

• 研究简报 •

张家界大鲵人工放流效果及其影响因素分析

罗庆华¹ 刘 英² 张立云²

1 (吉首大学大鲵研究所, 湖南张家界 427000)

2 (张家界市畜牧水产局, 湖南张家界 427000)

摘要: 大鲵(*Andrias davidianus*)是我国特有的两栖动物, 由于栖息地破坏和人类过度捕杀等, 种群数量急剧下降, 被列为我国II类保护野生动物。为探索大鲵人工放流的有效方法, 实现野生大鲵资源增殖, 作者对2002–2008年间在湖南张家界大鲵国家级自然保护区内进行的大鲵人工放流活动与放流效果进行了评估, 并通过对放流点的隐蔽物、水质及饵料生物等生境特点的分析, 探讨影响放流成败的因素。该保护区内共在9处大鲵原栖息地进行了11次人工放流活动, 共放流各种规格大鲵995尾, 其中4次成功。成功放流的大鲵为1–4.5 kg的性成熟个体, 雌雄比在1:1和1:1.5之间, 成功放流点均有良好的后期管理措施, 如建立保护站, 补充饵料等。虽然所选择的多数放流点生境基本能满足大鲵生长和繁殖的要求, 但由于受水质、饵料或安全某一因素的制约, 野生大鲵资源增殖效果不明显, 导致放流失败。因此我们认为依据野生大鲵繁殖的生境特征标准, 科学选择放流地点, 选择性成熟的大鲵在春季放流, 并进行完善的后期跟踪保护, 可能是大鲵人工放流成功和实现资源增殖的有效途径。

关键词: *Andrias davidianus*, 人工放流, 资源增殖, 野生种群, 生境

Effectiveness of releasing artificially-bred Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) into the wild in Zhangjiajie, Hunan

Qinghua Luo^{1*}, Ying Liu², Liyun Zhang²

1 Institute of Chinese Giant Salamander, Jishou University, Zhangjiajie, Hunan 427000

2 Bureau of Animal Husband and Aquiculture of Zhangjiajie City, Zhangjiajie, Hunan 427000

Abstract: Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) is a native amphibian to China. It was listed as a Class II protected wildlife species under the state conservation law largely due to its sharply declined population size in the past two decades. Habitat destruction, habitat degradation and human over-exploitation have been considered as the primary causes of the declination. Designed to boost the wild population, a captive breeding program has been successfully established and artificially bred individuals have been released into the wild for many times in the Hunan Zhangjiajie Giant Salamander National Nature Reserve between 2002 and 2008. In 2007 and 2008, we examined these released salamanders to evaluate the effectiveness of the release. We also investigated covert, water quality and food organisms of the releasing sites to explore factors that may determine the success of release. A total of 995 different sized salamanders were identified as 11 cohorts at nine releasing sites. However, only four cohorts were identified as successful in terms of wild population size increase. In all successful sites, released salamanders were mature, weighing 1–4.5 kg, and sex ratios were between 1:1 and 1:1.5. Moreover, some protection measures were taken including food supplementation in these sites. Most releasing sites appeared to satisfy the demands for growth and reproduction of the salamander, however, most releases failed to boost the wild populations likely due to the limitation of the factors such as water quality, food organisms and safety. In conclusion, habitat traits of releasing sites and subsequent management measures, as well as individual size of salamanders were the major factors affecting the releasing effectiveness. In view of the habit of the salamanders, it is better to select mature salamanders for release in spring.

收稿日期: 2009-02-18; 接受日期: 2009-05-06

基金项目: 湖南省科技厅项目(06sk3055; 06JT1046)和省教育厅资助科研项目(06C648)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lqh700930@126.com

Key words: Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*), releasing into the wild, stock enhancement, population, habitat

大鲵(*Andrias davidianus*)是我国特有的两栖动物, 属两栖纲有尾目隐鳃鲵科, 主要分布在长江和珠江中上游及汉水上游深山峡谷的溪流中(Wang *et al.*, 2004; 费梁等, 2006), 具有重要的经济价值(侯进慧等, 2004)。由于栖息地破坏和人类过度捕杀等, 大鲵种群急剧下降, 分布区极度萎缩, 已被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录I中的极危物种, 属国家II类重点保护野生动物(赵尔宓, 1998)。为加强对大鲵资源的保护, 1996年11月, 经国务院批准设立了湖南张家界大鲵国家级自然保护区(尚立晰等, 2001)。

