

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16237

5种鱼类标志对草鱼临界游泳速度的影响

俞立雄^{1,2}, 段辛斌², 陈大庆², 罗宏伟^{1,2}, 刘绍平², 高雷²

1. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715;

2. 农业部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430223

摘要: 采用被动整合雷达标志法(PIT)、切鳍标记、荧光标记、超声波标志和 T 型标志这 5 种标志方法对草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 进行标记后, 测定其临界游泳速度, 研究 5 种不同标记对草鱼游泳能力的影响。将试验草鱼按不同体长分为 3 组: 15~18 cm, 18~21 cm, 21~25 cm, 每个体长组均设置对照组, 并分别进行以上 5 种鱼类标志, 测量标志后草鱼的绝对临界游泳速度和相对临界游泳速度。采用 SPSS17.0 统计软件进行数据的分析比较。研究表明, 随着体长增加, 草鱼的绝对临界游泳速度增大, 相对临界游泳速度减小; 超声波标志对 3 个体长组草鱼的临界游泳速度均有极显著影响 ($P < 0.01$), 标志后草鱼绝对临界游泳速度分别下降 18.72%、16.40%、23.15%, 相对临界游泳速度分别下降 18.95%、17.78%、21.86%; T 型标志对 15~18 cm 体长组草鱼的临界游泳速度有极显著性影响 ($P < 0.01$), 标志后草鱼绝对临界游泳速度下降 8.35%, 相对临界游泳速度下降 9.30%, 对体长大于 18 cm 的草鱼无显著性影响; PIT 标志、切鳍标记和荧光标记对这 3 个体长组草鱼的临界游泳速度均无显著性影响 ($P > 0.05$)。

关键词: 草鱼; 标志; PIT; 切鳍标记; 荧光标记; 超声波标志; T 型标志; 临界游泳速度

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)03-0550-08

鱼类标志技术主要用于研究鱼类的洄游, 通过回捕标志鱼, 绘制标志鱼的洄游线路图及分布图^[1-2]。随着标志理论与产品创新的完善, 通过先进的标志手段, 能够详细地研究鱼类生活史, 自然行为以及生理变化等^[3]。我国常用的鱼类标志放流方法主要有切鳍标记法和挂牌标志法^[4-6]。目前, 国外引进的新型高科技手段如荧光标记法, 分离式卫星标志法(Pop-up Archival Tags, PATs)、被动整合雷达标志法(Passive Integrated Transponder tag, PIT)、生物遥测标志法等也相继用于标记放流, 形成传统标志方法和现代高科技标志技术相结合的研究格局, 也取得了众多成果。但是鱼类标志物的植入过程以及标志物的存在难免会对标志鱼产生负面影响, 如 Lou 等^[7]的研究结果表明, 手术植入超声波标志对鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 生理功能产生显著性的负面影响。关于鱼类标志

方法对标志鱼游泳能力方面的影响目前还缺乏相应的研究。

游泳运动作为鱼类重要的生存活动方式, 与获取食物、逃避敌害和繁殖行为等密切相关^[8-9]。关于鱼类游泳能力的研究已有 100 多年的历史^[10]。临界游泳速度是鱼类有氧运动能力的重要评价指标, 其中不考虑鱼体大小的游泳速度绝对值被称为绝对临界游泳速度(absolute critical swimming speed), 相对于鱼体长的临界游泳速度则为相对临界游泳速度(relative critical swimming speed), 目前临界游泳速度指标已被广泛应用于鱼类游泳能力研究^[11-13]。

渔业资源增殖放流作为恢复天然水域渔业资源种群数量^[14]、维护生物多样性^[15]的重要手段, 受到地方政府和社会各界的广泛关注。对放流的成鱼或苗种打上标记是评价放流效果的一个重要

收稿日期: 2016-08-03; 修订日期: 2016-10-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579247); 科技部支撑计划项目(2015BAD13B02).

作者简介: 俞立雄(1991-), 男, 博士研究生, 专业方向为渔业资源. E-mail: 568264442@qq.com

通信作者: 段辛斌, 研究员. E-mail: duan@yfi.ac.cn

方法, 而标记的植入方式和标志存在对标志鱼的行为方面究竟有何影响目前还不清楚。本研究以增殖放流品种草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为研究对象, 研究 PIT 标志、切鳍标记、荧光标记、超声波标志和 T 型标志对草鱼临界游泳速度的影响, 旨在评价这 5 种常用鱼类标志是否适用于草鱼幼鱼的标志及其适用范围, 从而为草鱼的标记放流效果评价以及放流后草鱼的活动行为研究提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 实验设计

