*, 2000)。二者共同构成了鱼类适应复杂环境的认知基础, 使其能够基于过往经验做出有利于生存与繁衍的行为决策。

鱼类拥有多样化的学习方式, 涵盖印记行为(imprint behavior) (Dittman *et al.*, 1996)、习惯化(habituation) (Legorreta, 2020)、经典条件反射(classical conditioning) (Fort *et al.*, 2019)、操作性条件反射(instrumental conditioning) (Horner *et al.*, 1961)、

程序性学习(procedural learning) (Croy *et al.*, 1991)、潜在学习(potential learning) (Odling-Smee *et al.*, 2003)以及顿悟学习(insight learning) (Jungwirth *et al.*, 2024)等多种形式。早期关于鱼类学习与记忆的研究, 主要聚焦于条件反射、印记学习等基础行为机制。而随着研究手段与理论框架的发展, 当前研究已逐步扩展至空间导航、社群信息传递、风险收益决策等更为复杂的认知领域, 更加关注于鱼类在生命活动过程中所展现的灵活认知策略(Brown *et al.*, 2011; Carcea *et al.*, 2019)。例如, 德玛森小岩鲷(*Chindongo demasoni*)在经过空间任务学习后, 其定位食物的效率与准确性显著提升, 且群体决策能力随有经验个体比例的增加呈线性增强(Long *et al.*, 2022)。这种由学习塑造的“认知优势”, 不仅提高了资源获取效率, 也通过能量的优化分配, 进一步促进了个体在捕食、避险和社会协作等关键行为中的认知能力发展(Crystal, 2024)。因此, 对鱼类学习与记忆机制的深入研究, 不仅有助于揭示其认知功能的生物学基础与适应性意义, 也为理解脊椎动物认知能力的演化路径与驱动机制提供了重要的比较视角。

## 2 鱼类的空间认知能力

### 2.1 空间认知

空间认知是指动物获取、处理和重组空间信息以理解环境结构的能力, 具体表现为学习、记忆和应用三维空间信息的行为过程(Poucet, 1993)。该能力与动物的觅食、躲避捕食者、选择栖息地等关键生存行为密切相关(Fukumori *et al.*, 2010)。作为生活在复杂多变水体环境中的类群, 鱼类的生存依赖于高效且特异性的空间认知能力。当前已发现, 鱼类具备路径规划、障碍绕行、空间导航以及归巢行为在内的多种空间认知行为(Ward *et al.*, 2013; Lucon-Xiccato *et al.*, 2017; Sibeaux *et al.*, 2024)。随着比较认知生物学研究方法的不断发展, 越来越多的证据显示, 鱼类与鸟类及哺乳类在部分空间认知机制上具有相似性(Salena *et al.*, 2021)。例如, 迷宫实验表明, 坦噶尼喀湖慈鲷(*Lamprologus ocellatus*)除了能够利用路径整合导航策略外, 还可以结合环境线索和路线重演等多种策略增加导航的准确性和灵活性, 展现出与哺乳动物和鸟类相似的、复杂的空间记忆机制(Sibeaux *et al.*, 2024)。Fukumori 等(2010)对双点天竺鲷(*Apogon notatus*)的研究表明, 其能够精确返回 6 个月前的繁殖领地, 显示出长距离归巢能力与长期空间记忆。

当前, 有关鱼类空间认知的研究方法, 可根据实

验场景的控制程度,分为高度控制的室内实验与侧重生态效度的野外观测两大类。室内研究多采用迷宫或绕行实验(Lucon-Xiccato *et al.*, 2017; Kabadayi *et al.*, 2018),野外则主要通过观察鱼类在自然环境中的导航行为来测定其空间认知能力(Metcalf *et al.*, 2008)。

室内迷宫实验常采用针对性的迷宫结构设计(如 T 型迷宫、Y 型迷宫、十字迷宫、交替迷宫等,图 1),量化鱼类在空间记忆、导航及路径学习过程中展现的认知能力(Saito *et al.*, 2005)。经过多年的发展与优化,迷宫任务已成为评估鱼类空间认知的标准化工具之一。

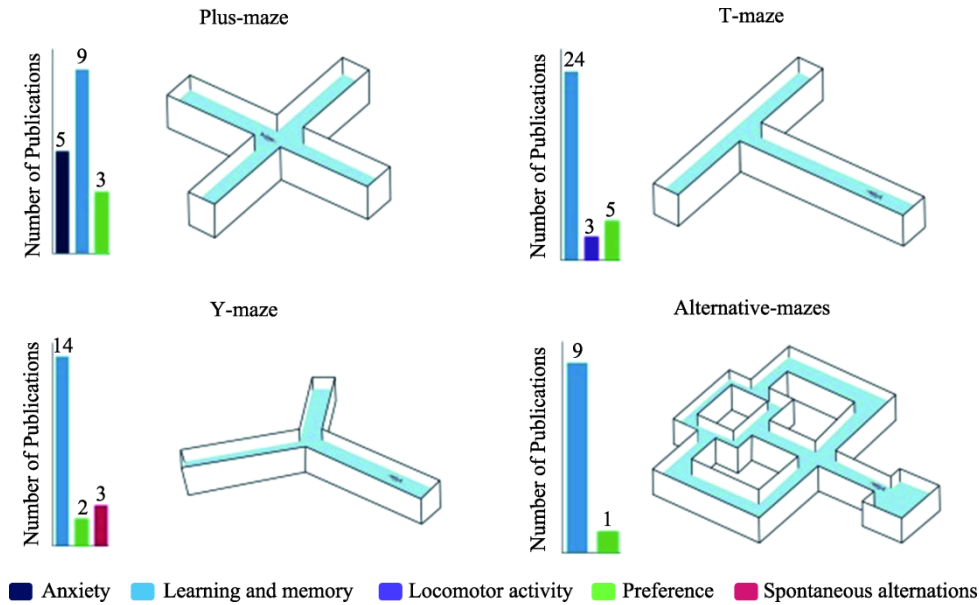


图 1 斑马鱼行为学研究文献中常见迷宫实验装置的典型设计(引自 Benvenuti *et al.*, 2021)

Fig.1 Representative design of the main maze apparatuses reported in the zebrafish behavioral research literature (from Benvenuti *et al.*, 2021)

## 2.2 空间认知策略

空间认知策略是指个体整合多种感官线索进行定位与导航的认知过程。早在 20 世纪 90 年代, Rodríguez 等(1994)便通过迷宫实验证实,金鱼能够运用不同的空间策略解决问题,并展现出类似认知地图的能力。目前,学界普遍将鱼类的空间认知策略归为两类:以自我为中心策略与以非自我为中心策略。前者依赖于对自身运动序列(如转向、位移)的记忆;而后者则通过记忆环境中的线索关系来构建“认知地图”,并综合利用视觉、嗅觉等多种信息进行定位(Wolbers *et al.*, 2010; 李武新, 2023)。Braithwaite 等(1996)研究发现,大西洋鲑(*Salmo salar*)可利用视觉线索(如彩色积木)追踪资源位置,并在视觉信息不可用时切换至嗅觉线索。在环境复杂或视觉线索受限的情况下,部分鱼类更倾向于采用以自我为中心的策略。例如,当地标位置发生变化时,彼氏锥颌象鼻鱼(*Gnathonemus petersii*)会坚持使用先前习得的自身运动路线进行导航(Schumacher *et al.*, 2017)。但对于不同生态型鱼类来说,策略的选择同样具备一定的灵活性。例如, Odling-Smee 等(2003)比较了生活于池塘

