中国水产科学 2011 年 3 月, 18(2): 437–442
Journal of Fishery Sciences of China

研究论文

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00437

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

陈锦辉[1,2], 庄平[3], 吴建辉[2], 黄硕琳[1], 刘健[2], 杨吉平[2], 徐嘉楠[2], 郑跃平[2], 赵峰[3], 张涛[3]

1. 上海海洋大学, 上海 201306;
2. 上海市长江口中华鲟自然保护区管理处, 上海 200092;
3. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 农业部海洋与河口重点实验室, 上海 200090

摘要: 于 2006 年和 2008 年, 向长江口放流了 14 尾携带弹出式卫星数据回收标志(Pop-up Archival Tag, PAT)的中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)幼鱼, 其中 3 龄和 9 龄中华鲟各 6 尾和 8 尾。放流后有 9 枚标志数据成功上传至 ARGOS 卫星, 标志信息回收率达到 64%。初步结果表明, 中华鲟幼鱼放流后 1 个月内即进入海洋生活。进入海洋的中华鲟幼鱼在最长监测期的 6 个月内正常存活, 分布于北起朝鲜西海岸, 南至中国福建沿海的经度跨度为 4°、纬度跨度为 9°的沿海大陆架海域, 最大洄游距离达到 697 km。放流的中华鲟幼鱼呈现随意、迂曲的洄游特征。本实验结果初步证明了中华鲟 PAT 标志放流取得成功。[中国水产科学, 2011,18(2): 437–442]

关键词: 中华鲟; 弹出式卫星数据回收标志; 长江口; 放流; 洄游
中图分类号: S93 文献标识码: A 文章编号: 1005–8737–(2011)02–0437–06

中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)为中国特有江海洄游珍稀濒危鱼类, 国家一级保护动物, 主要分布于长江干流和中国的东海和黄海[1]。在自然条件下, 性成熟的中华鲟溯江而上, 由海洋到达长江中上游产卵繁殖; 孵出的幼鲟顺流而下, 从淡水到海水中摄食肥育[1-3]。每年 5–8 月, 中华鲟幼鱼聚集于长江口, 完成由淡水游向海水的生理适应性调节过程[2-3]。长江口是中华鲟亲鱼溯河洄游和幼鱼降海洄游的唯一通道, 是中华鲟洄游过程中重要的索饵场、栖息地和生理性适应缓冲场所[4]。上海市长江口中华鲟自然保护区(以下简称保护区)于 2004 年开始采取人工放流的方法对中华鲟种群进行增殖和保护, 至 2008 年共放流了 7 189 尾各种规格的中华鲟。

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, 评估人工放流效果, 估算自然种群数量的重要手段之一[5]。为了评估放流中华鲟的存活率和资源增殖贡献率, 研究中华鲟在长江口的洄游机制和生理调节过程, 研究中华鲟在海洋中的分布状况, 保护区采取了标志放流技术。以往中华鲟标志放流主要是应用传统的外挂标志和体内标志, 但由于中华鲟本身的生理特性, 一般需要十几年才能洄游入长江产卵, 所以回捕有一定的难度, 对中短期的评估效果不太明显。当前, 世界上用于海洋大型洄游性生物调查的最新主流技术是弹出式卫星标志。这种标志在标记

收稿日期: 2010–05–25; 修订日期: 2010–10–09.
基金项目: 上海市 908 专项计划项目(PJ1-2-HD3); 农业部长江口长江增殖放流中华鲟监测项目(D8005100001).
作者简介: 陈锦辉(1974–), 男, 在读博士研究生, 主要从事中华鲟保护区建设与管理工作、上海市水产养殖管理. E-mail: sturgeon3131@sohu.com
通讯作者: 庄平(1960–), 研究员. E-mail:pzhuang@hotmail.com

之初自行设定标志弹出的时间, 标志脱离鱼体浮上水面后即能将数据上传至 ARGOS 卫星, 不必通过回捕手段, 研究人员在办公室内就可以完成标志信息的收集和处理, 进而分析被标志物种在海洋洄游轨迹, 对提高标志效果评估的研究效率和提供有效保护数据具有重要意义。

