



中国水产学会水产动物行为学专业委员会
2026年学术年会

论
文
摘
要
集

中国·盘锦

2026年07月10日-12日

摘要目录

长江鲟天然水域自然繁殖重塑技术研究进展与展望	1
水下噪声对底栖甲壳动物行为影响的研究进展	2
自然水域中草鱼幼鱼对不同声音刺激的负趋音行为研究	3
高密度对刺参行为和生理的影响及其调控机制研究	4
Divergent embryo responses to chemical cues in two freshwater fishes with different parental care strategies	6
基于栖息地重叠度的秦岭细鳞鲑及其猎物鱼拉氏鲢 个性比较研究	7
环境丰容重塑三疣梭子蟹的行为转移规律	8
菲律宾蛤仔潜沙行为的生理生态响应及健康评价研究	9
养殖场施工噪声对大黄鱼声通讯的影响	10
基于三维运动能力（3D Locomotion Test）分析光照对中华绒螯蟹社会行为的影响	11
空间大小对大鳍鱯聚集行为、应激节律与生理适应的影响	12
基于声呐引导条件生成对抗网络的水产养殖夜间低照度图像复原方法	13
不同摄食活跃度膨腹海马的个性、生理特征及生长性能研究	14
基于 DeepLabCut-SimBA 机器学习框架的三疣梭子蟹（ <i>Portunus trituberculatus</i> ）攻击行为量化方法	15
从个体差异到环境适应：大黄鱼行为可塑性的多维度解析与放流启示	16
基于超声波遥测放流中华鲟的迁移入海规律研究	17
不同游泳训练时长对黑鲟幼鱼生长、外部形态特征及运动代谢能力的影响	18
基于多源信息感知的稻蟹养殖精准投喂系统设计与实现	19
一种以福利为导向的非致死耐热性方法筛选橄榄比目鱼的生长、代谢性能和多胁迫恢复力	20
实际养殖中华绒螯蟹断肢情况调查及其打斗行为的分子调控机制	21
不同进水流量下的循环水养殖鳊鱼行为研究	22
养殖水体正常 pH 值高 CO ₂ 对大口黑鲈嗅觉功能和嗅上皮稳态的影响	23
群体数量对大黄鱼幼鱼游泳行为的影响研究	24
不同密度罗氏沼虾的投放对稻蟹养殖模式的影响	25
多模态感官训练增强大黄鱼幼鱼反捕食行为及放流存活潜力	26
基于声学遥测的标记放流长江鲟空间利用格局与重点江段识别	27
不同光谱夜间人造光对斑马鱼（ <i>Danio rerio</i> ）行为及跨代效应的影响研究	28

基于深度学习的东北林蛙性别判定与地理种群的识别研究	29
高温胁迫下中华绒螯蟹行为变化及能量代谢响应研究	30
稻蟹种养模式中不同投喂方式对中华绒螯蟹摄食行为与生长性能的影响	31
鱼类行为学研究进展及其在智能养殖中的应用	32
潜降式网箱上升过程中大黄鱼应激行为响应特征研究	33
基于螯足形态与棍棒刺激的中华绒螯蟹攻击性评价	34
中华绒螯蟹多组学数据平台 EGBD 及其在行为学研究中的 应用前景	35
藤壶附着对虾夷扇贝 (<i>Mizuhopecten yessoensis</i>) 游泳能力、形态及转录组的影响	36
鱼群集群状态量化研究	37
海星摄食行为研究	38
从风险识别到野化训练的探索：大黄鱼多感官反捕食 行为机制及应用	39
长鳍吻鲈亲本雌雄个体栖息地底质偏好的选择差异	40
气候变暖背景下食蚊鱼热耐受与行为表型的性别分化机制	41
障碍物对大黄鱼游泳能力影响研究	42
东北林蛙行为谱构建及行为节律研究	43
多线索关联的鱼体多目标跟踪方法	44
中华绒螯蟹攻击行为与交配行为的研究	45
人工洞穴对中华绒螯蟹幼蟹空间利用与社会行为的影响	47
流场异质性与集群行为影响下长薄鳅亲本上溯迁移行	48
圆口铜鱼幼鱼的底质偏好选择	50

长江鲟天然水域自然繁殖重塑技术研究进展与展望

杜浩^{1*}, 李鹏程¹

(1中国水产科学研究院长江水产研究所 淡水鱼类种质资源与生物技术研究室)

*通讯作者: duhao@yfi.ac.cn

摘要正文: 长江鲟是长江上游特有珍稀濒危鱼类, 自然繁殖长期中断和历史产卵场功能退化, 是制约其野外种群重建的关键瓶颈。本文围绕长江鲟天然水域自然繁殖重塑技术的研究进展, 系统总结人工保种群体自然繁殖能力验证、产卵生境营造、繁殖行为识别、水动力条件解析和历史产卵场功能验证等方面的主要成果。现有研究表明, 长江鲟自然繁殖恢复并不能单纯依赖放流数量增加, 还需要清洁卵石底质、负坡微地形、适宜水温、流量变化、近底稳定流场、深潭-浅滩结构等多因子协同支撑。行为学分析显示, 成熟亲鱼在适宜生境刺激下可形成由巡游、伴游、聚集、顶流、剧烈摆尾到繁殖后离场的连续行为过程, 且关键行为发生区与适宜水动力微生境具有较好空间对应关系。总体来看, 长江鲟保护正在由人工保种和增殖放流补充, 转向以关键生境修复和自然更新恢复为核心的种群重建阶段。未来应加强繁殖期声学—视频—水动力联合监测, 完善行为自动识别和产卵场适宜性评价方法, 开展生态阈值多年份验证和修复后种群贡献评估, 推动形成可复制、可推广的天然水域自然繁殖重塑技术体系。

关键词: 长江鲟, 自然繁殖, 繁殖行为, 产卵场修复, 生态水力学

水下噪声对底栖甲壳动物行为影响的研究进展

曹正良*, Touhidul Hoque Shuvo, 陈焱, 白世顶, 王烁

(上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院)

*通讯作者: zlcao@shou.edu.cn

摘要: 在水域生态系统的能量流动和物质循环中, 甲壳动物发挥着不可或缺的作用: 它们不仅是多个生态系统中关键的生产者和消费者, 而且通过其生活行为影响着生态系统的结构和功能; 另外由于对温度、盐度和酸化等环境变化敏感, 它们亦是研究海洋环境变化影响的理想模式生物。如今随着人类海洋活动的日益增加, 水下噪声已成为海洋环境污染中的重要问题之一。水下噪声主要来源于商业航运、渔业活动、海洋勘探以及军事行动等, 这些噪声对水下生物尤其是海洋哺乳动物产生了深远影响, 与鱼类相似许多底栖甲壳动物可以感知水下声音, 然而噪声对底栖甲壳动物所引起的反应却较少受到关注。本文通过查新关于水下噪声对底栖甲壳类动物行为影响的文章, 重点梳理以淡水和海洋的几种十足目甲壳类动物的研究情况, 总结概述了各种水下噪音声对底栖甲壳动物的影响, 其中包括地震勘测的低频打桩和气枪发射、船舶和船只噪声以及白噪声和纯音等对甲壳动物的实验室研究情况, 相关影响结果包括运动行为增加、应激反应、反捕食者行为减慢、觅食变化改变、种内行为变化 (例如打斗) 等。最后, 结合水产与渔业的实践研究应用趋势, 给出了从底栖甲壳动物行为研究到噪声影响评估的可行路线, 展望了基于生物声学技术的海洋环境噪声监测与防治方案。

关键词: 水下噪声, 底栖甲壳动物, 行为影响

自然水域中草鱼幼鱼对不同声音刺激的负趋音行为研究

李嘉欣^{1,2}, 张沈威^{1,3}, 王瑄¹, 杨吉⁴, 刘国勇^{1,3,*} 俞立雄^{2,*}

(1.湖北省鱼道国际科技合作基地, 三峡大学, 湖北, 宜昌 443002

2.中国水产科学研究院长江水产研究所, 国家农业科学重庆观测实验站,湖北, 武汉
430223

3.三峡大学水利与环境学院, 湖北, 宜昌 443002

4.中国葛洲坝集团第三工程有限公司, 陕西, 西安 710077)

*通讯作者邮箱: gylu@ctgu.edu.cn; yulixiong@yfi.ac.cn

摘要: 水工引水建筑物会将鱼类引入危险区域, 从而对其生存安全构成威胁。声学驱鱼装置作为一种非物理阻隔手段, 可用于引导鱼类远离这些危险区域。然而, 相关研究大多在封闭水槽或水槽式水道中开展, 而此类环境中的声传播特性与天然水域存在显著差异(如声粒子运动特征以及环境噪声导致的频率失真等)。尤其是由于缺乏池壁反射、驻波形成以及由有限边界和较少多途径传播所产生的简化声场, 其研究结果难以完全反映自然环境中的实际情况。因此, 这些声学刺激在野外条件下的驱鱼效果仍缺乏充分验证。本研究在天然室外网箱环境中, 探讨草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 对不同声音刺激的行为响应。测试声音包括一种 1000 Hz 纯音以及三种宽频声音: 扬子鳄 (*Alligator sinensis*) 嘶嘶声、打桩噪声和舷外机噪声。通过响应频率、中线穿越总次数、首次响应时间、最大游泳速度和平均游泳速度等指标对鱼类行为进行量化分析。结果表明, 扬子鳄嘶嘶声诱导的中线穿越次数最多, 在所有测试声音中引发了最强烈的行为响应。此外, 与 1000 Hz 纯音和打桩噪声相比, 扬子鳄嘶嘶声和舷外机噪声均诱发了显著更强的回避反应, 表现为更高的响应频率和更快的游泳速度。进一步地, 通过调整回避效果最佳声音的脉冲重复间隔, 构建了一种新的宽频声音刺激。该声音能够改变草鱼在试验区域内的空间分布, 并诱发明显的回避行为。研究结果表明, 声音类型及其时间结构均会影响草鱼的负趋音行为, 为鱼类管理中声学屏障技术的优化与应用提供了实验依据。

高密度对刺参行为和生理的影响及其调控机制研究

田瑞环, 赵冲*

(¹ 大连海洋大学, 农业农村部北方海水增养殖重点实验室)

赵冲: chongzhao@dlou.edu.cn

刺参 (*Apostichopus japonicus*) 是我国水产养殖业中产值最高的经济种类之一。面对日益增长的市场需求, 提高养殖密度已成为增加总产量的有效途径, 但高密度养殖所引发的生长性能低下等问题严重制约了产业的集约化发展。本研究以刺参为研究对象, 从行为、生理、免疫、肠道健康及分子调控等多个维度, 系统探究高密度养殖对刺参的影响机制, 并探索利用功能性因子缓解高密度胁迫的有效方案, 旨在为刺参高密度健康养殖提供理论依据与实践指导。

研究首先通过设置高、低两种密度, 分别进行为期一周和七周的养殖实验, 以明确高密度对刺参行为及生理的即时与长期影响。行为学观测结果显示, 短期高密度导致刺参蠕动行为显著增加, 但摄食行为未受显著影响; 而长期高密度则显著抑制了刺参的摄食行为。在生理层面, 高密度未对皮质醇、葡萄糖及 5-羟色胺水平造成显著影响, 但值得注意的是, 无论短期还是长期高密度条件下, 刺参体腔液中的 γ -氨基丁酸 (GABA) 水平均显著升高。这一发现强烈提示 GABA 是刺参响应高密度胁迫的关键生理调节因子, 并可能参与调控高密度下刺参蠕动与摄食行为的改变。

在明确基础影响后, 研究进一步评估了高密度对刺参免疫、抗病及抗逆能力的影响。经过七周的密度胁迫, 虽然高密度组刺参的基础死亡率和患病率未显著上升, 但其体内的超氧化物歧化酶 (SOD) 和丙酮酸激酶 (PK) 活性显著升高, 表明刺参正处于氧化应激与能量代谢异常状态。随后通过哈维氏弧菌攻毒实验和急性降温胁迫实验发现, 高密度养殖显著削弱了刺参的抗病能力与抗逆性。具体表现为攻毒后高密度组无症状个体摄食行为大幅下降且患病率显著升高; 而降温胁迫后, 高密度组刺参的翻正行为和摄食行为均受到严重抑制。

为了深入解析高密度抑制生长的内在机理, 研究聚焦于刺参的肠道健康与基因表达。结果显示, 长期高密度养殖导致刺参增重率显著降低, 肠道蛋白酶活性下降, 肠道组织形态 (直径、皱襞高度及上皮细胞高度) 出现明显退化。肠道微生物组分析表明, 高密度使与致病相关的变形菌门丰度上升, 而与营养吸收及 GABA 代谢相关的拟杆菌门丰度下降。转录组测序进一步揭示, 差异表达基因显著富集在氧化还原、脂质代谢等通路,