与河流中三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)的空间认知策略,发现前者在有视觉地标的迷宫中学习更快,而后者则更依赖自身运动信息。这一差异反映了栖息环境的稳定性差异对其所使用的空间认知策略的影响——池塘环境的地标更为可靠,而河流环境中水流等动态因素使自身运动信息更具适应性,体现了鱼类空间认知系统的高度适应性与可塑性。

## 3 辨别能力

### 3.1 数量辨别

数量辨别是指个体区分不同数量集合并判断其相对多少的能力。作为动物认知中最基础的数字处理形式,其在优化决策、社会互动以及规避环境风险等决策过程中均发挥着重要作用(Reznikova *et al.*, 2011)。近几十年的研究逐步证实,数量辨别能力广泛存在于鱼类群体中(Agrillo *et al.*, 2009; Reznikova *et al.*, 2011)。当前学界普遍认为,鱼类主要依赖于近似数量系统进行数量辨别,而非精确计数。该系统使个体在不进行逐一点算的情况下,对数量进行快速、直观的近似估计。其精确度遵循韦伯定律,即辨别两

个数量的难度随其数值增大而增加(Feigenson *et al.*, 2004; Jordan *et al.*, 2006)。例如, 斑马鱼能够成功区分1:2与2:3的数值比, 但当比例升至3:4及以上时, 其辨别表现则显著下降(Potrich *et al.*, 2015)。此外, 部分研究也表明, 鱼类的数量辨别能力还会受到如社会互动(如群体组成)和个体个性(如大胆性)等因素的影响(Xiong *et al.*, 2018; Bai *et al.*, 2019; Fu *et al.*, 2024), 表明鱼类的数量辨别能力是受外在环境与内在状态动态影响的适应性认知过程。

值得注意的是, 鱼类在完成数量辨识任务时通常会同时利用数值信息与连续变量信息(如物体总表面积、密度、轮廓周长等)(Miletto *et al.*, 2014; 赵鑫等, 2018)。因此, 相关实验的设计必须要严格控制这些连续变量, 以确保实验结果的有效性。当数值信息与连续变量信息相冲突时, 部分鱼类会优先依赖后者进行决策(Agrillo *et al.*, 2009)。例如, 食蚊鱼(*Gambusia affinis*)在群体大小辨别任务中可以有效区分数值信息, 但当群体数量超过4尾鱼时, 其分辨能力则取决于鱼群数量比(Agrillo *et al.*, 2008)。此外, 社会情境也对鱼类的数量辨别表现具有明显的影响。研究发现, 中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)在群体测试中的辨别阈值高于其单独测试时的表现, 并且表现出对高密度群体的显著偏好(唐中华等, 2016; 赵鑫等, 2018)。因此, 在开展有关鱼类数量辨别能力的研究过程中, 必须综合考虑其认知机制的内在规律与外部环境的复杂影响。

### 3.2 捕食者-猎物辨别

在自然水体中, 鱼类必须持续进行风险与收益的权衡, 协调觅食、繁殖等必要活动与躲避天敌之间的关系(Lima, 1998)。因此, 快速准确地识别捕食者与猎物, 成为确保其生存的关键认知能力(龙珍满等, 2023)。由于水生环境的复杂性, 鱼类需高度依赖多感官整合以完成精确辨别。它们可以通过整合视觉(形态与行为)、化学(警戒信息素与气味)及机械感觉(侧线对水流振动的感知)等多种线索, 综合判断目标类型、距离和威胁等级(Ferrari *et al.*, 2007; Newport *et al.*, 2018)。例如, 大头丽脂鲤(*Astyanax bimaculatus*)对视觉与化学线索均能产生反应, 且在两者同时存在时表现出反捕食行为的叠加增强(Elvidge *et al.*, 2012)。部分鱼类甚至能将已习得的捕食者信息概化至具有相似特征的其他威胁, 显示出一定的认知泛化能力(Ferrari *et al.*, 2010)。

鱼类的辨别行为还展现出高度的环境可塑性与状态依赖性。当视觉线索因水体浑浊而受限时, 胖头

鲮(*Pimephales promelas*)对捕食者的反应强度会相应减弱(Ferrari *et al.*, 2010)。同时, 个体的生理状态(如应激水平)也深刻影响其决策能力, 例如泰国斗鱼(*Betta splendens*)在中等皮质醇水平时表现出最优的觅食效率(Bessa *et al.*, 2023)。这些发现共同表明, 鱼类捕食者-猎物辨别是一个融合多感官输入、依赖学习记忆、并能随环境与内在状态动态调整的复杂认知过程。

## 4 社群认知能力

### 4.1 社群学习

社群学习是指动物通过观察其他个体, 获取新信息、掌握新技能的学习方式, 对其行为塑造起着关键作用(Vilhunen *et al.*, 2005)。这种能力使鱼类能够高效地适应新环境、定位食物来源并规避捕食风险, 从而显著降低独自探索的风险与时间成本(Laland *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 2002)。在觅食方面, 将不具备摄食新饵技能的河鲈(*Perca fluviatilis*)幼鱼与有经验的个体混养, 可使其摄食能力迅速提升(Magnhagen *et al.*, 2003)。在反捕食方面, 鱼类观察同类遭受攻击后, 会形成强烈的负反馈, 此后遇到相同捕食者时会立即表现出逃逸行为(Horn *et al.*, 2019)。对于鱼类来说, 社群学习并不只是盲目的模仿, 鱼类个体在利用社群提供的信息时, 还会遵循“博弈论”的观点, 即通过对不同个体的观察, 表现出对学习环境与信息提供者(示范者)的选择性。例如, Lachlan等(1998)发现在迷宫任务中孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)更有可能跟随一个有经验的个体, 而不是跟随一条无经验的鱼。即鱼类具备有效区分学习对象学习价值的的能力, 这种能力极大地提高了社群学习的效率与准确性。但其实际效应也存在一定的不可预测性。当最初的示范对象所采取的方案并非最佳方案时, 后续加入个体也可能会继续习得非最佳方案, 并通过信息传递链在群体内继续传播。例如, 采用传递链实验训练小群体孔雀鱼选择非最优路径觅食(较长路线), 在训练过程中逐渐用未经训练的个体替换初始群体成员, 即使最初的小群体已被完全移除, 未经训练的新加入个体仍会选择较长路线(Laland *et al.*, 1997)。表明无论经验的价值优劣, 均有可能通过社群学习在群体中维持和传递, 从而形成稳定的群体行为模式。这种现象也同样揭示了社群学习在群体行为塑造中的重要作用。

### 4.2 社群等级

社群等级是鱼类适应群居生活的一种关键行为策略。等级制度的建立与维持依赖于个体识别、关系记忆等复杂的社会认知能力(Guadagno *et al.*, 2024),

