

DOI: 10.12264/JFSC2021-0086

基于标志放流信息的长江口中华鲟降海洄游和分布特征

吴建辉^{1,3,5}, 陈锦辉^{1,2,3}, 高春霞^{2,3,4,5}

1. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 200092;
2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
3. 长江口水生生物资源监测与保护联合实验室, 上海 202162;
4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
5. 教育部大洋渔业资源可持续开发重点实验室, 上海 201306

摘要: 中华鲟(*Acipenser sinensis*)为国家一级重点保护野生动物。2004—2014 年在长江口水域标志放流中华鲟 12570 尾, 标志回捕中华鲟 24 尾次, 接收 18 枚落式卫星数据回收标志(PAT)信息。本研究根据标志放流信息, 分析研究长江口标志放流中华鲟降海洄游和分布特征。研究结果表明: (1)长江口标志放流中华鲟分布于经度跨度 7°, 纬度跨度 9°的长江口水域和东海及黄海海域, 主要聚集分布区为长江口水域和舟山群岛海域; (2)标志放流中华鲟具有显著的降海洄游趋势, 放流后短期滞留在长江口淡水环境, 7 d 后具有进入海洋的行为; (3)长江口标志放流中华鲟进入海洋后, 其迁移方向会出现随机性, 在迁移过程中具有折返、转向、停滞的特征。本研究通过对长江口增殖放流的中华鲟标志回捕信息开展研究, 旨在揭示中华鲟降海洄游和分布特征, 为中华鲟资源保护提供科学依据。

关键词: 中华鲟; 长江口; 标志放流; 降海洄游; 分布特征

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2021)12–1559–09

中华鲟(*Acipenser sinensis*)是国家一级重点保护野生动物, 是我国特有的江海洄游性鱼类, 主要分布于长江干流和我国东海及黄海^[1-3]。在自然条件下, 性成熟的中华鲟溯江而上由海洋经长江口到达长江中游产卵繁殖, 孵化的幼鲟顺流而下聚集于长江口, 完成由淡水游向海水的生理适应性调节过程^[1]。由于水利工程建设、水体污染、过度捕捞等原因, 中华鲟在长江中的洄游通道被切断、产卵场遭受破坏、生活史过程受到干扰, 野生中华鲟资源量急剧减少。1976 年, 国家提出以人工增殖放流的方法来保护中华鲟^[4], 目前人工增殖放流技术已经成为了实施中华鲟主动保护的重要手段之一^[5]。自 1982 年开始, 中国水产科学院长江水产研究所持续开展了 30 多年的中华鲟人工增殖放流工作^[6]; 1984 年水利部中华鲟研究

所对野生中华鲟进行人工繁殖取得成功, 并实施增殖放流^[7]。长江口是中华鲟幼鱼降海洄游和成鱼溯河洄游的必经通道, 对中华鲟的生存意义重大^[8]。基于长江口在中华鲟保护中的重要性, 2004 年以来, 上海市农业农村委员会在长江口组织开展多次中华鲟增殖放流工作, 以增殖和保护长江口及海洋的中华鲟种群资源。

标志放流技术是研究鱼类分布规律、洄游性鱼类的洄游习性、评估人工增殖放流效果和估算自然种群数量的重要方法^[9]。标志放流作为增殖放流的主要技术手段, 常与增殖放流活动同步开展^[10]。1996 年之前长江放流的中华鲟幼鲟均未进行标志; 1996—1998 年, 常剑波^[11]采用茜素络合物浸泡的方法对部分幼鲟进行了标志放流; 1998—2002 年杨德国等^[9]采用体外挂牌和体内注射微

收稿日期: 2021-03-22; **修订日期:** 2021-04-02.

基金项目: 教育部重点实验室开放基金项目(2021-06); 农业农村部渔业资源保护和转产转业项目(2014021).

作者简介: 吴建辉(1980–), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事长江口水生野生生物及其栖息地保护研究. E-mail: wjh0618@163.com

通信作者: 陈锦辉, 博士, 研究员, 主要从事长江口水生野生生物保护研究. E-mail: 1114260882@qq.com

型线码标记进行中华鲟增殖放流效果评估和跟踪监测研究; 2006 年陈锦辉等^[12]利用脱落式卫星数据回收标志(POP-UP satellite), 通过标志放流开展中华鲟在海域中的迁移和分布研究; 2010—2013 年王成友等^[13]在厦门九龙开展中华鲟人工放流效果评估。长江口的中华鲟标志放流研究起步较晚, 尤其长江口中华鲟降海洄游习性、在海洋中的移动和分布等方面的研究还在起步阶段。本研究基于长江口中华鲟标志放流技术, 利用 2004—2014 年标志放流信息, 探究长江口中华鲟降海洄游及其在海洋中的重要分布区域, 为长江口中华鲟增殖放流效果评估、海洋中华鲟种群的保护和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 放流中华鲟来源及放流地点信息