其中脂蛋白脂酶基因 (*LPL*) 和离子型谷氨酸受体基因 (*GRIN2Ca*) 显著上调, 提示高密度可能通过扰乱脂代谢及 GABA 能信号系统来抑制刺参生长。

基于上述机制解析, 本研究最后探究了外源添加 GABA 对高密度刺参的调控效果。实验设置低密度组、高密度组及高密度+GABA 添加组。结果表明, GABA 的添加显著恢复了高密度下刺参的摄食行为, 并显著提高了特定生长率和生长激素水平, 使其恢复至与低密度组无显著差异的水平。然而, GABA 并未改善高密度导致的蛋白酶活性降低、粪便系数升高及高皮质醇水平, 说明 GABA 缓解生长抑制的主要途径是促进摄食与生长激素分泌, 而非通过改善消化功能或降低应激反应来实现。

综上所述, 本研究从行为—生理—分子多层面系统阐释了高密度对刺参的影响机制, 明确了 GABA 在其中的关键调控作用, 并验证了外源 GABA 在缓解高密度生长抑制中的有效性。研究成果不仅深化了对刺参高密度胁迫响应机制的认知, 也为未来构建系统化的刺参高密度养殖技术体系、实现集约化与可持续发展提供了重要的科学参考。

Divergent embryo responses to chemical cues in two freshwater fishes with different parental care strategies

Ning Zhang(张宁)¹, Qinlei Li(李秦蕾)¹, Minghui Li(李明辉)², Chris K. Elvidge³, Chuke Deng(邓楚可)¹,
Deshou Wang(王德寿)², Shijian Fu(付世建)^{1,4}, Jigang Xia(夏继刚)^{1,4*}

1. Fish Ecology and Conservation Research Center, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 3. Department of Biology, Carleton University, 1125 Colonel By Drive, Ottawa, ON K1S 5B6, Canada; 4. Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Animal Biology Key Laboratory of Chongqing Education Commission, Chongqing Key Laboratory of Conservation and Utilization of Freshwater Fishes, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

*通讯作者: jigangxia@163.com

Chemical information is one of the most important modes of communication among aquatic organisms. However, it remains unclear whether fish embryos are innately responsive to ecologically-related chemical cues from the cues of their cohort competitors, potential caring or risky cues from parents, or chemical alarm cues from damaged embryos, and whether these response patterns differ between species that model alternative parental care strategies. Here, we examined embryo responses in heart rate and incubation performance to different conspecific chemical cues (companion embryo odours, maternal odours, maternal + companion odours, embryonic alarm cues, or water controls) in zebrafish (*Danio rerio*; no parental care) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*; high parental care). Zebrafish embryos did not respond to companion embryo odours but did respond similarly to maternal odours and alarm cues consistent with detecting elevated risk levels. In contrast, Nile tilapia embryos only demonstrated significant risk responses to embryonic alarm cues. These findings indicate that embryos of both species can innately recognize alarm cues but differ in their response patterns to conspecific odours. The results highlight that parental care strategies may influence intergenerational chemical communication in fish embryos.

Keywords: chemical communication; cognition; damage-released chemical alarm cue; companion embryo odour; innate recognition; maternal odour

基于栖息地重叠度的秦岭细鳞鲑及其猎物鱼拉氏鲮

个性比较研究

李悦^{1,2}, 陶渝镇¹, 庞健¹, 夏继刚^{1,2*}

(1. 重庆师范大学鱼类生态与保护研究中心, 重庆 401331; 2. 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, 重庆 401331)

*通讯作者: jigangxia@163.com

动物个性是当前行为生态学研究的核心内容之一。捕食者-猎物种间互作对双方行为特征的演化具有重要塑造作用。近年来鱼类栖息地破碎化加剧现象严重, 改变了物种原有的栖息地重叠程度。这种栖息地重叠度的变动是否导致捕食者和猎物个性的种内分化并打破二者原有的种间差异模式? 本研究以国家二级保护动物秦岭细鳞鲑 (*Brachymystax tsinlingensis*) 及其猎物鱼拉氏鲮 (*Phoxinus lagowskii*) 为对象, 探究栖息地重叠度对二者个性种内分化、种间差异及个性关联的影响。研究发现: (1) 在种内水平上, 重叠分布下二者活跃性、勇敢性均更高; (2) 在种间水平上, 无论重叠与否, 秦岭细鳞鲑均表现出更强的活跃性、勇敢性及社会性; (3) 在个性关联上, 重叠度改变了不同个性特征的内在关联, 重叠分布导致部分个性特性解偶联。结果表明: 与捕食压力有关的鱼类栖息地重叠状况变化可能是驱动其行为适应多样化的重要驱动力, 这一发现为阐释栖息地破碎化背景下溪流鱼类群落种间互作提供了理论启发。

关键词: 捕食压力, 个性, 栖息地重叠度, 秦岭细鳞鲑, 拉氏鲮

环境丰容重塑三疣梭子蟹的行为转移规律

张选召，杨超，刘大鹏，王芳，朱柏杉*

(1 中国水产科学研究院东海水产研究所 水产养殖技术实验室)

*通讯作者：朱柏杉，boshanzhu@gmail.com

摘要正文：环境丰容是影响甲壳动物行为表达及个体间互动的重要因素，也是水产养殖动物福利管理的重要手段。然而，行为序列结构及其转移模式研究的相对缺乏，限制了对养殖动物行为策略的理解和养殖管理策略的优化。本研究基于姿态估计的无监督行为分析方法，量化分析了三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 在不同环境丰容条件和社会情境下的行为模式及其转换关系，结合 SLEAP 姿态追踪与 VAME 行为分割技术，对其行为进行自动识别并构建行为序列网络，从计算行为学角度揭示环境结构复杂度和社会情境对三疣梭子蟹行为序列结构及其转移模式的影响。结果表明，在无同类个体情境下，环境丰容显著增加三疣梭子蟹的触探探索行为，降低移动行为比例，提高行为转移熵，表明复杂环境能够扩展个体的行为选择空间并促进环境信息获取。在有同类个体情境下，环境丰容显著降低接触行为发生率，促进个体由高互动行为向低互动行为转移，从而降低潜在行为冲突风险。“靠近-远离”行为在行为网络中具有关键节点特征，是连接环境探索与社会评估的重要行为环节，并可能作为争斗发生前的潜在行为预警信号，需在养殖生产中重点关注。总体而言，环境丰容不仅改变了三疣梭子蟹的行为组成，还显著影响其行为序列结构和社会互动模式。本研究首次探索了基于姿态估计的无监督行为分析方法在甲壳动物行为研究中的应用，为甲壳动物行为学研究提供了新的技术途径，并为优化养殖管理措施和动物福利评估提供了科学依据。

菲律宾蛤仔潜沙行为的生理生态响应及健康评价研究

丁鉴锋，高志鹰，霍忠明*

(1.大连海洋大学 水产与生命学院，辽宁 大连 116023; 2.辽宁省贝类良种繁育工程技术研究中心，
辽宁 大连 116023)

*通讯作者: huozm@dlou.edu.cn

摘要正文: 潜沙行为是菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 的重要生态习性，常被用作评估其生理状态与环境适应能力的行为指标。本研究分析了蛤仔的潜沙动力学特征、低盐胁迫下的行为响应以及不同潜沙速率个体的代谢差异，以阐释潜沙行为的能量代谢机制，并探索其作为健康评价指标的应用价值。

研究表明，蛤仔的潜沙准备时间集中于 150 至 250 秒，潜沙完成时间在 450 至 550 秒区间。潜沙准备时间与闭壳肌重量呈极显著正相关 ($P<0.01$)，潜沙速率较快个体的斧足糖原含量显著高于潜沙速率较慢个体及对照组 ($P<0.05$)。在盐度骤变实验中，蛤仔经 22‰低盐环境胁迫 48 小时后，潜沙个体的血淋巴乳酸含量显著低于未潜沙个体 ($P<0.05$)，同时碱性磷酸酶与酸性磷酸酶活性及早期闭壳肌糖原含量均显著提高，反映出潜沙行为有助于缓解低盐胁迫引发的渗透压冲击与能量代谢负担。在个体健康评估实验中，经连续三次潜沙筛选，将潜沙最快的 10%个体归为 F 组，潜沙最慢的 10%个体归为 S 组。结果显示，S 组个体的平均规格显著大于 F 组 ($P<0.05$)，而 F 组的耗氧率 ($P<0.01$)和摄食率 ($P<0.05$)均显著高于 S 组，斧足糖原含量则显著低于 S 组 ($P<0.05$)。相关性分析进一步表明，潜沙速率与耗氧率、摄食率呈显著正相关，与糖原含量呈显著负相关 ($P<0.05$)，表明糖原是潜沙过程的主要能量来源。基于主成分分析提取的两个主成分，其累计方差贡献率分别为 53.089%和 21.734%，初步构建了蛤仔健康评价指标公式，表明潜沙速率可作为反映个体代谢活跃度的有效指标。

本研究表明蛤仔的潜沙行为与其体型特征、糖原储备及呼吸摄食代谢存在密切关联，研究结果可为蛤仔的行为表型监测、健康养殖管理及品种选育提供基础数据支撑。

关键词: 菲律宾蛤仔; 潜沙行为; 低盐胁迫; 呼吸摄食代谢; 健康评估

养殖场施工噪声对大黄鱼声通讯的影响

徐茂冉，张旭光*

(上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院)

*通讯作者: zhang_xuguang@163.com

摘要: 工程噪音对海水鱼类的威胁日益加剧，但其对听觉和发声系统的综合影响尚不明确。本研究以大黄鱼幼鱼 (*Larimichthys crocea*) 为对象，评估了短期高强度钻井噪音对其听觉 (通过听觉诱发电位) 和自发发声的影响。噪音暴露导致特定频率的听觉阈值升高，并引发明显的伦巴第效应：脉冲持续时间缩短、频谱质心升高、带宽变宽以及声压显著增加。广义线性混合效应模型显示，体重与噪音在叫声振幅上存在极显著的交互作用 ($\beta=0.249$, $p<0.001$)，表明体型较大的个体通过提高发声强度能更有效地进行补偿，而体型较小的鱼类可塑性有限，脆弱性更高。本研究首次证实了大黄鱼存在伦巴第效应，表明工程噪音会以一种与个体发育相关的方式干扰其声学通讯。体型成为行为适应力的关键调节因素，这凸显了在水下噪音风险评估中需考虑发育阶段的必要性。这些发现为在日益嘈杂的沿海栖息地保护这一具有重要经济价值的物种提供了关键见解。

基于三维运动能力 (3D Locomotion Test) 分析光照对中华绒螯蟹社会行为的影响

王思涵, 孙云飞*

(1上海海洋大学 水产与生命学院)

*通讯作者: yfsun@shou.edu.cn

摘要正文: 光照作为重要的环境因子, 通过调节生物节律、神经内分泌系统和视觉感知通路, 对甲壳动物的活动节律、空间利用模式及个体间行为策略产生深刻影响。本研究运用三维运动分析技术, 系统探究了光照强度、光照周期和光色对中华绒螯蟹社会行为的影响, 旨在揭示光环境调控社会互动的行为学机制。光照强度方面, 光照普遍增强个体运动活性, 但效应呈非线性: 5 W/m²组白昼曲折度最高、夜间显著下降, 可调控昼夜活动节律; 15 W/m²导致白昼运动抑制及夜间异常高静止比例, 干扰内在节律; 20 W/m²显著增加快速移动占比, 诱发应激逃避反应。配对个体间平均距离在各处理间无显著差异, 表明基于化学通信的社会空间结构相对稳定。光照周期方面, 周期性光照 (6L:18D、12L:12D、18L:6D) 维持正常昼夜节律, 夜间运动活性显著高于白天; 完全黑暗 (0L:24D) 使白天出现反常高活动性, 个体间距离最紧密但争斗行为未增加; 持续光照 (24L:0D) 引发显著光胁迫, 表现为最高静止占比、最低行为复杂度及恐惧焦虑样行为; 18L:6D 组争斗行为占比最高。光色方面, 蓝光显著提升白天运动速度和快速移动占比, 分形维数高而熵低, 易引发行为应激; 红光缩小个体间距离, 昼夜行为差异不显著, 营造低胁迫环境以促进社会接近; 黄光显著提高夜间运动活性。研究为集约化养殖光照管理提供了理论依据, 建议避免 15 W/m²及蓝光/白光, 可采用 5 W/m²配合红光与黄光以优化养殖环境、减少社会冲突。

空间大小对大鳍鲩聚集行为、应激节律与生理适应的影响

李晓莉¹ 陈思奇¹ 任寅正² 吴兴兵¹ 李学梅^{1*}

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 武汉 430223; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070.)

