人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游

杨德国[1,2] 危起伟[1,2] 王 凯[1] 陈细华[1,2] 朱永久[1]

(1. 农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室; 中国水产科学研究院长江水产研究所, 荆州 434000;
2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

摘要: 1998—2002 年期间, 向长江放流人工繁殖中华鲟 2 月龄稚鲟(全长 7.5—17.0cm) 17.52 万尾, 其中 77957 尾用 CWT 进行标记; 14 月龄幼鲟(全长 55.0—98.0cm) 400 尾, 全部用外挂银牌和 CWT 双重标记。放流后沿长江及沿海收集中华鲟稚鲟和幼鲟样本, 4 年共回收稚鲟样本 6400 尾, 幼鲟样本 13 尾, 检测到携带标记的稚鲟和幼鲟各 13 尾。人工放流的幼鲟降海洄游的速度平均达到 28.6km/24h (7.1—100.2km/24h), 回捕时离放流点的距离从 346—2459km, 平均 1600km, 回捕的标志幼鲟有 46.2% 的个体来自海区。初步估算出 1999 年和 2000 年人工放流个体在长江口幼鲟种群中的贡献率分别为 2.281% 和 0.997%。结果表明, 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没有明显差异。放流较大规格的幼鲟有利于提高成活率, 而目前长江中华鲟种群的补充仍以自然繁殖种群为主。

关键词: 中华鲟; 标志放流; 洄游; 分布
中图分类号: S931.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2005)01-0026-05

中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray) 是一种典型的江海洄游性鱼类, 为中国所特有, 一级保护动物, 主要分布在长江、东海、黄海等水域[1]。在自然生态条件下, 长江上游江段产卵孵化的中华鲟幼鲟, 随水流而进入海洋肥育, 待性成熟后返回产卵场繁殖[1,2]。葛洲坝水利工程的修建阻隔了中华鲟产卵洄游的通道, 对其种群资源造成影响, 国家决定采取人工放流的方法对中华鲟种群进行增殖和保护。1983 年获得葛洲坝下中华鲟人工繁殖成功[3], 同年开始向长江投放人工繁殖的中华鲟苗, 至 2002 年共放流各种规格中华鲟苗约 614.6 万尾。

人工繁殖和培育的中华鲟幼鲟放入长江后, 是否具有与自然种群相似的习性和行为, 其存活及分布情况如何, 对中华鲟的人工增殖放流效果至关重要。标志放流是研究幼鱼分布规律, 尤其是研究洄游性鱼类洄游习性、评估人工放流效果、估算自然种群数量的重要方法, 在美国、西欧等国家被广泛应用于美洲鲥(*Alosa sapidissima*)、鲑鳟鱼类以及虾的人工放流中[4]。采用的标志方法主要有外挂式标志和内标志, 前者如纤维彩带标记等, 后者如荧光标记、染色标记及线性数码标志等[5]。1996 年前, 长江放流的中华鲟幼鲟均未标志。1996—1998 年, 常剑波采用茜素络合物浸泡的方法标志了放流的部分幼鲟①。此后, 1998—2002 年, 为研究中华鲟人工放流效果, 作者采用体外挂牌和体内注射微型线码标记(CWT) 的方法, 对两种规格的中华鲟幼鲟进行标志放流试验, 期望能对中华鲟人工放流的效果进行初步评估, 同时研究放流中华鲟幼鲟的洄游习性和分布状况。

1 材料和方法

1.1 CWT 水生生物标志系统 该标志系统包括自动标志仪、质量控制仪、野外检测仪和标志牌 4 部分, 由美国西北海洋技术公司(NMT) 生产。标志牌又称微型线码标志(Binary Coded Wire Tag 或 Decimal Code Wire Tag, BCWT/DCWT), 为直径 0.25mm 的不

收稿日期: 2004-07-20; 修订日期: 2004-09-20
基金项目: 科学技术部社会公益研究专项资金项目(2001 年); 中国长江三峡工程开发总公司三峡工程环境保护补偿经费科研类(施工区外) 项目(SX96-1/HB, SX97I-25/HB) 资助
作者简介: 杨德国(1964—), 男, 研究员, 学士, 从事鱼类生态学研究
通讯作者: 危起伟 E-mail: weiqw@yfi.ac.cn
①常剑波, 1999 年, 长江中华鲟繁殖群体结构特征和数量变动趋势研究。中国科学院博士论文