并通过视觉、化学及听觉等信号在个体间传递地位信息(Fernald, 2014)。为探究社会等级形成机制(特别是支配行为的作用及支配-从属个体差异),常采用社交挫败模型(Social defeat paradigms)开展研究(Lai *et al.*, 2023)。该模型通常将同性别鱼配对或组建小型混合性别群体,使其通过互动形成等级结构(Bozi *et al.*, 2021; Culbert *et al.*, 2023)。在社会等级形成过程中,支配个体通常表现出更高的攻击性(追逐、啃咬),并可能伴随体色增强(Lim *et al.*, 2020; Culbert *et al.*, 2023)。从属个体则多表现出回避、体色暗淡等屈服信号,并活动于边缘区域。社群等级的形成会导致群体内出现较大的个体差异,引发自残行为,导致弱势个体的淘汰,但对于维护社群稳定、减少社群内部争斗、确保种群的整体延续等具有重要的积极意义(Guo *et al.*, 2017)。

#### 4.3 社群合作

合作行为体现了动物的社会认知复杂性,在鱼类中则展现出从简单互利共生到高度协调的联合行动

等多种形式(Soares, 2017)(图2)。这些行为均在一定程度上展现了鱼类处理社会关系、权衡成本收益的认知能力。鱼类的合作可发生在种内或种间,主要包括互利合作、亲缘合作、无成本合作与群体选择等类型(Brown *et al.*, 2011)。其中最典型的合作形式为互利合作,即不同物种通过互动获得共同利益。裂唇鱼(*Elacatinus oceanops*)与“客户鱼”的互作是最典型的研究案例之一。裂唇鱼以“客户鱼”体表寄生虫与碎屑为食,但有时会“欺骗”客户,取食其皮肤粘液而非寄生虫(Bshary *et al.*, 2006a)。该类合作涉及复杂的机制,如合作双方如何达成一致、如何权衡成本与收益等,是当前鱼类合作行为研究的典型模式之一。与互利合作相比,亲缘合作多发生于具有亲缘关系的个体之间,且合作双方常需付出一定成本。例如,慈鲷科(Cichlidae)鱼类中,双亲常分工合作繁殖,雄鱼巡逻领地,雌鱼守护卵(Reebs, 2011)。新一代幼鱼还会出现留巢协助亲代抚育下一代,共同承担驱赶入侵者、照看鱼卵等育幼现象(Sato *et al.*, 2024)。无成本合作

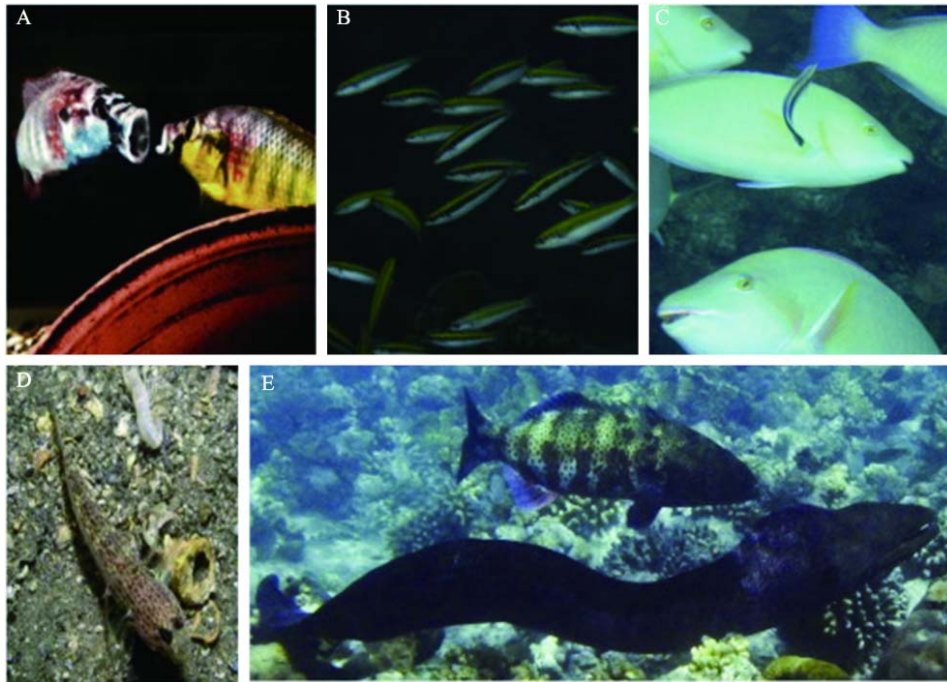


图2 鱼类社群认知示例(引自 Bshary *et al.*, 2014)

Fig.2 Examples of fish social cognitive ability (from Bshary *et al.*, 2014)

A: 伯氏妊丽鱼(*Astatotilapia burtoni*)能运用传递性推理预测雄性个体间的等级关系(图源: Russ Fernald);

B: 以双带锦鱼(*Thalassoma bifasciatum*)的产卵洄游为例,说明鱼类群体中可形成特定传统(图源: Robert Warner);

C: 裂唇鱼会根据周围是否有旁观者调整自己的清洁服务质量; D: 岩塘鳢能利用认知地图在水池间实现“盲跳”;

E: 石斑鱼与海鳗协作开展联合捕猎(图源: Alexander Vail)

A: The cichlid *Astatotilapia burtoni* uses transitive inference to predict male hierarchies (Image: Russ Fernald). B: Spawning migrations in the wrasse *Thalassoma bifasciatum* as an example for arbitrary traditions (Image: Robert Warner). C: Cleaner wrasse adjust service quality to the presence of bystanders. D: Rock pool blennies use cognitive maps to jump ‘blindly’ between pools.

E: Groupers coordinate joint hunting with moray eels (Image: Alexander Vail).

指多个个体共同行动以实现单一个体难以完成的目标,且合作者无需付出额外代价(Connor, 1995)。例如, 蠕线鳃棘鲈(*Plectropomus pessuliferus*)与爪哇裸胸鲷(*Gymnothorax javanicus*)会采用不同的狩猎策略协同捕猎,其成功率高于单独行动,而合作本身并未给任何一方带来额外成本(Bshary *et al.*, 2006b)。而群体选择则是最复杂的合作形式之一,此类合作要求鱼类能够识别合作者并判断合作收益。常见于群体协同防御捕食者。例如,孔雀鱼在进行合作性捕食时,其行为受同伴行为调节(Edenbrow *et al.*, 2017)。当同伴更接近捕食者时,它们也更接近,当同伴保持保守距离时,它们亦维持较远距离。这种对同伴行为的实时监测与策略性调整,不仅体现了高度发展的社会认知复杂性,也是许多动物(包括部分鸟类和哺乳类)维持群体协同性的关键认知基础。

