

国家一级保护动物安吉小鲵的研究进展

阚霞

浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江 金华

Email: 15589563287@163.com

收稿日期: 2021年4月13日; 录用日期: 2021年5月20日; 发布日期: 2021年5月27日

摘要

安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)隶属于两栖纲(Amphibian)有尾目(Caudata)小鲵科(Hynobiidae)小鲵属(*Hynobius*), 仅分布于三个十分狭窄的区域。安吉小鲵是中国的特有种, 也是我国一级重点保护动物。由于安吉小鲵种群稀少、成活率低且栖息地面积和质量均在持续减少和下降, 2004年被《世界自然保护联盟》(IUCN)濒危物种红色名录ver3.1评估为极危(CR)等级, 因此引起了国内学者的关注。本文主要概述了安吉小鲵自1991年发现以来的研究进展, 并结合目前高通量测序等技术的发展对安吉小鲵的进一步的研究做出了展望, 其对极危动物安吉小鲵的研究和保护措施的制定具有重要的指导意义。

关键词

安吉小鲵, 国家一级保护动物, 研究进展

Research Progress of the First-Grade State Protection Animal *Hynobius amjiensis*

Xia Kan

College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Email: 15589563287@163.com

Received: Apr. 13th, 2021; accepted: May 20th, 2021; published: May 27th, 2021

Abstract

Hynobius amjiensis belongs to the Amphibian, Caudata, Hynobiidae, *Hynobius*, which only distributed in three very narrow distribution areas. *H. amjiensis* endemic to our country and one of the First-Grade State Protection animal in China. Due to the sparse population, the low survival rate, the continuous reduction of habitat area and quality, it was listed as a critically endangered

species (CR) in the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species, therefore, it attracted the attention of domestic scholars. In this article, we mainly summarized the development of research of *H. amjiensis* since its discovery in 1991, and made a prospect combined with the current development of high-throughput sequencing and other technologies for the further research of *H. amjiensis*.

Keywords

Hynobius amjiensis, First-Grade State Protection Animal, Research Progress

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 世界两栖动物的现状

世界自然基金会(World Wildlife Fund, WWF)和伦敦动物学会(The Zoological Society of London, ZSL)所发布的《地球生命力报告》2020 版(Living Planet Report 2020, 图 1)显示, 自 1970 年至 2016 年全球野生动物, 包括哺乳类、鸟类、两栖类、爬行类和鱼类的物种种群数量平均下降了 68%, 尤其在淡水野生动物中, 这个比例达到了惊人的 84%。从世界分布上来说, 据 WWF 此次数据统计, 半个世纪以来, 地球上各大洲的生命力指数均全面下降[1]。

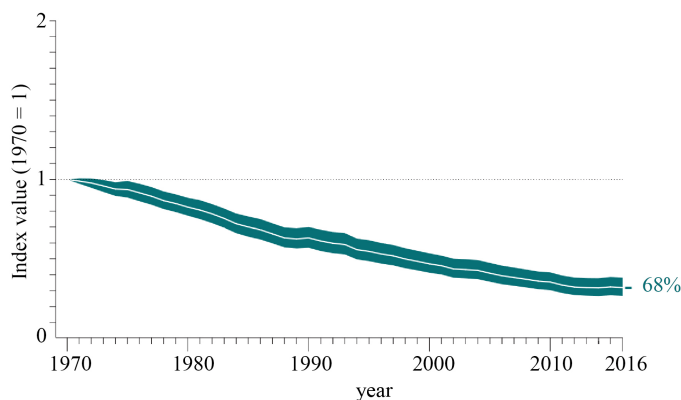


Figure 1. Changes in biodiversity from 1970 to 2016 [1]

图 1. 1970~2016 年生物多样性变化[1]