弹出式卫星数据回收标志(Pop-up Archival Tag, PAT)技术在鱼类中主要是应用于个体较大、生命周期较长的鱼类。为了研究地中海和大西洋蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus)*的洄游移动、产卵场以及肥育场分布[6], 1998−2000 年, 欧盟资助了一个为期 3 年的蓝鳍金枪鱼研究项目 TUNASA。1998 年 6 月−2000 年 9 月, 该研究项目标志放流了 84 尾蓝鳍金枪鱼(52 尾为大型, 17 尾为小型成体, 15 尾为幼体), 其中 61 尾采用了卫星信号发射器(PTT)卫星标志牌, 23 尾采用 PAT 卫星标志牌。在 23 个 PAT 标志牌中, 回收率为 61. 9%。标志总体回收率为 31. 3%[7]。

本研究通过对 2006 年和 2008 年运用 PAT 技术对放流中华鲟在海洋中的洄游和分布状况进行研究, 旨在为客观评价标志效果, 提高标志效果的技术研究提供实证依据。

1 材料与方法

1.1 标志选择

PAT 标志呈水雷形, 质量 65~71 g, 内存达到 16 M, 采样间隔在 1~65 025 s 之间, 可记录鱼体所处环境的水压、温度和光强度 3 种数据。光强度数据可以反演计算出鱼所在的地理经纬度位置。PAT 是一种由微处理器控制的记录设备, 可以设定数周至 18 个月不等的弹出时间。预设弹出时间到时, 微处理器产生低电流烧断用于固定标志的连接装置, 弹出的 PAT 浮上水面后以 60 s 间隔向 ARGOS 卫星不断发射传输信息, 基于电池容量, 一般在发射 10~12 h 后停止工作。经卫星接收的数据是标志软件处理过的二级数据包, 数据格式为二进制, 标志生产厂商将卫星数据处理成十进制数据后发放给用户。本研究中使用的 PAT 型号为 MK10-PAT, 由美国 Wildlife Computers 生产(图 1、图 2)。

1.2 标志中华鲟生物学特征

标志用鱼都为人工孵育的中华鲟, 其中 2006 年放流的为 2003 年 11 月孵化的 3 龄中华鲟, 2008 年放流的为 1999 年 11 月份孵化的 9 龄中华鲟(因其仍为幼鲟, 很难辨认雌雄)。表 1 列出了标志中华鲟的放流情况。2006 年放流了 6 尾 PAT 标志的中华鲟, 全长 98～110 cm, 平均全长 104.2 cm; 体长 82～93 cm, 平均体长 86.3 cm; 体质量 5.53～6.63 kg, 平均体质量 6.1 kg。预设弹出时间为 1 个月、2 个月和 6 个月的标志各 1 枚, 2 枚和 3 枚。2008 年放流的 8 尾 PAT 标志中华鲟, 全长

图 1 PAT 通讯端口侧视图

Fig. 1 Communications side view

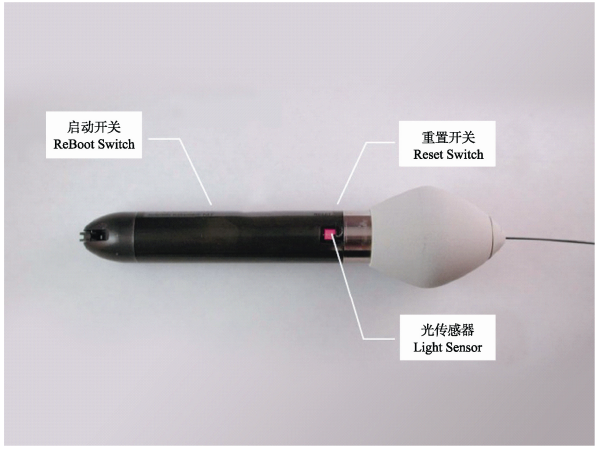

图 2 PAT 光传感器侧视图

Fig. 2 Light sensor side view

175～192 cm, 平均 188.3 cm; 体长 145～165 cm, 平均体长 154.5 cm; 体质量 38.3～45.8 kg, 平均体质量 43.1 kg。预设弹出时间为 1 个月、2 个月、3 个月和 6 个月的标志各 3 枚、1 枚、2 枚和 2 枚。