本实验通过对草鱼进行 PIT 标志、切鳍标记、荧光标记、超声波标志和 T 型标志, 研究这 5 种鱼类标志对草鱼的游泳能力的影响。试验草鱼按不同体长分为 3 个体长组: 15~18 cm, 18~21 cm, 21~25 cm。每个体长组 48 尾草鱼, 设置一个对照组以及 5 个鱼类标志组, 每个处理组 8 尾草鱼, 共计 144 尾。游泳能力测定指标选择绝对临界游泳速度和相对临界游泳速度。

1.2 实验材料

实验于 2013 年 10 月 16 日至 2013 年 11 月 14 日在监利县老江河四大家鱼原种场进行, 实验期间水温控制在 $(16\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。实验所用的草鱼购自监利县老江河四大家鱼原种场, 鱼体无损伤, 鳞片完整, 活动能力好且无疾病。体长范围: 15.0~24.8 cm, 体重范围: 51.0~232.0 g。实验前暂养于长 8 m, 宽 4 m, 高 1.5 m 的室外养殖池中, 每天定时(上午 9:00, 下午 4:00)投喂适量青菜叶子以及搅碎的菜油饼。每次投喂饵料前吸除池底粪便, 并且每天在上午投喂饲料前换水 1/3 左右, 每天观察并记录鱼体摄食、活动和死亡等情况。开始标志前一天将鱼捕捞后暂养在长 80 cm, 宽 60 cm, 深 50 cm 的水箱中, 停止喂食, 并连续充氧, 保证溶氧量在 7 mg/L 以上。

1.3 标志方法

实验采用 PIT 标志、切鳍标记、荧光标记、超声波标志和 T 型标志 5 种方法, 除切鳍外, 其他 4 种标志均购自上海点鱼公司。标志前用 MS-222(100 mg/L)将草鱼完全麻醉, 再迅速进行标志操作。标志所用的手术刀、手术剪、带线缝

合针以及各种标志物等均用 75%酒精浸泡消毒, 标志后的草鱼立即放入清水中复苏, 暂养 1 h 后, 进行游泳能力测定。

1.3.1 对照组 对照组草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 不做任何标志处理。

1.3.2 PIT 标志组 PIT 标志组的草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 用配套的 PIT 注射器将长 8 mm, 重 25 mg 的 PIT 标志打入草鱼背部肌肉里。

1.3.3 切鳍标记组 切鳍标记组的草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 并用手术剪沿草鱼左腹鳍基部完全剪除。

1.3.4 荧光标记组 荧光标记组的草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 将荧光颜料与固定剂按 10:1 的比例混合后, 将混合物吸取适量至小型注射器中, 用配套的手动注射器将染料射入草鱼头部上方, 注射长度约为 1 cm。

1.3.5 超声波标志组 超声波标志组的草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 植入超声波发射器过程参照 Moore 等^[16]提出的方法, 将草鱼置于 V 形实验台上, 在胸鳍后缘, 沿与腹侧中线平行的方向切开一个 10 mm 左右的切口。切口深度以刚好刺穿腹膜为宜, 然后将已消毒的超声波发射器(长 20.0 mm, 直径 7.0 mm, 重 3.0 g)植入腹腔中, 用医用可吸收缝线缝合伤口, 最后在伤口涂抹红霉素软膏, 并在其肌肉背部注射 1 mL 浓度为 10 mg/kg 的氨苄西林(Ampicillin)。

1.3.6 T 型标志组 T 型标志组草鱼经麻醉后, 测量其体长体重, 用标志枪将长 2.3 cm, 重 0.02 g 的 T 型标志打入草鱼的背部肌肉。

1.4 实验装置

鱼类临界游泳速度测定装置购自丹麦 Loligo System 公司, 装置的体积为 90 L, 测试断面尺寸为 70 cm×20 cm×20 cm。壁面和盖子均采用透明的树脂玻璃, 可以从侧面和顶部清晰地观察鱼的游泳行为(图 1)。开始工作时使用调频器改变电机的转速从而改变水槽内水流速度, 通过多孔整流器使游泳槽截面各处水流速度近似均匀, 使用流速仪测量不同叶轮转数下水流速度, 进而通过控制叶轮转数得到鱼类游泳速度。利用重庆水文仪器厂 LS45A 型旋杯式流速仪(测速范围: 0.015~3.500 m/s, 测量误差 $\leq 2\%$)测定环形试验水槽内

流速。循环水槽中心水流速度(m/s)与叶轮转速(r/min)之间对应关系见图 2。

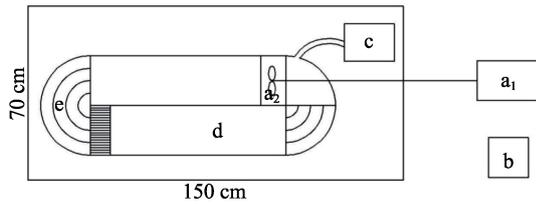


图 1 本研究使用的环形试验水槽

a₁、a₂: 动力部分; b: 动力控制部分; c: 水泵; d: 游泳区域;
e: 参数检测部位。

Fig. 1 Annular flume used in the present study

a₁, a₂: power part; b: control part; c: water pump; d: swimming area; e: parameter detection area.

