

日本大鲵的现状及其对中国大鲵保护的启示*

王 杰**

中国科学院成都生物研究所 成都 610041

摘 要 为探讨我国极危物种中国大鲵 (*Andrias davidianus*) 的保护策略, 于2014年8月22日至9月11日在日本实地调查和文献查询日本大鲵 (*A. japonicus*) 的现状, 结果发现分布区各地均有众多的志愿者参与日本大鲵的保护和研究, 其种群密度达到38.2-64.3尾/km ($N = 5$), 平均遇见率 44.3 ± 34.6 (SD) 尾/km ($N = 11$), 能够参加繁殖的雄雌比例介于1.5:1与9.6:1间 ($N = 3$). 繁殖地多为乡村溪流的河岸洞穴, 受修筑堤坝、硬化河岸以及改造河道的影响, 部分地方种群的繁殖补充量极低, 在京都府、三重县和奈良县还面临外来物种中国大鲵的入侵、竞争以至杂交的威胁, 个别地方杂交个体所占比例高达90%. 这启示我们, 在保护我国大鲵时, 应注意控制增殖放流的强度、选择适宜的放流地点并加强放流个体的遗传背景检测. 图4 表2 参26

关键词 日本大鲵; 中国大鲵; 种群密度; 繁殖行为; 杂交; 增殖放流; 社区保护

CLC Q959.520.8

Current status of Japanese giant salamander and the enlightenment on the conservation of Chinese giant salamander*

WANG Jie**

Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract To clarify the conservation strategy of the critically endangered giant salamander *Andrias davidianus* (CGS) in China, field survey and document retrieval were taken to investigate the current status of its congener *A. japonicus* (JGS) in Japan during August 22 to September 11. Volunteers from all walks of life were found to participate in the conservation and research of JPS across its range. The common population density of JPS reached 38.2–64.3 adults or juveniles per km ($N = 5$), with the encounter rate of 44.3 ± 34.6 (SD, $N = 11$) ind./km and the breeding sex ratio of 1.5–9.6 (♂) : 1 (♀). JPS usually breeds in riverside caves of streams and small rivers. The recruitment of some populations was nearly nullified because of the construction of dams and artificial riverbanks, the alteration of river courses, and especially the invasion, competition and hybridization of CGS in Kyoto, Mie, and Nara prefectures. This enlightens us to control intensity, select suitable habitats and screen genetic backgrounds when releasing CGS for conservation.

Keywords *Andrias japonicus*; *Andrias davidianus*; population density; reproductive behavior; hybridization; releasing; community conservation

日本大鲵 (*Andrias japonicus*) 与中国大鲵 (*A. davidianus*) 同属隐鳃鲵科大鲵属, 前者分布于日本的南部, 包括本州岛西南部、四国及九州岛的清澈溪流, 海拔50-1 000 m, 分布面积约2 000 km²^[1]. 其身上有一种浓烈的、似辣椒叶子的味道, 因此又被称为大山椒鱼^[2]. 当地老百姓则俗称它为 Hanzaki, 即“半裂”的意思, 因为它张开嘴的样子像身体裂开了一半. 1952年, 日本大鲵被日本文化厅列为特别天然纪念物 (即国宝), 实行严格的保护. 然而受修筑大坝、硬化河岸、改造河道以及中国大鲵生态入侵的影响, 2004年被世界

自然保护联盟 (IUCN) 列为近危物种^[1].

中国大鲵是世界上现存最大的两栖动物, 1988年被我国列为国家二级保护动物, 1998年被《中国濒危动物红皮书》列为极危物种, 2004年被IUCN列为极危物种. 十余年来我国政府耗费巨资开展增殖放流, 然而原始种群却持续萎缩, 增殖效果不明显^[3], 一些地方中国大鲵的繁殖洞穴在减少, 每年冬季从岩洞的出水口冲出的幼苗数量也在减少^[4-6], 暗示种群的补充量在走向衰竭. 2014年8月22日至9月11日, 应京都大学邀请, 作者前往日本京都、鸟取、广岛和兵库等地考察日本大鲵的种群生态、繁殖行为以及资源保护现状, 藉此为中国大鲵的保护策略研究提供借鉴.