锈钢线, 属内置型标志。标准标志牌长 1.1mm, 1999 年前采用可识别二进制编号(BCWT) , 1999 年后, 改用十进制数字码(DCWT) , 其独立编码容量由 524288 扩大到 10^6。标志时预先设定标志牌长度和注入深度, 标志仪根据设定自动切割不锈钢线, 磁化后注入鱼体内形成标记。试验设定标志牌长度为 1.1mm, 注入深度 2mm。质量控制仪对标志鱼逐尾检测, 确保所有鱼均成功标记。检测仪用于回捕样本中标志鱼的野外检测。人工取出标志牌, 解剖镜下观察标志牌编号。

1.2　外挂银质标志牌　为自行设计, 纯银材料制作以防海水腐蚀。标志牌规格 27mm × 10mm, 两端银丝直径 0.5mm, 长 80mm, 重约 1.5g。标志牌一面用钢模铭刻有编号、单位名称和电话号码等。

1.3　试验鱼　试验鱼有两种规格即 2 月龄稚鲟和 14 月龄幼鲟, 均体格健壮。由作者人工繁殖和培育获得, 培育地点在湖北省荆州市。标记时测量试验鱼全长、体长和体重(表 1) 。

表 **1**　标记幼鲟的体长和体重(Mean ± SD)

Tab. 1　Length and weight of marked juvenile Chinese sturgeon

	全长/ cm Total Length	体长/ cm Body Length	体重/ g Body weight	标本量 Sample quantity
2 月龄稚鲟 Two month old fingerling	11.6 ± 1.6	8.8 ± 1.3	5.9 ± 2.2	489
14 月龄幼鲟 14 month old Juvenile	74.9 ± 9.9	60.1 ± 8.4	1918.1 ± 939.3	398

1.4　**CWT** 标记室内对照试验　1998 年 12 月初进行。每组取体长 8.0—13.6cm 稚鲟 100 尾, 分别在吻端、背鳍基部和第一背骨板下注射 CWT 标记。3 日后逐尾检测, 确定不同部位标志留存率, 最终选定第一背骨板下肌肉部位进行标志。将该组试验鱼按常规方式继续养殖, 并分别在 15d、120d 和 480d 随机检测 30 尾, 观察标志牌脱落和生长情况。

1.5　标志和放流　2 月龄稚鲟采用 CWT 标志牌; 14 月龄幼鲟采用银质标志牌和 CWT 系统进行体外挂牌和体内注射双重标志。CWT 标志于放流前 2 周开始, 每天标志 1000—4000 尾, 放流前 5d 左右结束。标志当日停食, 次日继续投喂。放流前 1d 停食以利运输。银质标志牌在鱼体的固定系采用高速 (10000r/ min) 微型电钻在第 3—5 背骨板上钻 2 个孔, 标志牌两端银丝系牢。放流地点分别在长江沙市江段和宜昌江段。

1.6　回捕和标志检测　稚鲟设采样点采集, 采样点分别设在长江常熟浒浦江段和上海崇明东滩[2,6], 样本是渔民作业时误捕获得。每年 4—9 月, 常熟浒浦江段捕捞凤尾鱼的深水张网(14.4m × 2.8m) 及长江口水域作业的插网可误捕到少量中华鲟幼鲟, 此期间进行定点收集。因这些网具属定置张网, 每天仅收网 1 次, 故误捕幼鲟存活者较少。收集的样本已死亡者用 10% 甲醛溶液保存以备检测, 而活体则暂养于池塘经检测后放流。14 月龄幼鲟样本数据主要是沿江、沿海渔政部门协助收集。

2　结果

2.1　标志和放流情况

1998—2002 年 4 次放流(表 2) , 共放流 2 月龄稚鲟 17.52 万尾, 其中 77957 尾用 CWT 标志, 占 44.5%; 放流 14 月龄幼鲟 400 尾, 全部标志。

