

中国淡水鱼类人工增殖放流现状

杨君兴^{1,*}, 潘晓赋¹, 陈小勇¹, 王晓爱^{1,2}, 赵亚鹏^{1,2}, 李建友³, 李再云¹

1. 中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室, 云南 昆明 650223
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 云南省会泽县水产工作站, 云南 会泽 654200

摘要: 随着鱼类资源的持续衰退以及保护水产学的兴起, 鱼类人工增殖放流已由传统渔业增殖发展成为特有珍稀鱼类种群恢复的主要技术手段。近年来, 我国淡水鱼类人工增殖放流涉及水系多、规模大且种类丰富, 取得了显著效果并积累了大量基础资料和经验。为深入开展人工增殖放流基础研究, 规范技术并提升生态效益, 该文收集整理了国内、外相关文献资料, 分别从基础理论、塘养种群管理及效果评价等方面阐述人工增殖放流的理论背景, 并结合我国“四大家鱼”、中华鲟、胭脂鱼、滇池金线鲃及其他珍稀濒危鱼类人工增殖放流现状, 讨论了野外监测和效果评价的作用和意义, 提出放流种群遗传局限性、数量和规格权衡以及经济效益与生态效益权衡等问题, 旨在为相关研究和人工放流实践提供系统资料。

关键词: 淡水鱼类; 人工繁殖; 增殖放流; 中国

中图分类号: Q145+.1; Q959.4 文献标志码: A 文章编号: 0254-5853-(2013)04-0267-14

Overview of the artificial enhancement and release of endemic freshwater fish in China

Jun-Xing YANG^{1,*}, Xiao-Fu PAN¹, Xiao-Yong CHEN¹, Xiao-Ai WANG^{1,2}, Ya-Peng ZHAO^{1,2}, Jian-You LI³, Zai-Yun LI¹

1. State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China
2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Fishery Station of Huize, Huize 654200, China

Abstract: Due to declining fishery resources and the growing development of conservation aquaculture, artificial freshwater fish enhancement and releasing have begun to replace traditional means of recovering endemic and rare fish populations. Artificial proliferation can be beneficial both to endemic fish conservation and technical bottleneck breakthroughs. This overview presents a review of the latest research and the underlying principles behind the conservation implementation processes, as well as the research status of artificial enhancement and release of endangered freshwater fish species in China, such as *Mylopharyngodon piceus*, *Ctenopharyngodon idellus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *H. nobilis*, *Acipenser sinensis*, *Myxocyprinus asiaticus*, and *Sinocyclocheilus grahami*. The overview also presents evolutionarily significant units, sperm and egg quality, and cryopreservation technologies and cell cultures used in artificial enhancement and release, which help standardize genetic management and minimize the genetic differences between hatched and wild populations. Monitoring fish from cultivation to release is essential to evaluating wild population recovery and adjusting recovery plans. Moreover, the remaining problems of artificial releases are discussed in-depth, touching on issues such as the limitations of domestic hatching, the base number of wild populations necessary to the environment, the proper size at which to release juveniles' into the environment, the geographic confusion of populations, the contradictions in commercial fish selection and fish conservation, and "exotic species" invasion.

Keywords: Freshwater fishes; Artificial propagation; Enhancement and release; China

收稿日期: 2013-02-21; 接受日期: 2013-04-26

基金项目: 全球环境基金会/世界银行项目 (GEF-MSP grant) (TF051795); 云南省应用基础研究面上项目 (2012FB183); 科技基础性工作专项 (2012FY111200); 云南省发展和改革委员会项目 (滇中主要湖泊土著特有鱼类迁地保育人工繁殖与可持续利用试验示范); 中国科学院西部之光项目 (292006312D11033); 云南大唐国际李仙江流域水电开发有限公司委托项目; 国家电力公司云南阿墨江发电有限公司委托项目; 云南省牛栏江—滇池补水工程建设指挥部委托项目

*通信作者 (Corresponding author), E-mail: yangjx@mail.kiz.ac.cn

为减少我国大规模水电工程开发对河道鱼类资源产生的不利影响, 鱼类保护措施备受关注。目前, 我国鱼类保育方法主要包括建立土著鱼类资源自然保护区、过鱼措施和人工增殖放流等。建立土著鱼类资源自然保护区为就地保护策略; 过鱼措施为工程补偿措施, 包括修建鱼道、机械过鱼和网捕过坝等; 这两种措施在国内鲜见报道 (Yang et al, 2011c)。鱼类人工增殖放流属于迁地保护的范畴, 是指通过向公共水体投放由人工繁殖而获得的苗种或经人工培育后的天然苗种, 以达到恢复其自然种群的目的 (Deng & Ye, 2001; Doherty, 1999)。鱼类增殖放流是主动增殖资源的活动, 是国内、外通用的养护水生生物资源、修复水域生态和促进渔业增效的有效手段。在鱼类保育实践中, 应多种措施并行, 相辅相成。

过去, 由于对水产养殖和人工繁殖技术的认识存在误区, 鱼类种群恢复计划为了最大限度保持濒危鱼类的野生状态, 常将鱼类增殖放流排除在外。濒危鱼类种群数量逐渐减少甚至接近灭绝时, 增殖放流才被认为是拯救野外鱼类种群所能采取的最后手段 (Anders, 1998)。人工增殖放流技术的广泛应用使得许多土著鱼类能够在最后的庇护所 (鱼类增殖站和各类鱼类养殖场) 内生存, 并为突破其人工繁殖技术提供可能 (Yang et al, 2011c)。鱼类增殖放流是目前鱼类保护较为行之有效的方法。