2004—2014 年累计标志放流中华鲟 12570 尾(表 1), 放流地点位于长江口南支北港水道和南支南港水道。放流中华鲟由野生中华鲟和人工繁育仔 I 代(F₁)中华鲟组成, 其中 F₁ 中华鲟为湖北中华鲟保护科研机构人工繁育, 并在位于上海市崇明岛的中华鲟保护基地内进行多年人工驯养; 野生中华鲟为抢救成活的长江口误捕中华鲟, 经抢救暂养 2~3 个月后放流自然水体。

表 1 2004—2014 年中华鲟标志放流信息表

Tab. 1 Statistics for tagging Chinese sturgeon in 2004—2014

标志放流 年份 year	标志放流 日期 date	放流数量/ind number	放流地点 release site	
			东经 east longitude	北纬 north latitude
2004	09-26	119	122°03'03"	31°23'00"
2005	09-19	1512	121°29'00"	31°25'00"
2006	08-06	3351	121°37'46"	31°30'05"
2007	04-22	2006	121°38'00"	31°30'00"
2007	06-17	51	121°45'00"	31°25'00"
2008	11-01	2550	121°31'27"	31°23'24"
2009	11-09	2569	121°48'40"	31°25'52"
2009	12-11	85	121°48'40"	31°25'52"
2010	06-06	20	121°48'40"	31°25'52"
2010	07-24	33	121°48'40"	31°25'52"
2011	06-16	42	121°48'40"	31°25'52"
2012	05-06	33	121°48'40"	31°25'52"
2013	12-08	129	121°48'40"	31°25'52"
2014	04-24	70	121°48'40"	31°25'52"

1.2 中华鲟标志方法

对放流中华鲟均进行体内体、体外双重标志。体内标志为射频综合标志(passive integrated transponder tags, PIT), 体外标志为外挂银质标志牌(silver brand tag, SBT)、飘带(plastic streamer tag, PST)、骨板标志(plastic bone armor tag, PBT)和锚标(plastic tipped dart tag, PDT)的其中一种, 部分采用悬挂脱落式卫星数据回收标志(POP-UP satellite archival tag, PAT)。其中 PIT 标志于中华鲟人工驯养伊始即植入其体内, 常规体外标志于中华鲟放流前 1 个月时悬挂, PAT 标志于放流现场悬挂并激活(图 1)。

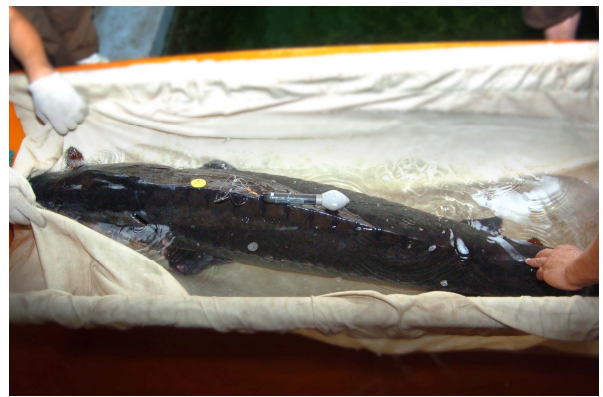


图 1 中华鲟体外标志及标志位置

Fig. 1 The type and position of the tags in *Acipenser sinensis*

1.3 标志信息回收

标志信息通过标志中华鲟回捕和卫星接收数据获得。为有效收集标志回捕信息, 在放流前后进行宣传工作, 并在中华鲟体外标志上印制详细的信息和联络方式, 以便渔民联系。

1.4 统计方法

对不同标记方式下的中华鲟标志回捕率、回捕时间、直线洄游距离以及标志中华鲟分布区域进行统计分析, 探究中华鲟降海洄游习性、在海洋中的移动和分布特征。以上数据统计在 Excel 中完成, 回捕位置和标志脱落位置使用 ArcGIS 10.0 中绘制。

2 结果与分析

2.1 标志回捕和标志信息回收数量

2004—2014 年期间共收集到 24 尾次常规标

志中华鲟回捕信息(表 2), 常规标志回捕率为 0.19%。标志回捕中华鲟中, 回捕 1 龄 F_1 中华鲟 12 尾, 2 龄以上 F_1 中华鲟 11 尾次, 未见野生中华鲟回捕记录。其中标志号码 2013079 的标志放流中华鲟有 2 次回捕记录。

