

DOI: 10.12264/JFSC2021-0570

人工培育大头鲤幼鱼放流杞麓湖后的初期迁移特征

朱挺兵¹, 胡飞飞¹, 龚进玲¹, 杜红春¹, 杨德国¹, 吴兴兵¹, 李学梅¹,
孙映², 刘开润³, 梁用本⁴, 黄哲参⁵

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, 湖北 武汉 430223;
2. 云南省渔业科学研究院, 云南 昆明 650051;
3. 通海县水产工作站, 云南 玉溪 652799;
4. 玉溪市水产工作站, 云南 玉溪 653101;
5. 云南亚美湖泊水质治理有限公司, 云南 玉溪 652799

摘要: 为了解云南特有鱼类大头鲤(*Cyprinus pellegrini*)增殖放流后的空间迁移特征, 于 2021 年 7 月在云南省杞麓湖开展了人工培育大头鲤幼鱼标记放流试验, 并通过定点回捕监测对鱼苗放流后的初期迁移特征进行了探讨。共放流大头鲤幼鱼 7000 尾, 平均全长(8.4 ± 1.2) cm, 平均体重(7.5 ± 3.5) g。放流鱼苗全部做了可见植入荧光标记(visible implant elastomer, VIE)。放流 24 h 后即开始回捕, 共在放流点及附近水域设置 10 个固定回捕监测点, 采用地笼进行为期 3 d 的持续回捕。共回捕到放流鱼苗 37 尾, 总回捕率为 5.286%。回捕个体平均全长(7.1 ± 1.0) cm, 平均体重(4.4 ± 1.8) g。回捕个体的标记均清晰可见, 标记保持率为 100%。放流后 3 d 内各固定监测点回捕到的放流鱼苗数量变动显示, 放流鱼苗呈现出先向两端沿岸浅水区迁移, 后向开阔水域迁移的特征。放流后第 1 天鱼苗的群体冒险性为 33.33%, 而放流后第 2、3 天的群体冒险性均超过第 1 天的 2 倍, 表现出先谨慎探索, 后大胆冒险的行为特征。放流鱼在放流后 1、2、3 d 内的日迁移距离分别为 199.4、110.6、98.8 m, 呈逐渐下降趋势。根据有关背景资料及本研究结果, 提出了完善大头鲤增殖放流工作的建议。

关键词: 大头鲤; 增殖放流; 标志回捕; 迁移特征; 杞麓湖; 可见植入荧光标记

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)09-1358-08

养殖鱼类放流后的行为学特征是增殖放流效果评价的重要依据, 也是鱼类行为学领域的热点研究课题之一。相较于大量的增殖放流活动报道, 放流效果评价研究明显滞后, 特别是关于鱼类放流后的行为学研究。虽然目前国内外均已报道过一些关于鱼类放流至野外后的行为学特征, 但大多以成鱼或较大规格鱼类为对象, 如日本黄姑鱼(*Argyrosomus japonicus*)^[1]、欧洲鲟(*Acipenser sturio*)^[2]、紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)与

黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[3]、深水长尾红鲷(*Etelis coruscans*)^[4]、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[5]、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[6]、高白鲑(*Coregonus peled*)^[7]。此外, 也有一些研究在人工控制微环境中观察放流鱼类的行为特征, 如许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)^[8]和花尾胡椒鲷(*Plectorhinchus cinctus*)^[9]。而目前我国增殖放流的鱼类大多是当年培育的小规格幼鱼, 这些小规格鱼类放流后的行为特征对于评估增殖放流效果具

收稿日期: 2021-11-30; 修订日期: 2022-01-14.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD09005); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系专项(CARS-46); 中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD57).