如图 2 各物种红色名录的指数所示, 在当前极大的生存压力下, 两栖动物(Amphibious)作为第一批登陆的脊椎动物, 首当其冲, 受威胁程度极高[1]。

2004 年, 世界自然保护联盟(IUCN)完成了全球两栖动物的第一次评估[2]。其在 2012 年 IUCN 公布的《濒危物种红色名录》中新增了 19 个两栖类动物, 有 29%的已知两栖动物受到威胁, 其中有八个物种被定为极度濒危物种, 两栖类动物仍然是受威胁最严重的一类动物, 约有 41%濒临灭绝[3]。

2. 中国两栖动物的现状

2016 年蒋志刚等[4]对国内的两栖动物进行了详细的评估, 中国两栖动物中已有一种灭绝, 176 种(包

括极危 13 种、濒危 46 种和易危 117 种)受威胁, 占中国两栖动物物种总数的 43.1%, 明显高于 IUCN 红色名录(2015)评估的全球两栖动物受威胁比例(30.8%)。

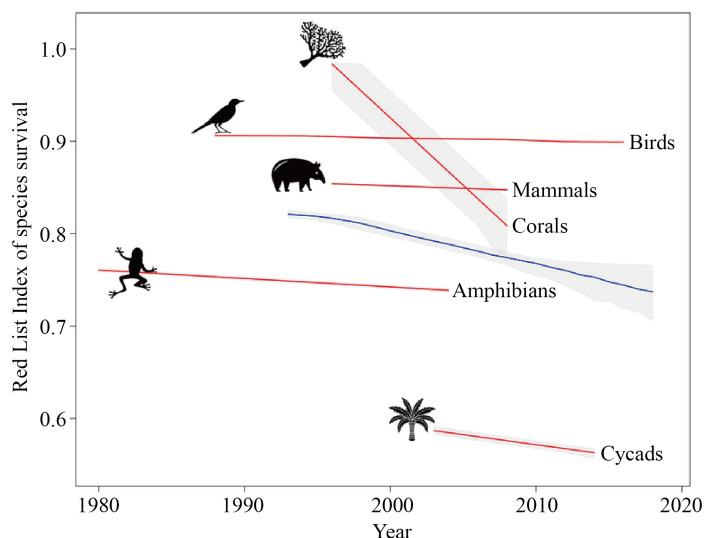


Figure 2. Red list index of species survival [3]
图 2. 各物种生存红色名录指数[3]

在对中国两栖动物特有种的受威胁状况的研究中, 2021 年 3 月公布的国家重点保护野生动物名录显示, 重点保护的 93 个两栖动物中包含有尾目 64 个, 超过一半以上的比例。其中保护级别为一级的两栖类共 7 个, 均为有尾目。这充分说明了, 在两栖动物中, 有尾目的受威胁程度严重高于其它目。自 1989 年来对中国两栖类濒危程度的多次统计均呈现出相同的趋势[4]。

一种有尾目中, 除去隐鳃鲵科(*Cryptobranchidae*)仅有的 1 种外, 小鲵科的受威胁比例(86.7%)是最高的[5]。被评估为极危两栖动物的有 13 种, 主要分散地位于我国的中部和南部。其中极危的有尾目就占 6 种, 即安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)、挂榜山小鲵(*Hynobius guabangshanensis*)、普雄原鲵(*Protohynobius puxiongensis*)、金佛拟小鲵(*Pseudohynobius jinfo*)、辽宁爪鲵(*Onychodactylus zhaoermii*)、新疆北鲵(*Ranodon sibiricus*) [5]。其中安吉小鲵、挂榜山小鲵、普雄原鲵、辽宁爪鲵同在国家重点保护野生动物名录被列为国家一级保护动物[6]。

3. 安吉小鲵的研究进展

3.1. 安吉小鲵分类地位及简介

安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)于 1991 年在安吉龙山海拔 1300 米的泥炭藓沼泽地首次发现而命名[7]。其隶属于两栖纲(Amphibian)有尾目(Caudata)小鲵科(Hynobiidae)小鲵属(*Hynobius*), 是中国的特有种, 同时也是浙江省有尾目小鲵科仅有的两科之一。