1.3　标志悬挂方法

2006 年采用预埋式标志法, 即放流前 1 个月通过手术将医用硅胶和钢丝作为主要材料制作的标志预埋体植入中华鲟背部肌肉内, 伤口愈合后于放流现场将 PAT 与预埋体连接, 随即放流中华鲟。

经试验和改进, 2008 年采用 PAT 骨板固定法。使用电钻分别在第三、四背骨板距顶部 1 cm 处横向对穿各钻一个孔, 将尼龙单丝穿过一个骨板孔洞, 两头对接穿入一个椭圆环, 然后用圆孔钳将椭圆环压紧, 即连成一个直径约 5 cm 的封闭线圈。另一块骨板上按此方法做成稍大的圆形尼龙单丝线圈。放流现场将连接 PAT 标志的尼龙单丝穿过该两个线圈, 压紧椭圆环即完成标志固定。

1.4　放流时间、地点

放流时间为 2006 年 8 月 6 日和 2008 年 11 月 1 日, 放流地点为长江口南支北槽(表 2)。

1.5　标志信息回收

投放的标志于预设弹出时间脱离鱼体上浮至水面, 立即向 ARGOS 卫星上传数据。标志生产厂商将卫星数据初步分析后通过 E-mail 发送给作者。

表 1　标志中华鲟放流情况

Tab. 1　Releasing information of Chinese sturgeon in the Yangtze estuary

PAT 号 PAT no.	放流日期 releasing date	年龄 age of year	弹出时间/月 pop-up time/month	全长/cm total length	体长/cm body length	体质量/kg body weight	回收信息 information back
64680	2006-08-06	3	1	110	86	5.86	√
64677	2006-08-06	3	6	110	93	6.08	√
67354	2006-08-06	3	6	100	85	6.21	-
64676	2006-08-06	3	6	106	89	6.48	-
64679	2006-08-06	3	2	101	82	5.53	√
64678	2006-08-06	3	2	98	83	6.63	-
88529	2008-11-01	9	1	192	160	45.75	√
88361	2008-11-01	9	1	192	158	44.55	√
88530	2008-11-01	9	1	192	162	44.85	√
88363	2008-11-01	9	2	175	143	39.85	√
88531	2008-11-01	9	3	185	153	44.20	-
88362	2008-11-01	9	3	190	157	44.05	√
88360	2008-11-01	9	6	190	155	43.00	√
88364	2008-11-01	9	6	190	154	38.25	-

注: “√”表示得到回收信息; “-”表示未得到回收信息.

Note: “√”means getting back information; “-”means without back information.

表 2　放流中华鲟 PAT 信息回收情况

Tab. 2　Receiving information of PAT in released Chinese sturgeon

PAT	放流点 releasing spot		弹出日期 pop-up date	弹出地点 pop-up spot		放流–弹出天数/d days between releasing and pop-up	距放流点直线距离/km* distance to releasing spot	直线洄游速度/(m·h^{-1})* straightly swimming speed
	E	N		E	N			
64680	121°37′46″	31°30′05″	06-09-05	122°16′19″	31°32′56″	30	60	83.3
64679	121°37′46″	31°30′05″	06-10-01	119°43′44″	25°37′08″	56	640	476.2
64677	121°37′46″	31°30′05″	06-12-12	121°57′36″	31°11′06″	128	200	65.1
88529	121°31′27″	31°23′24″	08-11-20	123°14′54″	32°25′55″	19	200	438.6
88361	121°31′27″	31°23′24″	08-11-30	123°56′42″	34°50′24″	29	447	642.2
88530	121°31′27″	31°23′24″	08-12-01	122°17′46″	33°38′46″	30	260	361.1
88363	121°31′27″	31°23′24″	08-12-30	125°33′47″	36°49′05″	60	697	484.0
88362	121°31′27″	31°23′24″	09-12-09	122°52′34″	33°29′53″	39	270	288.5
88360	121°31′27″	31°23′24″	09-05-01	120°10′48″	35°03′18″	181	448	103.1

注: “*”为估算值.