作者简介: 朱挺兵(1987-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为鱼类生态学. E-mail: zhutb2008@163.com

通信作者: 杨德国, 研究员, 研究方向为鱼类保护生物学. E-mail: yangdg@yfi.ac.cn

有重要价值。

大头鲤(*Cyprinus pellegrini*)隶属于鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 鲤属(*Cyprinus*), 俗称“大头鱼”、“碌鱼”, 仅自然分布于云南省星云湖和杞麓湖^[10], 是云南四大名鱼之一^[11]。大头鲤头大而宽, 头长一般大于体高^[12], 喜栖息于水体的中上层, 主要摄食浮游动物, 兼食少量藻类, 喜居较清水质, 对恶劣环境的耐受力弱, 水浑浊或离开水面皆易死亡^[13]。大头鲤富含各种氨基酸、常量及微量元素, 营养丰富, 口味鲜美, 是优质的食物蛋白源^[14]。20世纪五六十年代, 大头鲤的产量分别占星云湖和杞麓湖总渔获物的50%和30%, 但之后星云湖和杞麓湖大量放养四大家鱼、太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis*)等外来鱼类。资源竞争使得大头鲤在渔获物中所占的比例不断下降^[13]。其中, 杞麓湖的大头鲤种群更是被认为已经绝迹^[11], 而星云湖中的纯种大头鲤种群也被认为已经消失^[15]。由于濒危状况不断加剧, 大头鲤已被列为国家二级重点保护野生动物。近年来, 大头鲤的人工繁养技术已取得突破^[16], 并在星云湖和杞麓湖进行了多次人工增殖放流活动。然而, 人工培育的大头鲤幼鱼放流至自然湖泊后能否存活、放流后的空间迁移规律等问题还未有研究, 制约了大头鲤增殖放流效果评价。

本研究以人工培育的大头鲤幼鱼为对象, 在杞麓湖开展标记放流与回捕试验, 并评估和分析了试验鱼放流后的迁移特征。本研究可为大头鲤增殖放流与效果评价提供依据, 同时也可为其他放流鱼类的行为学研究提供启示和对比资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

本研究的实验鱼为云南省玉溪市江川区土著鱼类繁育基地2021年人工培育的大头鲤幼鱼。放流前为5月龄, 平均全长为 (8.4 ± 1.2) cm (平均值 $\pm$ 标准差, $n=26$), 体重为 (7.5 ± 3.5) g。

1.2 放流鱼的标记

从材料鱼中挑选7000尾作为放流鱼苗。为便于回捕识别, 对全部鱼苗均进行体外标记。所使用的标记设备为美国西北海洋技术公司(North-

west Marine Technology, NMT)生产的可见植入荧光标记(visible implant elastomer, VIE)。标记前, 鱼苗停食24 h。标记时, 首先使用30 mg/L MS-222对鱼苗进行麻醉1~2 min, 然后使用0.3 mL注射器将黄色的荧光络合物注入鱼苗的头部表皮层并确保裸眼可清晰识别, 标记后将鱼苗放入清水中进行麻醉恢复。

1.3 放流方法

放流水域为云南省杞麓湖(图1), 湖长10.4 km, 最大宽4.4 km, 面积38.86 km², 平均水深4.03 m^[17]。放流点位于杞麓湖南岸码头, 水深0.9 m, 透明度20 cm, 水温25℃, 溶解氧8.93 mg/L, pH 8.55, 电导率962 μ S/cm。放流当天, 先在鱼苗养殖基地采用双层尼龙鱼苗袋(80 cm $\times$ 40 cm)封装放流鱼苗, 每袋装入鱼苗150~200尾, 袋内氧气/水的体积比约为3:1, 随后汽车运输(约0.5 h)至放流点。放流全程采取人工操作, 先将鱼苗袋放置于湖边水中平衡水温0.5 h, 然后将鱼苗袋解开, 缓慢地将袋内鱼苗放入湖中。封装、运输至操纵放流期间, 放流鱼苗行为活跃, 未发现死伤个体。

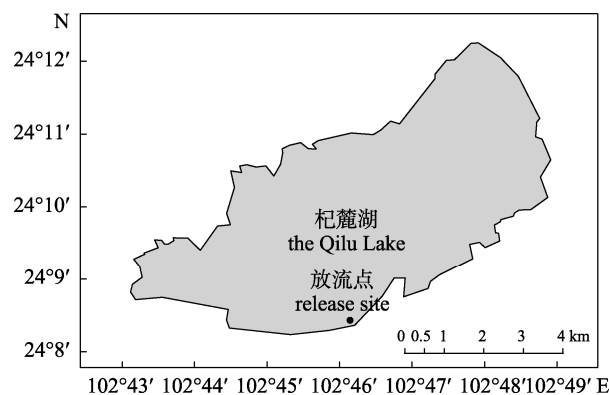


图1 杞麓湖大头鲤幼鱼放流点示意图

Fig. 1 Release site of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles in the Qilu Lake