如图 3 所示, 安吉小鲵的体型相对较大, 成体的雌性安吉小鲵全长约为 153~166 mm, 头体长约为 79.5~86.5 mm, 成体的雄性安吉小鲵全长约为 166 mm, 头体长约为 85 mm。其头部卵圆形而平扁, 头长略大于头宽。躯干粗壮而略扁。尾基部近圆形, 向后逐渐侧扁。安吉小鲵身体背部皮肤光滑, 眼后至颈褶有一条纵肤沟。四肢较细长, 前、后肢贴体相对时指、趾端重叠或互达掌、跖部。成体主要生活在沼泽地里泥炭藓下的腐殖质层中, 以多种昆虫及蚯蚓等小动物为食[8] [9]。

其当前的分布地区非常狭窄，仅在浙江安吉小鲵国家级自然保护区(原安吉龙王山自然保护区) [1]、浙江临安清凉峰国家级自然保护区[10]和安徽绩溪清凉峰国家级自然保护区[11]有详细报道。由于安吉小鲵种群稀少、成活率低且栖息地面积和质量均在持续减少和下降等原因，2004年安吉小鲵被《世界自然保护联盟》(IUCN)濒危物种红色名录 ver3.1 评估为极危(CR)等级[12]，同时被《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CTIES) (2019-11-26)附录 III 收录，目前已成为国家一级保护动物[13]。



Figure 3. The adult of *H. amjiensis* (Quoted from the website: <http://www.amphibiachina.org/species/120>)

图 3. 安吉小鲵成体(引自中国两栖类网站)

3.2. 安吉小鲵种群数量及分布的研究

1991年顾辉清等发现了安吉小鲵的第一个分布地，其位于安吉龙王山1300米左右的千亩田泥炭藓地，总面积只有19000立方米，仅分布在其中的一个低洼处和周围分布的9个水坑中[7] [14] [15]。接下来七年连续的观察发现，其中，1992年种群数量最多，为372条，1995年种群数量最少，仅为164条，平均每年262条。

2002年4月傅萃长等人在浙江省临安市清凉峰国家级自然保护区发现了安吉小鲵的另一个种群，其位于海拔1600m处的沼泽地内，面积仅有3380立方米[16] [17]。2010年~2011年叶林俊等人[18]对该地的安吉小鲵种群进行研究调查过，共发现安吉小鲵成体12条，其中包含雄性个体3条，雌性个体9条，卵袋15对。在安吉小鲵栖息地的分布上，顾辉清[14]之前发现了9个水坑，但是随着时间的推移和环境的变化，由于腐殖质的沉淀等原因有些水坑已经变浅变小甚至消失，仅发现了6个水坑，且仅在4个水坑中发现卵胶囊。2011年到2013年间，郭瑞[15]等人在临安清凉峰国家级自然保护区共发现了8个水坑，连续三个产卵数分别为92、98、95对，平均每年产卵量95对。

2013年李永民等人安徽绩溪清凉峰国家级自然保护区发现了一个新的分布位点，其位于海拔1480m处核心区的高山草甸中，共在六个水坑中发现16个卵带[11]。以上是文献报道的安吉小鲵所有已知分布地。安吉小鲵种群数量的增多，为安吉小鲵进一步繁殖生态学、核型以及分子生物学等方面的研究提供的材料和基础。

3.3. 安吉小鲵生境特征研究

在威胁生物多样性的众多因素中，栖息地的丧失以及生境的破化是造成濒危物种种群濒临灭绝最主要的原因[19]，了解安吉小鲵现有种群的生境特征以及生态因子对安吉小鲵的保护具有重要意义。安吉小