2004—2014 年间进行了 7 次 PAT 标志放流, 共计放流 34 尾携带 PAT 标志的中华鲟, 共回收 18 枚 PAT 标志信息(表 3), PAT 标志回收率为

52.9%, 但未回捕到 PAT 标志中华鲟。

2.2 常规标志放流中华鲟的分布区域

分析标志回捕地点, 常规标志放流中华鲟主要分布于长江口水域、东海海域和黄海海域(表 2、图 2)。其中回捕于放流点附近长江口水域的中华鲟 12 尾, 占到总回捕量的 50.0%; 回捕于东海海域的 10 尾, 占到总回捕量的 41.7%; 回捕于黄海海域的 2 尾。

表 2 中华鲟常规标志回收信息

Tab. 2 Receiving information of tags in *Acipenser sinensis*

标志号码 tag ID	放流日期 release date	回捕时间间隔/d days between releasing and recapturing	回捕地理位置 recapturing geographical position	直线洄游距离/km linear migration distance
2004010	2004-09-26	45	黄海 Yellow Sea	290
AA1503	2005-09-19	1	长江口南支南港水道 Yangtze River south tributary	40
AA0120	2005-09-19	71	浙江舟山群岛海域 Zhoushan sea area	125
AA0600	2005-09-19	73	浙江宁波海域 Ningbo sea area	118
AA0688	2005-09-19	80	浙江舟山群岛海域 Zhoushan sea area	133
AB2053	2006-08-06	56	长江口外近海 off Yangtze River estuary	65
AB0065	2006-08-06	2	长江口崇明岛东部滩涂水域 east Chongming coastal line	32
AB0721	2006-08-06	5	长江口崇明岛东部滩涂水域 east Chongming coastal line	33
AB1321	2006-08-06	6	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	7
AC1726	2007-04-22	2	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	6.5
AC1000	2007-04-22	5	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	6.5
AC0996	2007-04-22	6	长江口长兴岛和横沙岛之间水道 tributary between Changxiang and Hengsha Islands	22
AC0936	2007-04-22	8	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	8.5
AC1614	2007-04-22	14	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	27
AC9044	2007-06-17	22	浙江舟山群岛海域 Zhoushan sea area	117
8110131	2008-11-01	64	浙江温州海域 Wenzhou sea area	423
8110129	2008-11-01	130	浙江舟山群岛海域 Zhoushan sea area	146
2013079	2013-12-08	28	黄海 Yellow Sea	128
2013078	2013-12-08	93	长崎县五岛列岛海域 Nagasaki islands sea	630
2013060	2013-12-08	115	浙江宁波海域 Ningbo sea area	216
2013079	2013-12-08	124	浙江舟山群岛海域 Zhoushan sea area	125
2014080	2014-04-24	1	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	29
2014013	2014-04-24	5	长江口北支水道 Yangtze River north tributary	25
AF0041	2013-12-08	198	长江口南支北港水道 Yangtze River south tributary	25

长江口水域的标志中华鲟分布情况统计结果显示, 长江口南支北港水道 7 尾, 长江口崇明岛东部滩涂水域 2 尾, 长兴岛和横沙岛之间水道 1 尾, 长江口南支南港水道 1 尾, 长江口北支水道 1 尾。可见长江口南支北港水道是标志放流中华鲟

主要逗留场所和主要入海通道。回捕于东海的标志放流中华鲟中, 浙江舟山群岛海域 5 尾, 浙江宁波海域 2 尾, 长江口外近海、浙江温州海域、长崎县五岛列岛海域各 1 尾。标志回捕中华鲟分布于 $27^{\circ}48'00''\sim 33^{\circ}15'00''N$ 、 $121^{\circ}30'18''\sim 128^{\circ}34'15''E$