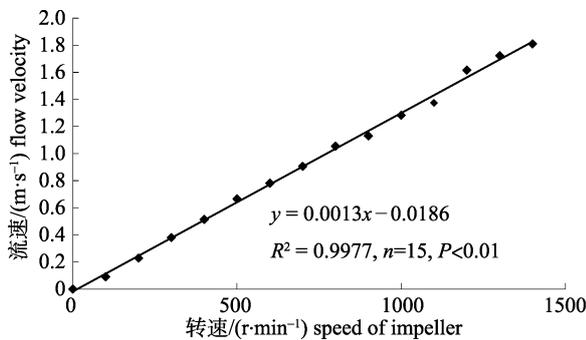


图 2 鱼类游泳区的水流速度与叶轮之间的对应关系

Fig. 2 Relationship between flow velocity in the experimental tank and the speed of impeller

1.5 临界游泳速度的测定

正式实验前先进行试验鱼绝对临界游泳速度实际值(U_{crit}^a , 单位 cm/s)的估测, 估测方法是以每 2 min 增加 0.4 BL/s (BL 表示体长) 的速度增加水流速度, 直至试验鱼疲劳, 此时的水流速度即为试验鱼绝对临界游泳速度估计值 U_{crit}^c 。试验前先将草鱼置于低流速(5 cm/s)的环境中适应 1 h, 消除转移过程中对鱼体的胁迫。正式试验时, 每次测量 1 尾鱼, 开始测量时每隔 5 min 将流速调高 0.5 BL/s 至 U_{crit}^c 的 60%, 以后每隔 20 min 将流速提高 15% U_{crit}^c , 直至试验鱼达到运动力竭状态, 即试验鱼被水流冲至游泳槽尾端筛板, 且身体呈卷曲状态的时间不低于 20 s^[17]。整个游泳过程溶解氧含量不低于 7 mg/L。 U_{crit}^a 的计算公式^[18]为:

$$U_{crit}^a = U + (t/T)\Delta U$$

式中, T 是在各速度梯度下设定时间(20 min), U 是能顺利完成设定时间的最大游泳速度, ΔU 是各速度梯度的速度增量, t 是未能完成设定时间的实际

持续游泳时间($t < 20$ min)。

用上述方法测得的是草鱼绝对临界游泳速度, 为一定程度上消除体长(L_B , cm)对游泳速度的影响, 采用相对临界游泳速度(U_{crit}^r , BL/s)。

$$U_{crit}^r = U_{crit}^a / L_B$$

本研究试验鱼身体的最大横截面积均未超过游泳管横截面积的 10%, 没有引发阻挡效应, 因此 U_{crit}^a 无需校正。

1.6 数据分析

实验数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行比较分析, 对全部绝对临界游泳速度和相对临界游泳速度的观察值分别进行单因素协方差分析(One-Way ANCOVA), 鱼类标志组间比较采用单因素方差分析(One-Way ANOVA), 多重比较采用 Duncan 法检验。显著性概率临界值设定为 0.05, 使用模型 $Y = a + bX$ 分析体长与临界游泳速度关系。实验数据以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 体长与鱼类标志交互作用对临界游泳速度的影响

以草鱼的体长作为协变量, 鱼类标记处理作为固定变量, 对实验得到的所有 U_{crit}^a 和 U_{crit}^r 值进行单因素协方差分析。草鱼体长与鱼类标记处理以及两者的交互作用均会对草鱼的绝对临界游泳速度和相对临界游泳速度产生极显著影响($P < 0.01$) (表 1, 表 2)。

表 1 体长与鱼类标志对草鱼绝对临界游泳速度影响的单因素协方差分析

Tab. 1 One-way ANCOVA to the absolute critical swimming speed of *Ctenopharyngodon idellus*

处理组 treatment group	自由度 degree of freedom	均方 mean square	F	P
鱼类标志 fish tagging	5	1674.156	110.758	0.000
体长 body length	1	8809.165	582.794	0.000
标记处理×体长 fish tagging × body length	5	82.512	5.459	0.000