## 5 鱼类认知能力在水产养殖和渔业中的应用

### 5.1 养殖鱼类的驯化

在养殖实践中,常通过建立经典条件反射(如将声音、光信号与投喂关联)或操作条件反射(如训练鱼类触碰目标物以获取食物),来引导鱼类在特定时间和地点集中摄食。此举旨在减少饲料浪费、提高转化率,并便于观察鱼群健康状况。其中,基于声音信号的投喂操作,即“音响驯化”或声学驯化技术,已在养殖生产中广泛应用(Jobling *et al.*, 2001)。该技术基于鱼类的听觉特性,通过将特定声音信号与投喂结合,形成条件反射,实现精准投喂,提高投喂效率(邢彬彬等, 2018)。该技术目前已在黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)、真鲷(*Pagrus major*)、大西洋鲑(*Salmo salar*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等多种鱼类中成功应用(Abbott, 1972; Tlustý *et al.*, 2008; 袁华荣等, 2012)。部分研究还拓展至海洋牧场增殖苗种诱集等应用场景(陈德慧等, 2012)。

### 5.2 增殖放流苗种驯化

人工繁育苗种的野外存活率是鱼类增殖放流实践成效的关键问题(Osathanunkul *et al.*, 2023)。已有研究发现,人工繁育苗种的生物学特征会发生显著变化(章龙珍等, 2018; Cámara Ruiz *et al.*, 2019; 刘鑫等, 2019),引发行为表型异常。例如,部分鱼类的人工繁育苗种会出现极高的嗅觉器官畸变率(章龙珍等, 2018),侧线系统等感知器官的形态结构也与野生群体存在明显差异(刘鑫等, 2019),推测其感知能力可能与野生个体存在不同。此外,人工繁育苗种在养殖

环境下通常缺乏适宜的环境刺激,捕食-反捕食行为缺失,使其在自然界栖息环境中缺少识别天然饵料以及捕食者的能力。另外,人工养殖苗种往往具有更大的胆量(Sales *et al.*, 2023)、更高的摄食量(Futia *et al.*, 2025)以及昼夜节律的改变等(Yokota *et al.*, 2006),对于以增殖放流为最终目的的养殖鱼类来说,这些行为表型的改变会引发一系列的适应性缺陷,最终影响苗种的放流存活率(石小涛等, 2012; Johnsson *et al.*, 2014; Guo *et al.*, 2022)。因此,在增殖苗种的繁育过程中,应有针对性地设计并实施认知强化训练,弥补人工苗种的认知缺陷,改善其行为适应性。近年来,国内外有学者从环境丰容(Näslund *et al.*, 2016; 郭浩宇等, 2015; Zhang *et al.*, 2020)、捕食者暴露(付成等, 2018)及活饵捕食训练(Meilisza *et al.*, 2011)等角度开展了探索性研究。部分研究已证实,采用适当的训练方法可在一定程度上有效弥补人工苗种的关键认知缺陷,提高部分养殖鱼类的野外生存能力(Rae *et al.*, 2020),为针对性开展鱼类放流苗种的行为驯化提供了重要理论支撑。

### 5.3 养殖鱼类福利水平判断

认知能力是动物应对环境挑战的关键基础,其行为表现(如刻板行为、学习动机、探索倾向等)可有效反映个体的主观体验与福利状态(Bshary *et al.*, 2022)。近年来,随着动物福利理念逐渐深入人心,鱼类的福利问题日益受到重视。对鱼类学习与认知能力的深入研究,为科学评估养殖鱼类的感知状态与行为需求提供了关键依据,有助于系统识别并改善人工养殖环境下的鱼类福利状况。研究表明,长期处于贫瘠养殖环境中的鱼类会出现空间记忆衰退、环境探索行为减少等认知缺陷,这些表现都是福利水平下降的重要行为标志(Oliveira *et al.*, 2022)。通过环境丰容或认知训练干预后,鱼类在认知任务中可表现出更高的成功率和更强的行为灵活性,可作为福利状况改善的间接体现(Zhang *et al.*, 2021)。因此,将认知能力评估纳入养殖鱼类福利综合评价体系,有助于建立更客观、精准的福利监测指标。

### 5.4 捕捞渔业的应用

声与光是鱼类感知环境的关键信息媒介。人工声光刺激可通过模拟自然信号(如猎物活动声、聚集光)来有效引导鱼类的行为(Popper *et al.*, 1998; 何晨睿等, 2024)。基于这一原理,捕捞渔业中可利用鱼类的声光趋向性实现集鱼,从而提升捕捞作业效率。例如,通过调节 LED 灯的光强和脉冲模式,可以吸引并改

变集群鱼类的聚集状态(Sugandi *et al*, 2019)。而声音在水下传播距离远、衰减慢,可在更广范围实现对鱼群的群体行为控制。例如,采用声学回放技术对入侵物种圆鳊虎鱼(*Neogobius melanostomus*)进行诱捕,其效果甚至优于传统食物诱饵(Turco *et al*, 2025)。因此,深入开展基于鱼类认知机制的声光诱集技术研究,对促进捕捞渔业发展、提高捕捞效益均具有重要的应用价值。

## 6 总结与展望

近年来随着研究手段的进步与研究视角的拓展,有关鱼类认知能力的相关研究已迅速发展为行为生态学与比较认知科学的重要组成部分。研究内容也从早期对简单反射行为的观察,逐步扩展为对复杂认知能力的系统性探索,揭示出鱼类在感知、学习、记忆、决策和社会互动等多个认知维度上具有丰富且灵活的表现。但是,尽管目前该领域已取得诸多突破性成果,我们仍需清醒地认识到,鱼类认知的相关研究在概念界定、研究手段、方法标准化及应用实践等方面仍存在诸多空白与挑战。

(1)认知概念界定是认知能力研究开展的前提。学界普遍采用功能性定义,将认知视为“动物获取、处理、存储并利用环境信息以指导行为的过程”(Shettleworth, 2009)。然而,该定义在具体研究中常因其宽泛性而难以转化为可操作的实验方法,导致实验设计缺乏针对性,难以形成统一规范的研究路径。因此,未来在开展鱼类认知能力研究前,需要针对不

同认知能力,给出更明确的定义,有针对性地设计研究方法,对鱼类不同的认知能力开展全面、深入、系统性的评估。

(2)认知量化测定方法的优化是认知能力研究的基础。随着研究方法的不断进步,目前已发展出多种标准化实验方法用于评估鱼类不同维度的认知能力(表 1)。这些方法经过反复验证,在实验室条件下具有较高的可信度与效度。然而,鱼类生活在高度复杂的水生环境中,现有室内认知测试方法往往难以真实反映动物在自然状态下的认知能力,其结果的生态效度常受到质疑(Johnson-Ulrich *et al*, 2020; Bshary *et al*, 2022)。近年来,还有研究开始采用“认知电池组”(cognitive battery)方法,从不同维度系统评估认知能力(Medina-García *et al*, 2021),在一定程度上提高了评估的全面性。后续鱼类认知能力的研究应提升实验方法的自然生态效度并建立鱼类的认知能力标准化测试体系,为揭示自然背景下鱼类的认知能力提供完备的研究方法论。

(3)种间分化与种内可塑性差异是认知能力研究的关键考量。鱼类作为脊椎动物中物种多样性最高的类群,在体型、脑结构、感官系统、社会结构与生态位等方面均表现出巨大差异,这直接导致了鱼类认知能力的显著种间分化与种内可塑性(Patton *et al*, 2015)。例如,群居性鱼类常展现出复杂的社会认知能力,而独居物种可能更多依赖领域记忆与条件反射(Bai *et al*, 2019)。此外,认知能力亦随个体发育阶段动态变化,幼鱼与成鱼在学习和记忆策略上可能采取