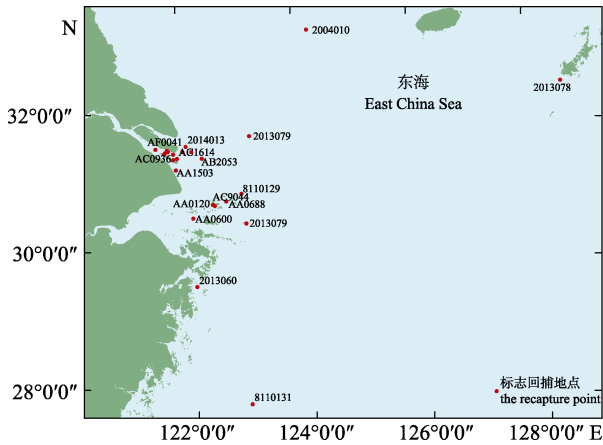


图 2 2004—2014 年常规标志放流中华鲟的回捕点示意图

Fig. 2 The recapture point of tagging Chinese sturgeon in 2004—2014

的范围内, 分布区域的纬度跨度为 5.5°, 经度跨度为 7°。由此可见, 长江口水域和舟山群岛海域是长江口标志放流中华鲟的主要聚集分布区。

2.3 PAT 标志放流中华鲟的分布

根据 PAT 标志脱落地点, 绘制出 PAT 标志中华鲟分布图(表 3、图 3)。PAT 标志脱落时标志中

华鲟均位于海洋中, 其中位于东海 9 尾, 黄海 9 尾。PAT 标志中华鲟最北到达朝鲜半岛西海岸(ID88363), 最南到达福建宁德沿海(ID64679), 最东洄游至 125°E 以东, 分布于经度跨度为 4°, 纬度跨度为 9°的沿海大陆架海域。综合 PAT 标志中华鲟和常规标志中华鲟的分布信息, 长江口标志放流中华鲟分布于经度跨度 7°, 纬度跨度为 9°的长江口水域和东、黄海海域。

2.4 标志放流中华鲟降海时间和迁移方向

经统计(表 2), 常规标志放流中华鲟回捕时间间隔最短为 1 d, 最长为 198 d。在长江口水域发现的 12 尾常规标志中华鲟中, 11 尾集中回捕于放流后 1~14 d, 1 尾回捕于放流后 198 d。回捕于东海和黄海海域的常规标志放流中华鲟共 22 尾次, 回捕间隔时间为 22~130 d。统计 PAT 标志中华鲟信息(表 3), PAT 标志于放流后 7~181 d 内发回信号, 发射信号位置均位于海洋中。其中, 138252 号 PAT 放流 7 d 后达到长江口外东海水域, 88360 号 PAT 181d 后从黄海发回信号。综合分析标志结果表明, 长江口标志中华鲟放流后会短期滞留在长

表 3 PAT 信息回收情况
Tab. 3 Receiving information of PAT

PAT 号 PAT ID	放流日期 releasing date	脱落日期 pop-up date	脱落地点 end point	设置脱落天数/d set-up pop-up days	实际脱落天数/d actual pop-up days	直线洄游距离/km migration distance
64680	2006-08-06	2006-09-05	东海 East China Sea	30	30	60
64679	2006-08-06	2006-10-01	东海 East China Sea	60	56	640
64677	2006-08-06	2006-12-12	东海 East China Sea	180	128	200
88529	2008-11-01	2008-11-20	黄海 Yellow Sea	30	19	200
88361	2008-11-01	2008-11-30	黄海 Yellow Sea	30	29	447
88530	2008-11-01	2008-12-01	黄海 Yellow Sea	30	30	260
88363	2008-11-01	2008-12-30	黄海 Yellow Sea	60	60	697
88362	2008-11-01	2008-12-09	黄海 Yellow Sea	90	39	270
88360	2008-11-01	2009-05-01	黄海 Yellow Sea	180	181	448
88530	2009-11-19	2009-12-19	黄海 Yellow Sea	30	30	416
49963	2009-11-19	2010-03-03	黄海 Yellow Sea	180	104	298
49904	2010-07-24	2010-11-04	东海 East China Sea	60	103	201
49905	2010-07-24	2010-08-19	东海 East China Sea	60	26	56
108576	2011-06-16	2011-07-16	黄海 Yellow Sea	30	30	589
108580	2011-06-16	2011-07-03	东海 East China Sea	360	17	181
108578	2011-06-16	2011-07-10	东海 East China Sea	60	24	197
49960	2013-12-08	2014-01-14	东海 East China Sea	60	37	195
138252	2014-04-24	2014-05-01	东海 East China Sea	30	7	48

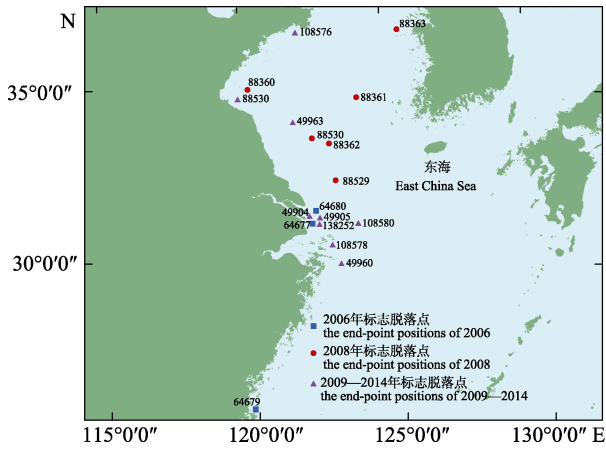


图 3 2004—2014 年 PAT 标志的脱落位置示意图
Fig. 3 The end-point positions of PAT in 2004—2014