*通讯作者: xml@yfi.ac.cn

摘要正文: 为探究空间大小对大鳍鲩 (*Hemibagrus macropterus*) 聚集行为及生理应激的影响, 并确定适宜的养殖桶规格, 本研究设置直径 0.8 m、1.5 m 和 2 m 三种圆形养殖桶, 按 160 尾/m³ 的密度放养实验鱼 (体重 3.20±0.40 g, 体长 7.10±0.60 cm), 通过视频追踪与血清生理指标测定, 系统分析了不同空间条件下大鳍鲩的空间分布格局、行为状态动态及 HPI 轴应激响应。结果显示: (1) Clark-Evans R 值随桶径增大显著降低, NND 与 Clark-Evans 双维度分析表明, 小桶中聚集为空间约束下的被动压缩, 而大桶中为主动社会性聚集; (2) 所有实验组静息状态几乎完全缺失, 鱼群长期处于“应激聚集”与“活跃分散”的二元交替中; (3) 时间节律受桶径调节——0.8 m 桶应激聚集呈现“早高晚低”, 2 m 桶描述统计上呈相反趋势 (早低晚高) (4) 第 5 天时 0.8 m 桶皮质醇浓度显著高于 2 m 桶, 5-HT 浓度随空间增大整体下降, DA 无显著差异。研究表明, 大鳍鲩在不同空间尺度下表现出截然不同的聚集驱动机制与应激适应模式, 2 m 桶在缓解慢性应激、促进行为正常表达方面优势显著。本研究为底栖穴居性鱼类集约化养殖中养殖桶规格的选择提供了科学依据, 也为鱼类福利评估提供了行为学参考指标。

基于声呐引导条件生成对抗网络的水产养殖夜间低照度图像复原方法

马萍^{1*}, 韩彦岭¹, 宋戈¹, 王静¹

(¹上海海洋大学信息学院, 农业农村部渔业信息重点实验室, 上海市海洋智能信息与导航遥感工程技术研究中心)

*通讯作者: pma@shou.edu.cn

摘要正文: 设施水产养殖环境下的视觉监测常因极端低照度与水体浑浊而受到严重制约。由于声呐信息具有光照鲁棒性, 可以很好地为养殖生物行为提供先验信息, 因此, 提供了一种复原低照度环境下的视觉监测极具潜力的解决方案。针对上述挑战, 本文提出一种由物理增强声呐信息的条件生成对抗网络, 以实现高鲁棒性的低照度环境下水产养殖图像复原。本文的核心创新在于引入了在线物理信息增强模块, 该模块能够在训练阶段动态模拟乘性声学散斑噪声。通过注入此类物理驱动的正则化项, 促使网络学习内在的、具有噪声不变性的特征表征, 从而有效激发了其跨模态结构补全的能力。此外, 本文设计的双流生成器能够无缝传递声学几何先验信息, 以重建细粒度的场景结构细节; 同时, 条件判别器则保证了模型在物理约束条件下的输出一致性。实验结果表明, 本方法的性能稳定优于现有先进的水下图像复原方法。尤为值得强调的是, 在养殖场景极端零照度及数据规模严重受限的条件下, 本文方法有效避免了结构坍塌现象, 并实现了对复杂形态特征的精准恢复。该算法框架为极端恶劣环境下的智能水下监测提供了一套具备高鲁棒性与数据高效性的技术方案。

不同摄食活跃度膨腹海马的个性、生理特征及生长性能研究

杨煜贺, 刘鑫*, 林听听, 李思平

(中国水产科学研究院东海水产研究所 水产养殖技术研究室)

*通讯作者:liux@ecsf.ac.cn

摘要: 针对膨腹海马规模化养殖中缺乏生长潜力快速分级方法的技术瓶颈, 本研究探讨了不同摄食活跃度膨腹海马个性行为、生理状态及生长性能的差异, 以体长 (11.5 ± 0.5) cm 的健康海马为实验对象, 根据摄食行为指标筛选出摄食活跃与摄食不活跃个体, 在容积 1000 L 圆形养殖桶内进行为期 30 d 的对比养殖实验。试验期间每日测定海马摄食量, 每 10 d 测量体长和湿重, 分析日增重率、体长日增长率等生长指标, 并评估探索行为 (主要指标包括格子穿越总数、首次穿越耗时、最远穿越格子数及最大游动距离) 和大胆行为 (主要指标安全区停留时间、开阔区域进入次数、尾部缠绕次数与缠绕时长)。实验结束时检测血液皮质醇、血糖水平及过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性。结果表明, 摄食活跃组在摄食水平、探索性、大胆行为及生长性能方面显著优于摄食不活跃组 ($P<0.05$); 在生理指标上, 摄食活跃组海马的 CAT 活性与皮质醇水平显著高于摄食不活跃组 ($P<0.05$), 提示不同摄食活跃度个体在代谢与应激响应水平上存在差异。本研究证实了摄食活跃的膨腹海马具有更强的探索、大胆行为及生长优势, 摄食活跃度可作为评估膨腹海马生长潜力的重要表型指标, 研究结果为构建基于摄食行为表型的膨腹海马分级养殖技术体系提供了理论依据与数据支撑。

基于 DeepLabCut-SimBA 机器学习框架的三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 攻击行为量化方法

丁传龙¹, 付媛媛^{1,2}, 周志强³, 陈婷^{3,4}, 夏武强^{3,4}, 黄伟江³, 周斌财³, 陈佳梦³, 郑诚^{3,4}, 王春琳^{1,4},
母昌考^{1,4}, 刘长军^{3,4}, 刘磊^{1,4*}

(¹宁波大学 海洋学院, 宁波 315832; ²宁波海洋研究院, 宁波 315832; ³象山县水产技术推广站, 宁波 315709; ⁴象山(宁波大学)水产种业创新研究院实验基地, 宁波 315709)

*通讯作者: liulei1@nbu.edu.cn

摘要正文: 三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 是我国海水养殖的重要经济物种, 其种内攻击行为频繁, 常导致个体损伤与群体存活率下降, 成为制约养殖产业的关键因素, 对其攻击性进行精准定量评估具有重要现实意义。传统人工观察与单指标评价方式受限于攻击行为复杂性与高通量分析方法的缺乏, 主观性强、通量低且难以标准化。为此, 本研究构建了一种基于机器学习的三疣梭子蟹攻击行为定量分析方法, 通过整合 DeepLabCut 与 SimBA 机器学习框架, 将水下行为视频高通量转化为焦虑、示威、打斗及攻击潜伏期等攻击相关事件的可量化时序数据, 并在此基础上经多元线性回归筛选核心行为因子, 构建时间加权攻击性指数 (Time-weighted Aggression Index, TAI)。与基于相对移动距离和静止时长的多元线性回归评估方法对比, TAI 表现出良好的一致性 ($r = 0.555$, $ICC = 0.713$)。为验证其实践适用性, 依据 TAI 得分将三疣梭子蟹群体划分为高 (前 25%)、中 (中间 50%)、低 (后 25%) 三个攻击性等级并开展配对打斗实验, 结果显示不同等级组合间攻击频率差异极显著 ($H = 69.08$, $P\text{-Value} < 0.001$), 其中高-高组攻击频率 (7.08 ± 3.66 次/30 min), 低-低组频率 (0.96 ± 1.18 次/30 min), 且低-低组中 48% 的试验记录为零次攻击, 表明 TAI 分组能有效预测争斗结果。本研究首次将 DeepLabCut-SimBA 机器学习流程引入三疣梭子蟹攻击性研究, 进行高通量、标准化量化分析, 通过多行为因子的时间加权综合赋权构建 TAI, 克服了传统单一指标评价的片面性。本方法为三疣梭子蟹攻击性行为性状表型分析提供了可靠且可扩展的工具, 并在选择性育种实践中具有潜在应用价值。

从个体差异到环境适应：大黄鱼行为可塑性的多维度解析与放流 启示

李思平，张东，刘鑫，林听听*

(1 中国水产科学研究院东海水产研究所 水产养殖技术实验室)

*通讯作者: lintt@ecsfa.ac.cn

摘要：大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 放流苗种野外存活率长期偏低，一个被忽视的关键问题是：人工环境下个体的行为表型是否具备野外生存所需的“适配性”——即良好游泳能力、主动探索意愿、敏锐反捕食识别与快速应激恢复的协同整合。本研究围绕“行为差异有何规律、能否主动塑造、受何约束”展开系统研究。首先发现，同一规格下游泳能力相差一倍的个体，其肌肉纤维结构、应激激素水平及氧化磷酸化通路转录特征存在系统性分化，且这些差异与探索性、应激恢复等行为耦合，构成行为集。跨规格比较进一步揭示大黄鱼行为发育谱：小规格呈保守型策略，中规格呈现“高攻击性—捕食者识别迟钝”的矛盾组合，大规格则转为主动冒险型策略，表明行为表型随发育阶段发生系统性重组。在此基础上，30 天水流运动训练 (4 BL/s) 不仅将临界游泳速度提升 34.7%，还系统重塑探索性、大胆性、反捕食识别与应激恢复等多维行为，整体呈现从“保守型”向“主动探索型”的策略迁移。然而，纳米塑料暴露可从肌肉超微结构与能量代谢层面逆转上述训练收益，表明行为可塑性受环境健康约束。本研究构建了大黄鱼“行为表型分化和重塑”的整合框架，为行为导向的精准养殖与放流苗种筛选提供了理论基础。

关键词：大黄鱼；行为差异；行为发育谱；运动训练；行为可塑性；放流适配性

基于超声波遥测放流中华鲟的迁移入海规律研究

田鸿舰^{1,2}, 袁思亮¹, 陈大伟³, 沈丽¹, 杜浩^{1*}

(1 中国水产科学研究院长江水产研究所 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 武汉 430223; 2 上海海洋大学海洋生命资源与管理学院, 上海 201306; 3 福建农林大学海洋学院, 福州 350002)

*通讯作者: duhao@yfi.ac.cn

摘要: 为探究放流中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 的降河洄游规律及行为特征, 本研究采用超声波标记跟踪监测技术, 对不同年龄规格的放流个体开展系统追踪。2025 年 3-5 月累计从宜昌、荆州和安庆放流 361 尾超声波标记中华鲟, 包含 1-2 龄 199 尾, 3-4 龄 96 尾、5-6 龄 56 尾和 17 龄 10 尾。自宜昌至长江口, 沿江 11 个监测断面共布设 49 台超声波固定接收站, 构成监测网络。结果表明: 361 尾超声波标记中华鲟累计监测到 282 尾, 监测有效率为 78.11%, 各年龄组的监测率分别为 81.41%、58.33%、96.43%和 100%; 河口到达率为 65.25%, 各年龄组分别为 67.90%、53.57%、70.37%和 66.67%。降河过程中, 放流个体的平均降河速度随年龄增大逐渐降低。放流中华鲟各江段降河速度先增大, 后减小, 呈阶段性变化特征, 在武汉至安庆江段达到峰值 (80.09—95.15km/d), 之后呈降低趋势直至河口 (35.90—43.25 km/d); 深度偏好分析显示, 放流中华鲟主要活动于 9.4—25.7m 水层, 不同江段存在差异。抵达河口后, 个体平均停留时间为 162.5d (范围 1—355 d), 期间在长江口南北支之间共发生 10 次洄游。部分个体在到达河口后出现上溯返回干流的行为, 上溯最远至九江江段, 上溯距离 304—770km, 2 尾 17 龄中华鲟自放流点上溯至宜昌后降河至长江口, 表明降河过程并非单向不可逆。综上, 中华鲟降河洄游具有速度阶段性及河口复杂转向行为等特征, 降河过程行为规律在一定程度上受年龄影响。上述结果可为放流策略优化和关键栖息地划定提供科学依据。

关键词: 放流中华鲟; 超声波遥测; 降河洄游; 行为特征; 长江口

不同游泳训练时长对黑鲷幼鱼生长、外部形态特征及运动代谢能力的影响

王玉成¹, 郭浩宇^{1*}, 翟锦波¹, 于馨鑫¹, 秦丽娜¹, 赵子萱¹,
张秀梅¹

(1浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022)

*通讯作者: haoyuguo@163.com

摘要: 游泳训练是改善养殖鱼类生长与生理机能的重要手段。对于增殖放流实践来说, 开展适宜的游泳训练对提升人工繁育苗种放流后的生存适应性具有重要意义。为明确不同游泳训练时长对黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)增殖苗种生存适应性的影响, 本研究探讨了在 2 BL/s 流速下不同游泳训练时长[每日 0 h(对照组)、6 h、12 h 和 24 h]对黑鲷幼鱼生长、外部形态特征及运动代谢能力的影响。结果显示: (1)每日 24 h 训练组幼鱼的平均终末体长、终末湿重、存活率、饲料转化率和特定生长率均高于其他组, 但不同处理组间各项生长性能指标均无显著差异。(2)不同处理组幼鱼的尾叉长($P=0.002$)和胸鳍长($P=0.023$)存在显著差异, 其中每日 24 h 训练组幼鱼的胸鳍长显著高于 6 h 和 12 h 训练组。(3)训练组黑鲷幼鱼的相对临界游泳速度均高于对照组, 其中每日 12 h 训练组幼鱼的相对临界游泳速度最快;(4)各组黑鲷幼鱼在游泳能力测试中的耗氧率均随流速的增加呈下降趋势, 在 0-48 cm/s 流速范围内各训练组幼鱼的耗氧率均低于对照组。(5)不同处理组黑鲷幼鱼的心脏指数无显著差异, 但鳃指数存在显著差异($P<0.05$)。其中, 每日 12 h 训练组幼鱼的鳃指数显著高于对照组, 每日 24 h 训练组幼鱼的鳃指数显著高于对照组和 6 h 训练组。研究表明, 在增殖放流前以 2 BL/s 流速对黑鲷幼鱼进行持续(每日 24 h)游泳训练, 可有效改善黑鲷增殖苗种的生长和运动代谢能力, 有利于提高其放流后的生存适应性。