近年来, 国家和地方对渔业增殖放流的支持力度逐年加强, 从 2005 年起, 增殖放流的投入稳步增加, 种类亦不断增多, 呈多样化趋势。据统计, 2007—2009 年全国共投入资金 11.64 亿元, 在近海海域和内陆重要江河湖泊放流各类重要水生生物苗种 636.6 亿尾 (粒), 取得了良好的生态效益、经济效益和社会效益。2010 年全国增殖放流投入资金达 7.1 亿元, 同比增长 20%; 共放流苗种 289.4 亿尾, 同比增长 18.2%; 组织放流活动超过 1700 次, 放流种类在 100 种以上, 且主要为水生经济种类和珍稀濒危物种 (China Association for Science and Technology, 2012)。本文综述了我国珍稀濒危土著鱼类实施增殖放流保护工作取得的成效及存在问题, 旨在探讨该工作在珍稀特有鱼类种群保护与恢复中的作用与地位, 预测其发展趋势, 为塘养鱼类种群遗传管理以及野生鱼类种群的保护和恢复工作提供参考。

1 鱼类人工增殖放流的理论基础

1.1 保护水产学的兴起

20 世纪 80 年代初, 随着生物多样性危机问题的日益突出和有关研究资料的积累, 人们越来越重视经济活动对环境的污染和野生物种的生存危机。在保护和恢复日益增多的濒危鱼类种群的实践中, 保护水产学 (conservation aquaculture) 逐渐被提及。保护水产学是指利用水产学理论与实践保护和恢复濒危鱼类种群 (Anders, 1998; Helfman, 2007; Yang et al, 2011c), 其核心内容是根据保护生物学与水产学的基本理论及原理, 采用鱼类繁育计划逐步恢复濒危物种的野外种群。它以种群生物学、分类学及生态学等基础生物学理论为理论基础。其中, 基础生物学为资源管理提供原理和新方法, 又从应用领域获取经验进而影响基础科学研究方向。鱼类繁育计划是当前国际上保护和恢复重要鱼类种群的最主要方式之一 (Helfman, 2007)。保护水产学根据科学的保护原则确定保护对象, 通过正确的保护程序, 实现生物多样性和生物资源的保护、有效管理和持续利用, 是纯科学研究与经营管理之间的沟通渠道。

1.2 鱼类人工增殖放流原则

鱼类人工增殖放流活动应遵循保护水产学的理念和原则。鱼类人工增殖放流计划是当鱼类原有生境被破坏甚至不复存在或生存条件突然变化导致物种数量下降至极低水平, 自然种群无以为继时, 通过对塘养鱼类的饲养观察, 深入了解保护鱼类的生长、发育和生殖等生物学特征, 探索各生态因子与鱼类生存的关系, 为鱼类重新回归野外生境提供科学依据。实施原则为: 增殖放流对象选择依照濒危、易危及稀有的顺序, 依据保护计划的近、远期目标, 选择分布区狭窄、抗逆能力差且易驯养繁育种类为优先保护对象。保护对象确定后, 综合分析保护鱼类的资源现状、生态生物学特点及栖息地变化程度等因素结合监测信息, 设计增殖方案和放流方案。

1.3 鱼类人工增殖放流研究内容

鱼类人工增殖放流主要研究内容包括: 增殖站设计、野生亲鱼种源收集、鱼类人工增殖技术研发和鱼苗放流与监测四个方面。主要研发的技术内容包括: 摄食生态、驯养繁育、苗种饲养、鱼病防治、

遗传管理、人工放流与种群监测七个方面 (Yang et al, 2011c)。在研发过程中, 要建立一定规模的塘养繁殖种群, 突破其人工繁殖技术, 为大规模生产鱼苗奠定基础。同时, 还要保护好鱼类栖息地, 以最终达到有效保护和恢复其种群的目的。

2 塘养种群管理

塘养种群与其野外种群具有许多相似的生物过程, 塘养种群管理目标为最小化塘养种群与野外种群的遗传分歧, 保持两者在生物学意义和活力上的相似度。

2.1 池塘管理

2.1.1 日常管理

由于缺乏长期的人工驯化, 珍稀鱼类塘养环境的日常管理与常规养殖品种有所不同。具体表现在池塘环境营造、水环境管理、人工饵料配制与投喂、鱼病防治和越冬管理等方面。由于栖息环境变化, 野生鱼类对外界反应 (例如声音及人的活动等) 十分敏感。在池塘驯养过程中, 环境营造至关重要, 需详细分析珍稀鱼类分布区内天然饵料丰度、野生鱼苗鱼种食性, 配制出适用于人工培育鱼苗鱼种的饵料以降低鱼苗鱼种死亡率。驯化过程中, 野生鱼类患细菌性、真菌性和寄生虫疾病的风险很高, 常使驯养种群遭受“灭顶之灾”。且珍稀特有鱼类的疾病种类和发病规律都可能与普通养殖鱼类不同, 需要在实践中探索和寻找相应的治疗措施。