2.2 临界游泳速度与体长的关系

分析对照组中草鱼临界游泳速度与体长的关系, 结果表明, 在(16±1)°C 水温条件下, 草鱼的绝对临界游泳速度随着体长增大而增加, 相对临界游泳速度随着体长增大而减小(图 3)。

表 2 体长与鱼类标志对草鱼相对临界游泳速度影响的单因素协方差分析

Tab. 2 One-way ANCOVA to the relative critical swimming speed of *Ctenopharyngodon idellus*

处理组 treatment group	自由度 degree of freedom	均方 mean square	F	P
鱼类标志 fish tagging	5	4.144	101.395	0.000
体长 body length	1	18.204	445.431	0.000
标记处理×体长 fish tagging × body length	5	0.128	3.141	0.010

2.3 5 种鱼类标志对草鱼临界游泳速度的影响

对照组中 15~18 cm 体长段草鱼的 U_{crit}^a 平均值为(96.50±2.59) cm/s, U_{crit}^r 平均值为(5.98±0.30) BL/s; 18~21 cm 体长段草鱼的 U_{crit}^a 平均值为(101.30±4.28) cm/s, U_{crit}^r 平均值为(5.34±0.18) BL/s; 21~25 cm 体长段草鱼的 U_{crit}^a 平均值为(116.51±4.60) cm/s, U_{crit}^r 平均值为(5.11±0.18) BL/s。单因素方差分析结果

表明(图 4), 超声波标志组草鱼的临界游速与对照组相比具有极显著差异($P<0.01$), T 型标志对 15~18 cm 体长段草鱼临界游速产生极显著影响($P<0.01$), 对体长大于 18 cm 的草鱼没有显著性影响。PIT 标志、切鳍标记和荧光标记对草鱼的临界游速均无显著性影响($P>0.05$)。

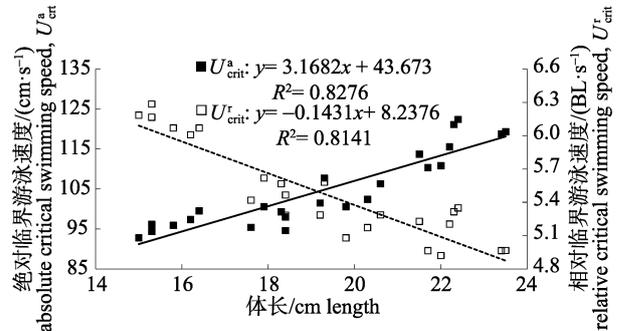


图 3 草鱼临界游泳速度与体长的关系

Fig. 3 Relationship between critical swimming performance and body length of *Ctenopharyngodon idellus*