1.4 回捕调查

放流后24 h即开始回捕。回捕监测点的布设以网状覆盖为基本原则, 同时兼顾地形条件, 以记录放流鱼苗朝东部、西部、北部等主要方向的迁移特征。共设置10个固定回捕监测点(含放流点), 每个方向设置3个固定回捕监测点, 形成以放流点为原点的3层弧形监测网络, 第1、2、3

层监测点距放流点的距离分别设置为 100、250 和 500 m, 因水面精准定位困难, 各个方向的实际间距存在少许偏差(图 2)。在每个回捕点定置 1 个方形地笼(长 20 m, 宽 30 cm, 高 25 cm, 网目 7 mm), 地笼内不投放诱饵。连续回捕 3 d, 每天收取 1 次地笼中的渔获物, 收取后地笼原位放回, 保持地笼每天的入水时长为 20~24 h。

对于回捕到的鱼类, 按取样时间和监测点分类统计测量。首先观察是否为放流鱼苗, 如果是, 再观察荧光标记是否清晰, 然后测量回捕鱼苗的全长和体重。回捕到的放流鱼苗不再放回湖中, 暂养于室内养殖缸中。

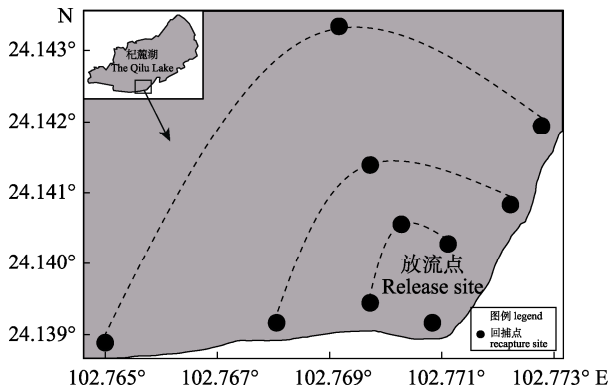


图 2 杞麓湖大头鲤幼鱼放流后的回捕点示意图
Fig. 2 Recapture sites of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles released into the Qilu Lake

1.5 实验指标和数据分析

分别统计放流鱼苗的回捕率、标记保持率、群体冒险性和迁移距离。

(1) 回捕率。计算公式如下:

$$C=100\% \times n/N$$

式中, C 为回捕率(%), n 为回捕到的放流鱼苗数量(尾), N 为放流鱼苗的总数量(尾)。

(2) 标记保持率。计算公式如下:

$$R=100\% \times n_p/n$$

式中, R 为标记保持率(%), n_p 为回捕到的有标鱼苗数量(尾), n 为回捕到的放流鱼苗数量(尾)。

(3) 群体冒险性。在鱼类行为学领域, 鱼类向陌生环境的探索表现可用于指示鱼类的胆量或冒险性, 也是人工控制环境下较为经典的鱼类个性

研究指标。而本研究是大型开放水体环境下的鱼类群体行为表现研究, 因此自定义了群体冒险性指标, 用于表征放流鱼苗离开放流点向其他水域探索的胆量大小, 计算公式如下:

$$A=100\% \times n_a/n$$

式中, A 为冒险性(%), n_a 为非放流点回捕到的放流鱼苗数量(尾), n 为回捕到的放流鱼苗总数量(尾)。

(4) 日迁移距离 D , 计算公式如下:

$$D=L/T$$

式中, D 为日迁移距离(m/d), L 为放流鱼苗渔获点至放流点的直线距离(m), T 为放流鱼苗回捕日期与放流日期的相差天数(d)。

2 结果与分析

2.1 回捕率

放流后 3 d 内共回捕到大头鲤幼鱼 37 尾, 回捕率为 5.286‰(表 1)。除了标记放流的大头鲤幼鱼, 未在回捕渔获物中发现任何其他来源的大头鲤。回捕鱼苗平均全长(7.1±1.0) cm, 平均体重(4.4±1.8) g, 均小于放流鱼苗整体的平均规格。

表 1 杞麓湖大头鲤幼鱼放流后回捕情况表
Tab. 1 Summary of recapture of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles released into the Qilu Lake