2.1.2 人工繁育

塘养环境下, 很难观察到许多珍稀鱼类产卵前相互发情追逐和自然产卵的现象。池塘养殖环境下难以实现自然繁衍, 可能与珍稀鱼类的生殖功能紊乱有关 (Mylonas & Zohar, 2007; Cabrita et al, 2009; Pan et al, 2009b), 而生殖功能紊乱主要由捕获诱发的压力和繁殖条件的缺乏所引起 (Mylonas & Zohar, 2007; Cabrita et al, 2009)。因此, 在亲鱼培育管理中要最大限度降低捕获诱发的压力, 并尽量提供适合的养殖条件, 如池塘大小、水质、光周期和产卵基质等 (Mylonas & Zohar, 2007; Zohar & Mylonas, 2001)。但是, 对于许多鱼类而言, 不可能完全模仿鱼类繁殖季节的生态环境, 因此, 常需要注射高效鱼类催产剂诱导鱼类产卵产精。鱼类催产剂的应用是我国大多数江河和湖泊鱼类突破繁殖瓶颈的有效手段之一 (Yang et al, 2007; Pan et al, 2009b; Lin, 2011)。通过催产剂种类和剂量的搭配,

可以获得不同的催产效果 (Liu et al, 2002, 2007; Yan et al, 2009)。对于催产剂的研究多集中在如何获得更多的卵子、精子和鱼苗, 而对催产剂的作用机制及其对亲鱼的影响关注较少。实际上, 催产时机和效应时间等因素在一定程度上决定了鱼卵质量 (Pan et al, 2011)。另外, 人工繁育目的是获得高质量的鱼苗, 实践证明提供适合的、营养全面的饵料, 能提高亲鱼催产率, 获得高质量鱼卵和鱼苗, 同时, 也是鱼苗健康生长的前提。

2.1.3 精、卵质量评价

卵子和精子质量评价体系的建立有助于改进和完善亲鱼培育方案, 是获得大量高质量鱼卵仔鱼的基础 (Pan et al, 2011)。而在人工繁殖实践中, 研究多集中在繁殖技术的探讨, 忽视了精、卵质量在人工繁殖中的重要性 (Pan et al, 2009a; Wang et al, 2012a)。

池塘管理的一项重要任务是保证人工增殖对象的配子质量。塘养环境下, 生殖功能紊乱多见于雌鱼, 因此卵子质量备受关注 (Pan et al, 2009b)。通常认为, 同种鱼卵卵径大的质量优于卵径小的。影响鱼卵大小的因素很多, 如雌鱼食物时空变化、性成熟年龄、捕食和自身体长等 (Brooks et al, 1997)。同时鱼类培育过程中, 雄鱼的精液品质也不容忽视。它也直接影响了鱼种的受精率和繁殖率 (Wang et al, 2012a)。精子质量评价一般采用精子密度、活力、寿命、快速与慢速运动时间、形态、内能、膜完整性和 DNA 状况等指标 (Cabrita et al, 2010; Fauvel et al, 2010), 但其在塘养种群管理中的应用还不甚广泛。

2.1.4 仔稚鱼质量评价

仔稚鱼的质量关乎水产品的数量和质量。仔稚鱼质量可以依据体色、游泳能力、形态学度量 and 理化分析等来判断。在以放流为目的的鱼苗生产质量控制和研究中, 降低仔稚鱼的外部畸形非常重要 (Vay et al, 2007)。在渔业生产的长期实践中已发展出了众多提高仔稚鱼质量的技术, 但是效果不佳, 畸形率仍很高, 影响其放流后的生存力 (Tsukamoto et al, 1997)。造成畸形的原因很多, 如环境、营养和遗传等因素。环境因子主要有温度、光照和盐度等 (Bolla and Holmefjord, 1988; Haddy & Pankhurst, 2000)。珍稀鱼类保护实践中, 要不断筛选健康优质的仔稚鱼作为放流对象和后备亲鱼。筛选过程中要注意分析导致仔稚鱼畸形的原

因,同时不应受鱼类经济性状影响,客观筛选放流仔稚鱼。

2.2 遗传管理

濒危鱼类塘养种群的遗传管理是鱼类保护的重要环节。鱼类增殖放流的每一步骤都有可能产生遗传危害,如种群灭绝或因选育造成的种群内和种群间遗传多样性丧失等。因此,在增殖放流的种群遗传管理中需注意亲鱼的收集方式、人工繁育设计模式、苗种的饲养方法和放流模式等关键问题(Vay et al, 2007)。

2.2.1 进化显著单元

遗传多样性调查是遗传管理的基础,通过应用染色体多态性检测、同工酶检测和 DNA 多态性分析等各种技术手段获得形态水平、蛋白质水平和 DNA 水平等不同层次的数据,从而建立物种的“遗传背景档案”,并确定动物保护单元,即进化显著单元(ESU, evolutionarily significant unit)(Princée, 1998; Ji & Su, 1999),根据不同种群在历史上是否具有生态或遗传互换性来对种群进行分类,并分别进行管理。在实践中,需尽可能多地收集不同地区的种群,分别饲养,科学管理,适时进行或避免种群间杂交,防止种群质退化。