野生动物放归自然是濒危动物保护的重要措施之一(蒋志刚, 2004)。人工增殖放流是恢复野生水生动物资源和保护生物多样性最有效和最直接的手段(牛盾, 2008), 需要水域生态、渔业资源、环境保护及水产养殖等学科知识的综合应用(尹增强和章守宇, 2008; 赵兴武, 2008)。国内外已经对此进行一些研究。例如: 在美国、西欧等国家对美洲鲟、鲑鳟鱼类与虾(Johnson, 2000; Close & Jones, 2002), 韩国对大马哈鱼、鳕鱼和三疣梭子蟹(李延森和邱秀兰, 2008), 我国对虾和海蜇(周永东等, 2004; 孙蜀东^①)等水产动物的人工放流进行了研究, 至于珍稀水生动物的放流, 仅有关于中华鲟的初步报道(杨德国等, 2005)。

为恢复大鲵种群数量, 2002年以来, 湖南、江西和北京等省市先后尝试对人工饲养的大鲵进行放流, 共放流大鲵2,500多尾(周晓华等, 2008)。其中在湖南张家界大鲵国家级自然保护区实施的放流次数最多, 放流数量也最大, 而至今未见对大鲵人工放流效果的研究报道。因此, 我们在2007–2008年对在张家界大鲵国家级自然保护区进行的各次人工放流活动及其效果进行了调查, 并对放流地点的生境特征进行了分析, 探讨影响人工放流效果的因素, 旨在探索科学的放流方法, 提高放流效果, 促进野生大鲵资源的增殖。

^① 孙蜀东 (2004) 胶州湾南美白对虾(*Penaeus vannamei*)移殖放流的初步研究. 中国海洋大学硕士论文.

1 研究方法

1.1 人工放流情况与效果调查

根据渔政部门各次放流的文件与相关资料, 结合对放流参与人员调查, 获得大鲵放流的时间、地点、放流数量与放流大鲵规格等具体资料。向渔政部门与当地群众调查了解大鲵资源的变化情况, 并采取野生鲵苗推算法(罗庆华等, 2009)与河段大鲵数量估算法进行统计, 结合有经验人员的评估值进行修正, 估算出放流点大鲵资源总量, 与放流前对照, 来确定放流的后期效果。将资源量有增加的计为成功, 资源量增加不明显的计为失败。

1.2 后期管理情况调查

通过对放流点管理人员的调查访问, 对每个放流点的后期管理措施进行调查, 主要内容包括安全保护、饵料补充、生态环境保护等内容。

1.3 人工放流点生境考察

2007–2008年间的每年7–8月对各放流点进行实地考察, 利用全球卫星定位仪(GPS)记录各点的位置, 用海拔仪测定海拔, 分别对构成大鲵生境的主要因素包括隐蔽物、水质及饵料生物进行观察和取样分析, 并通过向管理人员询问以及文献调查了解以上因素的历史情况。用SPSS(13.0)软件对失败或成功地点的生境因子的定量指标进行 t 检验。

1.3.1 隐蔽物

野生大鲵生活在光线暗淡的洞穴或河段中, 按照陶峰勇等(2006)的方法, 记录各调查点上下游50 m河段的海拔、河的宽度与深度、底质、河床类型、河岸组成、两岸坡度、植被类型和盖度、水流速度, 以及相连洞穴个数、洞穴的洞口宽高、洞底组成、洞中的水深和水流速度等生境信息。

1.3.2 水质

在放流点附近的洞穴口与河段中采集水样, 每个调查点取样3个, 样点间距50 m。按照水库渔业资源调查规范SL167-96(中华人民共和国水利部, 1998)进行水质分析测定。测定指标包括: (1) 水温: 采用水银温度计现场测量, 精度0.1℃; (2) 浊度: 目视比浊法; (3) pH值: 便携式pH计测量; (4)

溶解氧: 碘量法; (5) 化学耗氧量: 重铬酸钾法; (6) 总硬度: EDTA滴定法; (7) 总氮: 过硫酸钾-紫外分光光度法; (8) 总磷: 氯化亚锡还原光度法; (9) 硫化物: 碘量法; (10) 大肠菌群: 多管发酵法。各调查点的水质指标以3个水样测定值的平均值表示。