Note: “*”estimated value.

2 结果与分析

2.1 标志信息接收情况统计

截至 2009 年 5 月，共计成功获取 9 枚 PAT 信息(表 2)，标志回收率达到 64%。其中 2006 年投放的 6 枚标志中 3 枚成功回收信息，2008 年投放的 8 枚标志中 6 枚成功回收信息，标志回收率达到 75%。其他 5 枚 PAT 标志未与 ARGOS 卫星产生通讯，其原因可能为标志技术故障或者标志未能上浮至水面。

2.2 PAT 标志弹出时间统计

两次标志放流所投放的 PAT 弹出时间如表 2 所示。结合表 1 可知，除 64677、88529 和 88362 3 枚标志提前于预设时间弹出以外，其余 6 枚标志弹出时间与预设弹出时间一致，最早弹出时间为 19 d，最晚为 181 d。标志提前弹出的原因可能是标志掉落，标志故障、鱼体死亡或者被捕获。9 枚成功回收信息的标志中，预设弹出时间为 1 个月、2 个月、3 个月和 6 个月的各 4 枚、2 枚、1 枚和 2 枚。

2.3 PAT 标志弹出地点及中华鲟洄游距离

从表 2 和图 3 可以看出，PAT 标志弹出时中华鲟都位于海洋中，其中位于东海 3 尾，位于黄海 6 尾。标志中华鲟最北到达朝鲜近海(88363)，最南到达福建沿海(64679)，最东洄游至东经 125°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。标志弹出时，标志中华鲟距离放流点最近的距离为 60 km，最远达 697 km。

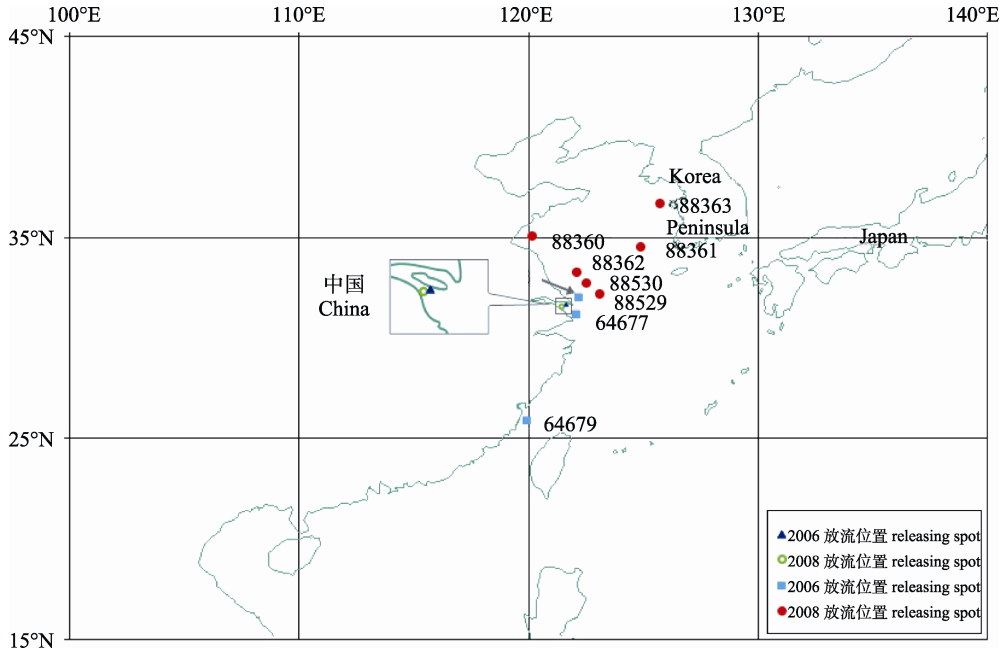

图 3 成功回收信息的 9 枚 POP-UP 标志的位置示意图

Fig. 3 End-point positions of 9 successfully received PAT with information of released Chinese sturgeon