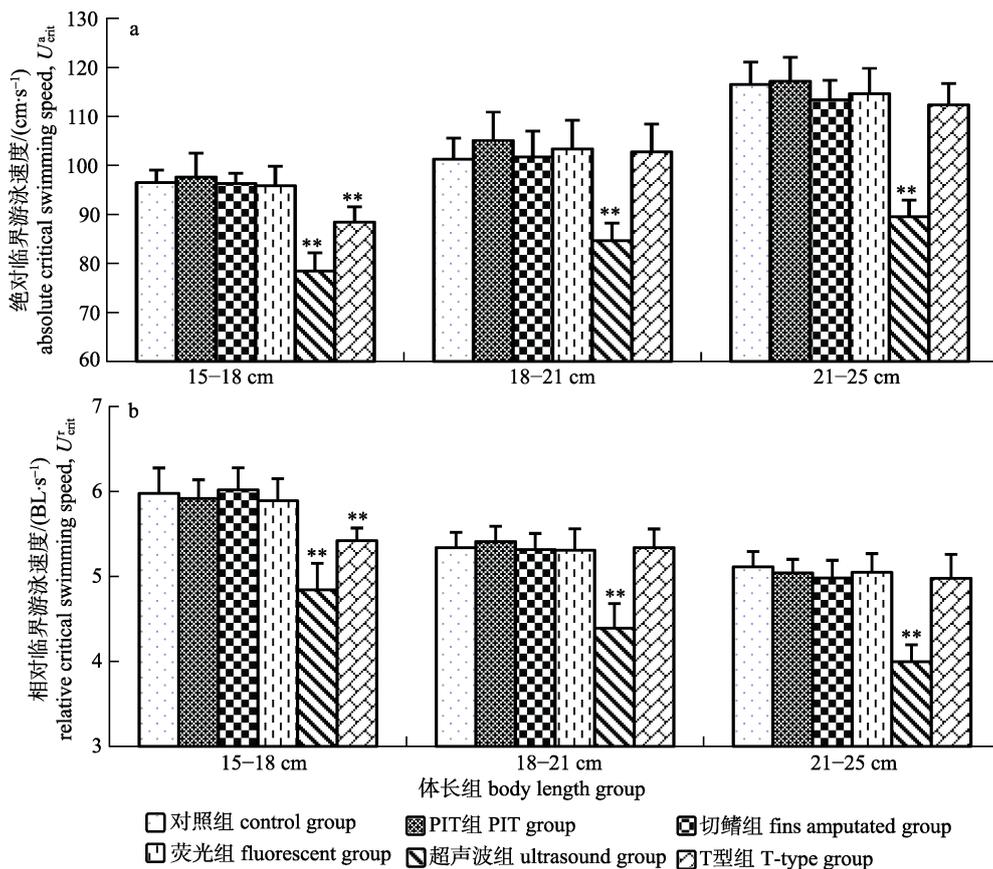


图 4 5 种鱼类标志对草鱼临界游泳速度的影响

a. 对草鱼绝对临界游泳速度的影响; b. 对草鱼相对临界游泳速度的影响. **表示与对照组相比具有极显著性差异($P<0.01$).

Fig. 4 The influence of fishing tags on critical swimming speed of *Ctenopharyngodon idellus*

a. The influence of fishing tags on absolute critical swimming speed; b. The influence of fishing tags on relative critical swimming speed. ** denotes extremely significant difference compared with control ($P<0.01$).

3 讨论

3.1 草鱼体长与临界游泳速度的关系

体长是影响鱼类游泳速度的一个重要因子,体长范围为 15~25 cm 的草鱼,绝对临界游泳速度随体长增加而增大,相对临界游泳速度随体长增大而减小。这一结果与叶超等^[19]以及李会锋等^[20]分别对异齿裂腹鱼(*Schizothorax oconnori*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)幼鱼的研究结论一致。其可能原因是鱼在水中游泳时,单位体重所需要的推进功率与它的个体大小成反比,即体长小的鱼所需消耗的运动能量比大鱼更多^[21]。考虑到不同体长草鱼游泳能力存在差异,本研究将试验草鱼分为 3 个体长组,在每个体长组内比较 5 种标志对草鱼游泳能力的影响,以减小体长因素对实验结果造成的误差。由于个体小的鱼绝对临界游泳速度小,因此应尽量选择流速缓慢的江段进行放流,而个体大的鱼绝对临界游泳速度大,可选择江中心流速大的江段放流。

3.2 超声波标志对草鱼游泳能力的影响

植入超声波标志时需要在草鱼腹部开一个 1 cm 左右的切口,根据观察这个切口需要 7 d 左右才能愈合,在手术过程也会有失血的现象,手术后可观察到草鱼的反应能力迟缓。由于超声波标志手术对草鱼机体造成较大损伤,超声波标志物存在也可能对草鱼产生不适感,因此标志后草鱼的临界游泳速度极显著性降低。罗宏伟等^[22]从生长死亡率、缝线脱落率以及标志保持率等方面系统地研究了超声波标志对草鱼的影响,发现标志的负面影响在术后 30 d 逐渐消失,本研究也进一步说明了超声波标志后草鱼不能立即放流。标志后暂养一段时间,待其伤口愈合后游泳能力是否会提高还需进一步的研究。

3.3 T 型标志对草鱼游泳能力的影响

T 型标志具有操作简单、易被发现、回收简便以及实施的费用低廉等特点而被广泛使用^[23],但其也存在对小个体进行标志固定困难,对生物体损伤较大,可能影响动物的行为和生长等问题^[24]。实验所用的 T 型标志长 2.3 cm,重 0.02 g, T 型标志对 15~18 cm 体长组草鱼的临界游泳速度有极

显著性影响,对于 18~25 cm 体长组的草鱼无显著性影响,其原因可能与 T 型标志的存在方式有关, T 型标志打入草鱼一侧的背部可能会消耗草鱼一部分用于维持自身平衡的能量,而在游泳的过程中, T 型标志露出于体外的部分与周围的物体摩擦以及与水产生的阻力都将影响到草鱼的游泳速度,而当草鱼规格大时,这种影响是不显著的。

3.4 PIT 标志、切鳍标记以及荧光标记对草鱼游泳能力的影响

PIT 标志以其能够跟踪到个体水平,标志的保持率高以及对标志鱼感染率低等特点,被广泛应用于研究水生动物的生长、运动洄游^[25]以及育种实践中^[26]。实验所用 PIT 标志长 8 mm,重 25 mg,由于其具有体积小,质量轻的特点,对标志后草鱼的临界游泳能力没有显著性影响。PIT 标记作为鱼类标记方法是有效可行的^[27],但其作为内部标记,有效探测距离小^[28]且价格较高,这是选择 PIT 标记需要考虑的因素。