1.3.3 饵料生物

采用 Peterson mark-recapture(殷名称, 1995)确定鱼类、蛙类、虾类和蟹类等大鲵主要饵料生物的资源丰度。样方为调查点周围100 m²区域, 其中鱼类采用电捕, 在尾鳍上剪小口后放流, 蛙类采用网目为2 cm的捞网捕捞, 在蛙腿部挂环标记后释放, 虾类采用虾耙捕捞, 将触须剪短后释放, 蟹类通过徒手捕捞, 在甲壳上刻上标记后释放, 5 d后对各种饵料生物再次捕捞计数。水生昆虫采用踢网采集。对每个调查点的每个指标重复测定3次, 结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 放流情况与效果

从表1可以看出, 2002–2008年间, 在张家界大鲵自然保护区的9处原野生大鲵栖息地共放流大鲵11次, 其中12月放流5次, 4月放流6次。11次放流中, 成功4次, 4月和12月各2次。放流的大鲵体重在0.1–0.2 kg之间的共870尾; 1–4.5 kg的成年大鲵125尾, 雌雄比在1:1至1:1.5之间。

2.2 放流方式及管理措施与放流效果的关系

2.2.1 放流时间

记录显示, 12月放流时的平均水温为10℃, 而此时大鲵需要冬眠, 个体弱小的大鲵苗如果不能迅速找到适当的冬眠地点, 生存就会有危险。而4月放流时的水温适宜, 而且此时饵料丰富, 利于大鲵摄食和适应新环境。因此我们认为放流时间选择春季为宜。虽然4月放流多次失败, 但这可能是是放流点的不良生态环境或安全等其他因素引起的。

表1 张家界大鲵自然保护区大鲵人工放流情况及放流效果
Table 1 Activities and effectiveness of releasing artificially-bred Chinese giant salamanders into the wild in Zhangjiajie Giant Salamander National Nature Reserve

序号 Codes	日/月/年 Date/month/ year	放流地点 Site	位置 Location	体重 Weight(kg)	数量 Number (♀:♂)	管理 Management measures	放流效果 Effectiveness
1	18/12/2002	紫草潭 Zicaotan	29°20' N 110°27' E	0.1–0.15; 1–2	100 50(4:6)	无 Absent	失败: 数量没有增加 Unsuccessful: no increase in number
2	22/12/2004			0.1–0.15	150		
3	23/12/2004	院子 Yuanzi	29°19' N 109°57' E	1–2	8(4:4)	建保护站 Setting up a protecting station	成功: 大鲵苗约增加200尾/年 Successful: Increase of 200 new born salamanders a year
4	24/12/2004	泉河 Quanhe	29°28' N 110°13' E	1–2	10(4:6)	建保护站 Setting up a protecting station	成功: 较放流前约增加100尾 Successful: Increase of 100 salamanders
5	10/12/2005	水绕四门 Shuiraosimen	29°21' N 110°37' E	0.1–0.15	120	无 Absent	失败: 数量没有增加 Unsuccessful: no increase in number
6	20/04/2006	叉角溪 Chajiaoxi	29°45' N 109°51' E	1–2	10(4:6)	无 Absent	失败: 数量没有增加 Unsuccessful: no increase in number
7	18/04/2007	四都坪 Sidouping	29°05' N 110°26' E	2.5–4.5	5(2: 3)	建保护站, 增殖饵料鱼 Setting up a protecting station and supplementing fish	成功: 大鲵苗增加约100尾/年 Successful: Increase of 100 new born salamanders a year
8	20/04/2007	向家溪 Xiangjiayi	29°31' N 110°57' E	2.5–4.5	6(3:3)	建保护站 Setting up a protecting station	失败: Unsuccessful: no increase in number
9	23/04/2008			0.1–0.2; 2.5–4.5	200 8(4:4)		
10	22/04/2008	黄龙洞Yellow Dragon Cave	29°22' N 110°37' E	0.1–0.2; 2.5–4.5	300 10(5:5)	建监测站 Setting up a monitor station	失败: 数量没有增加 Unsuccessful: no increase in number
11	23/04/2008	川洞峡 Chuandongxia	29°42' N 109°55' E	2.5–4.5	18(8:10)	建监测站, 定期投喂鱼肉 Setting up a monitor station and feeding the salamander fish regularly	成功: 当年繁殖大鲵苗1,125尾 Successful: 1,125 baby salamanders reproduced

2.2.2 放流规格与雌雄比

从表1中还可以看出, 成功放流的大鲵为1~4.5 kg性成熟大鲵。成熟大鲵适应力强, 放流后存活率高, 如果体质和环境条件适应, 能成功繁殖。放流成熟大鲵的雌雄比在1:1至1:1.5之间, 与大鲵繁殖习性(罗庆华等, 2005)相适应。