表 1 不同认知能力测试方法  
Tab.1 Different cognitive ability test methods

认知能力类别 Cognitive ability categories	测定方法 Methods	评估指标 Indicators	参考文献 References
学习与记忆	条件反射实验(经典/操作性)、 印记学习实验(洄游路径选择)	反应时间、学习速率、记忆保持时间、 反应强度或频率、洄游精确度等	Bull, 1928; Dittman <i>et al</i> , 1996
空间认知	迷宫导航任务、归巢行为观察、 三维空间线索冲突实验	目标定位时间、试错次数、归巢成功 率、归巢距离、维度线索选择偏好等	Lucon-Xiccato <i>et al</i> , 2017; Ward <i>et al</i> , 2013; Holbrook <i>et al</i> , 2009
数量辨别	群体大小选择任务	群体选择偏好、选择反应时间等	Potrich <i>et al</i> , 2015
视觉辨别	颜色/形状/方向辨别任务、 个体识别实验	辨别准确率、学习速率、社会偏好 选择等	Santacà <i>et al</i> , 2021; Milinski <i>et al</i> , 1990
捕食者-猎物辨别	捕食者识别任务、化学/ 视觉线索暴露实验	离开庇护所距离、庇护所内潜伏期、 捕食者对猎物的反应	Mitchell 2012; Elvidge <i>et al</i> , 2012
社会认知	社群学习任务、社会等级观察、 合作行为测试	社群学习效率、运动状态、合作 成功率/欺骗行为频率	Lachlan <i>et al</i> , 1998; Bozi <i>et al</i> , 2021; Sato <i>et al</i> , 2024

不同的适应策略(Montalbano *et al.*, 2023)。这种高度的多样性意味着难以建立一套普遍适用的认知测试体系。因此,在未来的相关研究中应更加重视认知能力的个体差异、可塑性及其在整个生命周期中的发展轨迹,系统探讨早期经验、社群环境等因素如何共同塑造个体的认知表型,从而更全面地理解鱼类认知能力的形成与演化规律。

(4)跨学科融合是深化认知能力研究的重要手段。鱼类认知研究本质上属于交叉学科范畴,尽管行为学层面对鱼类认知能力的量化方法已日趋成熟,但对认知机制的全面理解必须结合神经、遗传与环境等多维度信息。当前,跨学科合作研究在该领域的应用仍严重不足,行为学研究与神经科学、基因组学、生态学及计算科学等领域的融合仍不够深入。未来在鱼类认知能力相关方向研究过程中,应积极推进跨学科交叉融合,深入解析认知能力的神经基础与进化驱动力。同时,应借助人工智能和大数据分析等方法,高效处理复杂的行为数据,揭示个体与群体认知的动态规律。通过多学科协作,不仅有望在理论层面深化对鱼类认知机制的理解,也将为水产养殖、渔业资源管理以及鱼类福利提升等实践领域提供更加丰富的科学参考。

## 参 考 文 献

- 陈德慧, 刘洪生, 胡庆松, 等. 网箱中黑鲷音响驯化的诱集效果探究. 上海海洋大学学报, 2012(4): 554-560 [CHEN D H, LIU H S, HU Q S, *et al.* Attractive effect of acoustic taming on *Sparus macrocephalus* in a cage. Journal of Shanghai Ocean University, 2012(4): 554-560]
- 付成, 何静, 彭竹清, 等. 短期捕食胁迫对鲤幼鱼生长和形态特征的影响. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(2): 51-55 [FU C, HE J, PENG Z Q, *et al.* Effects of short-term predation stress on growth and morphology in juvenile common carp. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2018, 35(2): 51-55]
- 郭浩宇, 张秀梅, 高天翔. 人工隐蔽物及投喂频率对许氏平鲈幼鱼生长和行为的影响. 中国水产科学, 2015, 22(2): 319-331 [GUO H Y, ZHANG X M, GAO T X. Effects of artificial shelters and feeding frequency on growth and behavior of juvenile *Sebastes schlegelii*. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 319-331]
- 何晨睿, 李晓兵, 达瓦, 等. 不同声音对草鱼幼鱼趋音性行为反应影响研究. 渔业科学进展, 2024, 45(4): 86-96 [HE C R, LI X B, DA W, *et al.* Study on that effect of different sound on the negative phonotactic behavior of juvenile grass carp. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(4): 86-96]
- 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. 重庆师范大学硕士研究生学位论文, 2023 [LI W X. Relationship between spatial learning ability, personality, energy metabolism and brain size of crucian carp (*Carassius auratus*). Master's Thesis of Chongqing Normal University, 2023]
- 刘鑫, 张东, 林听听. 养殖与野外捕获大黄鱼躯干侧线系统的初步比较. 海洋渔业, 2019, 41(6): 736-743 [LIU X, ZHANG D, LIN T T. A preliminary study of trunk lateral line system in cultured and wild-caught *Larimichthys crocea*. Marine Fisheries, 2019, 41(6): 736-743]
- 刘延英. 斑马鱼模型在神经退行性疾病研究中的应用进展. 中国实验动物学报, 2023, 31(10): 1361-1367 [LIU Y Y. Progress in the application of the zebrafish models in the study of neurodegenerative diseases. Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica, 2023, 31(10): 1361-1367]
- 龙珍满, 朱峰跃, 郭杰, 等. 捕食胁迫对“四大家鱼”幼鱼生理反应的影响. 渔业科学进展, 2023, 44(3): 111-123 [LONG Z M, ZHU F Y, GUO J, *et al.* Effects of predation stress on the physiological responses of juvenile four major Chinese carps. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(3): 111-123]
- 石小涛, 陈求稳, 庄平, 等. 提高摄食-反捕食能力导向的鱼类野化训练方法述评. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3235-3240 [SHI X T, CHEN Q W, ZHUANG P, *et al.* Life skill trainings for hatchery fish to improve its foraging and anti-predation capability in natural environment: A review. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(12): 3235-3240]
- 唐中华, 付世建. 集群有利于提高中华倒刺鲃幼鱼的数值辨别能力. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(6): 32-36 [TANG Z H, FU S J. Numerical discrimination of juvenile Qingbo improved by shoaling. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2016, 33(6): 32-36]
- 邢彬彬, 殷雷明, 张国胜, 等. 鱼类的听觉特性与应用研究进展. 海洋渔业, 2018(4): 495-503 [XING B B, YIN L M, ZHANG G S, *et al.* Progress on the auditory characteristics of fish and their application. Marine Fisheries, 2018(4): 495-503]
- 袁华荣, 陈丕茂, 贾晓平, 等. 200Hz 方波连续音对真鲷幼鱼驯化反应的研究. 渔业现代化, 2012, 39(1): 27-33 [YUAN H R, CHEN P M, JIA X P, *et al.* Research on the behavior of juvenile *Chrysophrys major* acoustic tamed through rectangular continuant at 200 Hz in Northern South China Sea. Fishery Modernization, 2012, 39(1): 27-33]
- 赵鑫, 唐中华, 柏杨, 等. 群体密度对中华倒刺鲃幼鱼数量辨别力的影响. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(1): 31-35 [ZHAO X, TANG Z H, BAI Y, *et al.* The effect of shoal density on numerical discrimination of juvenile Qingbo. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2018, 35(1): 31-35]
- 章龙珍, 庄平, 张涛, 等. 中华鲟幼鱼人工繁殖群体与自然繁殖群体鼻孔及骨板差异研究. 海洋渔业, 2018(5): 560-568 [ZHANG L Z, ZHUANG P, ZHANG T, *et al.* On the differences of nostril and osseous plate between artificial and natural breeding juvenile *Acipenser sinensis* Gray. Marine Fisheries, 2018(5): 560-568]