收稿日期 Received: 2014-10-16 接受日期 Accepted: 2015-04-08

*国家自然科学基金青年基金项目 (31204411)、中国科学院“西部之光”项目 (Y3C3011100) 和四川省科技厅应用基础项目 (2012JY0101)

资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (31204411), the Western Light Foundation of the Chinese Academy of Sciences (Y3C3011100) and the Applied Basic Research Program of the Science & Technology Department of Sichuan Province (2012JY0101)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: wjie621@163.com)

1 调查方法

1.1 野外调查和繁殖行为观察

根据河流的宽度不同, 调查人数略有调整, 一般2-5个富有经验的调查者穿着齐胸渔裤或潜水服并排沿着河流由下

游至上游方向采用聚光照明、浮潜等方法搜寻石缝、石洞和岸边草丛^[7]。调查过程中佩戴手套并携带渔网,以捕捉大鲵。用“发现数÷河段长度”来计算遇见率。

将捉到的大鲵成体或亚成体,放于塑料管槽中测量全长、头体长(吻端至泄殖腔孔前缘)、头宽,用电子台秤测量体重,并对头部疣粒及尾部斑纹的形态进行拍照存档。在繁殖前期,对性腺发育良好的成体可根据其是否有宽圆隆起的腹部或圆形隆起的泄殖腔孔判断性别^[8-9];然而对于性腺发育不明显的成体或亚成体,则难以判定性别。然后用电子芯片(Passive integrated transponder, PIT)阅读器扫描大鲵全身,对未标记的个体,在左肩上方的皮肤下、沿与大鲵身体平行的方向植入消毒后的电子芯片,1枚/尾,用手术缝合胶粘住伤口后就地释放。

通过观察河岸洞穴边的草杆上是否附着卵粒或卵带,以确定是否有大鲵入内繁殖。对不能确定的洞穴,尤其是以往有大鲵繁殖的洞穴,用特制的铝合金杆轻轻往洞内试探,繁殖洞穴内往往有雄性守护(称为洞主, Den master),并对侵入其领域的活动物体进行咬击。铝合金杆的末端有弯钩,一旦洞主咬住弯钩,迅速将其拉出洞穴,用渔网捉住后进行测量标记。发现繁殖洞穴后,即刻展开0.5-6 h的行为观察,记录洞主、待产卵雌性和其它雄性的交互行为。

1.2 种群密度计算

日本大鲵,尤其是雄性,在繁殖期有非常激烈的打斗行为,导致很多个体的头顶、颈部、尾部上下缘和脚趾有非常明显的缺损,在PIT标记应用以前,主要根据不同脚趾的缺损情况、尾部的斑纹^[10]以及头顶疣突的分布形态^[9],并结合动物的体长、体重、性别等信息来标记区分每一个个体。另外也有用“—”“|”“L”“V”“<”等形状的铁片代表0-9等数字,在大鲵尾部上缘进行烧印标记^[11]。

隐鳃鲵科动物的种群密度难于准确统计,因为它们主要在夜间活动,行动隐秘而且身体的颜色与环境的颜色接近,白天潜藏在深洞或石缝中,难以调查到,因此用标记重捕法研究种群密度的文献极少。有部分研究者对一些河段的日本大鲵进行过20-90次的重复调查,并对每一发现的成体和亚成体进行标记识别。考虑到如果调查时间的跨度太长(比如19年),可能因为新鲜个体和死亡个体均被标记并纳入统计

导致种群密度高估,本研究只选择那些调查时间跨度不超过3年,并假定所调查河段的种群数量稳定,所有个体均被标记,用“标记的个体总数÷河段长度”来计算种群密度。

2 结果

2.1 中国大鲵和日本大鲵的杂交现象

日本大鲵与中国大鲵的形态很像,主要区别在于日本大鲵头部背面的疣突大而明显,且单个出现(图1a),而中国大鲵头部背面散布小疣粒,眼眶上下方至吻端、口角后方的小疣粒排列成行(图1b)。中国大鲵在日本为入侵物种,与日本大鲵杂交后的个体头顶密布小疣粒(图1c)。1972年大约有800尾中国大鲵被贩运到日本^[12],随后一些个体逃逸或者人为放生到野外。如今,在流经京都市的鸭川河里,90%的大鲵个体为中国大鲵与日本大鲵的杂交后代(西川完途,个人通信)。2014年8月22日,作者和京都大学专家在100 m长的河道1 h内发现4尾个体,经形态和分子鉴定,全部为杂交后代(表1)。

目前杂交现象已从京都府扩散至三重县和奈良县,可能是因为人为迁移。对普通人而言,杂交个体难以分辨,城市郊区发现的个体常被移往深山放生,因为他们相信深山的生态环境更好,更适合大鲵的生存和繁衍。

2.2 日本大鲵的种群密度及性别比例

通过11次日本大鲵种群调查,计算得到平均遇见率为 44.3 ± 34.6 (SD) 尾/km(表1)。因为大鲵有溯水而上的习性,受堰坝的阻挡,在堰坝下方和繁殖洞穴附近比其他区域能够发现更多的大鲵(14-80 vs. 3-15 尾/km, 表1)。