2.2.3 后期管理

9个放流点中除紫草潭、水绕四门与叉角溪3个点外, 其他放流点都有后期管理措施(表1), 成功的放流需要良好的后期管理措施。其中向家溪放流点虽然也建立了保护站, 但由于向家溪流程长, 保护难度较大, 2005年与2008年两次被投毒, 毒死成熟大鲵10尾, 苗种约300多尾; 黄龙洞虽然建立监测站, 但大鲵的饵料生物稀少, 也没有增殖饵料生物

或投饵, 导致这两地均没有放流成功。大鲵的生存能力较弱, 虽然选择在原栖息地放流, 但由于生态环境恶化, 饵料生物较少, 以及少数不法分子捕捉与投毒, 必须跟踪保护, 即“软释放”(蒋志刚, 2004)。

2.3 放流点生境特征与放流效果间的关系

2.3.1 隐蔽物

从表2可以看出, 各放流点河段生境基本相同: 底质全部为石质, 以卵石与礁石居多, 仅个别地点存在部分块石; 河床类型多不规则性, 少为平底型; 河岸组成多为石壁, 存在部分土山; 两岸植被类型全部为灌木丛或针阔叶混交林, 植被覆盖度均大于50%。对定量指标而言, *t* 检验表明, 放流成功与失败地点之间仅河深差异显著($P<0.05$), 成功点河较

表2 放流点附近河段生境特征
Table 2 The habitat characteristics near the release sites

放流点 Release sites	海拔 Altitude (m)	河宽River width (m)	河深River depth (m)	底质 Bottom composition	河床类型 River bed type	河岸组成 Bank	两岸坡度 Gradient (°)	两岸植被类型 (覆盖度) Vegetation type (coverage)	流速 Flow velocity (m/s)
成功点 Successful									
院子 Yuanzi	400	8.12	1.95	卵石 Gravel	平底型 Flat	石壁 Stony bank	65	灌木丛 Shrub (>75%)	0.22
泉河 Quanhe	330	7.78	1.41	卵石 Gravel	不规则型 Irregular	石壁 Stony bank	45	灌木丛 Shrub (>75%)	0.36
四都坪 Sidouping	390	8.26	1.16	卵石 Gravel	不规则型 Irregular	石壁、土山 Stony bank	30	灌木丛 Shrub (>75%)	0.21
川洞峡 Chuan-dongxia	500	5.17	0.75	礁石、卵石与块石 Rock, gravel and block	不规则型 Irregular	石壁 Stony bank	65	灌木丛 Shrub (50~75%)	0.42
平均值 Average	405±70	7.33±1.46	1.32±0.50*				51±17		0.30±0.10
失败点 Unsuccessful									
紫草潭 Zicaotan	480	5.38	0.91	卵石、礁石 Gravel and rock	不规则型 Irregular	石壁 Stony bank	85	灌木丛 Shrub (>75%)	0.48
水绕四门 Shuiraosimen	430	11.84	0.37	卵石、块石 Gravel and block	平底型 Flat	石壁 Stony bank	80	针阔混交林 Coniferous and broadleaved forest (>75%)	0.22
叉角溪 Chajiaoxi	430	6.41	0.92	卵石、礁石 Gravel and rock	不规则型 Irregular	石壁 Stony bank	45	灌木丛 Shrub (50~75%)	0.41
向家溪 Xiangjiaxi	380	3.12	0.78	卵石、礁石 Gravel and rock	不规则型 Irregular	石壁、土山 Stony bank and soil hill	65	灌木丛 Shrub (>75%)	0.45
黄龙洞 Yellow Dragon Cave	260	2.81	0.34	礁石、块石 Rock and block	平底型 Flat	石壁、土山 Stony bank and soil hill	65	针阔混交林 Coniferous and broadleaved forest (>75%)	0.32
平均值 Average	396±84	5.91±3.64	0.66±0.29*				68±16		0.38±0.11