表 **2**　中华鲟稚、幼鲟放流情况

Tab. 2　Releasing amount of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze River

日期 Date	放流地点 Releasing site	平均全长(cm) Mean Total Length	放流尾数 Number of released fish	标记尾数 Number of marked
1998-12-28	沙市	14.5(11.8—17.0)	22000	15834
	Shashi	78.0(59.0—90.0)	100	100
1999-12-28	宜昌	11.0(7.9—12.9)	50000	20821
	Yichang	71.8(68.0—87.0)	100	100
2000-12-30	沙市	12.9(10.7—14.9)	53200	20436
	Shashi	86.2(73.0—98.0)	100	100
2002-1-8	沙市	11.1(7.5—14.5)	50000	20866
	Shashi	63.5(55.0—70.0)	100	100

表3 逐年回捕样本数统计

Tab. 3 Annual recapture marked juveniles

年份 Year	稚鲟 Fingerlings 回捕样本总数 Sample quantity	稚鲟 Fingerlings 标志鱼尾数 Number of marked individuals	幼鲟 Juveniles 回捕样本总数 Sample quantity	幼鲟 Juveniles 标志鱼尾数 Number of marked individuals
1999	1090(3)	0(3)		
2000	1052(4)	5(4)		
2001	3911(3)	8(3)		
2002	347(3)	0(3)		

2.2 回捕情况统计

1999—2002年共回捕稚鲟样本6400尾(表3),检测出携带标记的稚鲟13尾,另外渔民误捕报告携带有标记的幼鲟13尾。

2.3 回捕地点及幼鲟的迁移距离

携带CWT标记的13尾稚鲟样本全部来自江苏常熟浒浦江段,而13尾幼鲟的误捕水域分布较为广泛,从放流至误捕的间隔时间也有较大差别,最早者放流13d即被误捕,最晚者为111d。误捕时距放流点的距离最近者346km,最远者达2459km(表4)。

表4 标记幼鲟回捕数据统计

Tab. 4 Statistics of recapture

编号 Code	回捕日期 Recapture Date	回捕地点 Recapture Site	放流-回捕天数 Time from release to recapture(d)	迁移距离*** Migration distance(km)
No. 299	1999-3-1	江苏靖江斜桥镇	63	1437
不清*	1999-2-15	湖北嘉鱼	49	346
No. 292	1999-4-18	江苏泰兴	111	1362
No. 070	2000-3-16	浙江温岭海区	78	2271
No. 453	2000-3-31	江苏江阴要塞镇	93	1567
No. 107**	2000-4-8	上海横沙海区	101	1901
No. 109**	2000-4-8	上海横沙海区	101	1901
No. 181	2001-1-11	江苏邗江县施桥镇	13	1302
No. 156**	2001-3-12	黄海83海区	72	2459
No. 141	2001-3-22	东海169海区	82	1753
No. 475	2002-3-26	江苏如皋29号灯浮	47	1455
不清*	2002-3-30	浙江崾泗	51	1853
No. 410	2002-3-31	南京江宁(苏皖交界)	52	1196

* 仅电话留言,无其他资料;** 获电话通知,无体长和体重数据;*** 估算值。

3 讨论

3.1 中华鲟稚、幼鲟的最佳标志部位及其脱落率

标志留存率高低是选择标志方法的重要指标。在进行稚鲟CWT批量标志前,作者选择吻端、背鳍基部和第一背骨板下肌肉部位进行对照试验,标志3日后检测,结果表明不同的标志部位其留存率不同,其中背鳍基部和第一背骨板下肌肉部位均为100%,而吻端较低,仅67%。分析原因可能因吻端组织主要由脆性的软骨形成,对CWT标志牌的包裹力度相对较松的缘故。操作时发现有标志牌随注射针头逸出软骨的现象。肌肉部位则无此情形,因此在鱼体肌肉部位进行CWT标记较适宜。对养殖15d、120d和480d的肌肉标志幼鲟检测结果显示,无论时间长短,其CWT标志牌均无脱落。该结果与Isely等[7]对短吻鲟(*Acipenser brevirostrum*)、Bordner等[8]对高首鲟(*Acipenser transmontanus*)的试验结果较为接近。Isely等在短吻鲟背鳍、胸鳍基部肌肉部位和胸鳍条上进行CWT标志,120d后标志牌留存率分别为98%、96%和78%;Bordner等对5月龄(39g)高首鲟第一背骨板下及吻部软骨以不同深度进行标志,养殖6个月后背骨板下肌肉部位的标志牌均100%保留;吻部软骨标志者当注入4—5mm深时基本无脱落,而注入2—3mm深时脱落率达40%。因此,作者最终选择了鱼体左侧第一背骨板下肌肉部位进行标记,不仅易操作,脱落率低,且利于回捕后