回捕时间 recapture time	全长/cm total length	体重/g body weight	n	累积回捕率/‰ cumulative recapture rate
放流后第 1 天 1 d post release	7.2±1.0	4.5±1.9	15	2.143
放流后第 2 天 2 d post release	7.1±0.9	4.2±1.8	13	4.000
放流后第 3 天 3 d post release	7.1±1.0	4.6±2.0	9	5.286
平均 mean	7.1±1.0	4.4±1.8	37	5.286

2.2 标记保持情况

通过肉眼观察, 37 尾回捕到的大头鲤幼鱼均保持有醒目的荧光标记(图 3), 总体标记保持率为 100%。同时, 放流个体均行为活跃, 未发现明显的伤病情况。

2.3 群体冒险性

大头鲤幼鱼放流后第 1、2、3 天的群体冒险性呈先增加后平稳的趋势(图 4)。放流后第 1 天,

鱼苗的群体冒险性为 33.33%, 而放流后第 2 天和第 3 天的群体冒险性均为第 1 天的 2 倍以上。



图 3 杞麓湖回捕到的大头鲤幼鱼及其荧光标记
Fig. 3 Recaptured hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles in the Qilu Lake and its fluorescent tag

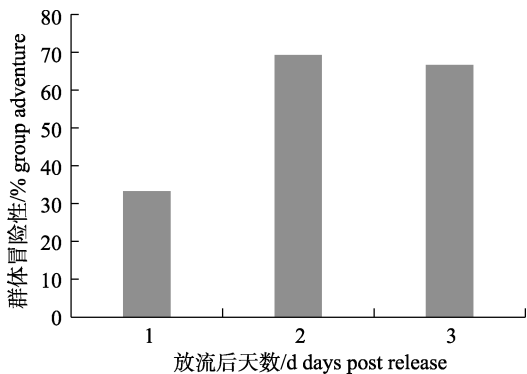


图 4 大头鲤幼鱼放流杞麓湖后的群体冒险性变化
Fig. 4 Group adventure dynamics of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles released into the Qilu Lake

2.4 空间迁移特征

随着放流时间的推移, 放流鱼苗停留在放流原点的数量呈现逐渐减少的趋势, 向东西部湖岸迁移的数量呈现先增加后减少的趋势, 向北部湖心区迁移的数量呈逐渐增加的趋势(表 2)。放流后 3 d 内, 大头鲤幼鱼分布在放流原点、东西部湖岸

带、北部湖心区的数量比例依次减小(表 2)。

整体上, 放流后的大头鲤呈现先向两端沿岸浅水区迁移, 后向开阔水域迁移的空间迁移特征(图 5)。

2.5 日迁移距离

大头鲤幼鱼放流后 1、2、3 d 的日迁移距离呈逐渐下降趋势, 且不同方向上的迁移距离存在差异(表 3)。放流后 1 d, 鱼苗朝东部湖岸的迁移距离最长, 向西部湖岸的迁移距离最短; 放流后 2 d, 鱼苗朝东西部湖岸的日迁移距离均有所减小, 未获取到鱼苗朝北部湖心区的日迁移距离数据; 放流后 3 d, 鱼苗朝北部湖心区的日迁移距离明显大于朝东部湖岸的日迁移距离, 未获取到朝西部湖岸的日迁移距离数据(表 3)。

3 讨论

3.1 VIE 短期标记大头鲤幼鱼的效果

与大量运用生物遥测技术^[1,4-6,18]或卫星标志技术^[19]的已有放流鱼类行为学相关研究报道不同, 本研究采用了传统的 VIE 标记方法。生物遥测技术和卫星标志技术等主流跟踪标记方法一般仅适用于大规格鱼类, 设备成本较高, 且有研究表明声学标签标记可能会对鱼类的短期行为造成干扰^[20]。而本研究的对象是大头鲤幼鱼, 其规格相对较小, 宜采用对小型鱼类更加友好的标记方法。VIE 标记是目前非常成熟的传统鱼类标记方法, 在许多小规格鱼类的研究中均取得良好效果, 如拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi*) 幼鱼^[21]、尖裸鲤(*Oxygymnocypris stewartii*) 幼鱼^[22]。因此, 本研究选用 VIE 作为标记方法是比较