鲩一般生活在富含泥炭藓腐殖质的沼泽地中，泥炭藓腐殖质厚底在 1.5 m 以上，疏松如海绵。沼泽地势平缓伴有泥洼，周围环绕着很多蕨类植物、禾本科植物、灌木丛和少数黄山松等乔木[14] [15]。生态类型属于水栖静水型。为了探究生境中具体的生态因子对安吉小鲩生存的影响，叶林俊和王明胜分别在安吉小鲩国家级自然保护区和安徽清凉峰国家级自然保护区先后对显著影响安吉小鲩的生态因子进行了研究，结果发现安吉小鲩更倾向于生活在鼓励小型水体 ≤ 50 m，地表湿度 60.1%~80%，土壤湿度 50%~60%，地表温度 $\leq 6^{\circ}\text{C}$ 人为干扰相对较少而饵料生物相对较多的生境，同时水体较深，水质更好的水坑更有利于安吉小鲩的产卵和发育[18] [20]。

3.4. 安吉小鲩繁殖生物学研究

安吉小鲩非繁殖期营陆生生活，繁殖期的小鲩进入水中且幼体发育必须生活在水中[20]。不同位点的安吉小鲩因其存在的气候差异繁殖期时间略微不同，大致为每年的 11 月下旬到次年的 4 月[14] [21]。

安吉小鲩繁殖时，每个雌鲩产下的一对卵胶囊，粘在坑边的枯枝和水草上，有的隐藏于水坑边的水草之下，以躲避天敌的捕获和人类的干扰。卵胶囊白色透明，卵及状态显而易见，安吉小鲩的卵呈圆形，动物极黑色，植物极灰白色。卵袋直径 3.3 ± 0.2 厘米，长约 28.7 ± 3.5 厘米，卵径 2.97 ± 0.21 毫米[21]。

据顾辉清等观察安吉小鲩每对卵胶囊含卵 140~174 粒，平均约有 157 粒。在正常的环境条件下，每对胶囊中未受精的卵仅有 1-2 粒，受精率在 99% 以上。产卵后，雌性先离开水坑，雄性在水中逗留时间较长，受精卵在卵袋中发育，直到发育成蝌蚪状的幼体，突破卵袋，生活在水中，一般需要 3 年才能性成熟。虽然安吉小鲩的受精率和孵化率非常的高，但是安吉小鲩孵化后同种相残现象严重，使得幼体的成活率不到 1% [14]。针对同种相残的现象，傅萃长等人[16] [17]通过探究密度、饵料投放量、大小等级和大小组合对安吉小鲩幼体同种相残的影响，发现随着安吉小鲩体型大小差异的增加，同种相残的程度就会增加，体型较大的个体趋向于攻击体型小的个体；低饵料高密度的情况的下幼体之间同种相残的概率会明显增加；同时不同的大小组合对同种相残也有明显的影响，随着个体差异的增加，不同个体之间的竞争将会转换成同种相残的现象，因此安吉小鲩在分布密度低、大小差异不明显且饵料充足的生存环境下会减轻安吉小鲩幼体之间的同种相残。关于安吉小鲩生长繁殖的研究帮助我们针对安吉小鲩存在的同种相残等问题采取相应的保护策略以增加安吉小鲩的存活率，进而保护安吉小鲩。

3.5. 安吉小鲩人工繁育等保护策略的实施

自安吉小鲩在安吉龙王山自然保护区发现以来，保护区将安吉小鲩及其栖息地的保护列为保护区重点建设项目之一，先后进行了栖息地保护、湿地修复、人工繁育等工作。为了减少安吉小鲩同种相残现象的发生，2008 起保护区开始进行人工繁育工作，通过不断调整和改进，最终选用仿生态人工环境繁育的方式进行人工培育。待安吉小鲩生长成能自主捕食的亚成体之后将其放归自然环境[22]。2010 年~2013 年累计放归成体 740 条，经统计，经过人工繁育后放归的安吉小鲩存活率能提高 30% [23]。2017 安吉龙王山自然保护区从省级升格为国家级，并命名为浙江安吉小鲩国家级自然保护区，这也是浙江省目前唯一以动物命名的国家级自然保护区[24]。