定位寻找标志牌。放流前(一般已标志 3 —5 日) 逐尾检查幼鲟的外挂银质标志牌, 均完好无脱落, 但这种方式对无骨板的鱼类不适用。

3.2　放流不同规格中华鲟群体对自然种群的增殖效果

人工放流个体的规格直接影响着放流的生物学效果。根据放流第二年对沿江及沿海中华鲟幼鱼误捕数量的统计及标记检测结果, 降海洄游的中华鲟幼鲟种群中确实有人工放流的中华鲟个体存在。根据连续 4 年回捕统计和检测结果, 稚鲟放流后, 在长江常熟浒浦和长江口采集的幼鱼样本中, 2000 年和 2001 年分别发现携带 CWT 标记的个体所占比例分别为 0.475% 和 0.205%。根据标志个体占放流总数的比例推算, 人工放流个体在自然种群中的贡献率分别为 2.281% 和 0.997%, 这与俄罗斯的试验结果较为相近[9]。如俄罗斯曾在伏尔加河放流 3g 左右的俄罗斯鲟、闪光鲟和欧洲鳇, 其放流个体回到放流地点的成鱼回捕率为 0.6% —1%。本试验 1999 年和 2002 年没有发现 CWT 标记的稚鲟, 并不能说明 1998 年和 2002 年的人工放流没有起作用, 其可能的原因是 1998 年标志放流总量相对较小, 而当年自然繁殖效果较好, 降低了人工放流个体的比例; 2002 年由于春季禁鱼, 仅采样 347 尾, 降低了获得标志个体的概率。这些结果初步说明, 人工放流 3 —10g 的中华鲟稚鲟, 可以对中华鲟资源起到一定的初偿作用, 但在目前情况下, 自然繁殖的中华鲟仍是自然种群资源得到补充的主要来源。

国内外鱼类人工增殖放流经验表明[10—14], 放流个体的规格越大, 其摄食、逃避敌害及适应环境的能力就越强, 有较高的成活率。而有学者认为, 洄游性鱼类之所以能回到其出生地产卵繁殖, 是由于其早期生活史中留下了洄游路径的印记(Imprint), 故放流规格不宜过大, 否则将不能形成印记, 不利于其回归。俄罗斯考虑将幼鲟放流规格由 3g 提高到 100g, 并期望将回归率提高到 10% —15%。据本研究的试验结果, 标志放流 14 月龄中华鲟幼鲟 400 尾, 陆续回捕了 13 尾, 回捕个体数占标志放流幼鲟总数的 3.25%, 而 2 月龄稚鲟回捕个体数仅占标志放流稚鲟总数的 0.017%。由于无法准确统计到所有水域(主要是海区) 相近规格幼鲟的总误捕数据, 人工放流幼鲟在自然种群中的总体贡献率尚无法计算。但根据回捕率和渔政部门对误捕幼鲟的粗略统计推断, 放流 14 月龄幼鲟成活率较 2 月龄稚鲟高是无疑问的, 而最佳的中华鲟放流规格是多大, 尚需要进行深入的研究。