历史文献中日本大鲵的密度在38.2-64.3尾/km之间($N = 5$, 表2),广岛市琼梨川的密度较低(6.6尾/km),并且没有发现5-43 cm的幼苗,可能是由于农田灌溉用的堰坝阻隔,幼苗不能往下游大河迁移反而被冲进稻田,以致种群补充量极低所致^[13]。根据一份长达19年的监测研究^[14]和一份在繁殖巢穴附近的调查研究^[9],计算出日本大鲵的密度分别为80.5和85.8尾/km,均高于正常情况下的种群密度。

文献调查结果显示日本大鲵种群中雄性偏多,3份研究的雄雌比例分别为1.5:1^[9]、5:1^[17]、9.6:1^[14](表2)。

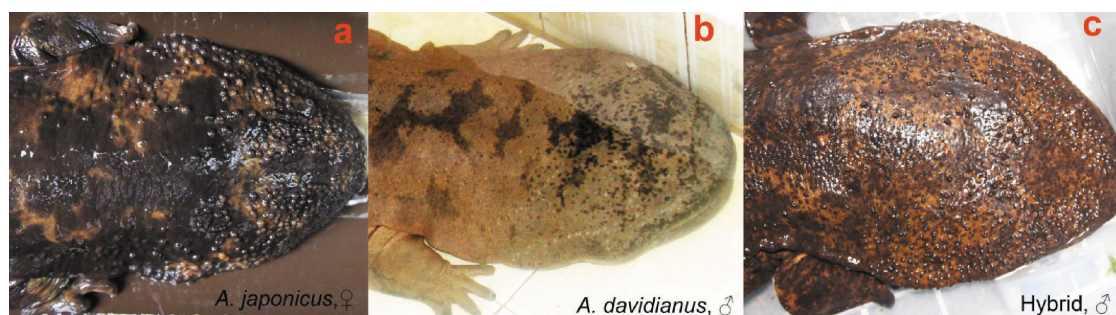


图1 日本大鲵(a)、中国大鲵(b)及它们杂交后代(c)的区别特征。日本大鲵头背面密布大而明显的疣突,中国大鲵头部背面的小疣粒在眼眶上下方至吻端、口角后方排列成行,而杂交后代的头部背面密布小疣粒。三者体长分别为69、128、80 cm,分别摄自日本鸟取县、中国重庆市武隆县、日本京都市。

Fig. 1 Shape and arrangement of tubercles on the top of head are characteristic for the Japanese giant salamander (a), Chinese giant salamander (b), and their hybrid offspring (c). In *A. japonicus*, the tubercles are very large and mostly single and irregularly scattered (a); in *A. davidianus*, they are very small and arranged in rows parallel with the lower jaw (b); however, in hybrids, they are tiny and irregularly scattered (c). Body lengths of these three individuals are 69, 128, and 80 cm, respectively. Photo taken at Tottori Prefecture (Japan), Wulong County (Chongqing City, China), and Kyoto City (Japan), respectively.

表1 日本大鲵和杂交大鲵的野外调查结果

Table 1 Field survey results about *A. japonicus* and hybrids between *A. japonicus* and *A. davidianus*.

调查地点 Survey sites	河宽 (b/m) River width	周边景观 Landscape type	河床 Riverbed	日期及时间 Date (Time)	样线长 (l/m) Transect length	调查人数 No. of investigators	发现个体数 Adults	天气 Weather	遇见率 (n/ind. km ⁻¹) Encounter rate
京都市鸭川河 Kamo river, Kyoto	20	乡镇 Town	岩石 Stone	2014.08.23 (19:00-20:00)	100	3	4	大雨后 After heavy rainfall	40 ^a
京都市清滝河 Kiyotaki River, Kyoto	15	次生林 Secondary forest	岩石 Stone	2014.09.09 (19:40-21:20)	400	5	6	晴天 Sunny	15
鸟取县日野川 Hino River, Tottori	9	稻田 Paddyfield	岩石+卵石 Stone + Gravel	2014.08.24 (21:20-21:40)	30	3	2	大雨后 after heavy rainfall	67 ^b
鸟取县日野川 Hino River, Tottori	8	次生林 Secondary forest	岩石+卵石 Stone + Gravel	2014.08.25 (21:30-23:00)	70	2	1	小雨 Light rain	14 ^c
鸟取县日野川 Hino River, Tottori	6	次生林 Secondary forest	岩石+卵石 Stone + Gravel	2014.08.28 (11:20-12:00)	70	2	2	晴天 Sunny	28 ^c
鸟取县九塚川 Kutsuka-gawa River, Tottori	6	稻田 Paddyfield	混凝土 Concrete	2014.08.27 (22:00-24:00)	300	2	3	小雨 Light rain	10
广岛市小见谷川 Komitani Stream, Hiroshima	8	稻田 Paddyfield	卵石 Gravel	2014.08.31 (15:10-16:10)	40	2	2	小雨 Light rain	50 ^b
广岛市志路原川 Shijihara River	8	稻田 Paddyfield	卵石 Gravel	2014.09.01 (12:40-17:10)	50	4	4	小雨 Light rain	80 ^c
岛根县瑞穗 Mizubo, Shimane-ken	12	次生林 Secondary forest	卵石 Gravel	2014.09.02 (13:00-14:20)	40	3	3	小雨 Light rain	75 ^b
东广岛市琼梨川 Mukunashi River, Higashi-Hiroshima	5	次生林 Secondary forest	砂砾 Grit	2014.09.04 (11:50-14:20)	100	5	2	小雨 Light rain	10
东广岛市三朝川 Misasa River, Higashi-Hiroshima	5	次生林 Secondary forest	砂砾 Grit	2014.09.05 (09:00-13:00)	100	5	6	晴天 Sunny	60 ^c
兵库县黑川 Ichi River, Hyogo	5	稻田 Paddyfield	岩石 Stone	2014.09.07 (21:00-22:00)	350	3	1	小雨 Light rain	3