* $P<0.05$

表3 放流点附近洞穴特征
Table 3 The features of dens near the release sites

放流点 Release sites	洞穴数 No. of dens	洞口宽 Entrance width (m)	洞口高 Entrance height (m)	水深 Water depth (m)	流速 Flow velocity (m/s)	洞底组成 Substrate composition
成功点 Successful						
院子 Yuanzi	4	0.67–3.25	0.52–1.45	0.34–0.62	0.22–0.32	沙石、卵石与礁石 Sand, gravel and rock
泉河 Quanhe	3	0.23–0.95	0.25–1.15	0.12–0.37	0.15–0.31	卵石或礁石 Gravel and rock
四都坪 Sidouping	4	0.21–1.27	0.29–0.87	0.21–0.52	0.20–0.32	卵石与礁石 Gravel and rock
川洞峡 Chuandongxia	2	0.53–1.15	0.72–2.16	0.21–0.53	0.12–0.31	块石或礁石 Block and rock
平均值 Average	3±1	1.11±0.76	0.93±0.65*	0.37±0.13*	0.24±0.07	
失败点 Unsuccessful						
紫草潭 Zicaotan	3	0.23–2.17	0.58–1.59	0.28–0.70	0.11–0.34	卵石或礁石 Gravel and rock
水绕四门 Shuiraosimen	3	0.54–1.28	0.37–2.51	0.21–0.53	0.12–0.31	卵石或礁石 Gravel and rock
叉角溪 Chajiaoxi	3	0.27–0.98	0.26–1.53	0.23–0.47	0.16–0.41	卵石或礁石 Gravel and rock
向家溪 Xiangjiaxi	3	0.27–0.75	0.29–0.81	0.36–1.09	0.21–0.42	卵石或礁石 Gravel and rock
黄龙洞 Yellow Dragon Cave	2	0.71–1.41	1.21–2.62	0.42–0.62	0.11–0.41	块石或礁石 Block and rock
平均值 Average	3±0	0.88±0.55	1.24±0.79*	0.52±0.25*	0.27±0.11	

* $P < 0.05$

深, 其他指标差异不显著($P>0.05$)。

各放流点附近洞底组成相似(表3), 均为石质性结构, 卵石或礁石占多数, 个别点有沙石或块石。放流成功与失败地点附近洞穴之间的定量指标仅洞口高与水深差异显著($P<0.05$), 成功点洞口较低, 水深较浅。

与野生大鲵繁殖洞穴相连河段与洞穴的特点(罗庆华等, 2007)相比较, 各放流点隐蔽物特征指标与之基本相同。但是水绕四门处河宽稍宽, 黄龙洞与水绕四门河深稍浅, 四都坪处坡度稍小, 河段水流速略慢; 个别洞穴的入口稍窄(0.21–0.40 m), 水略深或浅(0.12–0.20 m; 1.00–1.09 m), 个别洞穴流速略快(0.40–0.42 m/s)。河段稍宽与坡度稍小不会影响大鲵生活, 河深稍小、洞穴水稍浅均有利于大鲵肺呼吸, 水流速略小有利于大鲵摄食(陶峰勇等, 2004)。此外, 大鲵也有较好的游泳能力, 水略深、流速略大对其生活影响不大。大多数的大鲵个体宽小于0.21 m, 0.21–0.40 m洞宽对大鲵进出洞穴影响小。所以各放流点河段与洞穴特点适宜, 能满足野生大鲵自然生长。

放流成功与失败地点的大鲵隐蔽物虽然在河段深、洞口高与洞穴水深等指标有差别, 但均基本处于大鲵能适应的范围之内, 说明隐蔽物不是导致放流失败的主要原因。此外, 在实地考察中发现, 院子、川峡洞与四都坪3个放流效果好的地点, 小洞穴都通到1个面积约1,000–5,000 m²的大溶洞。相对

于溪沟而言, 溶洞的优势在于容易保护, 能较好地预防非法捕捉, 同时, 由于能方便控制溶洞的进水, 也可较好地预防药物毒害。溶洞中底质结构复杂, 巢穴多, 多种流态(急流、缓流与旋流)并存, 可有效刺激繁殖季节的亲鲵自然产卵。此外, 溶洞中温度变化小, 光线弱, 这些均有利于大鲵生长繁殖, 所以在大溶洞中放流效果好。

2.3.2 水质

多数放流水质状况良好(表4)。7–8月水温为17.6–21.2℃, 最适大鲵生长; 溶解氧含量高(5.60–8.11 mg/L)。除叉角溪水中硫化物含量很高(0.35 mg/L)外, 其他放流水质相关指标均优于我国的渔业水质标准相应指标(吴新儒, 1999), 也优于我国《地面水环境质量标准》(GB3838-2002) II类地表水标准(仇雁翎等, 2006)。t 检验结果表明, 放流成功与失败地点的水质指标中仅pH值差异显著($P < 0.05$), 成功点pH值小于失败点。