基于多源信息感知的稻蟹养殖精准投喂系统设计与实现

何志鹏¹ 缪新颖^{1*}

(1大连海洋大学 辽宁省海洋信息技术重点实验室)

*通讯作者: miaoxinying@dlou.edu.cn

摘要: 稻蟹共生是我国稻渔综合种养的核心生态循环模式之一,兼具粮食安全保障与水产经济增益价值,但传统养殖高度依赖人工巡田与经验化投喂,存在田间非结构化环境下数据采集困难、稻蟹保护色导致目标识别准确率低、投喂决策粗放易造成饵料浪费与水质污染等痛点,难以满足现代水产养殖数字化、精准化的发展需求。针对上述问题,本文设计并实现了一套稻蟹共生智能监测与精准投喂系统,构建“物联网多源感知—边缘智能检测—摄食行为分析—知识增强决策”的完整技术闭环。系统采用分层架构设计:感知层集成水温、PH、溶解氧、光照等环境传感器与图像采集设备,结合太阳能供电与低功耗无线传输、边缘缓存机制,解决稻田无电、弱网场景下多源数据的连续稳定采集难题;边缘计算层部署自主改进的 YOLO-RCCS 稻蟹检测模型,通过引入感受野注意力、坐标感知注意力与特征重组模块,有效破解稻蟹伪装、目标遮挡与小目标漏检问题,同时依托轻量化基线设计实现边缘设备的实时推理;系统以摄食频率为核心行为评价指标,通过多尺度滑动窗口统计稻蟹活动规律,并与环境数据完成时间对齐,综合研判摄食强度、变化趋势与投喂风险等级;智能决策层融合 RAG 检索增强技术与大语言模型,结合稻蟹养殖专家知识库生成可解释的分级投喂建议,配套安全规则校验机制,规避低氧、水质异常等场景下的不合理投喂风险。测试结果表明,系统环境数据采集完整率达 98% 以上,端到端传输时延小于 2s;YOLO-RCCS 模型 mAP@0.5 达 87.3%,在 Jetson Orin NX 边缘设备上推理速度达 45.66 帧/秒,兼顾检测精度与实时性;投喂决策模块可适配正常摄食、低氧风险、水质异常等多类生产场景,决策合理性与安全性得到有效验证。本系统实现了稻蟹养殖全流程的数字化,可为稻蟹共生模式提质增效、降本减污提供技术支撑。

一种以福利为导向的非致死耐热性方法筛选橄榄比目鱼的生长、 代谢性能和多胁迫恢复力

李子康^{1,2,3}, 覃业扬^{1,2,3}, 陆雨婷^{1,2,3}, 王均平^{1,2,3}, 汪桂兴⁴, 吕为群^{1,2,3*}

(1上海海洋大学水产与生命科学学院, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海201306)

(2上海海洋大学水产与生命科学学院, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海201306)

(3上海海洋大学水产与生命学院, 海洋生物科学国际联合研究中心, 上海 201306)

(4中国科学院北戴河中心实验站)

*通讯作者: wqlv@shou.edu.cn

摘要正文: 极端夏季温度正日益成为橄榄 flounder (*Paralichthys olivaceus*) 可持续养殖的制约因素, 而传统的耐热性筛选方法主要依赖致死终点, 这不仅损害动物福利, 也限制了其在育种中的应用。本研究开发了一种以动物福利为导向、非致死性的筛选方法, 基于急性升温过程中鱼类的行为和呼吸反应, 并评估由此获得的表型排序是否能预测更广泛的性能与抗逆性特征。选取三个家系的幼鱼, 在 18 至 33 °C 的渐进升温条件下进行暴露, 期间记录了包括身体弓起、头部上抬、离底运动等热应激行为以及鳃盖呼吸频率等指标。结果显示, 不同家系在行为阈值温度、呼吸转折点温度及上限耐受温度方面存在显著差异: 第 2 组表现出最强的耐热性, 第 1 组最低, 第 3 组为中间表型。重要的是, 经热应激筛选后的排序结果在独立验证试验中得到了有力支持。第 2 组表现出更优的生长性能、摄食量、最大代谢率和绝对有氧能力, 同时在受惊后氧气消耗量及夜间运动活动水平也更高。相比之下, 第 1 组则表现出更早的应激反应、较低的有氧灵活性以及较差的生长相关表现。在神经内分泌层面, 耐热性鱼类在大脑和尾部神经分泌系统中显示出与 HPI 轴相关的基因 (CRH、UI 和 UII) 更强的激活程度, 而耐热性强的群体则维持了相对温和的应激反应。此外, 在弧菌挑战、碱度胁迫和低盐度胁迫条件下, 通过热敏感筛选所确定的排序仍保持高度一致, 表明该方法捕捉的是更广泛的抗逆表型, 而不仅仅是耐热性。综上所述, 这些发现表明, 非致死性行为表型分析为鉴定耐热且抗应激的橄榄核鱼提供了一种有效且符合动物福利的方法。该方法在环境条件日益多变的水产养殖中, 具有应用于种质选育、品质评估和风险评估的实际潜力。

实际养殖中华绒螯蟹断肢情况调查及其打斗行为的分子调控机制

孙健洋¹, 庞杨洋¹, 李彤², 马欢³, 杨筱珍^{1*}

¹上海海洋大学水产养殖工程研究中心, 中国上海, 201306

²安徽省农业科学院水产研究所, 安徽合肥, 230031

³上海市瑞华实业有限公司, 中国上海, 202150

*通讯作者: 杨筱珍, 教授, 博导; E-mail: xzyang@shou.edu.cn

摘要正文: 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 断肢现象普遍, 不仅直接导致商品价值下降, 还引发生长受限、摄食异常、能量代谢负担加重、免疫应激反应增强, 以及成蟹因失去再生能力而造成的长期功能缺失, 对养殖效益构成多重负面影响。本文从养殖生态调查入手, 逐步深入至分子行为机制, 系统解析断肢现象的成因及应对方式。首先, 对安徽无为市晚蟹养殖调查发现, 雄蟹断肢率 (31.6%) 高于雌蟹 (20.6%), 低密度组断肢率 (31.5%) 高于高密度组 (23.4%), 但高密度组回捕率更低 (约40% vs 52%)。提示高密度环境下断肢严重的个体容易死亡, 存在“幸存者偏差”, 低密度放养更有利于降低断肢风险与死亡率。上海崇明河蟹养殖实验进一步验证, 密度与断肢率呈“U型”关系, 1000、1200、1800、2000只/亩的断肢率分别为29.56%、26.45%、17.07%和45.78%, 1800只/亩时最低, 水塘面积和水草种类对断肢率无显著影响。提示适宜密度可减少打斗损伤, 过高密度则加剧断肢风险。打斗行为是导致断肢的重要原因之一。在个体间的频繁打斗中, 双方通过大螯或附肢相互攻击, 一旦附肢被夹断或严重受损, 便会触发自切保护机制导致肢体脱落。前期研究发现, 日粮中添加L-色氨酸 (L-TRP) 可显著抑制中华绒螯蟹的打斗行为。为进一步揭示其分子机制, 对饲喂L-TRP后的胸神经节进行转录组测序和靶向代谢组分析, 发现色氨酸代谢通路中多个关键基因表达显著变化, 其中色氨酸2,3-加氧酶 (*tdo*) 基因显著下调, 同时胸神经节中色氨酸和黄尿酸含量显著升高。RNA干扰实验表明, 敲低*tdo*表达后, 打斗次数和持续时间均显著增加 ($p < 0.05$), 表明*tdo*通过调控色氨酸代谢参与打斗行为的抑制。此外, 差异表达基因还富集于氧化磷酸化和葡萄糖代谢通路, 提示能量代谢也参与行为调控。综合养殖生态调查与分子机制研究, 打斗行为是中华绒螯蟹断肢现象的根本诱因之一, 断肢频率受养殖密度、性别和环境胁迫影响, 而打斗行为本身受色氨酸代谢通路 (特别是*tdo*基因) 的分子调控。建议在河蟹养殖中合理控制密度, 加强水质管理, 减少环境胁迫, 并通过营养调控降低打斗频率, 从而减少断肢损失, 提升商品价值。

关键词: 断肢, 打斗行为, 养殖密度, L-色氨酸, 中华绒螯蟹

不同进水流量下的循环水养殖鳊鱼行为研究

徐畅, 张俊*, 乔佳莹, 李志豪, 孙雨圣, 杨倩

(上海海洋大学工程学院, 上海 201306)

*通讯作者: zhangjun@shou.edu.cn

摘要: 鳊鱼是一种低流速耐受的底栖性鱼类, 确定其适宜流速范围是科学设计循环水养殖系统的关键。本文以成年斑鳊为研究对象, 基于机器视觉的方法, 研究了不同进水流量下的循环水养殖鳊鱼行为。首先, 构建 3m 直径的双通道圆形试验池, 研究射流式进水管在不同质量流率下的流速分布; 其次, 在 YOLOv8n 模型颈部网络中引入双向特征金字塔网络 (BiFPN), 提高模型对多尺度目标的表征能力, 在骨干网络中引入 ACmix 混合注意力模块, 增强水底过暗区域的特征; 然后, 结合 ByteTrack 多目标跟踪算法提取不同流速区域的停留时长, 并利用双目测距计算每条鱼到中心集污凹槽的距离; 最后, 分析鱼群活动区域和摄食率等行为特征。结果表明: YOLOv8-BAB 模型的平均精度均值 (mAP50) 达到 95.2%; 对比不同流率下的鱼群活动区域, 鳊鱼适合长期活动在 0.108m/s 以下的流速区域; 在射流管流率为 1.0kg/s 的持续水体流动下, 池壁流速为 0.168m/s 时, 鱼群向池中集污凹槽聚集度相较于 0.9kg/s 的流率下增加 18.6%; 鱼群摄食率在 1.2kg/s 流率, 池壁流速为 0.223m/s 的流速下降低 68.4%。

关键词: 工厂化循环水养殖; 适宜流速; 机器视觉; 行为特征; 鳊鱼; YOLOv8n

养殖水体正常 pH 值高 CO₂ 对大口黑鲈嗅觉功能和嗅上皮稳态的影响

宫兆飞, 牛浩, 张国柱, 王晓杰*

(1上海海洋大学水产与生命学院, 中国-东盟海水养殖技术“一带一路”联合实验室)

*通讯作者: xj-wang@shou.edu.cn

摘要正文: 循环水养殖系统 (Recirculating Aquaculture Systems, RAS) 已成为我国鱼类集约化养殖的核心模式, 然而, 该系统封闭性强、水体交换受限, 使得鱼类呼吸代谢、残饵微生物分解及水体微生物矿化过程中持续产生的二氧化碳 (carbon dioxide, CO₂) 在水中过度累积, 成为制约养殖效益提升的关键水质胁迫因子。现有相关研究多聚焦于 CO₂ 与 pH 共同下降对海水鱼类的联合影响, 而对于正常 pH 条件下, 高 CO₂ 作为独立胁迫因子对淡水肉食性鱼类嗅觉系统的潜在损伤, 及其内在的作用机制尚未明确。

本研究以循环水养殖大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 幼鱼为对象, 维持水体 pH 处于适宜范围, 设置对照组 (约 5 mg/L CO₂)、10 mg/L 与 15 mg/L CO₂ 组, 从行为学、组织形态学、分子转录调控及细胞功能四个层面, 系统探究正常 pH 下高 CO₂ 对大口黑鲈幼鱼嗅觉功能的影响规律与机制。

结果表明, 高 CO₂ 以浓度依赖方式显著抑制幼鱼嗅觉介导的觅食行为。组织形态学检测发现, 高 CO₂ 诱导嗅上皮粘液细胞数量、表面积呈浓度依赖性显著增加, 同时, 成熟嗅觉神经元占比显著降低, 细胞增殖活性及新生神经元分化进程受到明显抑制。钙成像实验发现, 高 CO₂ 以浓度依赖方式显著削弱 L 型丙氨酸刺激引发的嗅上皮钙信号响应强度。并且, 高 CO₂ 显著重塑了大口黑鲈幼鱼嗅上皮的基因表达谱, 其中 cAMP 与 PLC/IP₃-Ca²⁺ 通路关键受体、离子通道及下游信号分子的转录水平显著下调, 同时上调粘液分泌、细胞凋亡相关基因, 而神经发生与细胞增殖调控基因的表达受到明显抑制。