- ABBOTT R R. Induced aggregation of pond-reared rainbow trout (*Salmo gairdneri*) through acoustic conditioning. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1972, 101(1): 35–43
- AGRILLO C, DADDA M, SERENA G, *et al.* Do fish count? Spontaneous discrimination of quantity in female mosquitofish. *Animal Cognition*, 2008, 11(3): 495–503
- AGRILLO C, DADDA M, SERENA G, *et al.* Use of number by fish. *PLoS One*, 2009, 4(3): e4786
- BAI Y, TANG Z H, FU S J. Numerical ability in fish species: Preference between shoals of different sizes varies among singletons, conspecific dyads and heterospecific dyads. *Animal Cognition*, 2019, 22(2): 133–143
- BENVENUTTI R, MARCON M, GALLAS-LOPES M, *et al.* Swimming in the maze: An overview of maze apparatuses and protocols to assess zebrafish behavior. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2021, 127: 761–778
- BESSA W M, CADENGUE L S, LUCHIARI A C. Fish and chips: Using machine learning to estimate the effects of basal Cortisol on fish foraging behavior. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2023, 17: 1028190
- BOZI B, RODRIGUES J, LIMA-MAXIMINO M, *et al.* Social stress increases anxiety-like behavior equally in male and female zebrafish. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2021, 15: 785656
- BRAITHWAITE V A, ARMSTRONG J D, MCADAM H M, *et al.* Can juvenile Atlantic salmon use multiple cue systems in spatial learning? *Animal Behaviour*, 1996, 51(6): 1409–1415
- BROWN C, LALAND K N. Social learning of a novel avoidance task in the guppy: Conformity and social release. *Animal Behaviour*, 2002, 64(1): 41–47
- BROWN C, LALAND K, KRAUSE J. *Fish cognition and behavior*. Wiley, 2011
- BROWN G E, ELVIDGE C K, FERRARI M C O, *et al.* Understanding the importance of episodic acidification on fish predator–prey interactions: Does weak acidification impair predator recognition? *Science of the Total Environment*, 2012, 439: 62–66
- BSHARY R, BROWN C. Fish cognition. *Current Biology*, 2014, 24(19): R947–R950
- BSHARY R, GRUTTER A S. Image scoring and cooperation in a cleaner fish mutualism. *Nature*, 2006a, 441(7096): 975–978
- BSHARY R, HOHNER A, AIT-EL-DJOUDI K, *et al.* Interspecific communicative and coordinated hunting between groupers and giant Moray eels in the Red Sea. *PLoS Biology*, 2006b, 4(12): e431
- BSHARY R, TRIKI Z. Fish ecology and cognition: Insights from studies on wild and wild-caught teleost fishes. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2022, 46: 101174
- BSHARY R, WICKLER W, FRICKE H. Fish cognition: A primate’s eye view. *Animal Cognition*, 2002, 5(1): 1–13
- BULL H O. Studies on conditioned responses in fishes. Part I. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1928, 15(2): 485–533
- CARCEA I, FROEMKE R C. Biological mechanisms for observational learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 2019, 54: 178–185
- CHIANG C, FRANKS B. Disaggregating animal welfare risks in aquaculture. *Science Advances*, 2024, 10(42): eadn8782
- CONNOR R C. The benefits of mutualism: A conceptual framework. *Biological Reviews*, 1995, 70(3): 427–457
- CROY M I, HUGHES R N. The role of learning and memory in the feeding behaviour of the fifteen-spined stickleback, *Spinachia spinachia* L. *Animal Behaviour*, 1991, 41(1): 149–159
- CRYSTAL J D. Animal cognition: Time mapping in the wild. *Current Biology*, 2024, 34(13): R620–R622
- CULBERT B M, BORDER S E, FIALKOWSKI R J, *et al.* Social status influences relationships between hormones and oxidative stress in a cichlid fish. *Hormones and Behavior*, 2023, 152: 105365
- DITTMAN A, QUINN T. Homing in Pacific salmon: Mechanisms and ecological basis. *The Journal of Experimental Biology*, 1996, 199(Pt 1): 83–91
- EDENBROW M, BLEAKLEY B H, DARDEN S K, *et al.* The evolution of cooperation: Interacting phenotypes among social partners. *The American Naturalist*, 2017, 189(6): 630–643
- ELVIDGE C K, BROWN G E. Visual and chemical prey cues as complementary predator attractants in a tropical stream fish assemblage. *International Journal of Zoology*, 2012, 2012(1): 510920
- FEIGENSON L, DEHAENE S, SPELKE E. Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 2004, 8(7): 307–314
- FERNALD R D. *Cognitive skills needed for social hierarchies*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2014, 79: 229–236
- FERRARI M C O, GONZALO A, MESSIER F, *et al.* Generalization of learned predator recognition: An experimental test and framework for future studies. *Proceedings of Biological Sciences*, 2007, 274(1620): 1853–1859
- FERRARI M C O, LYSACK K R, CHIVERS D P. Turbidity as an ecological constraint on learned predator recognition and generalization in a prey fish. *Animal Behaviour*, 2010, 79(2): 515–519
- FORT T D, NEGLEY J, MCEWEN T. Drinks like a fish: The effects of ethanol on associative learning in zebrafish (*Danio rerio*). *International Journal of Comparative Psychology*, 2019, 32: 1–11
- FU S J, ZHANG N, FAN J. Personality and cognition: Shoal size discrimination performance is related to boldness and sociability among ten freshwater fish species. *Animal Cognition*, 2024, 27(1): 6
- FUKUMORI K, OKUDA N, YAMAOKA K, *et al.* Remarkable spatial memory in a migratory cardinalfish. *Animal*