浙江临安清凉峰国家级自然保护区发现的小种群相对较晚，为了避免幼体之间同种相残的现象，2019 年开始对安吉小鲩的繁殖进行人工干预来保护较晚破卵而出的个体，以提高种群的存活率进而增加种群数量。2020 年七月完成了首次放归，共计成体 100 尾[25]。

3.6. 安吉小鲩的核型研究

早在 20 世纪的时候，就有学者对小鲩属、小鲩科的核型进行了研究[26] [27]。曾晓茂等对活体胚胎的研究发现，安吉小鲩和小鲩科的东北小鲩和极北鲩的核型存在着极大的相似之处，他们的染色体组成

都是 $2n = 56$ ，并且他们在染色体数量上没有差别，他们的 28 对染色体根据大小形状均可以分为大型染色体组、重型双臂染色体组、小型中着丝点染色体组和小型端着丝点染色体组四组，且绝大多数相应的染色体对类型一致。仅有一些由于着丝点类型和染色体对改变等导致臂间倒位式染色体重组差异[26]。日本学者对日本、朝鲜、中国台湾等地的小鲵属物种进行了研究，并将其归纳为池塘型和高山溪流型两种生态型。前者大多是 $2n = 56$ 的染色体组成，后者主要是 $2n = 58$ 的染色体组成[27]。而我国的安吉小鲵属于水栖静水型，所处的水环境是渗透性静水或缓水流[15]，这日本的池塘型物种相吻合。

3.7. 安吉小鲵分子生物学研究

分子生物学的发展使得生物学研究开始从形态学水平和细胞水平逐渐发展为分子水平，这使得我们可以从生物大分子的结构组成和功能上阐述科学问题。安吉小鲵的系统发育关系研究主要基于线粒体基因和核基因。2006 年，Zhang 等[28]基于 15 个亚洲小鲵的安吉小鲵线粒体基因组全序列进行分子系统发育分析显示，亚洲小鲵科物种的分歧时间约为 62.5 Mya (Million years ago)。为避免利用线粒体 DNA 的高突变率的影响，2011 年 Zheng 等[29]使用 3 个核基因对小鲵科分歧时间进行了评估，结果为 36 Mya。2015 年，Chen 等[30]基于长为 29,232 bp 的 29 个核基因，对 24 个小鲵科的物种进行了系统发育分析，估算出小鲵科分化的时间大约为 40 Mya。。

2016 年代亚如[31]选用 MHC (Major histocompatibility complex)基因、细胞色素 b (Cytochrome b)、重组活化基因 2 (Recombination activating gene)三种分子标记，对安吉小鲵的遗传多样性、遗传结构、系统发育关系、种群历史动态等进行研究，安吉小鲵曾发生过种群扩张，且各种群之间的分化程度非常高。同年，Yang 等人[32]通过对来自三个种群的 45 个个体的线粒体细胞色素 b 基因的基因分型，检测到安吉小鲵种群具有较低的单倍型多样性($h = 0.524$)和核苷酸多样性($\pi = 0.00532$)，数据推断安吉小鲵系统发育的两个分支在 1.262 百万年前已经开始分化，同时历史动态分析中安吉小鲵的有效种群大小并没有类似于种群扩张和瓶颈效应等引起的巨大数量改变。

4. 展望

由于安吉小鲵种群数量少且规模小，生存压力大等原因引起了国内学者的关注，但是也正因其规模小，使其在理论研究上受到取样困难等方面的限制研究主要集中在种群数量[14] [15] [16] [17] [18]、生境特征[18] [19] [20]、繁殖生态学[14]-[21] [24]、人工繁育[22] [23] [24] [25]、核型[26] [27]以及基于线粒体和部分核基因的分子生物学研究[28] [29] [30] [31] [32]。在分子遗传学和保护基因组学方面的研究甚少，缺少密集、精确的分子标记与高通量测序技术优势结合的研究，在保护管理计划的制定和实施中缺乏遗传学和基因组水平上的有力支撑。因此，在安吉小鲵的保护研究中借助高通量测序获取高密度的多态性位点进行种群遗传多样性研究显得更为可靠且尤为重要。