鱼鳍是鱼类重要的游泳器官,不同的鳍组织功能不尽相同。对于大多数鱼类而言,尾鳍是最重要的游泳器官,通过左右摆动尾鳍可提供前进的动力,同时尾鳍还能控制鱼类的游动方向;胸鳍也能在摆动时提供向前的动力,同时也能控制游动时的急停和升降,起到平衡鱼体的作用;腹鳍、臀鳍和背鳍主要是对鱼体的平衡起到协助作用^[29]。本研究中切鳍标记是切除草鱼左侧腹鳍,根据观察发现草鱼游泳主要是靠胸鳍及尾部的摆动来增加推进力,而腹鳍则紧贴着腹部,腹鳍的存在与否对草鱼游泳速度无显著性影响。也有研究表明,切除唐鱼(*Tanichthys albonubes*)尾鳍或双侧胸鳍对唐鱼的游泳能力影响显著,而切除背鳍或臀鳍对其游泳速度无显著性影响^[30]。由于鱼鳍具有可再生特性,因此切鳍标记一般作为短期的鱼类标记,切鳍标记的有效期也有待于进一步的观察研究。

荧光标志效果与标志位置有密切关系,本研究中荧光标记是将荧光染料注入草鱼头部的皮下组织,标志效果明显,且对草鱼的临界游泳速度不产生显著性影响。荧光标记的保持率与鱼种有关, Pierson 等^[31]的实验表明,罗非鱼(*Tilapia*

aurea) 经过 110 d 饲养, 荧光物质保持率为 78%, 草鱼经过 238 d 饲养, 保持率为 80%, 但鲢经过标志后 174 d, 保持率为 0。荧光色素的保持率还与标志鱼的规格大小有关^[32]。对于不同规格草鱼荧光标记保持时间以及荧光标志存在是否会提高草鱼被捕食的几率还有待进一步的研究。

4 结论

从实验结果来看, 荧光标志、切鳍标志和 PIT 标志对草鱼游泳能力影响较小, 其中荧光标志是植入草鱼头部皮下组织, 对机体的影响最小, 且标志外观明显, 适合 1 周年内的大规模标志; 切鳍标志由于鳍条的可再生性, 因此只适合短期标志; PIT 标志外观难以发现, 且价格较高, 一般不推荐作为大规模标志。T 型标志适用于规格大的个体, 由于其价格低廉且可载入信息量大, 建议作为大个体放流鱼种的标志手段; 超声波标志对试验鱼游泳能力产生显著性影响, 且标志价格昂贵, 不适合作为大规模放流的标志手段。综上所述, 增殖放流中对于个体小的鱼种推荐使用荧光标志, 对于个体大的鱼种使用 T 型标志。

参考文献:

- [1] Ricker W E. Methods for assessment of fish production in fresh water[M]//IMP Handbook No. 3. New Jersey: Blackwell Science Publication, 1971: 82-97.
- [2] Nielsen L A. Methods of Marking Fish and Shellfish[M]. New York: American Fisheries Society Special Publication, 1992, 23: 37-38.
- [3] Cooke S J, Hinch S G, Wikelski M, et al. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology[J]. Trends Ecol Evol, 2004, 19(6): 334-343.
- [4] Tang J H, Chen M H, Bai H P, et al. Experiments on propagation and release of *Sparus macrocephalus* in the coastal waters of Jiangsu and Zhejiang province[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1998, 7(2): 167-171. [汤建华, 陈铭惠, 柏怀萍, 等. 江浙沿海黑鲷增殖放流试验[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(2): 167-171.]
- [5] Liu J F, Weng Z C, Tang X G, et al. Tagging techniques of *Pseudosciaena crocea* (Richardson) in Guanjiyang sea area and a preliminary study on ecological habits and characteristics of early tagged fish[J]. Marine Sciences, 1994(5): 53-58. [刘家富, 翁忠钊, 唐晓刚, 等. 官井洋大黄鱼标志放流技术与放流标志鱼早期生态习性的初步研究[J]. 海洋科学, 1994(5): 53-58.]
- [6] Lin J B, Chen T, Chen L, et al. The techniques of *Sparus macrocephalus* tagged and released in Daya Bay [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(1): 75-79. [林金铤, 陈涛, 陈琳, 等. 大亚湾黑鲷标志放流技术[J]. 水产学报, 2001, 25(1): 75-79.]
- [7] Luo H W, Duan X B, Liu S P, et al. Effects of surgically implanted dummy ultrasonic transmitters on physiological response of bighead carp *Hypophthalmichthys nobilis*[J]. Fish Physiol Biochem, 2014, 40(5): 1521-1532.
- [8] Fu S J, Cao Z D, Peng J L. Effect of repetitive bouts of exhaustive exercise with different interval on oxygen consumption in juvenile southern catfish[J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science, 2009, 26(1): 13-16. [付世建, 曹振东, 彭姜岚. 不同时间间隔重复力竭运动对南方鲶幼鱼耗氧率的影响[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2009, 26(1): 13-16.]
- [9] Pingguo H E. Swimming behaviour of winter flounder (*Pleuronectes americanus*) on natural fishing grounds as observed by an underwater video camera[J]. Fish Res, 2003, 60(2/3): 507-514.
- [10] Yu X M, Zhang X M. Research progress on measurements of fish swimming ability[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(4): 76-84. [于晓明, 张秀梅. 鱼类游泳能力测定方法的研究进展[J]. 南方水产科学, 2011, 7(4): 76-84.]
- [11] Duan X B, Yu L X, Luo H W, et al. Critical swimming speed comparison of four species of fish at two acclimation temperature[J]. Chinese Journal of Zoology, 2015, 50(4): 529-536. [段辛斌, 俞立雄, 罗宏伟, 等. 两种温度条件下四种鱼类临界游泳速度的比较[J]. 动物学杂志, 2015, 50(4): 529-536.]
- [12] Xian X M, Cao Z D, Fu S J. The comparison of critical swimming speed and endurance at high speed of four species of juvenile fish[J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science, 2010, 27(4): 16-20. [鲜雪梅, 曹振东, 付世建. 4 种幼鱼临界游泳速度和运动耐受时间的比较[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2010, 27(4): 16-20.]
- [13] Qiao Y G, Huang H L, Huang M F, et al. The preliminary study on swimming speed of different freshwater fishes[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2012(15): 116-119. [乔云贵, 黄洪亮, 黄妙芬, 等. 不同淡水鱼类游泳速度的初步研究[J]. 湖南农业科学, 2012(15): 116-119.]
- [14] Wang J H, Jiang W, Tang X L, et al. The preliminary evaluation of economic fisheries resource enhancement and releasing effect in the Gezhouba reservoir[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(6): 100-103. [王军红, 姜伟, 唐锡良,