在鱼类种群恢复计划中,必须明确繁殖用亲鱼的分类地位根据不同放流区域选择不同繁殖种群。在鱼类增殖站内分别饲养,采取必要措施预防种群混淆。对于野外引种困难,确实需要从放流区域外引种的种群,一定要谨慎进行。在收集到的野外种群中,选择与放流区域属同一进化显著单元,且亲缘关系最近的种群作为该放流区域的备选繁殖亲鱼。例如,滇池金线鲃(*Sinocyclocheilus grahami*)遗传多样性研究的线粒体 DNA 结果显示其具有较高的遗传多样性,因此将所研究的 7 个种群归为一个进化显著单元(Chen et al, 2009),形态度量学分析结果也支持该结论(Min et al, 2009),为滇池金线鲃进化显著单元的确定提供了充实证据。但所研究标本多系龙潭种群,缺乏河流种群,因此,有必要进一步确定龙潭各种群与河流种群是否属同一进化显著单元。

对于鱼类塘养种群而言,同一进化显著单元中的不同世代在形态和 DNA 水平上的差异可能并不显著,而同一物种的不同进化显著单元可能在长期的塘养条件下,随着世代增加而表现出更多的趋同性状。因此,除了遗传上的改变,在养殖实践中应

更多关注表型或生活型的改变(Ji & Su, 1999; Meuwissen, 2009)。而生活型的差异将更多依赖于卵子、精子和细胞水平的研究。

2.2.2 有效种群大小

保护鱼类多样性的一个重要任务是使种群保持一定程度的遗传多样性,进而保障物种未来的适应能力、扩散能力以及在自然环境下的种群重建能力。依据动物迁地保护理论,为满足迁地种群维持正常生存和繁衍需要,应按有效种群大小的 50/500 法则,确定引种数量,最大限度保存和管理增殖鱼类的遗传多样性(Franklin, 1980)。塘养环境下易出现近交衰退、遗传变异丢失等现象,影响有效种群的大小,而种群对塘养环境的遗传适应也可能导致有效种群的改变。

2.2.3 塘养阶段饲养

放流苗种的塘养饲养阶段,适合度是遗传管理的首要问题。池塘环境有利于适应静水环境的个体生存,而这部分个体不一定适宜在野外环境中生存繁衍。一般认为适合池塘环境生存的个体不仅在野外有较低的适合度,而且杂交使得一些野外适应特征消失,进一步降低野外生存概率(Waples & Do, 1994; Neff, 2004)。因此,在养殖实践中,要尽可能模拟繁殖期和鱼苗早期阶段的环境以降低塘养环境对放流个体的影响,并尽量定期从野外捕获一定数量的亲鱼以补充塘养种群,在一定程度上减缓放流个体遗传适应性的丧失。

2.2.4 放流前管理

放流前需制定周详放流计划。选择放流的个体应尽可能均匀地来自繁殖场所有繁殖个体。放流前对拟放流河段进行详细调查,放流环境与所放流鱼苗生长阶段所需环境相符合,并确保放流个体数量不超过环境承载力(Miller & Kapuscinski, 2003)。在保证成活率的前提下,尽可能放流小规格苗种,将池塘养殖对放流个体的不利影响降到最低。

2.3 生物技术在鱼类人工增殖中的应用

2.3.1 超低温冷冻技术

在鱼类塘养种群遗传管理实践中,精子低温和超低温冷冻保存能有效“延长”繁殖个体的繁殖寿命,并在塘养种群的世代数最小化方面显示广泛应用潜力,但该技术仅被用于一小部分动物物种(Frankham et al, 2002; Wang et al, 2012a, b; Yang et al, 2012)。目前对鱼类精子冷冻保存的研究主要集中于技术探讨,以复苏后的精子可用于人工繁殖

以及通过逐步改善实验条件得到与鲜精无异的受精率和孵化率为目的 (Muchlisin, 2005)。但通常要求鲜精活力 > 85% 的样品才可用于精子冷冻 (Yang & Tiersch, 2009), 这就对塘养种群提出了更高要求。在野生种群适应塘养环境的过程中, 尤其是探索塘养种群繁殖特性的过程中, 鲜有精液样品的活力能达到如此要求 (Wang et al, 2012a, b), 而精子质量评价体系的建立在一定程度上缓解了这种矛盾 (Fauvel et al, 2010)。

因此, 对于塘养种群而言, 提高鲜精质量要先于精子冷冻技术的探讨。滇池金线鲃塘养条件下, 来自龙潭和河流的种群在精子质量和活力上的差异亦佐证了这一观点 (Yang et al, 2011b)。在亲鱼培育管理中最大限度降低捕获诱发的压力, 建立系统的亲鱼培育技术体系, 是提高软鳍新光唇鱼 (*Neolissochilus benasi*) 和暗色唇鱼 (*Semilabeo obscurus*) 鲜精和超低温冷冻保存复苏后精子品质的关键 (Wang et al, 2012a, b)。

为维持鱼类遗传多样性, 除保存精子外, 还可以保存卵子和胚胎。鉴于鱼类胚胎体积较大, 吸水膨胀后卵径 ~ 3 mm, 绒毛膜厚, 通透性低, 以及卵黄囊较大且含水量高等特点, 完整保存胚胎难度较大 (Hagedorn & Kleinhans, 2000; Routray et al, 2002), 因此, 有学者提出通过冷冻保存鱼类囊胚细胞和体细胞以保存种质资源 (Chen & Qin, 2011)。