表 2 大头鲤幼鱼放流杞麓湖后向不同方向迁移的数量
Tab. 2 Number of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles migration in different directions following release into the Qilu Lake

迁移方向 direction of migration	回捕尾数/尾 recapture number			合计/尾 total	比例/% percentage
	放流后第 1 天 1st day post release	放流后第 2 天 2nd day post release	放流后第 3 天 3rd day post release		
放流点 release site	10	4	3	17	45.95
东部湖岸 east lake shore	2	5	2	9	24.32
西部湖岸 west lake shore	2	4	0	6	16.22
北部湖心区 north lake center	1	0	4	5	13.52
合计 total	15	13	9	37	100

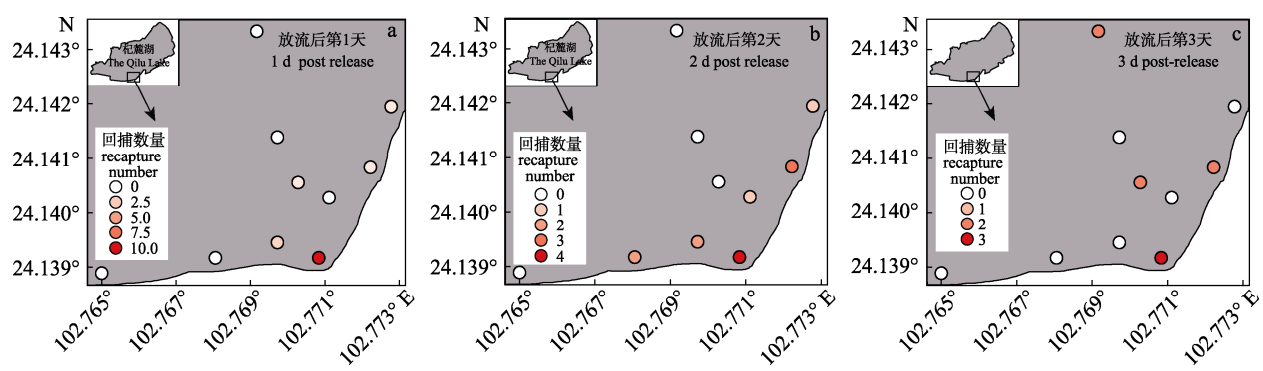


图 5 放流杞麓湖后大头鲤幼鱼空间密度的变化
a. 第 1 天, b. 第 2 天, c. 第 3 天.

Fig. 5 Spatial density dynamics of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles released into the Qilu Lake
a. Day 1; b. Day2; c. Day 3.

表 3 大头鲤幼鱼放流杞麓湖后在不同方向上的日迁移距离
Tab. 3 Daily migration distance of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles migration in different directions following release into the Qilu Lake

迁移方向 direction of migration		放流后 1 天 1 day post release	放流后 2 天 2 days post release	放流后 3 天 3 days post release
东部湖岸 east lake shore		299.5	119.2	38.8
西部湖岸 west lake shore		117.0	99.8	无数据 no data
北部湖心区 north lake center		164.0	无数据 no data	109.5
平均 mean		199.4	110.6	98.8

适宜的, 并取得了良好的效果, 回捕到的放流鱼个体拥有 100% 的标记保持率, 肉眼观察即可发现鲜艳的荧光。

鱼类一旦在开放水域放流后, 一般会快速扩散至水体的不同区域, 大大增加回捕难度, 因此有学者认为 VIE 等传统鱼类标记方法在鱼类放流行为学研究中存在难以获得充足回捕样本的缺陷, 从而影响研究的准确性^[23]。但本研究主要聚焦于大头鲤幼鱼放流初期的迁移特征, 此阶段放流鱼一般还未广泛扩散, 同时本研究采取的回捕强度也较大, 可以在较大程度上弥补传统标记的缺陷。同时, 本研究也分别于放流后的 2 个月和 5 个月进行了回捕调查, 但均未回捕到放流个体, 这固然与放流规模较小有关, 但也在一定程度上预示采用传统标记进行鱼类放流后的长期行为学研究需要谨慎。