- Cognition, 2010, 13(2): 385–389
- FUTIA M H, RINCHARD J, MARSDEN J E. Diet patterns differ between naturally-and hatchery-produced lake trout across life stages. *Journal of Great Lakes Research*, 2025: 102570
- GUADAGNO A, TRIKI Z. Executive functions and brain morphology of male and female dominant and subordinate cichlid fish. *Brain and Behavior*, 2024, 14(5): e3484
- GUO H Y, ZHANG X M, JOHANSSON J I. Effects of size distribution on social interactions and growth of juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Applied Animal Behaviour Science*, 2017, 194: 135–142
- GUO H Y, ZHANG X F, NÄSLUND J, *et al.* Differences in external morphology, body composition and swimming performance between hatchery- and wild-Origin marbled rockfish (*Sebastes marmoratus*). *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 912129
- HOLBROOK R I, DE PERERA T B. Separate encoding of vertical and horizontal components of space during orientation in fish. *Animal Behaviour*, 2009, 78(2): 241–245
- HORN M E, FERRARI M C, CHIVERS D P. Retention of learned predator recognition in embryonic and juvenile rainbow trout. *Behavioral Ecology*, 2019, 30(6): 1575–1582
- HORNER J L, LONGO N, BITTERMAN M E. A shuttle box for fish and a control circuit of general applicability. *The American Journal of Psychology*, 1961, 74: 114–120
- HURTADO-PARRADO C. Neuronal mechanisms of learning in teleost fish. *Universitas Psychologica*, 2010, 9(3): 663–678
- JOBLING M, COVES D, DAMSGARD B, *et al.* Techniques for measuring feed intake. *Food intake in fish*, Wiley Online Library, 2001, 49–87
- JOHNSON-ULRICH L, HOLEKAMP K E, HAMBRICK D Z. Innovative problem-solving in wild hyenas is reliable across time and contexts. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 13000
- JOHANSSON J I, BROCKMARK S, NÄSLUND J. Environmental effects on behavioural development consequences for fitness of captive-reared fishes in the wild. *Journal of Fish Biology*, 2014, 85(6): 1946–1971
- JORDAN K E, BRANNON E M. Weber's Law influences numerical representations in *Rhesus* macaques (*Macaca mulatta*). *Animal Cognition*, 2006, 9(3): 159–172
- JUNGWIRTH A, HORSFIELD A, NÜHRENBURG P, *et al.* Estimating cognitive ability in the wild: Validation of a detour test paradigm using a cichlid fish (*Neolamprologus pulcher*). *Fishes*, 2024, 9(2): 50
- KABADAYI C, BOBROWICZ K, OSVATH M. The detour paradigm in animal cognition. *Animal Cognition*, 2018, 21(1): 21–35
- KALUEFF A V, STEWART A M, GERLAI R. Zebrafish as an emerging model for studying complex brain disorders. *Trends in Pharmacological Sciences*, 2014, 35(2): 63–75
- KRISTIANSEN T S, FERNO A, PAVLIDIS M A, *et al.* The welfare of fish. Vol. 515. Cham, Switzerland: Springer, 2020
- LACHLAN R F, CROOKS L, LALAND K N. Who follows whom? Shoaling preferences and social learning of foraging information in guppies. *Animal Behaviour*, 1998, 56(1): 181–190
- LAI N H Y, MOHD ZAHIR I A, LIEW A K Y, *et al.* Teleosts as behaviour test models for social stress. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2023, 17: 1205175
- LALAND K N, WILLIAMS K. Shoaling generates social learning of foraging information in guppies. *Animal Behaviour*, 1997, 53(6): 1161–1169
- LEE T J, BRIGGMAN K L. Visually guided and context-dependent spatial navigation in the translucent fish *Danionella cerebrum*. *Current Biology*, 2023, 33(24): 5467–5477.e4
- LEGORRETA M E. Visual learning and its underlying neural substrate in two species of teleost fish (Zebrafish and Ambon damselfish). *Doctoral Dissertation of University of Queensland*, 2020
- LIM C H, SOGA T, LEVAVI-SIVAN B, *et al.* Chronic social defeat stress up-regulates spexin in the brain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports*, 2020, 10: 7666
- LIMA S L. Stress and decision making under the risk of predation: Recent developments from behavioral, reproductive, and ecological perspectives. *Stress and Behavior*. Amsterdam: Elsevier, 1998, 215–290
- LIND J, JON-AND A. A sequence bottleneck for animal intelligence and language? *Trends in Cognitive Sciences*, 2025, 29(3): 242–254
- LONG J X, FU S J. Spatial learning of individual cichlid fish and its effect on group decision making. *Animals*, 2022, 12(10): 1318
- LUCON-XICCATO T, BERTOLUCCI C. Inhibitory control in zebrafish, *Danio rerio*. *Journal of Fish Biology*, 2020, 97(2): 416–423
- LUCON-XICCATO T, BISAZZA A. Complex maze learning by fish. *Animal Behaviour*, 2017, 125: 69–75
- MAGNHAGEN C, STAFFAN F. Social learning in young-of-the-year perch encountering a novel food type. *Journal of Fish Biology*, 2003, 63(3): 824–829
- MEDINA-GARCÍA A, WRIGHT T F. An integrative measure of cognitive performance, but not individual task performance, is linked to male reproductive output in budgerigars. *Scientific Reports*, 2021, 11: 11775
- MEILISZA N, HIRNAWATI R, ROHMY S, *et al.* The utilization of the kinds of live food on clown loach fish juveniles (*Chromobotia macracanthus* Bleeker). *Indonesian Aquaculture Journal*, 2011, 6(1): 47–58
- METCALFE J, RIGHTON D, EASTWOOD P, *et al.* Migration and habitat choice in marine fishes. *Fish Behaviour*. Enfield, NH: Science Publishers, 2008, 187–233
- MILETTO PETRAZZINI M E, AGRILLO C, PIFFER L, *et al.* Ontogeny of the capacity to compare discrete quantities in fish. *Developmental Psychobiology*, 2014, 56(3): 529–536