^a形态和分子鉴定为杂交大鲵; ^b堰坝下游; ^c繁殖洞穴附近。^a hybrids by morphological and molecular identification; ^b Downstream of the dam; ^c Near a breeding cave.

表2 历史文献中日本大鲵的种群调查情况

Table 2 Literature records about the survey of *A. japonicus*

地点 Site	河宽 (b/m) River width	海拔 (h/m) Elevation	调查周期(调查次数) Survey period (No of censuses)	样线长 (l/m) Transect length	个体区分方法 Individual identification	标记的个体数 Marked individuals	密度 ^a (n/ind. km ⁻¹) Population density	性别比例 ♂:♀:Unknown	参考文献 Reference
兵库县黑川 Ichi River, Hyogo	1-20		1975.06-1993.12 (319)	6000	尾部烙印记号 Burn marker on the tail	483	80.5 ^b	86.9:388	[8, 14]
兵库县羽束川 Hatsuka River, Hyogo	2-15	321-372	2004.07-2005.12 (90)	5000	PIT	200	40		[15]
广岛市志路原川 Shijihara River	2-4	400	1974.08, 1975.08-09 (43)	700	尾趾缺损、尾部斑纹 Shortage/damage of toes, spots on the tail	31-45 ^c	44.3-64.3 ^c		[10]
广岛市吉城川 Yoshiki River, Hiroshima	1-4	520-560	1986.06-12; 1987.04-09 (58)	1200	头顶疣突的分布形态 Pattern of black spots on the head	103	85.8 ^d	50.33:20	[9]
广岛市米谷河 Komitani River, Hiroshima		380-430	1997.04-1999.12 (20)	1600	PIT	97	60.6		[16]
广岛市河A River A, Hiroshima	0.6-10.1	355	2000.05-2003.09 (41)	1020	照片+PIT Photos + PIT	47+7	52.9		[17]
广岛市河B River B, Hiroshima	1.1-9.2	545	2000.05-2003.09 (41)	1965	照片+PIT Photos + PIT	75+0	38.2	25.5:17	[17]
东广岛市琼梨川 Mukunashi River, Higashi-Hiroshima	2-4	380-420	2011.08-2013.03 (> 16)	3200	照片+PIT Photos + PIT	21	6.6		[13]

^a标记的个体数/样线长; ^b调查周期跨度太长, 数据可能不准确; ^c依据标志重捕法获得; ^d该样线范围内有两个繁殖巢穴。^a calculated by marked individuals/transect length; ^b data inaccurate due to long survey period; ^c calculated by mark-recapture method; ^d two nest caves existed in the transect.



图2 繁殖期日本大鲵的雄性(泄殖腔孔呈圆形隆起, 体长53 cm)和怀卵雌性(宽圆隆起的腹部, 体长49 cm)。箭头表示放大的雌性泄殖腔孔, 摄自日本鸟取县日南町。

Fig. 2 Breeding male and gravid female of Japanese giant salamander. The male is characterized by the swollen doughnut-shaped cloacae, with a body length of 53 cm; the female is characterized by the round and full abdomen cloacae, with a body length of 49 cm. Arrow indicates the zoomed female cloacae. Photo taken at Nichinan, Tottori, Japan.