与野生大鲵繁殖洞穴中水质特征(罗庆华等, 2007)比较, 川洞峡处溶解氧略低, 虽然此处大鲵能成功自然繁殖, 仍然需要采取措施提高该地溶解氧含量, 以利于大鲵更好生长繁殖。各放流点化学耗氧量与总硬度较高, 在溶解氧含量较高的情况下, 化学耗氧量略高对大鲵生活影响较小。在一定范围内(小于350 mg/L), 总硬度稍高对大鲵生长是有利的, 因为钙离子可使生物减少从环境中吸收重金属, 从而降低它们的危害, 水生动物还可以直接从

表4 放流点水质状况
Table 4 Water quality of the release sites

放流点 Release sites	水温 Tempe- rature (℃)	浊度 Tur- bidity (°)	pH	溶解氧 DO (mg/L)	化学耗 氧量 COD (mg/L)	总硬度 Hardness (CaCO ₃ mg/L)	总氮 TN (mg/L)	总磷 TP (mg/L)	硫化物 Sulfid (mg/L)	大肠菌群 Coliform (个/L)
成功点 Successful										
院子 Yuanzi	20.1	6	6.86	7.47	5.56	283.28	0.03	0.02	0.02	1,800
泉河 Quanhe	19.8	7	7.14	6.58	2.84	100.81	0.03	0.01	0.06	940
四都坪 Sidouping	21.2	8	7.05	7.51	3.09	78.02	0.03	0.03	0.08	9,200
川洞峡 Chuandongxia	18.1	8	7.61	5.60	3.98	130.13	0.02	0.02	0.02	1,100
平均值 Average	19.8± 1.3	7±1	7.17± 0.32*	6.79± 0.90	3.87± 1.23	148.06± 92.64	0.03± 0.01	0.02± 0.01	0.05± 0.03	3,260± 3,977
失败点 Unsuccessful										
紫草潭 Zicaotan	18.2	7	8.15	6.68	8.52	90.31	0.41	0.07	0.03	5,400
水绕四门 Shuiraosimen	17.6	6	8.10	8.11	7.15	91.43	0.18	0.05	0.02	2,200
叉角溪 Chajiaoxi	19.8	7	7.14	7.58	3.48	152.69	0.03	0.01	0.35	940
向家溪 Xiangjiaxi	19.2	2	8.43	7.10	1.31	148.45	0.03	0.05	0.03	940
黄龙洞 Yellow Dragon Cave	18.2	8	8.16	8.05	5.68	145.61	0.23	0.04	0.03	940
平均值 Average	18.6± 0.9	6±2	8.00± 0.50*	7.50± 0.62	5.23± 2.88	125.70± 31.90	0.18± 0.16	0.04± 0.02	0.09± 0.14	2,084± 1,932

* $P < 0.05$

表5 放流点大鲵的饵料生物量(mg/m²)
Table 5 The biomass of food organisms for Chinese giant salamander at the release sites (mg/m²)

放流点 Release sites	鱼类 Fish	蛙类 Frog	蟹类 Crab	虾类 Shrimp	水生昆虫 Aquatic insect	合计 Total
成功点 Successful						
院子 Yuanzi	10,475	7,076	5,875	9,325	5,698	38,449
泉河 Quanhe	6,889	4,863	3,837	7,914	2,395	25,898
四都坪 Sidouping	10,723	5,789	1,921	3,542	3,080	25,055
川洞峡 Chuandongxia	8,566	7,806	1,707	2,811	5,558	26,448
平均值 Average	9,163±1,796	6,384±1,313	3,335±1,945	5,898±3,209	4,183±1,693	28,962±6,350
失败点 Unsuccessful						
紫草潭 Zicaotan	18,358	8,381	2,199	5,097	20,578	54,613
水绕四门 Shuiraosimen	12,876	6,687	2,379	6,658	12,072	40,672
叉角溪 Chajiaoxi	10,358	5,358	2,936	6,264	1,738	26,654
向家溪 Xiangjiaxi	8,451	9,061	4,588	9,076	2,438	33,614
黄龙洞 Yellow dragon cave	4,968	3,486	2,175	3,816	3,233	17,678
平均值 Average	11,002±5,024	6,595±2,262	2,855±1,016	6,182±1,961	8,012±8,080	34,646±14,034