3.2 大头鲤幼鱼放流后的空间迁移特征

大头鲤幼鱼放流初期的空间迁移特征具有明显的规律性。放流后第 1 天, 放流鱼苗的大部分个体仍停留在放流点附近, 群体冒险性处于较低

水平, 可以看作是其对新环境的适应期。放流后第 2 天, 放流鱼苗群体冒险性大幅上升, 主要向放流点两端的浅水区迁移。放流后第 3 天, 放流鱼苗的群体冒险性继续保持较高水平, 并且呈现向深水区增加迁移的趋势。大头鲤幼鱼在放流后第 1 天表现出的低冒险性可能是出于对新环境安全风险的顾虑, 也可能是延续了在人工环境中养成的定居性行为。日本黄姑鱼^[1]、浅滩鲈(*Micropterus cataractae*)^[24]放流至新环境时也会表现出时长不等原位停留期。而对褐鳟(*Salmo trutta*)的研究显示, 人工养殖环境会显著影响其释放到开放水域的行为^[25]。大头鲤幼鱼在放流后第 2、3 天群体冒险性的逐渐增加可能体现了其在新环境中对安全与资源利用的行为权衡变化, 即随着时间的延长, 饥饿等因素可能会迫使大头鲤不得不离开安全的放流点, 向其他陌生水域扩散探索, 以增加获取资源的机会。

不同的鱼类放流后的迁移或运动速度往往存在种间差异。例如, 深水长尾红鲷(叉长 40.0~69.5 cm)放流后的水平运动速度为 2.2 km/d^[4], 而人工培

育的日本鳊放流至海洋后的洄游速度可达 $2.31 \text{ km/h}^{[5]}$ 。一般而言, 鲤属鱼类性情温和, 多为定居性, 因此本研究中大头鲤幼鱼的迁移总体也较为缓慢, 记录到的首日迁移距离为 299.5 m/d , 随后呈逐渐下降趋势, 这与一些其他鱼类有相似之处。例如, 胭脂鱼成熟亲鱼放流长江后的运动速度也表现出随着时间推移而不断下降的趋势^[6]。对新环境的逐渐适应、理想栖息空间的获得与停留可能是大头鲤日迁移距离不断下降的原因。

限于条件, 本试验只研究了人工养殖的大头鲤幼鱼放流杞麓湖 3 d 内的迁移特征, 但基本可以代表大头鲤幼鱼放流初期的迁移特征。许多鱼类放流后的迁移或运动也都集中在放流初期。例如, 欧洲鲟放流后的大多数运动(85.7%)发生在放流后 3 d 内^[2]。而如果要获得更长期的监测结果, 必须在研究方法上进行改进。在未来的研究中, 建议扩大放流规模以增加放流鱼苗被回捕到的几率, 同时密切关注小规格鱼类实时追踪技术的发展。

3.3 完善大头鲤增殖放流工作的建议

大头鲤作为国家二级重点保护野生动物, 进一步完善其物种保护技术具有重大意义。增殖放流作为今后一段时期大头鲤的主要保护措施之一, 仍需要进一步改进。根据大头鲤的物种特性及本研究结果, 建议从以下方面来加强大头鲤的增殖放流工作: 一是实施全湖多点分散放流, 以避免单点集中放流时大头鲤幼鱼迁移缓慢导致的局部资源竞争过于激烈; 二是放流后 3 d 内的管护范围要从沿岸带向开阔水域逐步扩展, 同时减少湖岸带和次湖岸带的人为干扰。另外, 大头鲤增殖放流工作的系统规划、种质提纯、相关湖泊的生态环境治理等基础工作也有必要进一步加强。

参考文献:

- [1] Taylor M D, Laffan S W, Fairfax A V, et al. Finding their way in the world: Using acoustic telemetry to evaluate relative movement patterns of hatchery-reared fish in the period following release[J]. Fisheries Research, 2017, 186: 538-543.
- [2] Carrera-García E, Rochard E, Acolas M L. Effects of rearing practice on post-release young-of-the-year behavior: Acipenser sturio early life in freshwater[J]. Endangered Species Research, 2017, 34: 269-281.
- [3] Wang Z C, Chen G B, Zeng L. Study of fish behavior using acoustic fish tags and wireless tracker[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(2): 51-59. [王志超, 陈国宝, 曾雷. 基于声学标志和无线跟踪方法的鱼类行为研究[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 51-59.]
- [4] Okuyama J, Shishidou H, Hayashibara T. Post-release horizontal and vertical behavior and philopatry of deepwater longtail red snapper *Etelis coruscans* around a bank[J]. Fisheries Science, 2019, 85(2): 361-368.
- [5] Noda T, Wada T, Iwasaki T, et al. Post-release behaviors and movements of cultured and wild Japanese eels (*Anguilla japonica*) in a shallow brackish water lagoon in northeastern Japan[J]. Environmental Biology of Fishes, 2019, 102(12): 1435-1456.
- [6] Wu J M, Li F Y, Du H, et al. Movement of the matured Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*) after releasing in the Yangtze River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(6): 1239-1246. [吴金明, 李飞扬, 杜浩, 等. 胭脂鱼亲本放流长江后的运动特征[J]. 中国水产科学, 2019, 26(6): 1239-1246.]
- [7] Liu J. Study on ultrasonic marker tracking of *Coregonus peled* in Sailimu Lake based on long and short baseline method[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2019. [刘景. 基于长短基线法的赛里木湖高白鲑(*Coregonus peled*)超声波标记跟踪研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2019.]
- [8] Zhang J B, He Y F, Zhang S, et al. Effects of three releasing methods on distribution of *Sebastes schlegelii*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(4): 29-35. [张俊波, 何羽丰, 张硕, 等. 三种放流方式对许氏平鲈分布模式的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(4): 29-35.]
- [9] Guo Y, Tang Y, Zhao W W, et al. Studies of behaviours of *Plectorhinchus cinctus* (Temminck et Schlegel) using acoustic tags[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(2): 282-290. [郭禹, 汤勇, 赵文武, 等. 基于小型声学标记的花尾胡椒鲷行为研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 282-290.]
- [10] Chu X L, Chen Y R. The Fishes of Yunnan, China (Part I) [M]. Beijing: Science Press, 1989. [褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1989.]
- [11] Li Y X, Wang K H, Liu J. Analysis of ecological environment and feeding habits of *Cyprinus carpio*[J]. Yunnan Environmental Science, 1995, 14(1): 34-40. [李荫玺, 王开宏, 刘俊. 大头鲤生态环境及食性分析研究[J]. 云南环境科学, 1995, 14(1): 34-40.]
- [12] Yang Q, Yang G R, Yue P Q. On the biology of *Cyprinus pellegrini* in two lakes of Yunnan[J]. Journal of Fisheries of