本研究解析了正常 pH 下高 CO₂ 对淡水肉食性鱼类嗅觉系统的独立影响机制, 明确了 10 mg/L CO₂ 即可诱发大口黑鲈幼鱼嗅觉功能的异常, 为 RAS 养殖中 CO₂ 浓度阈值设定及水质精准调控提供了重要科学依据, 可为淡水集约化养殖的水质调控研究与实践提供参考。

关键词: 水产养殖, 高二氧化碳, 水质, 嗅觉, 大口黑鲈

群体数量对大黄鱼幼鱼游泳行为的影响研究

黄京城, 殷小龙, 桂福坤, 曲晓玉, 高阳, 冯德军*

(1 浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江 舟山, 316002

2 浙江省舟山市水产研究所, 浙江 舟山, 316003

3 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山, 316002)

*通讯作者 E-mail: fengdj@zjou.edu.cn

摘要:

目的: 研究大黄鱼幼鱼 (*Larimichthys crocea*) 对流速的行为适应特征, 以及不同群体数量对大黄鱼幼鱼游泳能力的影响。

方法: 以体长(11.1 ± 0.85 cm)、体重(50.6 ± 10.23 g)的大黄鱼幼鱼为对象, 采用波流水槽对不同数量(1、2、4、6、8尾)的大黄鱼进行实验, 实验设置 0.5 ~ 4.5 BL/s (步长 0.5) 共 9 种流速工况。采用高清摄像机 (1920×1080P, 30 帧·s⁻¹) 对实验现象进行录制, 随后用 tracker 软件对实验鱼进行追踪, 通过计算得出群体运动速度 (Group movement speed, Gc)、个体间距离 (Inter-individual distance, IID)、游泳速度同步性 (Swimming speed synchrony, Sv)、摆尾频率 (Tail beat frequency, TBF)、排布模式 (Arrangement pattern) 和游泳区域时间占比 (Time proportion in the swimming area)。

结论: 结果显示, 各组大黄鱼幼鱼的群体运动速度随着流速的增加而增大, 并且在各流速下, 单尾鱼的群体运动速度要显著大于其他各组 ($p < 0.05$)。表征鱼群凝聚力的个体间距离则是随着流速的增大, 呈现先减小后增大的趋势, 并在流速达到 2.0 ~ 4.0 BL/s 时出现最低值。表征鱼群协调性的游泳速度同步性与个体间距离呈相反的变化趋势, 随着流速的增大, 游泳速度同步性呈现先增大后减小的趋势, 并在流速达到 2.5 ~ 4.0 BL/s 时出现最高值。在摆尾频率方面, 随着流速的增大, 大黄鱼幼鱼的摆尾频率也逐渐增大, 并且在各流速下, 单尾鱼的摆尾频率要显著大于其他各组 ($p < 0.05$)。低流速下大黄鱼以顺流向后和逆流向前为主, 随着流速的增大变为以逆流静止和逆流向前为主。综上所述, 随着流速的增加, 大黄鱼的群体凝聚力与协调性均呈现出先增加后减小的趋势, 并且群体数量的增加有利于提高大黄鱼幼鱼群体的凝聚力和协调性。上述结果揭示了群体数量及流速变化对大黄鱼幼鱼集群行为的影响阈值, 为理解自然环境中鱼类应对水流胁迫的群体适应策略提供了实验依据。

关键词: 大黄鱼、流速、群体数量、游泳行为

不同密度罗氏沼虾的投放对稻蟹养殖模式的影响

唐子清 李晓东*

沈阳农业大学

摘要：为解决辽宁传统稻蟹共养模式单一、单位面积经济效益低且抗风险能力薄弱等核心产业痛点，探究复合混养模式的增效效果，本研究基于产业调研，在稻蟹共养系统的基础上引入不同密度梯度（低、中、高密度）的罗氏沼虾（*Macrobrachium rosenbergi*），开展了田间生产实验、水质监测、虾蟹打斗行为学以及河蟹生理生化指标等多维度的综合研究。结果表明：1）在生长性能与饵料利用方面，低密度混养组的河蟹特定生长率和增重率与传统稻蟹对照组无显著差异，且该组罗氏沼虾表现出最优的生长性能；随着混养密度升高，虾蟹的生长率与成活率均显著下滑，但所有混养组的饵料利用率均显著高于对照组。2）在经济效益方面，低密度组与中密度组的经济收益极显著高于高密度组，混养模式在合理密度下能显著提升稻田系统的综合经济效益。3）在水环境与生理应激方面，水质恶化程度与罗氏沼虾混养密度呈显著正相关，高密度组的溶氧水平显著下降、氨氮与亚硝酸盐峰值显著升高且水质波动剧烈。同时，行为学研究表明实验初期虾蟹打斗与主动攻击行为频次存在极显著的密度梯度效应；生理学检测进一步证实，高密度投放加剧了河蟹的氧化应激与免疫负担（MDA 含量、CAT 和 AKP 活性显著升高），而低密度组河蟹氧化损伤最轻、抗氧化能力最强。综上所述，低密度混养模式的种间干扰最弱，虾蟹生长协同性、饵料利用率及水质稳定性表现最优，是北方稻田复合混养的最佳密度模式。本研究结果可为辽宁乃至北方地区稻渔综合种养产业的升级与养殖户增收提供科学依据与技术支持。

关键词：稻蟹共养；罗氏沼虾；混养密度；生长性能；经济效益；行为干扰；生理应激

多模态感官训练增强大黄鱼幼鱼反捕食行为及放流存活潜力

唐豆豆，冯博文，刘凯*

(集美大学)

*通讯作者: liukai1218@jmu.edu.cn (K. Liu)

摘要正文: 大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国重要的海水经济鱼类和增殖放流对象，但幼鱼在放流早期常因捕食压力而出现较高死亡率，显著制约了放流群体的补充效果和生态学效益。如何在放流前增强幼鱼对捕食风险的识别与规避能力，是提高增殖放流成效的关键问题。本研究围绕大黄鱼幼鱼反捕食行为可塑性，系统评估了多模态感官条件化训练对其捕食风险感知、行为响应和急性捕食压力下存活表现的影响。

行为学实验表明，大黄鱼幼鱼暴露于同种皮肤受伤提取物后，并未表现出典型的警戒、冻结或集群增强等反捕食行为，提示其可能缺乏类似鲤形目等真骨鱼类中常见的经典化学报警信号系统。基于这一结果，本研究进一步构建了以活体捕食者为核心的双模态条件化训练范式，将视觉捕食刺激与花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 捕食者嗅觉线索进行联合呈现，以模拟更接近自然情境的捕食风险信息。结果显示，相较于单一视觉刺激，双模态训练能够显著增强大黄鱼幼鱼的防御性行为响应，表现为冻结行为持续时间延长、竖直向上运动增加以及警戒状态维持时间延长。为进一步验证训练方案的实际应用效果，本研究在 48 h 环境适应后对幼鱼实施 3 h 双模态感官训练，并将其暴露于急性捕食压力下。结果表明，训练组幼鱼在捕食胁迫下表现出显著生存优势，存活率达到 80.00%，显著高于未训练对照组的 26.67% ($p < 0.05$)。这一生存优势主要与首次被捕食时间延迟、个体风险规避能力增强以及群体集群行为协调性改善有关。

综上，本研究揭示了大黄鱼幼鱼反捕食行为形成过程中多模态感觉整合的重要作用，表明放流前短时感官条件化训练能够有效提升其捕食风险识别能力和早期存活表现。该训练方案具有操作简便、成本较低、可规模化实施等优势，可作为大黄鱼增殖放流前野外适应性强化的重要技术手段，为提高海水鱼类增殖放流成效提供行为生态学依据和应用参考。

基于声学遥测的标记放流长江鲟空间利用格局与重点江段识别

李鹏程¹, 周泽棋¹, 杜浩^{1*}

(1中国水产科学研究院长江水产研究所 淡水鱼类种质资源与生物技术研究室)

*通讯作者: duhao@yfi.ac.cn

摘要正文: 为识别标记放流长江鲟在天然江段中的空间利用格局及重点活动水域, 于2025年10月至2026年4月, 在长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区重庆段, 采用固定式超声波接收站与移动追踪相结合的方法, 对46尾超声波标记长江鲟进行半年连续监测。结果显示, 46尾标记个体均被固定站记录, 个体覆盖率为100%, 共获得固定站有效记录340条、移动追踪记录20条。基于河道中心线投影分析, 标记个体累计移动距离平均为84.6km, 活动范围跨度平均为43.0 km; 净上行和净下行个体分别为24尾和22尾, 方向变化型个体占65.2%, 表明放流后个体存在方向转换、阶段性停留和局部活动等复杂空间利用过程。固定站接收结果显示, 113号站为最突出热点, 共获得143条有效记录、识别26尾个体, 101号、116号、129号和140号站为次级热点。研究表明, 半年尺度声学遥测可有效揭示放流长江鲟的重点活动江段和空间利用差异, 为放流效果评估、固定站布设优化和保护区精细化管理提供依据。

关键词: 长江鲟, 声学遥测, 标记放流, 空间利用, 重点江段

不同光谱夜间人造光对斑马鱼 (*Danio rerio*) 行为及跨代效应的影响研究

李威威^{1,2,4}, 张东旭^{1,4}, 邹青青^{1,4}, Aneesh P. H. Bose^{2,3}, Alex Jordan², Erin S. McCallum³, 鲍江辉¹,
段明^{1*}

(¹中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术全国重点实验室, 湖北 武汉 430072

²马克斯·普朗克动物行为研究所 行为进化研究组, 德国 康斯坦茨 78464

³瑞典农业科学大学 野生动物、鱼类与环境研究系, 瑞典 于默奥 90736

⁴中国科学院大学, 北京 100039)

*通讯作者: duanming@ihb.ac.cn

摘要正文: 夜间人造光 (Artificial Light at Night, ALAN) 作为一种新型环境污染因子, 能够干扰生物的昼夜节律、生理活动及行为模式, 对水生生态系统构成潜在威胁。然而, 不同光谱组成 ALAN 对鱼类行为及其跨代影响仍缺乏系统研究。本研究以昼行性模式生物斑马鱼 (*Danio rerio*) 为研究对象, 设置 10 种不同波长单色光、白光及黑暗对照处理, 对成年雌性斑马鱼连续进行 10 天夜间光照暴露, 分别评估其个体运动行为、群体行为及焦虑样行为变化, 并进一步分析母体 ALAN 暴露对子代 (F1) 行为的跨代影响。结果表明, 短波长光 (365–470 nm) 处理对成年斑马鱼行为影响最为显著, 表现为焦虑样行为增强, 且暴露时间越长影响越明显。进一步研究发现, 尽管 F1 子代未直接暴露于 ALAN 环境, 其运动频率和运动距离仍显著降低, 且这一跨代效应在不同光谱处理间均有体现。研究结果表明, 短波长 ALAN 对成年斑马鱼行为具有较强干扰作用, 同时母体夜间人工光暴露可对子代行为产生持续的跨代影响。本研究为阐明夜间人工光污染的生态风险及其潜在跨代效应提供了实验依据, 也为水域光环境管理和生态保护提供了科学参考。

基于深度学习的东北林蛙性别判定与地理种群的识别研究

刘博文^{1,2}, 朱懿^{1,2}, 李应东^{1,2,*}

(¹沈阳农业大学 动物科学与医学学院; ²沈阳农业大学 智慧农业研究院 动物健康与兽药智能研发研究所)

*通讯作者: liyingdong@syau.edu.cn

摘要正文: 东北林蛙(*Rana dybowskii*)不同地理种群间存在显著的药用及经济价值差异,建立精准溯源与鉴别机制对维护市场秩序至关重要。传统人工鉴别方式存在效率低下、主观性强等局限。基于课题组前期对不同地理种群林蛙的多维形态学测量数据,本研究构建了一种基于 YOLOv8 目标检测架构的计算机视觉识别系统,以实现非接触式的智能化判别。在特征提取与融合网络中引入卷积块注意力模型(CBAM)并增设 P2 微小目标检测头,结合自抗扰卷积(ADR)提升系统对性别及种群细微特征的感知边界与召回率。在骨干网络中引入可变形卷积(DCNv2)并应用动态卷积(Dyconv)重构 C2f 模块,大幅增强了林蛙瞬时动态跃迁过程中的特征捕获能力。结果表明,改进后的模型在测试集上的 mAP₅₀₋₉₅ 及 mAP 值分别达到了 0.83、0.91,多目标追踪准确度(MOTA)表现优异,显著降低了密集重叠环境下的误检与漏检率。本研究可为两栖动物智能化精准养殖及生物资产数字化溯源提供高效的技术方案与应用参考。

高温胁迫下中华绒螯蟹行为变化及能量代谢响应研究

刘雅楠, 梁雪钰, 杨海思, 张丹*, 周文礼

(1 天津农学院水产学院, 天津, 300384)