水中吸取钙质(吴新儒, 1999)。向家溪、紫草潭、水绕四门与川洞峡处pH值较高。大鲵适宜的pH值范围为6.2–8.6(郑合勋等, 1992; 吴方同等, 2007)。虽然放流成功与失败地点的水质pH值差异显著, 但仍然在大鲵能适应的pH范围内。除硫化物含量过高, 放流失败点叉角溪水的其他指标也处于大鲵能适应的范围之内。硫化物含量高可能是叉角溪放流不成功的原因之一。

另据李佩耕(2008)的研究,放流失败点紫草潭与水绕四门的水质在2005年前较差, 2003年水质污染等级分别为1.26与1.01, 2004年分别为1.10与1.01, 2005年分别为1.08与1.05, 到2006年后两地都为1.0。水质污染可能是2002–2005年紫草潭与水绕四门处放流不成功的原因之一。

2.3.3 饵料生物

放流点饵料生物调查结果如表5显示, t 检验表

明,放流成功与失败地点的各类饵料及总量差异均不显著($P > 0.05$)。

紫草潭饵料生物总量最高,其次是水绕四门,因而饵料生物量不是导致这两点大鲵放流成败的主要条件。黄龙洞的饵料生物总量最低,仅为放流成功点平均值的68%,这可能是黄龙洞大鲵不能成功自然繁殖的主要原因,需要增殖饵料生物或定期投饵。如川洞峡饵料生物总量较少,但通过人工投喂饵料,获得好的放流效果。蟹是野生大鲵最重要的饵料(宋鸣涛, 1994),蟹生物量以川洞峡最小,但此地放流成功,可见蟹的生物量对大鲵放流效果制约不大。可能因为放流点自然繁殖的大鲵苗种常被收集后进行人工饲养,而成鲵对饵料的适应性强,对蟹的依赖性不大。

3 小结

湖南张家界大鲵国家级自然保护区大鲵放流次数与规模虽然居国内第一位,但放流总数量不足千尾,日后需要增加放流数量。放流地点虽然选择在大鲵原栖息地,生态环境较好,但每次放流缺乏对放流地的生境因子做全面考察分析和完善后期管理,因为水质、饵料或安全等任一因素均可能导致多次放流不成功。因此,放流前全面的可行性分析是成功的基础,放流后完善的管理是成功保障。另外,放流时间与放流规格对放流结果有一定影响。以野生大鲵栖息生境特征为标准,科学选择能满足大鲵自然繁殖条件的地点,春季放流成熟大鲵,进行完善后期管理,才能最终实现大鲵资源的有效恢复。

繁殖上的成功才是衡量生物适应好坏的主要标准,放流大鲵能够自然繁殖,形成新的野生大鲵种群,才能有效扩大大鲵资源量。故应以重构野生大鲵种群为放流的目标。以野生大鲵栖息生境特征为标准,科学选择能满足大鲵自然繁殖条件的地点,春季放流成熟大鲵,进行完善后期管理,才能最终实现大鲵资源的有效恢复。