3 讨论

3.1 PAT 骨板标志方法探讨

中华鲟标志放流开展的比较晚，而且 PAT 标志第 1 次被运用于中华鲟放流。中华鲟 PAT 标志方法是在金枪鱼、海龟、比目鱼等 PAT 标志方法的基础上，根据中华鲟的特性，通过实验改进而成的。2006 年采用的预埋式标志方法，通过 1 个月的暂养和观察，发现预埋体保留率达到 100%，但存在手术伤口不易愈合，操作复杂，对鱼体伤害较大的问题。2008 年，作者根据中华鲟背骨板坚固、不易感染、容易钻孔，较适宜悬挂各类体外标志等优点，设计了全新的骨板固定法。该方法中骨板钻孔、线圈制作，以及连接 PAT 标志的完整操作过程平均只需 5 min，且中华鲟无需离水。本实验过程中，给中华鲟悬挂 PAT 模型(厂方

提供, 形状、质量、浮力与 PAT 标志一致)后放入池塘暂养 1 个月, 经观察发现, 标志中华鲟摄食正常(摄食人工饵料和天然饵料混合投喂)、模型未弹出、骨板孔洞未发炎, 线圈完好。实验还显示, 标记的中华鲟游动速度和方式与未标记的几乎一样, 说明悬挂在中华鲟第三块背骨板(该处胸围最大)上的模型不与鱼体接触, 对中华鲟的游泳方式影响甚微。实验后, 继续对骨板固定法进行完善, 比如采用双线圈、热缩管保护(防止尼龙单丝被海水腐蚀)等措施。2008 年标志信息回收率达到 75%的结果也证明, 骨板标志方法优于肌肉埋置法。

3.2　人工放流中华鲟的洄游和分布

标志放流结果显示, 标志中华鲟放流后, 短时间内即进入海洋生活。根据 PAT 标志信息(表 2), 最早获得信息的 88529 号标志中华鲟放流 19 d 后到达 200 km 外的黄海, 其他 8 枚标志在 29～181d 内都在海洋中弹出。显然, 3 龄以上人工养殖的中华鲟放流后在长江口进行生理调节的时间非常短, 1 个月内即进入海洋。

国内有关海洋中的中华鲟洄游机制和分布特征的研究几乎还是空白, PAT 标志的应用为该研究提供了全新的技术和理念。从回收到的 9 枚 PAT 标志信息可以看出, 中华鲟离开长江口进入海洋后, 随机的分布于黄海和东海。2006 年的实验中, 除 64680 号标志没有明显的南向游动信息外, 其余 2 枚标志最终是在东海南部弹出的, 其中 64679 号标志(预设弹出时间为 2 个月)达到福建沿海。2008 年的 PAT 标志放流结果则显示, 6 尾标志中华鲟全部朝北进入黄海, 最北达到韩国近海。这与文献记载的“中华鲟栖息于北起朝鲜西海岸, 南至中国东南沿海的沿海大陆架海域[1]”是一致的。

比较放流−弹出天数和洄游距离发现(图 4), 随着放流−弹出天数的增加, 洄游距离并没有增加的趋势, 显然中华鲟入海后并不是越游越远的, 而是可能呈现一种迂曲游动的状态, 也有可能是个体运动速度固有差异所致。最终结果有待于进一步研究。

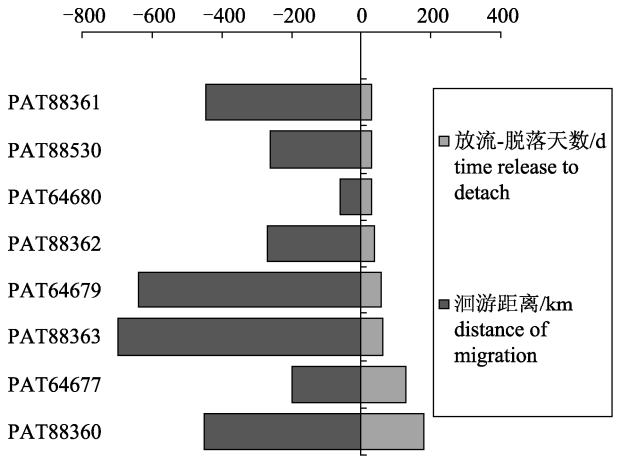

图 4　中华鲟放流-弹出天数和洄游距离比较图

Fig. 4　Relationships between releasing—poping-up days and migration distance of Chinese sturgeon