2.3 繁殖生境及繁殖行为

调查共发现自然繁殖洞穴5个, 人工繁殖洞穴2个。繁殖期发育状况好的雄性泄殖腔孔呈明显的圆形隆起, 而待产卵雌性的泄殖腔孔不隆起, 腹部隆起明显, 如图2所示。

日本大鲵的产卵期大约从8月17日开始至9月16日结束, 不同年份因为气温、水温及降水的情况不同, 略有差异, 但基本集中在8月30日至9月7日之间^[15]。在产卵期前一个月, 开始有雄性个体搜寻并占据合适的洞穴, 以等待雌性前来产卵繁殖。洞穴一般开口于河岸边的树荫下(图3), 洞口直径约10-20 cm, 洞穴深度约1.0-3.0 m, 也有少数洞穴开口于河床底的大石板下。能够占据洞穴并成功吸引雌性入洞繁殖的往往是该河段体型最大的雄性。洞主大部分时间守在洞口, 头朝外, 随时咬击试图进入其洞穴的雌性和其它雄性。其它雄性一般会选择逃离, 也有部分雄性选择反击, 因此也有洞主被咬伤、被替换的情况发生^[9]。洞主有时也会到洞外10 m左右范围内巡视, 持续时间平均为10 min (1-70 min)^[9]。



图3 日本大鲵的繁殖洞穴。洞主正往洞里钻, 如蓝色箭头所示, 摄自日本东广岛市琼梨川。

Fig. 3 Breeding nest cave of Japanese giant salamander. Den master, indicated by the blue arrow, is entering into the entrance of nest cave. Photo taken at Mukunashi River, Higashi-Hiroshima City.

雌性只有在入洞产卵的时候才不会被驱逐, 一旦被洞主接受, 其它雄性也会尾随进入, 这些雄性被称为投机者

(Sneakers)。一个繁殖洞穴往往有2-3只以上的雌性分别前来产卵, 而投机者则可能有1-4只^[9, 18]。受精后雌性和投机者离开, 洞主会一直守在洞中扇动尾部以增加水中溶氧、用头和身体搅动卵带以防卵粒粘附, 并吃掉发霉或死亡的卵, 直到小苗孵出、离去^[19]。大约40-50 d后小苗孵出^[11, 18], 小苗需等到卵黄囊基本完全吸收, 来年2月才离开洞穴。

由于水坝的阻隔可能影响日本大鲵向上游迁移, 以致大鲵难以找到适宜的洞穴繁殖, 所以有学者在水坝的下方为大鲵营造人工洞穴, 如图4所示。安佐动物园自1994年起在广岛市松岁川修筑人工洞穴, 每年均有大鲵入内繁殖^[18, 20]。

2.4 日本的大鲵文化及保护

日本大鲵也曾被用来食用, 但自1952年被列为特别天然纪念物后, 已经没有人食用了, 至今没有公司养殖和出售日本大鲵。分布区内各市县均有志愿者自发参与大鲵的保护和研究, 包括博物馆、水族馆工作人员、社区村民、大中小学和幼儿园的学生、教师等。日本每年都会举办大山椒鱼保护和研究论坛, 来自各行各业的参与人员达200余人。许多景区、餐馆、旅社、商店售卖大山椒鱼纪念品, 包括印有大山椒鱼的T恤衫、饼干、碗碟和形似大山椒鱼的布偶等。许多老百姓家中珍藏有大山椒鱼的饰品和玩具, 一些爱好者甚至摄制自己与大山椒鱼共处的视频和图片。

以日本大鲵为对象的小说和影视作品, 加深了日本民众对该物种的认知和喜爱。如1929年日本作家井伏鱒二发表的短篇小说《山椒鱼》, 一度被日本教科书收录, 洞穴山椒鱼及其孤独的形象也因此广为人知。2006年日本上映的具有喜剧色彩的悬疑电影《国宝山椒鱼》, 也使大山椒鱼的国宝形象深入人心。

目前日本有两家大山椒鱼自然博物馆, 展示关于大山椒鱼的神话、传说、进化历史、解剖结构、胚胎发育和繁殖行为。广岛市志路原的人工繁殖洞穴, 也给老百姓提供了近距离观察大鲵繁殖行为的机会(图4)。

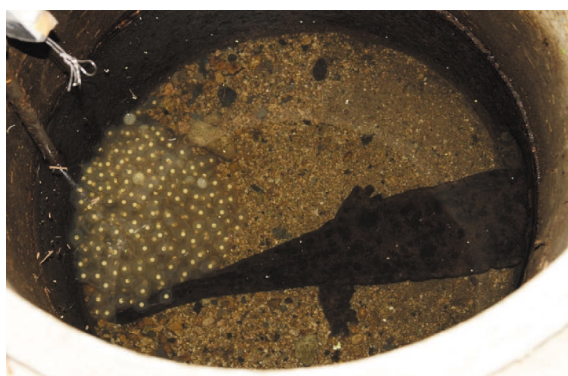


图4 洞主守护人工巢穴。洞穴直径为60 cm, 卵群为两只雌性所产, 摄自日本广岛市志路原。

Fig. 4 Den master guarding at the entrance of artificial nest cave. The cave diameter is 60 cm; eggs were spawned by two females. Photo taken at Shijihara, Hiroshima Prefecture.