江口, 7 d 后具有离开长江口进入海洋的趋势。

标志号 AF0041 中华鲟放流后第 198 天后被发现于长江口青草沙水库西北侧, 位于放流地点西向 25 km 处。这是唯一一次回捕时间长, 且回捕地点位于放流点上游淡水环境的记录, 不可排除有部分放流中华鲟长时间停留淡水环境中, 但也极可能是经历过海洋后洄游至淡水环境。

除 AF0041 号标志中华鲟外, 其他标志回捕中华鲟均位于放流点东向长江口水域、东海和黄海海域(图 2、图 3)。通过标志号 2013079 中华鲟的两次回捕记录分析(表 2), 该个体于 2013 年 12 月 8 日放流于长江口南支北港水道, 28 d 后第 1 次回捕于黄海海域, 此时标志中华鲟总体是朝东进入东海后, 折向黄海洄游; 原地放生后再经 96 d, 即放流后 124 d, 再次回捕于浙江舟山嵊山海域, 具有明显的南向游动轨迹。可见, 长江口标志放流中华鲟进入海海洋的迁移方向具有不确定性, 可在东海、黄海之间折返洄游。

2.5 标志放流中华鲟直线洄游距离

根据统计结果(表 2、表 3), 长江口常规标志放流中华鲟直线洄游距离平均值为 115.7 km, 东向、北向和南向最大洄游距离分别为 630 km、290 km、423 km; PAT 放流中华鲟直线洄游距离平均值为 300.17 km, 最大直线洄游距离为 640 km。图 4 表明, 长江口标志放流中华鲟直线洄游距离主要分布在 300 km 以内, 直线洄游距离与回捕数量呈现反比关系。分析标志回捕(回收)时间与直线

洄游距离发现(图 5), 随着回捕间隔时间的增加, 直线洄游距离呈现先增加后减少的趋势, 拐点出现在放流后的 60~100 d。说明标志放流中华鲟在海洋中的迁移方向具有随机性, 在迁移过程中具有折返、转向、停滞的特征。

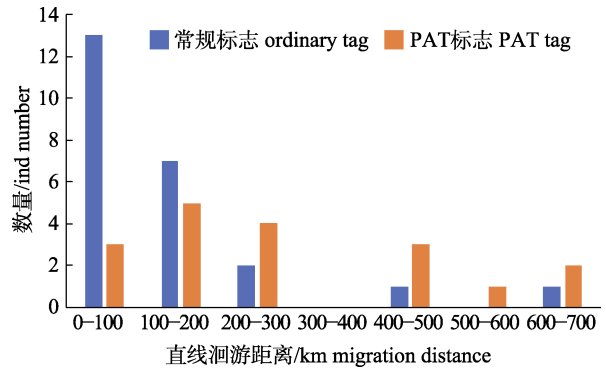


图 4 标志放流中华鲟的直线洄游距离分布范围
Fig. 4 The distribution range of migration distance

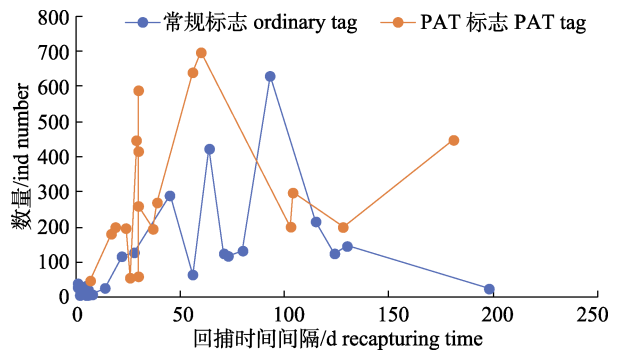


图 5 回捕间隔时间与直线洄游距离的关系
Fig. 5 The relationship between recapture time and migration distance

2.6 标志放流中华鲟海水适应能力

统计标志放流中华鲟进入海洋的情况(表 2、表 3), 2014013 号中华鲟于第 5 天回捕于长江口北支的崇明岛东旺沙咸水环境(盐度 14.00), 138252 号中华鲟于第 7 天在东海发回 PAT 信号。除一个记录以外(AF0041 号标志中华鲟), 放流第 40 天后的标志放流中华鲟均分布东海和黄海海域。表明长江口标志放流中华鲟可于短期内适应海水环境。