3.3　中华鲟 PAT 标志放流的应用前景

1997 年开发的 PAT 已经被运用于蓝鳍金枪鱼、比目鱼类(Pleuronectiform)等洄游种群的大范围迁移和生理学研究中[9-11], 并取得成功。相对于这些经常浮到水面上的大型远洋鱼类, 中华鲟 PAT 标志放流的实现, 不但扩大了该标志运用于远洋鱼类研究的范围, 而且开创了中国科研人员利用卫星标记进行中华鲟科研的成功先例。

75%的数据回收成功率说明 PAT 标志技术是可行的。本研究还证明, PAT 在 6 个月内对中华鲟是安全的。极高的回收率、较高的数据价值和较小的鱼体伤害等, 决定了 PAT 标志技术在中华鲟等洄游性生物遥测、资源调查、种群结构及行为研究等方面具有较好的应用前景。

致谢： 美国国家地质考察署洄游鱼类研究中心 Boyd Kynard 博士和标志供应商黄勇先生在 PAT 标志引进、中华鲟 PAT 标志方法和数据分析方面进行了大量指导工作, 在此表示感谢!

参考文献:

[1] 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: 1–112.

[2] 施德龙, 龚志高. 长江口中华鲟幼鱼的保护[J]. 海洋渔业, 1993(2): 5–9.

[3] 危起伟, 柯福恩, 庄平, 等. 论长江口中华鲟幼鱼的保护[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 786–793.

[4] 赵燕, 黄琇, 余志堂. 中华鲟幼鲟现状调查[J]. 水利渔业, 1986(6): 38–41.

[5] 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.

[6] Lutcnvage M E, Brill K W, Skomal G B, et al. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic Bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic [J]. Can J Fish Aqu Sci, 1999, 56(2): 173–177.

[7] 陈锦淘, 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(4): 454.

[8] 庆祝中美海洋和渔业科技合作三十周年[J]. 中国海洋报, 2009−12−25(3).

[9] 林龙山, 丁峰元, 程家骅. 运用 POP-UP TAG 对金枪鱼进行标志放流的几个值得注意的问题[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(2): 17–19.

[10] Block A B, Heidi Dewar, Charles Farwell, et al. A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1998, 95: 9384–9389.

[11] Timothy Loher. Homing and summer feeding site fidelity of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*) in the Gulf of Alaska, established using satellite-transmitting archival tags[J]. Fish Res, 2008. 92: 63–66.

Migration and distribution of released *Acipenser sinensis* in the sea based on Pop-up Archival Tag technique

CHEN Jinhui[1,2], ZHUANG Ping[3], WU Jianhui[2], HUANG Suolin[1], LIU Jian[2], YANG Jiping[2], XU Jianan[2], ZHENG Yueping[2]

1. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Management Office of Shanghai Yangtze Estuary Nature Reserve for Chinese Sturgeon, Shanghai 200092, China;
3. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

Abstract: Application of Pop-up Archival Tag (PAT) to research of migration and distribution of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the ocean was presented in this paper. In 2006 and 2008, 14 individual fish tagged with PAT were released to Yangtze Estuary, including 6 3-year-old individuals and 8 9-year-old individuals, respectively. The data from 9 tagged fish were successfully transmitted and received by ARGOS satellite and the rate for data recovery amounted to 64%. Results revealed that Chinese sturgeon tagged with PAT would migrate to sea within one month after being released. The tagged fish can survive for more than 6 months, and they distributed in the continental shelf from western Korean coast in the north to Fujian coastal areas in the south. The migration range spanned 4° longitude and 9° latitude. The longest distance of the fish migration amounted to 697 km. The migration pattern of Chinese sturgeon was random and circuitous. The results showed that releasing of fish tagged with PAT was successful. [Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 437–442]

Key words: *Acipenser sinensis*; PAT; Yangtze River Estuary; fish releasing; migration pattern

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@hotmail.com