此外，尽管安吉小鲵保护区已经采取了一些相应的保护措施，其仍然与理论研究之间存在着一定程度的脱节。一方面，需要加强关于安吉小鲵现有种群的遗传现状研究。对安吉小鲵不同种群的遗传多样性及种群近交繁殖现状的了解，将有利于针对性的采取人工繁育以及人工引入等措施增加种群的遗传多样性；对安吉小鲵种群结构的掌握，以及选择下的种群结构，将有理由针对性的建立管理单元和适应性单元，对安吉小鲵种群进行不同区域的保护；对安吉小鲵基因流现状的了解，将会了解种群的基因交流现状以及针对性的建立生态走廊，以减少人为干扰等方面的影响，促进不同种群之间的基因交流；对安吉小鲵现有种群大小的研究将有利于了解安吉小鲵的进化历史，进而更好的实现对安吉小鲵的保护。另一方面，为了使理论研究更具有更高的应用性，保护区和学术研究者之间应该进一步增加沟通和交流，进一步了解保护管理中遇到的问题，进而针对性的提供理论研究的支持。我相信，在保护区和广泛学者

们的努力下, 安吉小鲵的种群濒危现状将会进一步的改善并为其他小鲵科物种的研究提供一定的理论指导和支持。

参考文献

- [1] Almond, R.E.A., Grooten, M. and Petersen, T. (2020) Living Planet Report 2020—Bending the curve of biodiversity loss. World Wildlife Fund, Gland, Switzerland.
- [2] Baillie, J., Hilton, C. and Stuart, S.N. (2004) IUCN Red List of Threatened Species: A Global Species Assessment. International Union for Conservation of Nature—The World Conservation Union, Gland.
- [3] Taylor, C., Groenendijk, J., Hájek, F., *et al.* (2012) IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature-The World Conservation Union, Gland.
- [4] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 李立立, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 500-501.
- [5] 江建平, 谢锋, 臧春鑫, 蔡蕾, 李成, 王斌, 等. 中国两栖动物受威胁现状评估[J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 588-597.
- [6] 中华人民共和国中央人民政府. 中国野生动物保护法[Z]. 1989.
- [7] 顾辉清. 小鲵属一新种——安吉小鲵[M]//中国动物学会. 中国动物科学研究. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 温涛, 谢锋, 江建平, 郑中华. 中国有尾两栖动物的多样性保护及俗名探析[J]. 水生态学杂志, 2005, 25(2): 64-66.
- [9] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2012: 32-33.
- [10] 陈素萍. 天目山保护区再现安吉小鲵——全世界只有安吉有与大熊猫一样珍贵[N]. 青年时报, 2011-3-15.
- [11] 李永民, 吴孝友, 方国富, 顾长明. 安徽发现安吉小鲵[J]. 动物学杂志, 2013, 48(4): 526-528.
- [12] Gu, H.Q. and Michael, W.N.L. (2004) *Hynobiusamjiensis*. In: *The IUCN Red List of Threatened Species*, International Union for Conservation of Nature, Gland, e.T59089A11869355.
- [13] 中华人民共和国中央人民政府林业局和农业部. 国家重点保护野生动物名录[Z]. 2021.
- [14] 顾辉清, 马小梅, 王珏, 杜振华, 楼信权. 安吉小鲵种群数量和数量动态的研究[J]. 四川动物, 1999(3): 9-11.
- [15] 郭瑞, 章叔岩, 翁东明, 程樟峰, 王军旺, 王旭池, 等. 安吉小鲵种群现状及保护对策[J]. 浙江林业科技, 2013(5): 109-112.
- [16] 傅萃长, 饶初, 吴纪华, 陈家宽, 雷光春. 密度和巧料投放量对安吉小鲵幼体生长与同种相残率的影响[J]. 动物学研究, 2003, 24(3): 186-190.
- [17] 傅萃长, 孙娴斐, 王心怡, 陈家宽, 吴纪华. 大小等级和大小组合差异对盆养安吉小鲵幼体同种相残率的影响[J]. 动物学研究, 2003, 26(6): 407-412.
- [18] 叶林骏. 安吉小鲵生存现状及其繁殖期生境特征研究[D]: [硕士学位论文]. 金华: 浙江师范大学, 2012.
- [19] Tilman, D. (2001) Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*, **292**, 281-284. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>
- [20] 王明胜. 安徽省清凉峰国家级自然保护区安吉小鲵栖息地特征分析及人工繁育研究[D]: [硕士学位论文]. 芜湖: 安徽师范大学, 2017.
- [21] 陈苍松, 杨佳, 俞立鹏, 郭瑞. 极危动物安吉小鲵繁殖生物学研究[C]//浙江省动物学会. 浙江省动物学会第十三次会员代表大会暨学术研讨会. 2018.
- [22] 俞立鹏. 多一条安吉小鲵多一份物种延续的希望[J]. 浙江林业, 2014(4): 32-33.
- [23] 王逸群, 郑丽飞, 梅冰清, 陈玉萍, 郭瑞. 大规模仿生态人工繁育成功 100 余尾安吉小鲵“回家”了[EB/OL]. https://hangzhou.zjol.com.cn/jrsd/bwzg/202007/t20200731_12183697.shtml, 2020-04-21.
- [24] 中华人民共和国中央人民政府. 我国新建 17 处国家级自然保护区[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-07/13/content_5210263.htm, 2017-07-13.
- [25] 浙江省林业局. 仿生态人工繁育安吉小鲵在清凉峰首次放归[EB/OL]. http://lyj.zj.gov.cn/art/2020/7/31/art_1276365_53829034.html, 2020-07-31.
- [26] 曾晓茂, 费梁, 叶昌媛, 江建平. 三种小鲵和极北鲵的核型[J]. 动物学研究, 1997, 18(3): 341-345.
- [27] Matsui, M., Seto, T. and Miyazaki, K. (1985) The Karyotype of *Hynobiustakedai* with Comments on the Karyotypic