- China, 1966, 3(2): 150-155. [杨青, 杨干荣, 乐佩琦. 云南星云湖、杞麓湖大头鲤的生物学[J]. 水产学报, 1966, 3(2): 150-155.]
- [13] Huang K Y. *Cyprinus carpio*—the second class national key protected fish[J]. Scientific Fish Farming, 1997(7): 40. [黄开银. 大头鲤——国家二类重点保护鱼类[J]. 科学养鱼, 1997(7): 40.]
- [14] Deng J M, Zhang X, Kang B, et al. Analysis and evaluation of main nutritional components in muscles of *Carassius auratus* and *Cyprinus pellegrini*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(5): 496-498. [邓君明, 张曦, 康斌, 等. 滇池高背鲫和大头鲤肌肉主要营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2013, 35(5): 496-498.]
- [15] Yang Y, Zhang G Q. Chinese Academy of Sciences: alien species invasion has caused the extinction of pure *Cyprinus pellegrini* in Xingyun Lake[J]. Technology and life, 2011, (4): 26. [杨洋, 张刚强. 中科院: 外来物种入侵已致星云湖纯种大头鲤灭绝[J]. 科技与生活, 2011, (4): 26.]
- [16] Zhang S C, Jiang W L, Xia L L, et al. Artificial propagation and cultivation techniques of *Cyprinus carpio*[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2013, 40(3): 135-138. [张四春, 蒋万良, 夏黎亮, 等. 大头鲤人工繁养殖技术[J]. 水产科技情报, 2013, 40(3): 135-138.]
- [17] Wang S M, Dou H S. Lakes in China[M]. Science Press, 1998. [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [18] Ferter K, Hartmann K, Kleiven A R, et al. Catch-and-release of Atlantic cod (*Gadus morhua*): Post-release behaviour of acoustically pretagged fish in a natural marine environment[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2015, 72(2): 252-261.
- [19] Hoolihan J P, Luo J G, Abascal F J, et al. Evaluating post-release behaviour modification in large pelagic fish deployed with pop-up satellite archival tags[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(5): 880-889.
- [20] Wilson A D M, Hayden T A, Vandergoot C S, et al. Do intracoelomic telemetry transmitters alter the post-release behaviour of migratory fish? [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2017, 26(2): 292-300.
- [21] Zhu T B, Guo W, Wu X, et al. Effects of visible implant elastomer and coded wire tags on growth and survival of *Schizopygopsis younghusbandi* Regan, 1905[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2016, 32(1): 110-112.
- [22] Zhu T B, Gan M Y, Wang X G, et al. An evaluation of elastomer and coded wire tag performance in juvenile Tibet fish *Oxygymnocypris stewartii* (Lloyd, 1908) under laboratory conditions[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(3): 498-501.
- [23] Zhang C L, Xu B D, Xue Y, et al. Fisheries stock enhancement assessment: Progress and prospect[J]. Journal of Fisheries China, 2022, 46(8): 1509-1524. [张崇良, 徐宾铎, 薛莹, 等. 渔业资源增殖评估研究进展与展望[J]. 水产学报, 2022, 46(8): 1509-1524.]
- [24] Ingram T R, Tannehill J E, Young S P. Post-release survival and behavior of adult shoal bass in the flint river, Georgia[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2013, 33(4): 717-722.
- [25] Watz J. Structural complexity in the hatchery rearing environment affects activity, resting metabolic rate and post-release behaviour in brown trout *Salmo trutta*[J]. Journal of Fish Biology, 2019, 95(2): 638-641.

Initial post-release migration of hatchery-reared *Cyprinus pellegrini* juveniles in the Qilu Lake

ZHU Tingbing¹, HU Feifei¹, GONG Jinling¹, DU Hongchun¹, YANG Deguo¹, WU Xingbing¹, LI Xuemei¹, SUN Yi², LIU Kairun³, LIANG Yongben⁴, HUANG Zheshen⁵

1. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;
2. Yunnan Institute of Fishery Sciences Research, Kunming 650051, China;
3. Fishery Workstation of Tonghai County, Yuxi 652799, China;
4. Fishery Workstation of Yuxi, Yuxi 653101, China;
5. Yunnan Yamei Lake Water Quality Control Co., Ltd., Yuxi 652799, China

Abstract: To understand the post-release migration characteristics of *Cyprinus pellegrini*, an endemic fish in Yunnan, this study conducted a mark-recapture trial to observe the initial post-release migration of hatchery-reared *C. pellegrini* juveniles in the Qilu Lake. A total of 7000 *C. pellegrini* juveniles [mean total length (8.4±1.2) cm, mean body weight (7.5±3.5) g] were marked by visible implant elastomer and released in the mark-recapture trial. Recapture was conducted 1 d after release and lasted 3 d. Fyke nets were used for recapture at 10 fixed recapture sites located at the release sites and in nearby waters. A total of 37 released *C. pellegrini* were recaptured [mean total length (7.1±1.0) cm, mean body weight (4.4±1.8) g], and the total recapture rate was 5.286%. The markers in the recaptured individuals were clearly visible, and marker retention was 100%. Variation in the number of recaptured fish at each fixed site within 3 d after release showed that the released *C. pellegrini* quickly moved to shallow water and then to open water. The group adventure of released *C. pellegrini* on the first day after release was 33.33%, whereas that on the second and third days after release was more than twice of that on the first day. This indicated behavioral characteristics of cautious exploration first and bold adventure later. The daily migration distances of released *C. pellegrini* at 1, 2, and 3 d after release showed a gradual downward trend, with values of 199.4, 110.6, and 98.8 m/d, respectively. Based on the existing information and results of the present study, suggestions were made to improve the effects of the enhancement and release programs of *C. pellegrini*.

Key words: *Cyprinus pellegrini*; enhancement and release; mark-recapture; migration characteristics; the Qilu Lake; VIE

Corresponding author: YANG Deguo. E-mail: yangdg@yfi.ac.cn