3 讨论

3.1 人工放流中华鲟标志方法

历史资料^[1,14]显示, 中华鲟在我国北起黄海

北部海洋岛沿岸、南抵海南岛万宁市近海,以及长江、珠江、闽江、瓯江、钱塘江和黄河均有分布。据《中国濒危动物红皮书》^[15]记录闽江、钱塘江和黄河中华鲟已经绝迹,珠江中华鲟数量稀少,仅长江中华鲟现存量相对较大^[16-17]。然而,随着葛洲坝等工程兴建,长江中华鲟产卵洄游通道阻断,被资源数量锐减,目前野生中华鲟的迁移和分布轨迹尚不清晰^[18]。人工标志放流技术是开展中华鲟洄游和分布研究的重要手段,杨德国等^[9]发现,人工放流中华鲟稚鲟和幼鲟的生长、洄游及分布与自然种群无明显差异。目前中华鲟标志包括有数码线形标志(coded wire tag, CWT)、射频综合标志(passive integrated transponder tags, PIT)等传统体内标志,外挂银质标志牌(silver brand tag, SBT)、锚标(plastic tipped dart tag, PDT)等传统体外标志,以及声呐标^[19-20]、超声波发射器^[21]、脱落式卫星数据回收标志(POP-UP satellite archival tag, PAT)等新型遥测标志。我国自 20 世纪 90 年代后期开始进行中华鲟标志放流研究,早期是通过传统的体外和体内标志回捕的方式开展洄游研究,但由于中华鲟自身特性以及在海洋中分布广阔,放流中华鲟回捕难度大,标志效果并不理想^[12]。随着科学技术的发展,具有卫星跟踪功能的 PAT 标志开始被广泛应用到了标志放流研究中。国外 1997 年开发的 PAT 已经被成功运用于金枪鱼属(*Thunnus*)和鲽形目(*Pleuronectiformes*)等洄游种群的大范围迁移和生理学研究中,内容涉及集群、洄游、生殖、摄食、资源丰度、栖息地评价与兼捕问题^[22]。我国自 2006 年陈锦辉等^[12]首次将 PAT 标志运用到中华鲟标志放流研究以来,标志信息回收率达到 64%~75%,初步证明了中华鲟 PAT 标志放流取得成功;2010—2013 年王成友等^[13]在厦门海域放流了 13 尾携带弹出式卫星档案标志(MK10-PAT)的中华鲟,标志信息回收率达到 76.9%;本研究在长江口水域基于 PAT 标志的信息回收率为 52.9%,相比厦门海域放流标记回收率,长江口的回收率相对略低,究其原因,长江口水域水文环境变化巨大,这些对卫星标志的正常运作影响较大^[13]。考虑到中华鲟洄游范围广的特点,本研究以卫星遥感标志技术为主,结合

常规标志方法,保障了数据获取的全面性。如前所述,长江口环境导致卫星标志信息反馈效率降低,后续将与标记企业加强合作,增强卫星标志的回收率,进一步获取更多的迁移轨迹信息,深入探讨长江口放流中华鲟的降海洄游路径特征。

3.2 人工放流中华鲟地点的选择

目前长江水域每年都会开展中华鲟标志放流活动,长江流域中华鲟放流地点主要集中在长江中游的宜昌、荆州和长江口上海 3 个江段^[20];另有研究开始在海洋中^[13]以及在闽江口^[23]、珠江口^[24]进行中华鲟放流研究工作,但最佳的放流地点仍存在争议。本研究选择长江口开展中华鲟放流,主要考虑以下几点特点:一是长江口为中华鲟必经的洄游通道,是长江流域中华鲟增殖放流的重要组成部分,且具有不可替代的特点;二是实践证明放流中华鲟即使未经过 1850 km 长江干流的洄游经历,也可以具备进入海洋的生存能力;三是在长江口放流中华鲟可以缩短从长江中游至下游的长途洄游距离,从而在很大程度上避免捕捞、航运、污染等各类危险,提高放流中华鲟的成活率;四是长三角区域一体化程度高,2020 年 5 月 14 日上海市人民代表大会常务委员会发布第 36 号公告,公布实施《上海市中华鲟保护管理条例》^[25]。该条例第十二条规定了“应在上海市水域开展中华鲟放流工作,并可以采取标志放流、跟踪监测等措施进行增殖放流效果评估”,为长江口中华鲟放流工作及研究奠定了法律基础。

3.3 人工放流中华鲟的迁移和分布

人工放流中华鲟在海区的迁移和分布研究较少。陈锦辉等^[12]利用 PAT 标记发现中华鲟离开长江口后进入东海、黄海海域;杨德国等^[9]利用外挂银牌和体内注射微型线码标记(CWT)双重标记法分析长江中华鲟幼鲟的分布,通过回捕发现其在浙江温岭、嵊泗以及黄海 83 海区(青岛海域附近)出现;王成友等^[13]厦门海域标志放流的中华鲟分布于黄海、东海和南海,轨迹结果显示,中华鲟分布区域主要位于中国沿海大陆架水域,集中分布区域为厦门至舟山群岛之间的近海。本研究运用 PAT 标志和常规标志结合开展长江口中华鲟标志放流,发现中华鲟主要聚集分布区为长江口水域