-
- Relationships among Japanese Salamanders of the Genus *Hynobius*. *Japanese Journal of Genetics*, **60**, 119-123.
- [28] Zhang, P., Chen, Y., Zhou, H., Liu, Y.-F., Wang, X.-L., Papenfuss, T.J., *et al.* (2006) Phylogeny, Evolution, and Biogeography of Asiatic Salamanders (Hynobiidae). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**, 7360-7365. <https://doi.org/10.1073/pnas.0602325103>
- [29] Zheng, Y., Peng, R., Kuro-o, M. and Zeng, X. (2011) Exploring Patterns and Extent of Bias in Estimating Divergence Time from Mitochondrial DNA Sequence Data in a Particular Lineage: A Case Study of Salamanders (Order Caudata). *Molecular Biology and Evolution*, **28**, 2521-2535. <https://doi.org/10.1093/molbev/msr072>
- [30] Chen, M.-Y., Mao, R.-L., Liang, D., Kuro-o, M., Zeng, X.-M. and Zhang, P. (2015) A Reinvestigation of Phylogeny and Divergence Times of Hynobiidae (Amphibia, Caudata) Based on 29 Nuclear Genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **83**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.10.010>
- [31] 代亚如. 安吉小鲵 MHCII 类基因及系统地理学研究[D]: [硕士学位论文]. 金华: 浙江师范大学, 2016.
- [32] Yang, J., Chen, C.S., Chen, S.H., Ding, P., Fan, Z.Y., Lu, Y.W., *et al.* (2016) Population Genetic Structure of Critically Endangered Salamander (*Hynobius amjiensis*) in China: Recommendations for Conservation. *Genetics and Molecular Research*, **15**, gmr.15027733. <https://doi.org/10.4238/gmr.15027733>