*通讯作者: zhangdan@tjau.edu.cn

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 是我国重要的淡水养殖蟹类, 夏季高温易引起其行为异常和能量代谢紊乱。本研究设置 25°C 常温组和 35°C 高温组, 分析雄性中华绒螯蟹的运动行为、争斗行为、组织结构、能量代谢关键物及 *Sestrin-AMPK* 通路基因表达变化, 探究高温胁迫对其行为与能量代谢响应的影响。结果显示, 35°C 组总移动距离及平均速度显著降低 ($P<0.05$), 慢速、中速和快速运动时间占比均显著降低, 静止时间占比显著升高 ($P<0.05$)。争斗行为中, 总争斗强度占比由 6.88% 显著降至 4.38% ($P<0.05$), 强烈争斗占比由 1.27% 显著降至 0.04% ($P<0.05$); 胜利组和失败组的非接触行为均显著减少 ($P<0.05$), 胜利组接触行为显著降低 ($P<0.05$)。组织学观察显示, 35°C 处理后肌肉纤维排列松散, 鳃组织出现末端膨大、上皮细胞和柱状细胞变形。能量代谢方面, 肌糖原在 25°C 和 35°C 条件下均表现为胜利组显著高于失败组 ($P<0.05$); 血淋巴乳酸和葡萄糖含量在 25°C 条件下胜利组显著高于失败组 ($P<0.05$), 而 35°C 条件下葡萄糖含量表现为失败组显著高于胜利组 ($P<0.05$); 肌肉和鳃组织中 CS、SDH、MDH、HK、PK、PFK、LDH 及 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ 活性在不同温度和胜负状态下差异显著 ($P<0.05$)。 *Sestrin-AMPK* 通路研究发现, 肌肉和鳃组织中 *AMPK*、*Sestrin* 和 *SIRT1* mRNA 水平显著升高 ($P<0.05$), *TORC1* 表达显著降低 ($P<0.05$)。以上结果表明, 高温胁迫破坏中华绒螯蟹肌肉和鳃组织结构, 对其运动和争斗行为具负面影响, 并通过能量代谢关键酶活性和 *Sestrin-AMPK* 通路相关基因表达的综合作用, 调控机体能量再分配。本研究为揭示高温胁迫下中华绒螯蟹行为变化与能量代谢响应之间的关系提供实验依据。

关键词: 中华绒螯蟹; 高温胁迫; 运动行为; 争斗行为; 能量代谢; *Sestrin-AMPK* 通路

稻蟹种养模式中不同投喂方式对中华绒螯蟹摄食行为与生长性能的影响

鲁旭锟 李晓东*

大连海洋大学

摘要：随着稻蟹产业规模化发展，传统人工投喂存在分布不均、时间不规范和效率较低等问题，无人机投喂作业的行为干扰效应尚不明确等问题，探究投喂时间与无人机作业对中华绒螯蟹摄食行为与生长性能的影响。结果表明：1）在投喂时间方面，中华绒螯蟹首次摄食响应时间总体表现为 7:00 组最长、17:00 组居中、22:00 组最短，部分实验日 7:00 组与 22:00 组差异显著，表明中华绒螯蟹具有较明显的夜间摄食倾向，夜间投喂更有利于提高摄食积极性。2）在无人机作业行为效应方面中华绒螯蟹可在 2 周内逐步适应无人机作业的重复刺激。应激行为频次均恢复至与对照组无显著差异的水平，未形成持续性行为异常。整体与对照组无显著差异。3）在室外投喂方面，无人机投喂组肝胰腺指数与 AMS 显著高于人工投喂组，其余生长、存活及产量指标均无显著差异，表明无人机投喂不会对中华绒螯蟹的正常养殖表现产生负面影响，具备田间应用可行性。综上所述，中华绒螯蟹的投喂时间应与其夜行性摄食特征相匹配；无人机噪音虽可诱发短期逃避和警戒反应，但中华绒螯蟹能够随重复刺激逐步适应。实际生产中宜采用以夜间为主的投喂安排，缩短单次作业时间和稳定飞行路线，降低无人机投喂对中华绒螯蟹行为的干扰。研究结果不仅填补了中华绒螯蟹养殖领域无人机投喂应用的研究空白，对推动稻蟹产业从经验型养殖向科学化、智能化 转型具有重要的实践意义

关键词：中华绒螯蟹；投喂时间；摄食响应；无人机投喂；应激行为；行为适应

鱼类行为学研究进展及其在智能养殖中的应用

靳娇娇¹，陈南雄¹，鞠琦²，吴子杰¹，刘永奎¹，李色东^{1*}

(1. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)，广东湛江，524025；

2. 广东海洋大学水产学院，广东湛江，524088)

*通讯作者：lisedong@163.com

摘要：集约化、智能化已是水产养殖发展主流方向，鱼类行为可直观反映鱼体健康、生长状态与环境适应能力，是智能养殖管控的重要依据。本文系统综述鱼类摄食、游泳、应激、社会四大行为的特征规律与研究进展，梳理行为量化评价指标；对比视频图像识别、声学监测、多模态融合等技术在行为感知中的应用特点与局限。研究表明，现有识别技术与配套装备存在复杂养殖环境适应性差、模型跨场景泛化能力不足、硬件及运维成本偏高等问题，且多数系统仅实现被动数据采集，未能与养殖调控环节形成闭环联动。本文据此提出数据标准化、多模态融合、工程化适配等发展方向。研究可为鱼类行为识别技术升级、智能养殖装备落地应用提供理论支撑，助力现代渔业高质量发展。

关键词：鱼类行为；行为识别；监测技术；智能养殖

潜降式网箱上升过程中大黄鱼应激行为响应特征研究

梁江林，冯德军*

(浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心，浙江 舟山 316022)

*通讯作者: fengdj@zjou.edu.cn

摘要正文：潜降式网箱是大黄鱼(*Larimichthys crocea*)养殖从内湾走向深远海的新兴水产养殖装备，具有抗风浪能力强、水交换频率高及成鱼品质好等优点。与传统浮在水面的HDPE网箱不同，潜降式网箱需在台风前后通过远程遥控方式将其下潜和上浮，避免大浪强流对网箱结构、鱼体适应的影响。尤其是在网箱上浮的过程中，网箱内的大黄鱼会因水深骤减产生应激影响，造成鱼体死亡。为减小网箱上浮过程中大黄鱼生理应激，充分保障鱼体生命健康，亟需开展潜降式网箱上浮过程中大黄鱼应激行为研究。因此，本研究通过室内实验构建了一套以透明耐压罐为核心的气压调控系统，模拟网箱上浮过程中的减压环境，并以 20 kPa/min 速率将压力从 200 kPa 梯度减压至 0 kPa，通过行为追踪技术分析鱼体摆尾频率、探头次数和游泳速度等应激特征评估其行为响应。实验分析了 200、300 和 400 g 三种体重大黄鱼，并在 50 kPa 水深设置单次暂停，查明了不同规格大黄鱼的应激行为特征。并针对 400 g 的成鱼大黄鱼设计了 100 & 50 kPa, 150 & 50 kPa 及 150 & 100 kPa 三种双段暂停策略，得出了成鱼养殖阶段潜降式网箱的最佳提升策略。结果表明，大黄鱼行为活性随鱼体增大而减小，400 g 的鱼体行为活性显著低于其他规格，各项指标随减压持续下降。而在 3 种不同提升策略中，100 和 50 kPa 双阶段暂停工况下 400g 大黄鱼行为波动最小，潜降式网箱在 150 和 50 kPa 暂停时的鱼体波动最大。本研究可为潜降式网箱减压工艺优化及大黄鱼抗压适应研究提供科学参考。

基于螯足形态与棍棒刺激的中华绒螯蟹攻击性评价

侯金亮, 张永志, 侯鑫, 陈晓文, 王军*, 王成辉*

(1 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室/水产科学国家级实验教学示范中心/上海水产养殖工程技术研究中心, 上海海洋大学)

*通讯作者: wangjun@shou.edu.cn; wangch@shou.edu.cn

打斗行为是影响中华绒螯蟹养殖成活率和群体稳定的重要因素,但其可量化表型及相关调控基础仍不清楚。本研究以雄性中华绒螯蟹为对象,基于标准化棍棒刺激实验评估个体对棍棒刺激的攻击反应程度,并结合体型校正后的螯足指数、生化指标和组织转录组分析其相关特征。结果显示,刺激诱导的攻击反应存在明显个体差异,且高攻击个体具有较高的相对螯足发育水平,提示螯足形态可能与刺激诱导的攻击/防御反应有关。高攻击组 CAT 活性和 MDA 含量显著升高,其伴随更强的氧化应激响应。胸神经节转录组显示,高攻击组差异基因主要富集于多巴胺能、5-羟色胺能、GABA、谷氨酸能突触以及 cAMP 和钙信号等神经调控通路;第一步足肌肉中差异基因则主要涉及能量代谢和信号转导过程。综上,本研究从行为、形态、生理和转录组层面揭示了雄性中华绒螯蟹刺激诱导攻击反应的相关特征,为攻击相关行为性状评价和攻击性种质筛选提供了参考。

关键词: 中华绒螯蟹; 攻击行为; 螯足指数; 神经递质; 胸神经节与肌肉; 氧化应激

中华绒螯蟹多组学数据平台 EGBD 及其在行为学研究中的应用前景

王凌霄，王军，王成辉*

(1 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室/水产科学国家级实验教学示范中心/上海水产养殖工程技术研究中心，上海海洋大学)

*通讯作者: wangch@shou.edu.cn

摘要: 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 是我国重要的淡水养殖经济物种，其摄食、繁殖、蜕壳及应激等典型行为的发生与调控机制，一直是水产动物行为学关注的重点。然而，行为表型的遗传基础和分子调控通路尚缺乏系统的基因组数据支撑，限制了从“基因型→分子调控→行为表型”的完整解析。为此，本团队构建了中华绒螯蟹基因组育种数据库 (EGBD)，这是一个整合了高质量参考基因组、139 个个体全基因组变异图谱 (SNP/InDel/SV)、8 种关键生物学过程的转录组表达谱以及多年表型记录的综合平台。EGBD 提供了基因检索、变异景观展示、共表达网络分析及功能富集等工具，使研究人员能够系统挖掘行为相关基因的遗传变异、表达动态及其调控网络。以断肢再生行为为例，EGBD 整合了这一过程中眼柄和肌肉的转录组表达谱，用户可通过该平台快速检索断肢再生相关基因的群体变异频率及其表达动态，从而将分子变异与蜕壳行为的个体差异相关联。该平台为“水产动物行为标准与数据库建设”提供了可借鉴的整合框架。在此基础上，它也为解析甲壳动物行为发生的遗传机制、推动数据驱动的行为学研究转型，以及助力中华绒螯蟹的智能养殖与遗传改良，构筑了坚实的数据基础。

藤壶附着对虾夷扇贝 (*Mizuhopecten yessoensis*) 游泳能力、形态及转录组的影响

孙万乐, 解耀宇, 徐新雨, 刘亦菲, 田莹*

(大连海洋大学北方海水增养殖重点实验室)

*通讯作者: 田莹 tianying@dlou.edu.cn

摘要: 藤壶生物污损对扇贝养殖业构成显著的生态威胁与经济损失, 但其对宿主生理功能的亚致死效应及养殖群体生产力的影响尚缺乏定量评估。本研究整合游泳行为分析、壳体形态测量及闭壳肌转录组学技术, 系统评估了泥藤壶 (*Balanus uliginosus*) 对重要经济贝类——虾夷扇贝 (*Mizuhopecten yessoensis*) 的影响。结果表明, 与无污损对照组相比, 藤壶附着个体的单次摆幅游距、总摆幅游距及平均游泳速度均显著降低 (降幅 40%–60%), 而游泳的频率增加约 30%。去除附生生物后, 游泳性能仅部分恢复, 提示存在持续性损伤。藤壶负载量平均达宿主软体部湿重的 24%, 当负载量超过 40% 时, 个体几乎完全丧失推进能力。形态学分析显示, 污损个体的软体部质量降低 16%、闭壳肌横截面积缩小 7%, 而壳体轮廓尺寸无显著差异; 几何形态测量分析进一步揭示污损个体壳形变异度增大, 表现为壳宽增加、壳形趋于椭圆化, 提示存在代偿性形态响应。转录组分析共鉴定出 370 个差异表达基因, 其中锌离子转运及 DNA 损伤响应通路显著上调, 而谷氨酸代谢、谷胱甘肽代谢、氨基酸代谢、脂质代谢及碳水化合物代谢相关基因广泛下调。上述结果揭示, 藤壶附着通过对虾夷扇贝肌肉组织造成慢性生理胁迫并系统性抑制能量代谢, 导致捕食逃逸能力下降、躯体生长受阻及繁殖输出降低。本研究为评估野生扇贝资源及筏式养殖群体中藤壶附着所致损失提供了生理学依据, 并为病害防控策略的优化奠定了基础。