3 讨论

3.1 中国大鲵的社区保护

在分布区内日本大鲵比较常见, 作者随机进行11次调查, 平均遇见率达 44.3 ± 34.6 尾/km, 接近文献中的种群密度(38.2-64.3尾/km)。对于普通人而言, 接触并保护国宝是一件轻松的行为, 清理河道的垃圾, 把爬到路上的大鲵移进河里, 为大鲵搭建通过水坝的阶梯, 观察记录大鲵的繁殖行为, 帮助科学家捕捉杂交大鲵, 都是一件可以身体力行的事情。

上世纪50年代初, 中国大鲵还广泛分布于黄河、长江和珠江三大流域, 种群密度可能跟日本大鲵的密度相当, 例如湖南省桑植县中国大鲵的年收购量达7.5 t^[21], 贵州省江口县年收购量约1 t^[22]。然而, 至80年代中期, 中国大鲵已在四川省11个县灭绝^[23], 湘西自治州原本10县产中国大鲵, 已在5县绝迹^[21]。2000年以后, 王小明等在湖南省石门县、永顺县、张家界市, 重庆市酉阳县, 四川省马边县, 陕西省太白县以及河南省卢氏县、新安县等8个大鲵产区进行了80多天的调查, 仅捕获1尾野生中国大鲵^[24]。2014年作者和英国志愿者在四川省和重庆市有大鲵分布记录的13个县市进行浮潜观察和蟹笼陷阱法调查, 仅发现1尾野生个体(幼体); 发放回收村民问卷390份, 显示当地近5年见过野生大鲵的老百姓仅占7.9%。野生中国大鲵几乎绝迹, 保护似乎遥不可及, 发展社区保护文化, 任重而道远。

在日本, 所有的日本大鲵, 包括人工繁育的后代都是国宝, 科研单位、博物馆、水族馆等未经许可不许驯养, 老百姓和公司不许饲养、运输和利用。在我国, 野生中国大鲵是国家二级保护动物, 非经许可, 严禁捕猎、经营和食用, 但人工繁育的子二代获得许可后可以经营利用, 那么人工饲养条件下的野生大鲵、人工繁育的子一代个体的法律地位又该如何界定? 三者从外观形态上难以区分, 无形中造成执法的困难。如果不加以区分, 人们怎么能够一边享用一边又大谈保护中国大鲵呢? 因此, 需要建立中国大鲵来源可追溯体系, 对人工饲养下的所有亲本、子一代、子二代成体和亚成体注射电子芯片标签, 将标签及个体的详细信息(包括产地、体重、体

长、年龄、电子芯片标签、外形特征及亲本信息等)公布到网上, 并要求企业和监管部门及时更新相关信息, 只有这样, 子二代大鲵才能在市场上正常交易。

3.2 如何放流中国大鲵

上世纪70年代人为引入日本的中国大鲵, 对日本大鲵的纯系构成了前所未有的威胁, 鸭川河接近90%的个体为杂交后代, 目前如何处置这些杂交个体成为日本政府和科学界的难题。自2007年开始, 已经有一千多尾的杂交个体被捕获并进行分子鉴定, 其中约1/6的个体保存在水族馆和研究所, 作为展示和研究用, 其余被处死。糟糕的是杂交个体比日本大鲵凶猛, 生长速度更快, 体型更大, 竞争力更强, 而人为捕捉的方法, 很可能像割韭菜一样, 难以彻底清除。这提示我们在放流中国大鲵前首先需要弄清楚原始种群和放流个体的遗传背景, 两者一致, 才能放流, 否则也将带来类似的威胁。近代的人为迁移, 包括人工放流, 可能已经对中国大鲵的遗传地理格局构成威胁^[25]。

目前中国大鲵的养殖场都是将不同来源的亲本混杂交殖, 生产的后代再销往远方的养殖场作为亲本使用, 最终的结果将导致遗传背景同质化、多样性降低乃至丧失。另一方面, 随着养殖场逃逸个体和人工放流个体的增多, 越来越多的非本地个体加入繁殖, 野生种群的遗传背景将被污染、改变, 从而导致环境适应性包括抗病能力的降低。现在很多养殖场建立在生态环境良好的地方, 甚至一些保护区内, 应该将这些养殖场迁离有野生种群分布的地方; 另一方面, 对养殖个体尤其是亲本进行遗传多样性背景检测, 对于非本地亲本的后代严禁放流当地河流, 同时, 作好防洪措施, 杜绝养殖个体的逃逸。