2.3.2 组织培养技术

建立濒危鱼类细胞系和细胞库是解决细胞种质资源保存、可持续繁衍和挽救濒危物种的有效途径。我国鱼类细胞培养起步于 20 世纪 70 年代, 迄今已建立了来自 ~ 20 种鱼类的 ~ 50 株细胞系 (Chen & Qin, 2011; Li et al, 2010)。然而, 这些细胞系多用于鱼类病毒分离和鉴定以及各种鱼类模型的建立。在这 20 多种鱼类中, 中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 为国家 I 级保护动物, 中华鲟、稀有鮡鲫 (*Gobiocypris rarus*) 被列入中国濒危动物红皮书 (Tan et al, 2009; Zhou et al, 2008a)。在细胞水平上保存物种, 结合细胞移植或核移植技术, 就有可能通过冷冻保存的胚胎干细胞和体细胞恢复某一濒危鱼类 (Chen & Qin, 2011)。由此可见, 细胞培养在珍稀濒危鱼类保护中具有十分广阔的应用前景。

塘养条件下, 不同种群和不同世代鱧白鱼 (*Anabarilius grahami*) 细胞系的建立, 为其细胞生

物学和细胞遗传学研究提供材料 (Wang et al, 2012c)。不同年龄和鳍条类型对细胞迁移的影响研究表明, 年龄和鳍条类型可影响组织块中细胞的迁移速度 (Mauger, 2006)。对于滇池金线鲃而言, 其年龄越小, 细胞迁移越快, 鳍条取样时, 除考虑细胞迁移速度外, 还应考虑鳍条再生能力, 为其微创取样及组织培养提供理论依据。在中华鲟细胞培养研究中, 随着体外培养时间及传代次数的增加, 细胞染色体和 DNA 均会出现不同程度的改变, 追踪染色体和 DNA 的变异程度, 将为揭示多倍化起源鱼类的细胞体外培养规律提供可能 (Ye et al, 1999)。在滇池金线鲃人工繁殖过程中, 会出现多倍化现象, 而细胞系染色体和 DNA 的变异可能与不同世代染色体的变异相关, 同时, 世代传递与细胞传代也可能有着相同或相似的规律 (Yang et al, 2011b)。

3 人工增殖放流效果评价

鱼类, 尤其是旗舰种的增殖放流, 可在很大程度上提高社会关注度及人们的水生态环境保护意识。在以保护为目的的鱼类人工增殖实践中, 核心任务是最大限度降低养殖管理和人工繁殖操作对塘养种群的影响, 将放流种群对野生种群的影响降到最低。我国的研究人员和渔业管理者对此已经给予了关注, 并提出了一些很好的建议, 但研究还缺乏系统性。从近年的放流情况看, 相关部门更关注放流鱼类的种类和数量, 对放流前后监测及监测内容等过程性评价关注不够。

3.1 放流前监测

放流前监测包括饲养监测和野外监测。饲养监测主要是评价鱼塘养殖规程是否有助于珍稀鱼类生存和健康成长, 是否有利于管理。具体包括亲鱼收集与选择、人工繁殖、孵化、饲养和野化锻炼等。野外监测主要是确定人工繁殖亲鱼与放流河段原有种类是否属于同一进化显著单元, 并客观评价仔稚鱼的体质和健康状况。

3.2 放流后监测

放流后监测主要是监测放流鱼苗和成鱼与野外种群间的生态和遗传关系以及放流种群对野外种群的恢复效果是否达到预期的阶段性目标。监测内容包括放流地生境质量评价、放流种群与野外种群的遗传关系与生态关系以及放流个体的扩散与存活情况等, 而后两项内容的完成依赖于鱼类标志

技术。标志方法选择是否恰当直接影响到放流效果的评价,是评价增殖放流效果,掌握放流鱼种的移动分布规律的有效途径之一(Li, 2011)。目前,长江流域鱼类人工繁殖放流在放流后的监测,尤其是效果评估方面存在诸多问题(Zhu et al, 2009)。

3.3 效果评价方法

评估增殖放流效果有标志放流、对比放流前后增殖鱼类的渔获量两种方法。其中,标志放流不仅是评估增殖放流效果的重要方法,还是研究放流种群生态学的主要手段,对人工繁育的个体标志后放流,并在放流后持续重捕,可获得人工种群的个体生长状况、种群动态及分布等信息。

标志技术种类繁多,可分为自然标志、化学标志和物理标志。自然标志是指利用鱼本身的形态学、遗传学及生态学特征区别不同群体,最为常见的是分子标志法(Sekino et al, 2005; Song, 2010),即基于亲代的遗传信息来区别放流种群与自然种群,该法只需建立亲本遗传信息数据库,适合大规模标志,缺点在于后期检测较为复杂。化学标志则是用化学物质浸泡、注射或喂食鱼体,从而在一些部位(如耳石、鳞片、骨骼及腹腔黏膜等)形成特定标志。应用最多的化学物质是茜素络合物及茜素红,该法适合小规格鱼苗,对鱼损伤较小,但后期检测较为复杂,需处死个体以获得耳石(Beckman & Schulz, 1996)。物理标志法又分为体内标志法和体外标志法,常用体内标志法包括有线码标志法(coded wire tag, CWT)、被动式雷达整合技术(passive integrated transponder, PIT)、档案式标志技术(archival tag)和弹出式卫星数据回收技术(pop-up archival tag, PAT)。国际上对淡水及半淡水鱼类的放流监测研究以鲑科类居多,如综合CWT标志、PIT标志法、切除脂鳍法及遗传标志法所评估的大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)和细鳞大马哈鱼(*O. gorbuscha*)的增殖放流效果(Cassinelli et al, 2012; Hilborn & Eggers, 2000)等。