- 等. 长江三峡大坝—葛洲坝江段经济鱼类增殖放流效果初步评价[J]. 淡水渔业, 2014, 44(6): 100–103.]
- [15] Li S H, Chen D Q, Duan X B, et al. Genetic effects of released mature *Ctenopharyngodon idellus* on natural population based on the mitochondrial DNA markers in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(3): 45–50. [李树华, 陈大庆, 段辛斌, 等. 基于线粒体 DNA 标记的长江中游草鱼亲本增殖放流的遗传效果评估[J]. 淡水渔业, 2014, 44(3): 45–50.]
- [16] Moore A, Russell I C, Potter E C E. The effects of intraperitoneally implanted dummy acoustic transmitters on the behaviour and physiology of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L.[J]. J Fish Biol, 1990, 37: 713–721.
- [17] Lee C G, Farrell A P, Lotto A, et al. The effect of temperature on swimming performance and oxygen consumption in adult sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and coho (*O. kisutch*) salmon stocks[J]. J Exp Biol, 2003, 206(18): 3239–3251.
- [18] Zeng L Q, Cao Z D, Fu S J, et al. Effect of temperature on swimming performance in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen)[J]. Comp Biochem Physiol, 2009, 153(2): 125–130.
- [19] Ye C, Wang K, Huang F J, et al. Swimming capability of *Schizothorax oconnori*[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(3): 33–37. [叶超, 王珂, 黄福江, 等. 异齿裂腹鱼游泳能力初探[J]. 淡水渔业, 2013, 43(3): 33–37.]
- [20] Li H F, Cai D S, Yang P S. Swimming ability and behavior of different sized silver carp[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(3): 88–92. [李会锋, 蔡德所, 杨培思. 鲢幼鱼游泳能力及游泳行为的试验研究[J]. 水生生态学杂志, 2016, 37(3): 88–92.]
- [21] Shapiro A H. Shape and Flow, the Fluid Dynamics of Drag[M]. Translated by Tan G S. Beijing: Science Press, 1979: 99–120. [夏皮罗. 形与流——漫谈阻力流体动力学[M]. 谈镐生, 译. 北京: 科学出版社, 1979: 99–120.]
- [22] Luo H W, Duan X B, Wang S, et al. Effects of surgically implanted dummy ultrasonic transmitters on grass carp *Ctenopharyngodon idella*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 577–583. [罗宏伟, 段辛斌, 王生, 等. 手术植入虚假超声波发射器对草鱼的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 577–583.]
- [23] Liu Z L, Xu Y J, Liu X Z, et al. Tagging of Japanese flounder using T-bar tags[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(6): 80–86. [刘芝亮, 徐永江, 柳学周, 等. T 型标志牌标记牙鲆苗种[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(6): 80–86.]
- [24] Zhou Y D, Xu H X, Dai X J, et al. An application effect of several tagged methods in fisheries resource enhancement[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2008(1): 6–12. [周永东, 徐汉祥, 戴小杰, 等. 几种标志方法在渔业资源增殖放流中的应用效果[J]. 福建水产, 2008(1): 6–12.]
- [25] Dong Z J, He J, Zhu J, et al. Comparison of growth among 60 families GIFT strain tilapia at initial stage[J]. Fresh Water Fisheries, 2008, 38(3): 32–34. [董在杰, 何杰, 朱健, 等. 60 个家系吉富品系罗非鱼初期阶段的生长比较[J]. 淡水渔业, 2008, 38(3): 32–34.]
- [26] Woods C M. Evaluation of VI-alpha and PIT-tagging of the seahorse *Hippocampus abdominalis*[J]. Aquac Int, 2005, 13: 175–186.
- [27] Chen J T, Dai X J. Current status of fish tagging technology[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(4): 451–456. [陈锦涛, 戴小杰. 鱼类标志放流技术的研究现状[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 451–456.]
- [28] Tang J H, Cu X M, Liu P T, et al. Comparison between fish tagging and marking techniques for enhancement of fish resource[J]. Modern Fisheries Information, 2005, 20(9): 13–15. [汤建华, 促霞铭, 刘培廷, 等. 渔业资源增殖放流加标方法的比较[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(9): 13–15.]
- [29] Li L C. Practical Ichthyology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 56–157. [李林春. 实用鱼类学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 56–157.]
- [30] Liu M Z, Lin X T, Xu Z N, et al. Influences of fins amputation on swimming ability of *Tanichthys albonubes*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(6): 930–937. [刘明中, 林小涛, 许忠能, 等. 切鳍标记对唐鱼游泳能力的影响[J]. 动物学杂志, 2014, 49(6): 930–937.]
- [31] Pierson J M, Bayne D R. Long-term retention of fluorescent pigment by four fishes used in warmwater culture[J]. Prog Fish-Culturist, 1983, 45(3): 186–188.
- [32] Mouring T E, Fausch K D, Gowan C. Comparison of visible implant tags end ploy anchor tags on hatchery rainbow trout [J]. North Am J Fish Manag, 1994, 14: 636–642.

Effect of five tagging methods on critical swimming speed of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*

YU Lixiong^{1,2}, DUAN Xinbin², CHEN Daqing², LUO Hongwei^{1,2}, LIU Shaoping², GAO Lei²

1. Faculty of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Field Experimental Station for Scientific Observation of Fishery Resources and Environment of the Middle and Upper Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract: This research assessed the effect of five tagging methods: namely, PIT marking, fin amputation marking, fluorescent marking, ultrasound marking and T-type marking, on the critical swimming speed of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. Grass carp with a body length of 15–25 cm (standard length, SL) were divided into three size groups: short body length (15–18 cm), medium body length (18–21 cm) and long body length (21–25 cm). Critical swimming speed was measured for 144 fish in an annular flume with a water temperature of (16±1)°C. SPSS17.0 software was used for data processing. The results showed that the absolute critical swimming speed of the grass carp tended to increase, while the relative critical swimming speed tended to decrease along with an increasing body length. Ultrasonic tagging showed a significant impact ($P<0.01$) on the swimming ability of the fish in all size groups (body length 15–25 cm). The absolute critical swimming speed of the grass carp in each of the three size groups (short, medium, large) decreased by 18.72%, 16.40% and 23.15%, respectively, after ultrasound tagging, and the relative critical swimming speed of the three groups decreased by 18.95%, 17.78% and 21.86%, respectively. T-type tagging also showed a significant impact ($P<0.01$) on the swimming ability of grass carp in the short body length group: their absolute critical swimming speed decreased by 8.35%, whereas their relative critical swimming speed decreased by 9.30%. No significant impact of T-type tagging was detected on the critical swimming speed of grass carp with a medium or long body length (18–25 cm). Finally, no significant impact on swimming speed was detected for fish with a PIT tag, fin amputation marking or fluorescent tag.

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; tagging; PIT; fin amputation marking; fluorescent marking; ultrasound marking; T-type marking; critical swimming speed

Corresponding author: DUAN Xinbin. E-mail: duan@yfi.ac.cn