日本大鲵繁殖期(8-9月)雄性泄殖腔孔隆起的比例仅为50.0%-63.2%^[8], 说明每年发育良好的雄性比例不高, 雄雌性比介于1.5:1与9.6:1间。如果机械地将繁殖期泄殖腔孔隆起为圆形的个体视为雄性, 其余为雌性, 则很可能得出偏雌的性比^[26], 因此在放流中国大鲵时应当充分考虑放流个体的发育状况和性别比例。

日本大鲵的繁殖生境主要是生态环境良好的小溪流, 因为卵和幼苗要在洞穴里发育5-6个月, 这里水流缓慢, 环境稳定, 不容易被洪水冲毁, 浅水区的石头下、树叶下适宜幼苗的生长和躲藏。文献中报道的幼体很少(表2), 一方面因为幼苗很少出来活动, 难以调查到; 另一方面也提示我们正常种群中幼苗的比例很少, 绝大部分会被天敌(包括同类)吃掉。即便生态环境优良的地方, 日本大鲵的种群密度也不超过85.8尾/km(表2)。Okada等(2008)报道日本大鲵的种群密度在1.2-1.3尾/100 m², 生物量在85.9-167.3 kg/hm²^[17]。尽管可能存在种间差异, 日本的溪流生境也跟中国的大江大河不同, 但提示我们应该改变那种动辄几百尾、上千尾放流中国大鲵的模式, 控制放流规模, 以放流成体或亚成体为主, 充分考虑环境容纳量, 包括隐蔽场所、食物资源和繁殖洞穴等环境因子。另外, 在放流前还须对放流个体进行疾病检测和芯片标记, 杜绝将疾病引入野生种群, 放流后加强管护和个体追踪研究, 提升增殖放流的效果。

致谢 在日本京都市、鸟取县、广岛市、东广岛市和兵库县的科

学考察工作,得到松井正文教授、西川完途博士、冈田纯博士、桑原一司博士、田口勇辉博士、清水则雄博士和栃本武良先生的大力支持和协助,并得到日本文化厅的许可;中国科学院成都生物研究所谢锋研究员、江建平研究员对文稿提出修改意见。在此一并表示感谢。

参考文献 [References]