3.3　人工放流中华鲟稚、幼鱼的洄游和分布

每年 10—11 月份在长江自然繁殖孵化的中华鲟苗顺水飘流, 于次年 4 月初开始在长江江苏浒浦江段出现, 9 月中旬已全部进入长江口海区, 此后在崇明东滩已难见到其踪迹。从长江口及海区同步回捕的幼鲟样本中发现携带标记的稚鲟和幼鲟, 说明人工放流的中华鲟稚、幼鲟具有与自然种群相似的洄游特性。放流的稚鲟在长江口出现的时间与自然繁殖群体基本同步, 而近几年春季, 沿长江干流的部分水域出现中华鲟稚鲟机会增多的现象。如在洞庭湖区及湖北省长江故道水域发现中华鲟稚鲟的地点较以前均有所增加。出现这种现象的原因, 可能与人工放流中华鲟稚鲟规格增大后, 稚鲟游泳能力增强, 增加了其主动活动能力和水域有关。

中华鲟稚、幼鲟放流后, 其降海洄游的速度有较大差异。根据 2000 年的回捕记录, 放流的 2 月龄稚鲟于 5 —7 月间到达浒浦江段, 其洄游速度从 8.5 —11.3km/24h, 平均为 9.8km/24h。而放流的 14 月龄幼鲟, 最早者 3 月即达长江口, 部分个体已进入海区数百公里(如编号为 No.070、No.141、No.156 的三尾); 编号为 No.181 的 1 尾幼鲟, 13d 洄游 1302km, 降河速度达到 100.2km/h。在回捕的 13 尾标志幼鲟中, 回捕时距离放流地点最近者 346km, 最远者 2459km, 平均 1600km, 降河洄游速度 7.1 —100.2km/24h, 平均速度 28.6km/24h, 有 8 尾达到 20km/24h 以上, 与对密苏里铲鲟的研究结果较为一致[15]。这些结果, 均表现出放流规格越大, 其降海洄游速度越快的现象。尤其 2000 年放流的 14 月龄幼鲟, 放流时的平均规格较前两年大, 其降海速度均较快, 在较短时间内即进入海区生活。这是否与中华鲟的海淡水洄游特性有关尚需要进一步研究。

根据放流 14 月龄中华鲟幼鲟的回捕地点, 基本反映了中华鲟幼鲟降海洄游的洄游路线和分布情况。在回捕的 13 尾幼鲟中, 7 尾来自长江, 其中 5 尾来自长江下游的南京以下江段。从海区回捕的 6 尾分别从上海横沙(2 尾)、东海 169 海区、浙江温岭、嵊泗以及黄海 83 海区(青岛海域附近) 等, 分布区域相当大, 其结果与前人的观察较为一致[1]。

参考文献:

[1] The Changjiang Aquatic Resources Survey Group, Sichuan Province. The biology of the sturgeons in Changjiang and their artificial propagation [M]. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishing

House. 1988, 1—112. [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. 成都: 四川科学技术出版社, 1988, 1—112]

[2] Wei Q W, Ke F E. On protection of yearling Chinese sturgeon in the mouth of Yangtze River [M]. Proceedings of The First Conference on National Parks and Protected Areas of East Asia and 41th Working Meeting of CNPPA/IUCN. Beijing: China Environmental Science Press. 1994, 786—793. [危起伟, 柯福恩. 论长江口中华鲟幼鱼的保护. 绿满东亚(第一届东亚地区国家公园与自然保护区会议暨 CNPPA/IUCN 第 41 届工作会议文集). 北京: 中国环境科学出版社, 1994, 786—793]

[3] Hu C J, Liu X T, Lu D C, *et al*. The artificial propagation of Chinese sturgeon lowers the Gezhouba Dam [J]. Freshwater Fisheries. 1985, (1): 1—5. [傅朝君, 刘宪亭, 鲁大椿, 等. 葛洲坝下中华鲟人工繁殖. 淡水渔业, 1985, (1): 1—5]

[4] Johnson J K, Longwill. Pacific salmonid coded wire tag releases[M]. Regional Mark Processing Center, Pacific States Marine Fisheries Commission, Oregon: (1987—2000)

[5] Nielson L A. Methods of marking fish and shellfish [M]. American Fisheries Society Special Publication. 1992