参考文献

- Close TL, Jones TS (2002) Detection of visible implant elastomer in fingerling and yearling rainbow trout. *North American Journal of Fisheries Management*, **22**, 961–964.
- Hou JH (侯进慧), Zhu BC (朱必才), Tong YW (童玉玮), Li PQ (李培青), Liu HM (刘焕民), Wang XQ (王秀琴) (2004) Research advances of Chinese giant salamander. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **23**, 262–266, 276. (in Chinese with English abstract)
- Jiang ZG (蒋志刚) (2004) *Animal Behavior Principles and Species Conservation Methods* (动物行为原理与物种保护方法). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Johnson JK (2000) *Pacific Salmonid Coded Wire Tag Releases*. Regional Mark Processing Center, Pacific States Marine Fisheries Commission, Oregon.
- Fei L (费梁), Hu SQ (胡淑琴), Ye CY (叶昌媛), Huang YZ (黄永昭) (2006) *Chinese Fauna Amphibia Vol.1 General Accounts of Amphibia Gymnophiona and Urodela* (中国动物志 两栖纲(上卷)总论 蚓螈目 有尾目). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li PG (李佩耕), Wu WH (吴文晖), Fan LF (樊玲凤) (2008) Comprehensive analysis of surface water pollution in Zhangjiajie National Forest Park. *Environmental Monitoring in China* (中国环境监测), **24**(3), 83–87. (in Chinese with English abstract)
- Li YS (李延森), Qiu XL (邱秀兰) (2008) Development and measures of stock enhancing and releasing fish in Korea. *China Fisheries* (中国水产), (8), 28–29. (in Chinese)
- Luo QH (罗庆华), Lu CY (卢成英), Liu QB (刘清波) (2005) Advances in reproductive biology of Chinese giant salamander. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **24**, 417–420. (in Chinese with English abstract)
- Luo QH (罗庆华), Liu QB (刘清波), Liu Y (刘英), Luo H (罗浩), Tang CC (唐初春) (2007) Preliminary study on ecological conditions in breeding dens of Chinese giant salamander. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **42**, 114–119. (in Chinese with English abstract)
- Luo QH (罗庆华), Liu Y (刘英), Zhang LY (张立云), Chen GJ (陈功建) (2009) Investigation on resources of Chinese giant salamander in Zhangjiajie City. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **28**, 422–426. (in Chinese with English abstract)
- Niu D (牛盾) (2008) Thoroughly applying the scientific outlook on development and advancing releasing of aquatic organisms into the wild. *China Fisheries* (中国水产), (12), 4–5, 25. (in Chinese)
- Qiu YL (仇雁翎), Chen L (陈玲), Zhao JF (赵建夫) (2006) *Measurement and Analysis of Drinking Water Quality* (饮用水水质检测与分析). Chemical Industry Press, Beijing. (in Chinese)
- Shang LX (尚立晰), Xiang YZ (向延振), Wu DR (伍大荣) (2001) *Situation Dictionary of Zhangjiajie City* (张家界市情大辞典). National Press, Beijing. (in Chinese)
- Song MT (宋鸣涛) (1994) Research on food habits of Chinese giant salamander. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **29**(4), 38–41. (in Chinese with English abstract)
- The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China (中华人民共和国水利部) (1998) *Standard for the*

- Investigation of Reservoir Fishery Resources* (水库渔业资源调查规范). China WaterPower Press, Beijing. (in Chinese)
- Tao FY (陶峰勇), Wang XM (王小明), Zhang KJ (章克家) (2004) Preliminary study on characters of habitat dens and river types of Chinese giant salamander. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **23**(2), 83–87. (in Chinese with English abstract)
- Wang XM, Zhang KJ, Wang ZH, Ding YZ, Wu W, Huang S (2004) The decline of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) and implications for its conservation. *Oryx*, **38**, 197–202.
- Wu XR (吴新儒) (1999) *Aquatic Chemistry on Freshwater Breeding* (淡水养殖水化学). China Agricultural Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu FT (吴方同), Su QX (苏秋霞), Li WJ (李文健), Den RJ (邓仁健) (2007) Water environment factors of Chinese giant salamander habitat in Hupingshan Nature Reserve. *Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science)* (长沙理工大学学报(自然科学版)), **4**(4), 94–98. (in Chinese with English abstract)
- Yang DG (杨德国), Wei QW (危起伟), Wang K (王凯), Chen XH (陈细华), Zhu YJ (朱永久) (2005) Downstream migration of tag-released juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **29**, 26–30. (in Chinese with English abstract)
- Yin MC (殷名称) (1995) *Fish Ecology* (鱼类生态学). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Yin ZQ (尹增强), Zhang SY (章守宇) (2008) Reason on breeding and releasing fishery resources in China. *China Fisheries* (中国水产), (3), 9–11. (in Chinese)
- Zhao EM (赵尔宓) (1998) *China Red Data Book of Endangered Animals—Amphibian and Reptile* (中国濒危动物红皮书: 两栖类和爬行类). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhao XW (赵兴武) (2008) Developing stock enhancement and releasing energetically and struggling to construct modern fishery. *China Fisheries* (中国水产), (4), 3–4, 6. (in Chinese)
- Zheng HX (郑合勋), Wang CA (王才安), Ge YR (葛荫榕) (1992) Resource of Chinese giant salamander in Lushi County. *Journal of Henan University (Natural Science)* (河南大学学报(自然科学版)), **22**(4), 51–56. (in Chinese with English abstract)
- Zhou XH (周晓华), Zong QM (宗庆明), Wang D (王丹) (2008) Discussion on the protection and continuable development for Chinese giant salamander resource. *China Fisheries* (中国水产), (4), 9–10. (in Chinese)
- Zhou YD (周永东), Wang YS (王永顺), Huang MX (黄鸣夏) (2004) Jellyfish, *Rhopilema esculenta kishinouye*, enhancement research in the coastal waters of Zhejiang. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)* (浙江海洋学院学报(自然科学版)), **23**, 28–30, 36. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 江建平 责任编辑: 闫文杰、周玉荣)