- Kaneko Y, Matsui M. *Andrias japonicus* [M]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2004
- Sasaki C. Some notes on the giant salamander of Japan (*Cryptobranchus Japonicus*, Van der Hoeven.) [J]. *J Coll Sci Imp Univ Jpn*, 1887, **1**: 269-274
- 罗庆华, 刘英, 张立云. 张家界大鲵人工放流效果及其影响因素[J]. 生物多样性, 2009, **17** (3): 310-317 [Luo QH, Liu Y, Zhang LY. Effectiveness of releasing artificially-bred Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) into the wild in Zhangjiajie, Hunan [J]. *Biodiv Sci*, 2009, **17** (3): 310-317
- 栗海军, 喻理飞, 马建章. 贵州岩下自然保护区的野生大鲵资源现状及历史动态[J]. 长江流域资源与环境, 2009, **18** (7): 652-657 [Su HJ, Yu LF, Ma JZ. Population status and history dynamics of wild Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) in Yanxia Natural Reserve in Guizhou province, China [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2009, **18** (7): 652-657]
- 罗庆华, 刘英, 张立云, 陈功建, 康练常. 湖南张家界市大鲵资源调查[J]. 四川动物, 2009, **28** (3): 422-436 [Luo QH, Liu Y, Zhang LY, Chen GJ, Kang LC. Investigation on resources of Chinese giant salamanders in Zhangjiajie City [J]. *Sichuan J Zool*, 2009, **28** (3): 422-436]
- 王杰, 张红星. 命运多舛的娃娃鱼幼苗[J]. 大自然, 2012, **168**: 72-73 [Wang J, Zhang HX. An unfinished life of the larvae of Chinese giant salamander [J]. *China Nat*, 2012, **168**: 72-73]
- Foster RL, McMillan AM, Breisch AR, Roblee KJ, Schranz D. Analysis and comparison of three capture techniques for the Eastern Hellbender (*Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis*) [J]. *Herp Rev*, 2008, **39**: 181-186
- Tochimoto T. Ecological studies on the Japanese Giant salamander, *Andrias japonicus*, in the Ichi River in Hyogo Prefecture. IX. Reproductive Ecology Part 3. The swollen area surrounding the cloacal opening [J]. *J Jpn Assoc Zool Aqua*, 1995, **37**: 7-12
- Kawamichi T, Ueda H. Spawning at nests of extra-large males in the giant salamander *Andrias japonicus* [J]. *J Herpet*, 1998, **32**: 133-136
- Wakabayashi F, Kuwabara K, Ashikaga K, Inoue T, Suzuki N, Kobara J. The study on the protection of Japanese giant salamander *Megalobatrachus j. japonicus*, in Hiroshima Prefecture – 3 The relation between the breeding migration and the weir [J]. *J Jpn Assoc Zool Aqua*, 1976, **18** (2): 31-36
- Kobara J. The giant salamander [M]. Tokyo, Japan: Doubutsu-sha, 1985: 97-103
- Ikoma Y. Collected Works on the giant Salamander (*Megalobatrachus japonicus*) in Japan [M]. Tsuyama City, Japan: Tsuyama Museum of Science Education, 1973: 466-467
- Yamasaki H, Shimizu N, Tsuchioka K, Ueda S, Takamatsu T, Sato K, Kuwabara K. Practical study for conservation of giant salamander *Andrias japonicus* in Toyosaka, Higashi-Hiroshima, Japan [J]. *Bull Hiroshima Univ Mus*, 2013, **5**: 29-38
- Tochimoto T. Ecological studies on the Japanese giant salamander, *Andrias japonicus*, in the Ichi River in Hyogo Prefecture. VIII. Reproductive Ecology Part 2. Fighting [J]. *J Jpn Assoc Zool Aqua*, 1995, **36**: 51-57
- Taguchi Y. Habitat evaluation and conservation planning of the Japanese giant salamander (*Andrias japonicus*) to move upstream [D]. Kyoto: Kyoto University, 2009
- Masui M, Kakinoki S, Iijima S, Morinaga T, Huruya K, Masaki Y, Yamaguchi M, Takemae J, Hunato M, Yamaguchi Y, Hori H. Ecological study of Japanese giant salamander (*Andrias japonicus*) in Hiroshima Prefecture [J]. *Bulletin de l'Institut oceanographique*, 2001, **20** (1): 221-224
- Okada S, Utsunomiya T, Okada T, Felix Z, Ito F. Characteristics of Japanese giant salamander (*Andrias japonicus*) populations in two small tributary streams in Hiroshima Prefecture, western Honshu, Japan [J]. *Herpet Conser Biol*, 2008, **3**: 192-202
- Kuwabara K, Nakagoshi N. Analysis on reproductive behavior of Japanese giant salamander, *Andrias japonicus*—observations on the breeding behavior and notes on the video imagery [J]. *Nat History Nishi-Chugoku Mount*, 2009, **14**: 11-50+DVD
- Okada S, Fukuda Y, Takahashi MK. Paternal care behaviors of Japanese giant salamander *Andrias japonicus* in natural populations [J]. *J Ethol*, 2015, **33**: 1-7
- Suzuki N, Kuwabara K, Ashikaga K, Nakanishi M, Minamigata N, Morimoto H. Breeding of the Japanese giant salamander, *Andrias japonicus*, in a portable artificial nest [J]. *J Jpn Assoc Zool Aqua*, 2000, **41**: 83-87
- 刘国钧. 我国的稀有珍贵动物——大鲵[J]. 动物学杂志, 1989, **24** (3): 43-45 [Liu GJ. Chinese rare precious animal *Andrias davidianus* [J]. *Chin J Zool*, 1989, **24** (3): 43-45]
- 陈广诚. 黔东南武陵山区大鲵的资源现状[J]. 淡水渔业, 1988, **1**: 33, 38 [Chen GC. Resources of Chinese giant salamander in Wuling Mountains of eastern Guizhou Province [J]. *Freshwater Fish*, 1988, **1**: 33, 38]
- 章克家, 王小明, 吴巍, 王正寰, 黄松. 大鲵保护生物学及其研究进展[J]. 生物多样性, 2002, **10** (3): 291-297 [Zhang KJ, Wang XM, Wu W, Wang ZH, Huang S. Advances in conservation biology of Chinese giant salamander [J]. *Biodiv Sci*, 2002, **10** (3): 291-297]
- Wang X, Zhang K, Wang Z, Ding Y, Wu W, Huang S. The decline of the Chinese giant salamander *Andrias davidianus* and implications for its conservation [J]. *Oryx*, 2004, **38**: 197-202
- Murphy RW, Fu JZ, Upton DE, Lema TD, Zhao EM. Genetic variability among endangered Chinese giant salamanders, *Andrias davidianus*. *Mol Ecol*, 2000, **9**: 1539-1547
- 郑合勋, 王小明. 卢氏县大鲵种群年龄结构和性比的初步研究[J]. 动物学杂志, 2004, **39** (6): 50-53 [Zheng HX, Wang XM. Primary researching on population age structure and sex ratios of Chinese giant salamander in Lushi County, Henan [J]. *Chin J Zool*, 2004, **39** (6): 50-53]