和舟山群岛海域, 进入海洋后随机分布于黄海和东海, 可在东海、黄海之间折返洄游, 这一研究结果与前人的研究结果一致。与厦门海域标志放流中华鲟的迁移轨迹^[13]相比较, 长江口标志放流中华鲟分布范围要小于前者, 厦门海域标志放流中华鲟分布于黄海、东海和南海, 长江口标志中华鲟分布于黄海和东海, 没有进入南海的记录, 但两者具有共同的聚集分布区——舟山群岛海域, 这一现象同样见于陈锦辉等^[12]研究结果。究其原因, 放流中华鲟虽为同一种群, 但选用的生长时期不同、分布区域不同或野生与养殖等条件不同, 因此所得结果有所差异。

参考文献:

- [1] Yangtze Aquatic Resources Survey Group of Sichuan Province. The Biology of the Sturgeons and Paddlefish in the Yangtze River and Their Artificial Propagation[M]. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishing House, 1988: 5-6. [四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 5-6.]
- [2] Shi D L, Gong Z G. Looking back on the protection of juvenile Chinese sturgeon for 13 years [J]. China Fisheries, 2001(5): 22-23, 25. [施德龙, 龚志高. 回眸中华鲟幼鱼保护 13 年[J]. 中国水产, 2001(5): 22-23, 25.]
- [3] Ke F E. The protection and development of Chinese sturgeon[J]. Freshwater Fisheries, 1999, 29(9): 4-7. [柯福恩. 论中华鲟的保护与开发[J]. 淡水渔业, 1999, 29(9): 4-7.]
- [4] Xiao H. Research on the protection of Chinese sturgeon[J]. China Three Gorges, 2012(1): 22-29. [肖慧. 中华鲟保护研究探索历程[J]. 中国三峡, 2012(1): 22-29.]
- [5] Yang H L, Wei Q W. Suppressive and active protective actions in aquatic wildlife conservation[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(1): 1-10. [杨海乐, 危起伟. 论水生野生动物的主动保护与被动保护[J]. 湖泊科学, 2021, 33(1): 1-10.]
- [6] Wei Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: Dilemma and breakthrough[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(5): 1297-1319. [危起伟. 从中华鲟(*Acipenser sinensis*)生活史剖析其物种保护: 困境与突围[J]. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1297-1319.]
- [7] Wang D, Wang M Z. Saving the Chinese sturgeon[J]. Aquarium, 2008(1): 2008(1): 92-95. [王丹, 王明柱. 拯救中华鲟[J]. 水族世界, 2008(1): 92-95.]
- [8] Zhuang P, Liu J, Wang Y L, et al. The Yangtze Estuary nature research for Chinese sturgeon: Scientific studies and management[M]. Beijing, China Ocean Press, 2009: 159-160. [庄平, 刘健, 王云龙, 等. 长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 159-160.]
- [9] Yang D G, Wei Q W, Wang K, et al. Downstream migration of tag-released juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiological Sinica, 2005, 29(1): 26-30. [杨德国, 危起伟, 王凯, 等. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 26-30.]
- [10] Chen P M. Study on the method for assessment of enhancement effect of fishery stock[J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(1): 1-4. [陈丕茂. 渔业资源增殖放流效果评估方法的研究[J]. 南方水产, 2006, 2(1): 1-4.]
- [11] Chang J B. Changes of spawning population structure and resources of the Chinese sturgeon in the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1999: 76-79. [常剑波. 长江中华鲟繁殖群体结构特征和数量变动趋势研究[D]. 武汉: 中国科学院研究生院, 1999: 76-79.]
- [12] Chen J H, Zhuang P, Wu J H, et al. Migration and distribution of released *Acipenser sinensis* in the sea based on Pop-up Archival Tag technique[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 437-442. [陈锦辉, 庄平, 吴建辉, 等. 应用弹式卫星数据回收标志技术研究放流中华鲟幼鱼在海洋中的迁移与分布[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 437-442.]
- [13] Wang C Y, Du H, Liu M, et al. Migrations and distributions of Chinese Sturgeon released in the Sea of Xiamen[J]. Sci Sin Vitae, 2016, 46: 294-303. [王成友, 杜浩, 刘猛, 等. 厦门海域放流中华鲟的迁移和分布[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(3): 294-303.]
- [14] Zhuang P, Wang Y H, Li S F, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006: 137-143. [庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 137-143.]
- [15] Le P Q, Chen Y Y. Red Book of Endangered Animals in China. Fish[M]. Beijing: Science Press, 1998: 25-28. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书·鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 25-28.]
- [16] Chen X H. Biology and Resource Status of Sturgeons[M]. Beijing: Ocean Press, 2007: 1-203. [陈细华. 鲟形目鱼类生物学与资源现状[M]. 北京: 海洋出版社, 2007: 1-203.]
- [17] Wei Q W, Ke F E, Zhang M J, et al. Biology, fisheries, and conservation of sturgeons and paddlefish in China[J]. Environment of Biology Fish, 1997(48): 241-255.
- [18] Wang C Y. Migrations for reproduction of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and its habitat selections in the Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012:

- 40-42. [王成友. 长江中华鲟生殖洄游和栖息地选择[D]. 华中农业大学, 2012: 40-42.]
- [19] Wei Q W. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) with its stock assessment [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science, 2003: 1-3. [危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2003: 1-3.]
- [20] Wei Q W, Du H, Zhang H, et al. Conservation biology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [M]. Beijing: Science Press, 2019: 215-216. [危起伟, 杜浩, 张辉, 等. 中华鲟保护生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 215-216.]
- [21] Wei Q W, Yang D G, Ke F E. Technique of ultrasonic telemetry for Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, in Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 1998(3): 20-26. [危起伟, 杨德国, 柯福恩. 长江中华鲟超声波遥测技术[J]. 水产学报, 1998(3): 20-26.]
- [22] Zhang T F, Fan W, Dai Y. Archival tags and geolocation methods for marine animals[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(11): 3561-3566. [张天凤, 樊伟, 戴阳. 海洋动物档案式标志及其定位方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3561-3566.]
- [23] Lin J Z, Wang J, Su Y Q. Tagged ranching of *Acipenser sinensis* in the Minjiang River[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1999(4): 378-381. [林金忠, 王军, 苏永全. 中华鲟于闽江的人工放流试验[J]. 台湾海峡, 1999(4): 378-381.]
- [24] Qing S. Rerelease of Chinese sturgeons in the Pearl River[J]. Chinese Fisheries Economics, 2000(3): 46. [清水. 珠江再次放流中华鲟[J]. 中国渔业经济研究, 2000(3): 46.]
- [25] Zhong Y. Shanghai was the first city to legislate for the protection of Chinese sturgeon[J]. Prosecutorial View, 2020(11): 34-35. [仲颖. 上海率先立法保护古老鱼类中华鲟[J]. 检察风云, 2020(11): 34-35.]

Research on the downstream migration and distribution characteristics of Chinese sturgeon in the Yangtze Estuary based on tagging and releasing information

WU Jianhui^{1,3,5}, CHEN Jinhui^{1,2,3}, GAO Chunxia^{2,3,4,5}

1. Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 200092, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Joint Laboratory for Monitoring and Conservation of Aquatic Living Resources in the Yangtze Estuary, Shanghai 202162, China;
4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
5. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

Abstract: Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, is a first-class protected aquatic fish in China. At present, artificial proliferation and release technology have become one of the important means to actively protect Chinese sturgeon. Mark release is the primary technical method of proliferation and release. Mark release technology is an important method to study the distribution law of fish and migration habits of migratory fish, evaluate the effect of artificial proliferation and release, and estimate the number of the natural population. To study the migration and distribution characteristics of *A. sinensis* released in the Yangtze River Estuary, this study analyzed the mark information of Chinese sturgeon released in the Yangtze River Estuary. From 2004 to 2014, 12570 Chinese sturgeons were tagged and released to the Yangtze Estuary. Among them, 24 Chinese sturgeons were recaptured, and 18 POP-UP satellite archival tag signs were received. Based on tagging and releasing information, results showed that: (1) The distribution area of the tagged Chinese sturgeon is located on the Yangtze Estuary, the East Sea, and the Yellow Sea. The migration range spanned 7° longitude and 9° latitude. Chinese sturgeon were mostly distributed in the Yangtze Estuary and Zhoushan Islands. (2) The tagged Chinese sturgeon has a significant trend, moving downstream into the Eastern Sea. In the early releasing time, tagged Chinese sturgeons stayed in freshwater, entering the ocean after seven days. (3) There was no clear migration direction when the tagged Chinese sturgeon entered the ocean. The tagged Chinese sturgeon had the characteristics of turning back, changing direction, and stagnation. This study provides critical information for the proliferation and release of *A. sinensis*, indicating that the stock enhancement of Chinese sturgeon in the Yangtze Estuary significantly affects the resource protection of Chinese sturgeon.

Key words: *Acipenser sinensis*; Yangtze Estuary; tagging and releasing; downstream migration; distribution characteristics

Corresponding author: CHEN Jinhui. E-mail: 1114260882@qq.com