关键词: 虾夷扇贝; 藤壶污损; 游泳性能; 形态适应; 转录组

鱼群集群状态量化研究

王植鑫^{1,2}, 黄成张², 高阳², 钱卫国², 徐全^{3*}

(1北京航空航天大学 无人系统实验室 2浙江海洋大学 水产学院

3西华大学 机械工程学院)

*通讯作者: quanxnjd@sina.com

摘要正文: 鱼类行为研究涵盖个体与群体两个层面, 其中鱼群的群体表现能够在宏观层面反映群体尺度对环境变化活外界刺激的整体响应。然而, 由于群体行为结构复杂且动态变化显著, 长期缺乏其统一有效的量化描述方法, 鱼群集群行为度量已成为水产动物行为学中的关键问题。本研究聚焦养殖条件下鱼群游动的典型集群行为, 如定向游动、聚集扩散及应激响应等行为的结构特征, 构建以极化有序度和旋转有序度为核心的群体行为量化指标体系。极化有序度用于表征群体运动方向一致性, 旋转有序度用于刻画群体环形或旋转运动强度。基于视频监控与行为识别技术, 对鱼群运动过程进行连续提取与分析, 实现群体行为状态的动态量化评估。结果表明, 上述指标能够有效区分不同状态下的群体行为模式, 并对环境变化及异常状态具有良好的响应能力。该研究为鱼群行为的客观量化提供了方法支撑, 可服务于精准投喂、环境调控及养殖风险预警, 促进水产养殖智能化发展。

海星摄食行为研究

谢玺，庞金池，万凯宏，王庆志^{1,2,3*}

(1.辽宁省海洋水产科学研究院 大连市海产贝类种质资源创新利用重点实验室；2.农业农村部水产种质资源保护与挖掘利用重点实验室；3.大连星海湾实验室)

*通讯作者: wqzlm@126.com

摘要正文：（仿宋-GB2312，小四号，1.5 倍行距）近 20 年来中国北方养殖海域的海星暴发事件给沿海贝类养殖业造成了相当大地破坏，导致受灾海域养殖的鲍、蛤蜊、扇贝等产量受损严重。论文探究了黄渤海灾害海星的典型代表种多棘海盘车(*Asterias amurensis*)和海燕(*Patiria pectinifera*)对不同规格 3 种贝类（菲律宾蛤仔、四角蛤蜊、魁蚶）的开壳行为特征与摄食器官代谢调控机理。结果显示开壳效率随海星体型增大而提升，且与贝类的外形结构密切相关。利用不同孔径的隔网限制海星腕和管足活动，发现多棘海盘车的开壳成功率随管足利用度升高而增加，而海燕摄食受限显著。消化时间随孔径减小而延长，说明物理限制影响海星胃部功能。进一步采用代谢组学手段，初步揭示摄食状态下贲门胃中甘油磷脂和花生四烯酸代谢通路被激活，消化盲囊则通过 ABC 转运体和核苷酸代谢增强物质转运和组织修复，体现了摄食过程中不同组织的协同代谢调控机制。



图 1 实验用三种双壳贝类

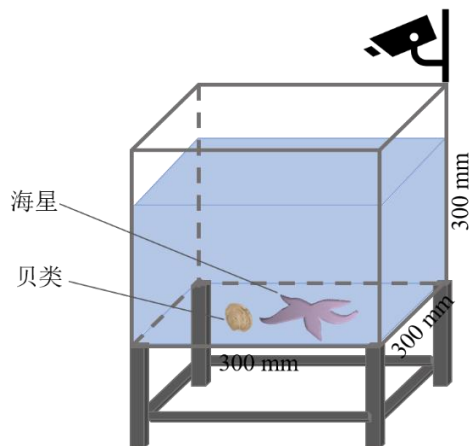


图 2 海星开壳行为观察实验原理图

从风险识别到野化训练的探索：大黄鱼多感官反捕食 行为机制及应用

冯博文¹，唐豆豆¹，方铭¹，王志勇¹，陈仕玺¹，Kwan Kit Yue¹，刘凯^{1,*}

(1集美大学水产学院)

*通讯作者: liukai1218@jmu.edu.cn

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国重要海水经济鱼类，但人工增殖放流后早期死亡率较高，反捕食能力不足可能是限制资源恢复效果的重要原因。本研究以大黄鱼幼鱼为对象，围绕捕食风险识别与行为驯化开展系统研究。通过设置视觉、化学及多感官耦合线索，并结合不同刺激强度、捕食者饥饿/饱食状态，分析幼鱼典型反捕食行为与生理水平变化情况。结果表明，视觉线索是诱发即时防御反应的主导信号，化学线索可维持持续警觉；多感官耦合刺激能够显著增强风险感知。此外，幼鱼还可区分捕食者状态，并在行为防御与生理应激之间表现出功能分化，体现出适应性风险权衡策略。在此基础上，本研究构建了以捕食者视觉与直接接触线索为核心的低胁迫野化训练方案，显著延长幼鱼首次被捕时间，并将短期存活率提高 53.3%。本研究揭示了大黄鱼幼鱼视觉主导、多感官协同的反捕食机制，为增殖放流苗种行为强化与野化训练提供了理论依据和实践路径。

长鳍吻鮡亲本雌雄个体栖息地底质偏好的选择差异

李隆王^{1,2}, 俞立雄², 段辛斌², 陆子茜^{1,2}, 付世建^{1*}, 阙延福^{3*}

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

401331

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 国家农业科学重庆观测实验站, 湖北, 武汉 430223

3. 水利部中国科学院水工程生态研究所水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北, 武汉,

430079)

*通讯作者: shijianfu9@cqu.edu.cn; yfque@mail.ihe.ac.cn

摘要: 长江上游梯级水电开发改变了河流水文情势和底质组成, 削弱了河流连通性, 导致鱼类栖息地破碎化。然而, 目前关于长江上游鱼类底质偏好的定量研究仍较为缺乏。基于野外调查, 本研究在长江泸州段和合江段共识别出 6 种具有代表性的底质类型, 并利用室内物理生境模拟池开展底质选择实验, 量化分析长鳍吻鮡 (*Rhinogobio ventralis*) 的底质偏好特征及其雌雄个体间的差异。共分析 12 尾实验鱼, 采用偏好指数和 Kolmogorov-Smirnov 检验分析了长鳍吻鮡亲本对不同底质类型的选择差异。结果表明: (1) 雌鱼在粒径 2~4 mm 底质上的累计停留时间最长 (2339 s); 雄鱼则在粒径 0.2~0.5 mm 底质上的累计停留时间最长 (2080 s); (2) 雌雄个体均对粒径 0.2~0.5 mm、4~6 mm 和 >6 mm 的底质表现出显著偏好, 而对其余底质类型未表现出明显选择倾向。(3) 在偏好的底质类型中, 雌鱼对粒径 0.2~0.5 mm 底质的偏好程度最高 (PR = 2049.3), 雄鱼则对粒径 4~6 mm 底质表现出最强偏好 (PR = 2363.5), 表明不同性别个体在底质利用上存在一定差异。总体来看, 长鳍吻鮡亲本对 0.2~0.5 mm、4~6 mm 和 >6 mm 表现出明显偏好。这种选择可能与较大粒径底质能够提供更高的生境复杂度、更丰富的食物资源以及形成低流速庇护区有关。研究结果可为长江上游受水电开发影响河段的生境修复与生态调度提供科学依据, 表明维持或恢复上述粒径底质斑块有助于提高长鳍吻鮡的生境适宜性, 并可能促进其他具有相似生态需求底栖鱼类种群的保护与恢复。

关键词: 栖息地修复, 长鳍吻鮡, 性别, 底质选择, 偏好指数

气候变暖背景下食蚊鱼热耐受与行为表型的性别分化机制

周春廷，金锦锦*

(1河南师范大学水产学院)

*通讯作者: jin013022@163.com

摘要: 全球升温引发的季节性热胁迫持续扰动浅水水体生境，通过重塑水生动物生理代谢与行为表型，深刻影响食蚊鱼 (*Gambusia affinis*) 的野外扩散与种群扩张格局。该物种雌雄个体存在显著的生活史策略分化，雌鱼能量分配侧重繁殖维持，雄鱼更多资源投入种内竞争，这种性别特异性生活史权衡，导致雌雄个体对热胁迫产生差异化的生理与应激行为响应。现有研究多基于雌雄混养群体开展温度单因子试验，仅聚焦单一探索行为观测，尚未耦合临界热耐受特征与多维行为指标开展温度 - 性别交互量化分析，系统的对照研究较为匮乏，难以支撑气候变暖背景下食蚊鱼入侵风险的精细化生态评价。本研究设置 5 °C、20 °C、30 °C、35 °C 梯度水温，采用临界温度法 (CTM) 同步测定雌雄食蚊鱼的临界高温 (CTMax) 与临界低温 (CTMin)，依托视频追踪技术量化运动活跃度、探索 / 趋触行为、鳃盖运动频率、热胁迫逃逸行为四类核心行为表型。结果显示，雌雄个体低温耐受能力无显著差异，耐寒区间基本一致；雌性 CTMax 为 36.77 ± 0.15 °C，较雄性 35.67 ± 0.19 °C 显著升高 1.10 °C ($P=0.011$)，高温耐受能力更优。极端低温环境下雌雄运动表型差异极大，雄性尾鳍摆动频次可达雌性 87 倍，35 °C 高温条件下为雌性 3.8 倍；30 °C 适宜水温下，雄性趋触行为时长较雌鱼缩短 51.0%，空间探索特性更突出；20 ~ 35 °C 水温范围内，雄性鳃盖运动频率较雌鱼提升 24.2% ~ 50.9%，代谢活性整体更高；仅 35 °C 高温组雌性个体出现明显热逃逸行为，平均逃逸频次达 1.2 次 /min，对高温胁迫更为敏感。高温胁迫会显著提升鱼类机体代谢消耗，雌鱼为维持繁殖稳态倾向于规避高热生境，而雄鱼长期种内竞争演化形成的高运动活性，使其更适配极端水温环境，温度胁迫可显著放大雌雄个体的行为分化幅度。本研究厘清了性别遗传特征与环境热胁迫协同调控入侵鱼类应激行为的内在路径，解析气候变暖下水产动物应激行为分化机理，阐明气候变暖介导的入侵鱼类性别差异化扩张机制，可构建浅水水体季节性入侵风险分级评价指标，为养殖塘苗种繁育水环境防护、自然湿地外来鱼类管控等健康养殖与水域资源养护工作提供可靠的行为学量化依据。

关键词: 食蚊鱼；热胁迫；临界热耐受；性别特异性响应；行为表型；生物入侵

障碍物对大黄鱼游泳能力影响研究

张宇舵, 冯德军*

(1 浙江海洋大学 国家海洋设施养殖工程技术研究中心)

*通讯作者: fengdj@zjou.edu.cn

摘要:

目的: 研究大黄鱼幼鱼(*Larimichthys crocea*)对不同形状障碍物的行为适应特征, 以及障碍物对大黄鱼幼鱼游泳能力的影响。

方法: 以体长(5.6 ± 0.85 cm)、体重(50.6 ± 10.23 g)的大黄鱼幼鱼为对象, 采用跑道式循环水槽对不同形状障碍物(圆形、方形)影响下的大黄鱼进行实验, 实验设置 $0.5 \sim 4.5$ BL/s(步长 0.5)共 9 种流速工况。采用高清摄像机(1920x1080P, 60 帧·s⁻¹)对实验现象进行录制, 利用 Logger Pro 软件对实验视频中的鱼体运动轨迹进行处理, 获得摆尾频率、摆尾幅度、对地游泳速度、游泳加速度和运动步长等游泳动力学指标。

关键词: 大黄鱼、障碍物、游泳行为。

东北林蛙行为谱构建及行为节律研究

赵一彤^{1,2}, 邹卓宇^{1,2}, 王美璋¹, 李应东^{1,2,*}

(¹沈阳农业大学 动物科学与医学学院; ²沈阳农业大学 智慧农业研究院 动物健康与兽药智能研发研究所)

摘要: 动物行为是反映动物个体生理状态与环境适应能力的重要表征。东北林蛙 (*Rana dybowskii*) 是我国北方具有重要生态与经济价值的两栖动物, 本研究采用红外影像监测系统, 对东北林蛙的昼夜、冬眠前后、越冬前后等关键节点进行了长期、连续的跟踪观察。通过非干扰的行为记录, 首次全面系统地描述并绘制了东北林蛙的行为谱。结果表明, 东北林蛙的行为具有明显的昼夜节律性, 且该行为节律受到隐蔽物、冬眠状态以及年龄组的显著调制。冬眠前, 提供隐蔽物会显著改变林蛙在不同光暗周期下的行为偏好, 并对不同年龄组的时间分配产生差异化影响。此外, 不同年龄组的雄蛙在应对隐蔽物富集和冬眠生理压力时表现出不同的行为适应策略。本研究构建的行为谱与行为节律研究为该物种的野外种群保护、生态适应性评估以及人工规范化养殖中隐蔽物的合理配置提供了重要的生态行为学依据。