国内相关工作起步较晚,报告较少,且集中在海水经济鱼类。如采用各标志方法检测了褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)和(草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*)等的放流效果,并得到了一定回捕率(Liu, 2009; Luo, 2011)。在淡水珍稀鱼类中,中华鲟的放流监测工作开展较多,已应用体外挂银牌、线码标志(Yang et al, 2005)及

弹出式卫星数据回收标志法(Chen et al, 2011)等检测了其放流效果及洄游行为。利用CWT标志的中华鲟回捕率较低,可能是因为标志种群少,且回捕样本也较少,同时,回捕结果也表明自然繁殖的中华鲟仍然是自然种群得以补充的重要来源。根据标志鱼回捕收集地信息及PAT标志结果,已初步探明了放流中华鲟幼鱼的降海洄游时间、洄游距离以及入海后的分布。另外,采用可视性植入式荧光标志法(VIE)标志的软鳍新光唇鱼和暗色唇鱼三个月后的标志保存率均 $\geq 80\%$,而理论上该标志能保存 ≥ 2 年(Yang et al, 2012)。国内放流监测所面临的主要问题是标志放流个体比例少且标志后期监测薄弱,因此,应建立完整的标志、放流及监测体系。

4 我国特有淡水鱼类人工增殖放流现状

近10年来,鱼类人工增殖放流技术已日臻成熟,已有越来越多的土著鱼类被放流到其原有栖息环境中,为野外鱼类种群恢复提供了技术支持(Pan et al, 2009b, c; Yang et al, 2007)。我国人工增殖放流始于20世纪50年代,已取得了一些成效,本文将从以下几个方面予以介绍。

4.1 四大家鱼人工增殖与放流

四大家鱼是指青鱼、草鱼、鲢鱼及鳙鱼,均属鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)。其产量为我国淡水鱼总产量之首(Li, 2001)。但由于水电建设、过度捕捞、水质污染以及四大家鱼本身的特点(亲鱼个体大、繁殖期长、繁殖需要特殊的产卵场及产漂流性卵等),使得四大家鱼不断衰退,具体表现为种群数量显著减少、群体结构简单化、低龄化和小型化(Gui, 2003; Liu et al, 1986; Li, 2001)。四大家鱼人工繁殖成功之前,我国鱼类养殖业主要依靠从自然水域中捕捞鱼苗进行养殖,数量有限、成活率低,严重制约了我国淡水养殖业的发展。20世纪50年代,四大家鱼人工繁殖成功,结束了我国完全依赖自然江河捕捞四大家鱼鱼苗的历史。人工繁殖技术的推广应用产生了巨大的经济效益和社会效益,促进了我国淡水养殖业的发展。同时,四大家鱼也成为了众多衰退水体的主要引入增殖对象。另外,人工繁殖的成功,使得放养四大家鱼的水域(如池塘、网箱,还是湖泊、水库及网沟等)增多,养殖个体有可能通过各种渠道逃逸进入长江。其实,在长江大规模进行四大家鱼人工增殖放流之前,非人工控制下的放流已经大量发生

(Gui, 2003)。

4.2 中华鲟人工增殖和放流

中华鲟属鲟形目 (*Acipenseriformes*) 鲟科 (*Acipenseridae*)，为国家 I 级保护动物。由于水利工程建设、水体污染、非法捕捞和自身原因 (性成熟时间长和长距离洄游) 等已造成个体数量锐减 (Chang & Cao, 1999; Chen et al, 2005)，1996 年被 IUCN Red List 列为濒危等级，2010 年上升为极度濒危物种。早在 20 世纪 70 年代，中华鲟人工繁殖就已获得初步成功。1983 年 11 月在中国水产科学院长江水产研究所、湖北省水产局基宜昌市水产研究所等单位共同研发下，首次突破中华鲟半人工繁殖，并在随后的 4 年里每年放流 20~80 万尾鲟苗 (Li, 2001; Liu et al, 2007a)。随后在宜昌建立了中华鲟人工繁殖研究所，每年定期向长江投放 20~50 万尾鲟苗。但由于中华鲟个体庞大，生活史复杂，在海水中生长育肥，淡水中产卵繁殖，并具有长距离、大范围洄游习性和初次性成熟年龄较迟等特点，使得人工繁殖所需亲鱼长期依赖捕捞野生个体。因此，开展其全人工繁殖研究难度大，直到 2009 年才突破子一代人工繁殖 (Guo et al, 2011)。

中华鲟人工增殖和放流工作开展较早，长期实践中虽积累了大量经验，但由于个体大，性成熟时间长、野外生活史复杂，从长远看，维持一个能够自我繁衍的塘养种群所需费用十分巨大，且人工增殖效果也不易评估 (Chen et al, 2005)。另外，中华鲟放流规格较小，影响了放流效果 (Liu et al, 2007a)。截至 1998 年已在长江人工放流中华鲟 6 300 多万尾 (Chang & Cao, 1999)，但从 1981 年—1999 年，中华鲟幼鲟补充群体和亲鲟群体仍分别减少了 80% 和 90% (Wei et al, 2005)。由此可见，人工放流规模尚不足以弥补自然繁殖损失 (Chang, 1999)。虽然中华鲟精子冷冻和细胞培养研究相继开展，对其精子和细胞生物学的研究相对透彻 (Ye et al, 1999; Zheng, 2007)，但也仅局限于技术探讨，并未在种群遗传管理中发挥作用，且未涉及放流后的监测内容。