[6] Chen Z G. The protective strategy of juveniles stock of Chinese sturgeon(*Acipenser sinensis* Gray) at the estuary of Yangtze River[J]. *Modern Fisheries Information*. 1991, **6**(4): 12—14. [陈正国. 长江口中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)幼鱼资源保护对策的探讨. 现代渔业信息, 1991, **6**(4): 12—14]

[7] Isely J J, Fontenot Q C. Retention of coded wire tags in juvenile shortnose sturgeon[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2000, **20**: 1040—1043

[8] Bordner C E, Doroshov S I, Hinton D E, *et al*. Evaluation of marking techniques for juvenile and adult white sturgeons reared in captivity [J]. *American Fisheries Society Symposium*. 1990, **7**: 293—303

[9] Secor D H, Arefjev V, Nikolaev A, *et al*. Restoration of sturgeons: lessons from the caspian sea sturgeon ranching programme[J]. *Fish and Fisheries*. 2000, **1**(3): 215—230

[10] Aprahamian M W, Martin Smith K, McGinnity P, *et al*. Restocking of salmonids—opportunities and limitations[J]. *Fisheries Research*. 2003, **62**: 211—227

[11] Hendricks M L, Hoopes R L, Arnold D A, *et al*. Homing of Hatchery-Reared American Shad to the Lehigh River, a Tributary to the Delaware River[J]. *North American Journal of Fisheries Management*. 2002, **22**(1): 243—248

[12] Secor D H, Niklitschek E J, Stevenson J T, *et al*. Dispersal and growth of yearling Atlantic sturgeon, Acipenser oxyrinchus, released into Chesapeake Bay[J]. *Fishery Bulletin*. 2000, **98**(4): 800—810

[13] Bordner C E, Doroshov S I, Hinton D E, *et al*. Evaluation of marking techniques for juvenile and adult white sturgeons reared in captivity [J]. *American Fisheries Society Symposium*. 1990, **7**: 293—303

[14] Schram S T, Lindgren J, Evrard L M. Reintroduction of Lake Sturgeon in the St. Louis River, Western Lake Superior[J]. North American Journal of Fisheries Management. 1999. **3**: 815—823

[15] Adams S R, Hoover J J, Killgore K J. Swimming Endurance of Juvenile Pallid Sturgeon, Scaphirhynchus albus[J]. *Copeia*. 1999, **3**: 802—807

DOWNSTREAM MIGRATION OF TAG-RELEASED JUVENILE CHINESE STURGEON (*ACIPENSER SINENSIS*) IN THE YANGTZE RIVER

YANG De-Guo[1,2], WEI Qi-Wei[1,2], WANG Kai[1], CHEN Xi-Hua[1,2] and ZHU Yong-Jiu[1]

(1. *Key Laboratory of Freshwater Fish Germplasm Resources and Biotechnology, the Ministry of Agriculture of PRC. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou* 434000; 2. *Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi* 214081)

Abstract: From 1998—2002, 1752 thousands of juvenile Chinese sturgeon were released in the Yangtze River. Among them, 77957 of two month old fingerlings (7.5—17.0cm Total Length) were tagged with Coded Wire Tags, and 400 fourteen month old juveniles (55—98cm Total Length) were tagged with both Coded Wire Tags and external silver tags. We sampled fishes after the release along the Yangtze River and costal areas. Within four years, 6400 fingerlings and 13 juveniles were captured. All captured juveniles were tagged and only 13 individuals of captured fingerlings were with tags. No significant difference between the wild fish and cultured released stock regarding the growth and the timing of appearance in the mouth of the Yangtze River. The average downstream migration speed of released juveniles was about 28.6km/d (7.1—100.2km/d), with average distance between the release and recapture sites was 1,600km, ranging from 346km to 2,459km. 46.2% of recapture happened in the ocean. Based on the initial estimates, the contribution of culture released juveniles to the natural juvenile stock in the estuary of the Yangtze River is 2.281% in 1999 and 0.997% in 2000, respectively. The wild stock of Chinese sturgeon is still the main source to maintain the population in the Yangtze River. However, to release larger juveniles could contribute more to the maintaining of Chinese sturgeon population since the survival rate of them would be much higher than the fingerlings.

Key words: *Acipenser sinensis;* Tagging and releasing; Migration; Distribution