多线索关联的鱼体多目标跟踪方法

郑威 1,2,3, 张树斌 1,2,3*, 赵琳琳 4, 王守强 4, 徐安康 1,2,3, 侯志帅 1,2,3, 黄六一 1,2,3*

(1 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003; 2 山东省绿色海水养殖与智慧渔业重点实验室, 山东 青岛 266003; 3 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003; 4 自然资源部第一海洋研究所海洋生态研究中心, 山东 青岛 266061)

*通讯作者: zhangshubin@ouc.edu.cn; huangly@ouc.edu.cn

多目标跟踪技术是水产动物行为分析、养殖状态监测和智能化管理的重要基础,但在实际养殖场景中,鱼体外观高度相似,且常受交叉遮挡、水面波纹、运动模糊和背景干扰影响,导致个体身份关联易发生身份切换。现有的二维跟踪方法缺乏深度信息、三维跟踪系统部署复杂,以及基于边界框的重识别特征易混入背景和邻近鱼体信息等问题,本研究提出一种面向多鱼跟踪的多线索关联框架 Fish Multi-Cue Association (FishMCA)。该方法在训练阶段结合 Segment Anything Model 2 和 Video Depth Anything 构建掩膜引导的实例级相对深度监督,并设计 Mask-ReID Teacher 从鱼体掩膜区域学习更纯净的个体外观表征;随后将深度和外观知识蒸馏到学生检测器中,使其在推理阶段无需额外深度估计网络、立体相机或教师模型,即可同时输出检测框、相对深度和外观嵌入向量。在跟踪时, FishMCA 将二维空间位置、实例深度和掩膜引导外观特征转化为多线索代价矩阵,并通过匈牙利算法完成轨迹与检测结果的最优匹配。实验结果表明, FishMCA 在正常水槽、水面波纹/模糊干扰和高密度养殖等场景视频序列上均取得最优或更稳定的身份保持性能,其中在 Sequence1 上达到 90.15% HOTA 和 98.60% IDF1,并实现 0 次身份切换;在实际的循环水养殖环境序列 MSK_003 上也获得 76.85% HOTA、86.45% IDF1,并将身份切换降低至 20 次。消融实验进一步表明,空间、深度和掩膜引导外观线索具有互补作用,完整模型相较于仅使用 IoU 关联的基线最高提升 10.98 个百分点 HOTA 和 22.75 个百分点 IDF1。研究结果说明, FishMCA 能够在单目视频条件下有效缓解鱼体重叠和外观混淆造成的身份关联错误,为水产动物行为量化分析和基于视觉的智慧养殖管理提供了可靠技术支撑。

关键词: 多鱼目标跟踪; 单目深度估计; 重识别; 多模态表征学习; 多线索关联

中华绒螯蟹攻击行为与交配行为的研究

李艺¹ 李晓东^{1, 2*}

(1 沈阳农业大学 动物科学与医学学院 水产养殖实验室; 2 盘锦光合蟹业有限公司)

*通讯作者 李晓东 lxd001@ceraap.com

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 在我国水产养殖行业中占有重要的地位, 具有较高的经济价值。随着养殖规模的不断扩大, 高密度养殖过程中个体间的攻击行为严重影响其存活率与产量, 降低经济效益, 因此探究各时期攻击行为的发生及影响因素具有重要意义。本试验采用连续摄像观察法对中华绒螯蟹幼蟹及成蟹的攻击行为与交配行为进行统计量化分析, 并对其攻击行为相关基因进行转录组测序分析, 从而探究遗传因素、打斗经验和理化信号对其攻击行为的影响以及二次交配行为规律。得到结果如下:

不同家系中华绒螯蟹幼蟹的攻击行为存在显著差异, 家系内的攻击行为较家系间的攻击行为次数更多, 但时长较短, 其中 B 家系攻击行为的次数、强度显著高于 A、C 家系 ($P < 0.05$), C 家系的攻击性最弱 (具有红壳色的新品系); 同一家系内具有获胜经验的幼蟹之间攻击行为次数、攻击强度较第一次有所增强, 其中 A 家系差异性显著 ($P < 0.05$), B、C 家系差异性不显著。结果表明, 攻击行为与遗传因素有关。

在交配期, 当视觉、化学与触觉信号同时存在时, 两只雄性亲蟹对雌性配偶争夺行为极其显著, 攻击次数与攻击强度都显著高于单一信号的存在 ($P < 0.01$), 仅有视觉信号和仅有化学信号之间差异不显著 ($P > 0.05$)。结果表明, 交配期雌性的源性信号对雄性的攻击行为具有调节作用。

通过连续摄像观察中华绒螯蟹雌雄蟹二次交配的行为规律, 探明其交配行为的基本特点, 雄性会发生二次交配行为, 与第一次行为表现没有显著差异, 而雌性不会出现二次交配行为, 雄性也不会采取强制交配策略。

选取静息状态下的蟹为对照组 (A1), 经过一次激烈打斗的获胜者 (B1) 与失败者 (C1) 为实验组, 剪取眼柄进行转录组测序分析, 测序结果显示, A1 与 B1 筛选差异基因数 432 个, 显著差异基因数 12 个; A1 与 C1 筛选差异基因数 545 个, 显著差异基因数 10 个; B1 与 C1 筛选差异基因数达到 536 个, 显著差异基因数 6 个。其中 Go 分类注释到生物学过程行为相关基因 19 个, KEGG 代谢通路分析显示, 噬菌体、溶酶体通路, 信号转导通路、糖的生成与分解以及能量代谢等通路显著富集。

本研究初步探究了遗传因素、打斗经验和理化信号对中华绒螯蟹攻击行为的影响，以及中华绒螯蟹交配行为，为中华绒螯蟹的高密度养殖和遗传育种提供新的研究思路和理论基础。

人工洞穴对中华绒螯蟹幼蟹空间利用与社会行为的影响

朱希, 姜玉声*, 李冰玉, 卫克志, 温钰成

(1大连海洋大学 大连市虾蟹繁育与健康养殖重点实验室)

*通讯作者: jys@dlou.edu.cn

摘要正文: 为探究养殖空间增容对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 幼蟹栖息与行为的影响, 在水槽中设置聚氯乙烯 (Polyvinyl Chloride, PVC) 管作为人工洞穴, 采用瞬时扫描法统计相关区域个体数、总可见个体数及洞穴占用状态, 通过连续记录法记录进入、离开、掘穴、推动、防御及攻击等行为, 并分析昼夜差异及行为间的相关性。结果表明, 幼蟹主动利用人工洞穴, 表现出进入、占据、洞口停留、推动管体、掘穴、防御、及驱赶等行为。掘穴和推动行为主要出现在试验初期, 随后占据与利用行为逐渐增加, 表现出由环境改造向庇护利用转变的阶段性特征。洞穴处于占用状态的扫描比例为 67.1%, 幼蟹对洞穴的利用时间比例为 48.9%。期间共记录攻击行为 100 次、防御行为 33 次, 其在昼夜间存在显著差异 ($P<0.05$), 而昼夜间人工洞穴利用行为和攻击行为差异不显著。洞穴利用行为与攻击行为呈显著负相关 ($P<0.001$), 而与防御行为呈显著正相关 ($P<0.05$)。综上, 人工洞穴能够被中华绒螯蟹幼蟹主动识别和利用, 并可能通过改变空间利用方式调节个体间攻击与防御行为。

流场异质性与集群行为影响下长薄鳅亲本上溯迁移行为研究

李嘉欣¹, 俞立雄¹, 朱峰越¹, 王敏¹, 袁雨亮², 田辉伍¹, 刘明典¹, 董微微³, Majid Rasta⁴,
包春鹏⁴, 张沈威⁴, 段辛斌^{1*}

(1.中国水产科学研究院长江水产研究所, 国家农业科学重庆观测实验站,湖北, 武汉

430223

2.四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川, 成都 610065

3.水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北, 武汉 430079

4.三峡大学水利与环境学院, 湖北, 宜昌 443002)

*通讯作者: duan@yfi.ac.cn

摘要: 鱼道在恢复河流连通性和保护渔业资源方面发挥着重要作用, 但其运行效率往往受到水力条件与鱼类特异性行为特征不匹配的限制。为量化流场异质性与集群效应共同作用下鱼类的上溯迁移行为, 本研究以长江流域珍稀鱼类长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) 为研究对象, 在开放式明渠水槽中开展自主游泳实验。试验设置三种空间异质流场条件: I (低流速-中流速-高流速)、II (高流速-中流速-低流速) 和III (中流速-高流速-低流速)。利用视频监测系统记录单尾个体和 3 尾集群的上溯运动过程, 并分析其游泳轨迹、上溯迁移时间、偏好流速以及集群行为指标, 包括最近邻距离 (Nearest Neighbor Distance, NND) 和平均两两距离 (Mean Pairwise Distance, MPD)。采用线性混合效应模型分析数据, 以控制重复测量和个体差异带来的影响。结果表明, 集群行为显著提高了长薄鳅的上溯迁移效率。与单尾个体相比, 集群鱼平均提前 8.93 s 到达目标区域 ($P < 0.01$); 而流场条件本身对到达时间未表现出显著影响。长薄鳅始终偏好低流速区域 (0.20–0.50 m/s), 并明显回避高流速区域 (0.75–1.25 m/s), 其上溯过程中以曲折迂回的游泳轨迹为主。在集群结构方面, 最近邻距离 (NND) 在不同流场条件间无显著差异 ($P > 0.05$), 表明集群凝聚性保持稳定。然而, 流场III下的平均两两距离 (MPD) 显著高于流场I和II ($P < 0.01$), 说明较高的流场异质性会导致群体内部个体间距增大, 但整体集群结构仍能维持。此外, 不同组织形式

表现出明显不同的运动策略。单尾个体主要利用边界区域作为水力避难所，其沿壁游动比例达到 63.8%–80.5%；而集群鱼则表现出更强的空间探索能力，并显著降低了沿壁游动行为。研究结果表明，集群行为能够在维持群体凝聚结构的同时显著提高长薄鳅的上溯迁移效率，而流场异质性则主要影响群体内部的空间组织模式。针对长薄鳅鱼道设计与优化，建议将鱼道内流速控制在 0.20–0.50 m/s 范围内，以提高其通行效率。本研究从流场异质性与集群行为协同作用的角度，为鱼道水力调控和栖息地修复提供了科学依据，也为珍稀鱼类保护与生态工程实践提供了理论支撑。

圆口铜鱼幼鱼的底质偏好选择

马恒钰^{1,2}, 俞立雄², 朱峰跃², 刘明典², 田辉伍², 周子怡², 段辛斌², 唐洪玉¹

(1.西南大学水产学院, 重庆 400715)

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 国家农业科学重庆观测实验站, 湖北, 武汉 430223)

摘要: 圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti*) 为国家二级保护野生动物, 属底层产漂流型卵鱼类。其自然种群对河床底质具有高度依赖性。底质类型不仅构成其栖息物理环境, 还通过影响食物资源分布和隐蔽条件等间接调控种群动态。为明确圆口铜鱼幼鱼对栖息地底质的选择偏好, 本研究在室内生境模拟池中设置 8 种底质类型: 淤泥、细砂 (≤ 0.2 mm)、粗砂 (0.85~2 mm)、细小砾石 (4~6 mm)、中型砾石 (8~18 mm)、大型砾石 (30~50 mm)、小型卵石 (50~100 mm)、大型卵石 (120~170 mm), 分别开展个体和群体偏好实验。采用偏好指数、单因素方差分析和 Kolmogorov-Smirnov 检验量化圆口铜鱼幼鱼个体和群体的偏好底质类型和底质偏好强度。结果表明: (1) 个体实验中, 幼鱼在 8 种底质的停留时间排序为: 细小砾石>粗砂>中型砾石>大型砾石>细砂>小型卵石>淤泥>大型卵石, 其中细小砾石停留时间占比最大, 偏好率最高 (PR=3.74); (2) 群体实验中, 幼鱼分布数量排序为: 中型砾石>大型砾石>细小砾石>粗砂>细砂>淤泥>小型卵石>大型卵石, 中型砾石分布占比最大, 偏好率最高 (PR=4.56)。综合个体与群体结果, 圆口铜鱼幼鱼偏好粒径为 4~18 mm 的较小砾石底质, 推测该类型底质可提供更高的生境异质性、更丰富的附生生物饵料及适宜的庇护空间。本研究建议, 在受调控河段的栖息地修复中, 维持或恢复小粒径砾石底质斑块, 有助于提升圆口铜鱼幼鱼的生境适宜性, 并可能惠及其他具有相似生态需求的底栖鱼类。

关键词: 栖息地修复; 底质选择; 圆口铜鱼幼鱼; 偏好指数; 群体