4.3 胭脂鱼人工增殖和放流

胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus* Bleeker) 属鲤形目亚口鱼科 (*Catostomidae*) 胭脂鱼亚科 (*Myxocyprininae*)。为国家 II 级保护动物，是胭脂鱼亚科的唯一现存种，分布于我国的长江和闽江，为中国特有种。而在美洲和西伯利亚东部亚口鱼科

分化为 2 亚科 13 属 72 种 (Nelson, 2006)，因此，该种在鱼类系统演化和动物地理学上有着极为重要的研究价值。由于其体型大，最大体重可达 40 kg、体长 > 1 m，在长江上游的数量也较多，使其具有重要的经济价值。目前，分布于闽江的胭脂鱼几近绝迹，分布于长江的种群数量也逐年减少。胭脂鱼资源下降与其自身繁殖力低，发育时间长，以及过度捕捞和水域污染等有关，而人工放流是恢复长江胭脂鱼资源的重要手段，短期内依靠自然增殖使资源得以恢复的可能性不大，采用人工放流是最佳增殖方式 (Jiang & Yu, 2003; Zhang et al, 2000)。

重庆市万州区水产研究所从 1973 年开始对胭脂鱼进行驯养研究，1976 年胭脂鱼内塘移养成功；1979 年国内首次内塘人工繁殖成功；1994 年实现全人工繁殖；2000 年突破了苗种成活率低等关键技术。2003 年农业部批准建设重庆市万州胭脂鱼国家级原种场，原种场与中国科学院水生生物研究所合作共建“长江上游特有鱼类实验中心”，与西南大学合作共建“水产科学重庆市市级重点实验室试验基地”。2010 年起该所繁育出胭脂鱼鱼苗 500 万尾。胭脂鱼放流数量较大，会出现明显的集群现象，易于开展放流后种群监测 (Wan et al, 2007)。但相对于标志监测，采用集群现象监测的可行性有待检验。与中华鲟的增殖放流模式相似，胭脂鱼的研究主要集中在对人工繁殖技术的探讨，对塘养种群遗传管理鲜有涉及。胭脂鱼本身群体遗传结构比较单一 (Chen, 2008)，子一代个体遗传多样性却较丰富，但其种群结构和种质资源易受人为因素干扰，从而使得种群遗传多样性维持能力降低 (Yang et al, 2010)，这些都对胭脂鱼人工放流提出了更高要求。

4.4 滇池金线鲃人工增殖放流

滇池金线鲃属鲤形目鲤科。1989 年被列为国家 II 级保护动物，在《中国濒危动物红皮书·鱼类》中被评为濒危等级 (Yue & Chen, 1998)。2008 年被 IUCN Red List 评为极度濒危物种，是滇池沿岸渔民的主要渔获对象。酷渔滥捕、围湖造田、水质污染和外来种入侵等因素导致滇池金线鲃数量急剧减少 (Chen et al, 1998, 2001; Pan et al, 2009a; Zhao & Zhang, 2009)。

2000 年起，中国科学院昆明动物研究所依托云南省发展和改革委员会立项的“滇中高原主要湖泊土著特有鱼类迁地保护和人工驯养繁殖项目”及全

球环境基金/世界银行资助的“中国云南淡水水生生物多样性恢复项目”，开始对滇池流域滇池金线鲃的数量、分布、栖息地、摄食生态及繁殖生态等进行广泛研究，并从野外引种 200 尾亲鱼，在中国科学院珍稀鱼类保育研究基地，开展保护、种群恢复、繁殖和可持续利用等研究工作。2007 年首次突破滇池金线鲃人工繁殖，是继中华鲟、胭脂鱼之后，我国人工繁殖成功的第三种国家级保护鱼类 (Yang et al, 2007)。此后，也突破了滇池金线鲃的人工驯养、亲鱼培育、催产和人工孵化、苗种培育等关键技术 (Pan et al, 2009c; Yang et al, 2007)，基本澄清了其仔稚鱼的食性转化与生长、繁殖力以及卵径大小与胚胎存活的关系 (Pan et al, 2010)，建立了其卵和仔稚鱼质量评价体系 (Yang et al, 2011b) 并完成了其精子超低温冷冻保存、组织培养等工作 (Yang et al, 2011b)。

2009 年开始实施滇池金线鲃人工增殖放流，中国科学院昆明动物研究所先后 4 次放流滇池流域滇池金线鲃鱼苗 ~20 万尾 (Yang et al, 2011b)。放流种群监测发现，放流个体可以在滇池劣 IV 类水质中生存，而能否在滇池湖体中实现自我繁衍，仍有待后续监测 (Yang et al, 2011b)。以滇池金线鲃人工繁殖成功为契机，提出的“海菜花—滇池金线鲃—背角无齿蚌”立体湿地恢复模式，强调湿地恢复土著物种的重要性，已在国际上得到较好反响 (Stone, 2008)。通过滇池金线鲃旗舰种的作用，唤起了滇池沿岸居民保护滇池水生生态意识，取得较好社会、经济效益，对促进云南渔业发展，发挥地方特色，发展地方经济等均具重大现实意义。