- MILINSKI M, BAKKER T C M. Female sticklebacks use male coloration in mate choice and hence avoid parasitized males. *Nature*, 1990, 344(6264): 330–333
- MITCHELL M D. The role of chemical alarm cues in risk assessment and predator recognition in coral reef fishes. James Cook University, 2012
- MONTALBANO G, BERTOLUCCI C, BISAZZA A, *et al.* Interspecific differences in developmental mode determine early cognitive abilities in teleost fish. *Animal Cognition*, 2023, 26(6): 1893–1903
- MUNRO E R, CALL J. Animal cognition. In M. C. Frank & A. Majid (Eds.), *Open Encyclopedia of Cognitive Science*. MIT Press, 2024
- NÄSLUND J, JOHNSON J I. State-dependent behavior and alternative behavioral strategies in brown trout (*Salmo trutta* L.) fry. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2016, 70(12): 2111–2125
- NEWPORT C, WALLIS G, SIEBECK U E. Object recognition in fish: Accurate discrimination across novel views of an unfamiliar object category (human faces). *Animal Behaviour*, 2018, 145: 39–49
- ODLING-SMEE L, BRAITHWAITE V A. The influence of habitat stability on landmark use during spatial learning in the three-spined stickleback. *Animal Behaviour*, 2003, 65(4): 701–707
- OKANO H, HIRANO T, BALABAN E. Learning and memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97(23): 12403–12404
- OLIVEIRA A R, CABRERA-ÁLVAREZ M J, SOARES F, *et al.* Effects of environmental enrichment on the welfare of gilthead seabream broodstock. *Biology and Life Sciences Forum*. MDPI, 2022: 13(1): 90
- OSATHANUNKUL M, SUWANNAPOOM C. Sustainable fisheries management through reliable restocking and stock enhancement evaluation with environmental DNA. *Scientific Reports*, 2023, 13: 11297
- PATTON B W, BRAITHWAITE V A. Changing tides: Ecological and historical perspectives on fish cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews Cognitive Science*, 2015, 6(2): 159–176
- POPPER A N, CARLSON T J. Application of sound and other stimuli to control fish behavior. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1998, 127(5): 673–707
- POTRICH D, SOVRANO V A, STANCHER G, *et al.* Quantity discrimination by zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Comparative Psychology*, 2015, 129(4): 388–393
- POUCET B. Spatial cognitive maps in animals: New hypotheses on their structure and neural mechanisms. *Psychological Review*, 1993, 100(2): 163–182
- RAE D L, MOS B, SCOTT A, *et al.* Training fish for restocking: Refuge and predator training in the hatchery has limited benefits for a marine fish. *Journal of Fish Biology*, 2020, 97(1): 172–182
- REEBS S E P G. Cooperation in fishes. Moncton, Canada, 2011, 2612
- REZNIKOVA Z, RYABKO B. Numerical competence in animals, with an insight from ants. *Behaviour*, 2011, 148(4): 405–434
- RODRÍGUEZ F, DURAN E, VARGAS J P, *et al.* Performance of goldfish trained in allocentric and egocentric maze procedures suggests the presence of a cognitive mapping system in fishes. *Animal Learning & Behavior*, 1994, 22(4): 409–420
- RODRÍGUEZ F, QUINTERO B, AMORES L, *et al.* Spatial cognition in teleost fish: Strategies and mechanisms. *Animals*, 2021, 11(8): 2271
- SAITO K, WATANABE S. Experimental analysis of spatial learning in goldfish. *The Psychological Record*, 2005, 55(4): 647–662
- SALENA M G, TURKO A J, SINGH A, *et al.* Understanding fish cognition: A review and appraisal of current practices. *Animal Cognition*, 2021, 24(3): 395–406
- SALES E, ROGERS L, FREIRE R, *et al.* Bold-shy personality traits of globally invasive, native and hatchery-reared fish. *Royal Society Open Science*, 2023, 10(8): 231035
- SANTACÀ M, DADDA M, MILETTO PETRAZZINI M E, *et al.* Stimulus characteristics, learning bias and visual discrimination in zebrafish (*Danio rerio*). *Behavioural Processes*, 2021, 192: 104499
- SATO H, SAKAI Y, KUWAMURA T. Temporary division of roles in group hunting for fish eggs by a coral reef fish. *Journal of Ethology*, 2024, 42(3): 137–143
- SCHUMACHER S, VON DER EMDE G, BURT DE PERERA T. Sensory influence on navigation in the weakly electric fish *Gnathonemus petersii*. *Animal Behaviour*, 2017, 132: 1–12
- SHETTLEWORTH S J. Animal cognition and animal behaviour. *Animal Behaviour*, 2001, 61(2): 277–286
- SHETTLEWORTH S J. *Cognition, Evolution, and Behavior*. New York: Oxford University Press, 2009
- SIBEAUX A, NEWPORT C, GREEN J P, *et al.* Taking a shortcut: What mechanisms do fish use? *Communications Biology*, 2024, 7: 578
- SOARES M C. The neurobiology of mutualistic behavior: The cleanerfish swims into the spotlight. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2017, 11: 191
- SUGANDI, WAHJU R I, RIYANTO M, *et al.* Fish aggregation pattern on red-blue-green light emitting diode (RGB-LED) light in static lift net. *Omni-Akuatika*, 2019, 15(1): 103–109
- TLUSTY M F, ANDREW J, BALDWIN K, *et al.* Acoustic conditioning for recall/recapture of escaped Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 57–64
- TURCO T, VOIRIN L, ATTIA J, *et al.* Acoustic playback is better than food to trap one of the worst invasive fishes. *Journal of Environmental Management*, 2025, 373: 123555
- VAN HORIK J, EMERY N J. Evolution of cognition. *WIREs*

- Cognitive Science, 2011, 2(6): 621–633
- VILHUNEN S, HIRVONEN H, LAAKKONEN M V. Less is more: Social learning of predator recognition requires a low demonstrator to observer ratio in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Behavioral Ecology and Sociobiology, 2005, 57(3): 275–282
- WARD A J W, JAMES R, WILSON A D M, *et al.* Site fidelity and localised homing behaviour in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). Behaviour, 2013, 150(14): 1689–1708
- WOLBERS T, HEGARTY M. What determines our navigational abilities? Trends in Cognitive Sciences, 2010, 14(3): 138–146
- XIONG W, YI L C, TANG Z H, *et al.* Quantity discrimination in fish species: Fish use non-numerical continuous quantity traits to select shoals. Animal Cognition, 2018, 21(6): 813–820
- YASHINA K, TEJERO-CANTERO Á, HERZ A, *et al.* Zebrafish exploit visual cues and geometric relationships to form a spatial memory. iScience, 2019, 19: 119–134
- YOKOTA T, MITAMURA H, ARAI N, *et al.* Comparison of behavioral characteristics of hatchery-reared and wild red tilefish *Branchiostegus japonicus* released in Maizuru Bay by using acoustic biotelemetry. Fisheries Science, 2006, 72(3): 520–529
- ZHANG Z H, XU X W, WANG Y H, *et al.* Effects of environmental enrichment on growth performance, aggressive behavior and stress-induced changes in Cortisol release and neurogenesis of black rockfish *Sebastes schlegelii*. Aquaculture, 2020, 528: 735483
- ZHANG Z, FU Y Q, SHEN F Y, *et al.* Barren environment damages cognitive abilities in fish: Behavioral and transcriptome mechanisms. Science of the Total Environment, 2021, 794: 148805

(编辑 冯小花)

## Research Progress of Fish Cognitive Abilities

GUO Haoyu<sup>①</sup>, LÜ Chenhang, ZHU Chaojun, CHEN Shiliu,  
WANG Yucheng, LIU Yuyang, ZHANG Xiumei  
(School of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract** Cognitive abilities of animals are a focal topic in contemporary behavioral ecology and comparative psychology. Fish are the only vertebrate clade that is fully adapted to aquatic environments, and display distinctive adaptations in perception, information processing, and behavioral decision-making. The aquatic habitats on which they depend differ markedly from terrestrial systems regarding physical structure, light regimes, chemical cues, and ecological pressures. These differences have shaped the unique cognitive traits and behavioral strategies of fish. A systematic understanding of the cognitive performance of fish and the behavioral and ecological mechanisms underlying it explains the evolutionary trajectories and adaptive significance of animal cognition and provides theoretical and applied guidance for sustainable fisheries management, the optimization of aquaculture practices, improvements in the welfare of farmed fish, and informs discussions on ethical handling of animals. This review incorporates the research on fish cognition, emphasizing the advances in four domains: learning and memory, spatial cognition, perceptual discrimination, and social cognition. We further summarize commonly used experimental paradigms and methodological approaches in studies of fish cognition and, on this basis, critically assess the limitations and challenges of prior studies and priorities for future research. This study aims to deepen the theoretical understanding of fish cognition and broaden its practical applications in aquaculture and the management of fishery ecosystems.

**Key words** Fish cognition; Learning and memory; Fish welfare; Social behaviour; Fish behaviour

① Corresponding author: GUO Haoyu, Email: haoyuguo@163.com