4.5 其他珍稀土著鱼类人工繁殖

近年来，各地科研院所纷纷开展土著鱼类人工增殖研究，目前已有 ~20 种获得成功：齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) (Ruo et al, 2001)、昆明裂腹鱼 (*Schizothorax grahami*) (Yan et al, 2010)、短须裂腹鱼 (*Schizothorax wangchiachii*) (Liu et al, 2007)、小裂腹鱼 (*Schizothorax parvus*) (Xu et al, 2004)、云南裂腹鱼 (*Schizothorax yunnanensis*) (Liu et al, 2002)、抚仙金线鲃 (*Sinocyclocheilus grahami*) (Pan et al, 2009b)、尖头金线鲃 (*Sinocyclocheilus oxycephalus*) (Yan et al, 2009)、鲮鱼良白鱼 (*Anabarilius grahami*) (Li et al, 2003)、岩原鲤 (*Procypris rabaudi*) (Huang et al, 2008)、唇鱼 (*Semilabeo notabilis*) (Liu et al, 2011)、暗色唇鱼

(Yang et al, 2012)、半刺厚唇鱼 (*Acrossocheilus hemispinus*) (Liu et al, 2010)、云南光唇鱼 (*Acrossocheilus yunnanensis*) (Chen et al, 2006)、长薄鳅 (*Leptobotia elongate*) (Liang & Hu, 2001)、裸鲤 (*Gymnocypris przewalski*) (Qi & Hu, 2009)、光泽黄颡鱼 (*Pseudobagrus nitidus*) (Huang & Wei, 2002)、长臀鲃 (*Cranoglanis boudierius*) (Zhang et al, 2012) 及斑鲃 (*Mystus guttatus*) (Zhou et al, 2008) 等。这些事例说明，人工繁殖技术也已成为我国土著鱼类保护和恢复的主要手段，为其他土著鱼类迁地保育和人工繁殖积累了经验、提供了方法。而从类群看，繁殖成功的鱼类主要以鲤形目鲤科为主，而鲇形目鱼类成功的种类较少，如鳢鱼类需要的栖息生境极其严酷，目前很难在池塘环境下驯养成功。从栖息环境看，成功繁殖种类主要以湖泊型或静水型种类为主，激流型种类极少。且研究多关注于如何突破鱼类的人工繁殖技术，并通过这一技术尽可能多获得鱼苗，而忽视了鱼苗质量，而苗种质量在一定程度上决定了放流成败。因此，我国珍稀鱼类驯养繁殖工作仍任重而道远。

5 鱼类人工增殖放流实践中存在的问题

鱼类增殖放流可能带来的环境和生态风险近几年来引起了科学工作者的广泛关注。保护生物学家认为将圈养环境的任何一种动物重新引入到自然环境中，并让其生存下来十分困难 (Hitoshi et al, 2007)。塘养背景鱼苗从受精卵到仔稚阶段虽有较高存活率，但野外存活率远低于野外背景鱼苗 (Gillanders et al, 2006)，鲑形目鱼类仅 5% 的放流个体存活到性成熟 (McNeil et al, 1991)，而造成这一结果的原因与野外环境与池塘环境的差异密切相关 (Pan et al, 2011)。

5.1 维持塘养种群的局限性

首先，塘养种群仅代表该物种基因库的有限部分。迁地保护中，仅少数脊椎动物能够维持足够大的种群数量，对于大多数动物来说，种群数量少，易发生遗传漂变。其次，塘养种群可能对人为环境产生遗传适应，如人工饲养下多世代动物口器和消化酶发生变化，明显适应了人工饲料，这些个体可能丧失其在自然环境的生存本领。近期的研究则更进一步证实了遗传适应会在很多物种、很多特征及很小的时间跨度 (几十年~几年，几十代~几代，甚至一代) 中发生 (Christie et al, 2012; Hitoshi et

al, 2007; Stockwell & Ashley, 2004;)。另外, 保护工作需要连续的资金和稳定的政策支持。而中华鲟从鱼苗生长到性成熟每尾亲鱼需要经费 40 万元, 整个塘养种群必须有数百尾不同年龄段的亲鱼, 因此, 每年维持费用昂贵(Chen et al, 2005)。且塘养种群易受突发疾病等灾害影响(Yang et al, 2011c), 而组培和精子超低温冷冻保存虽能在一定程度上维持塘养种群的生存概率, 但也是杯水车薪。

5.2 放流数量及野外种群维持

鱼类人工增殖项目往往在水电项目完工后才开始规划和委托, 严重滞后(Yang et al, 2011c), 在短期时间内很难完成增殖鱼类的生态生物学调查。在对放流种类生态生物学缺乏了解的情况下, 实施鱼类苗种的增殖放流更要慎重。与野外种群相比, 圈养种群子代具有更低的杂合性和等位基因丰富度(Blanchet et al, 2008), 大量放流鱼苗, 会稀释野外群体遗传多样性。微卫星位点分析岩原鲤野生种群和养殖种群遗传结构的结果也表明岩原鲤放流将进一步降低野生种群遗传多样性(Chen et al, 2011a)。因此, 应少量放流苗种到相对封闭的自然水体, 例如龙潭和电站库区等, 开展野外监测, 并根据监测结果及时调整人工增殖方案, 避免由放流导致的灾难失控。

5.3 放流苗种规格探讨

放流鱼苗规格直接关系到放流成功与否, 一般认为大规格鱼苗存活率高于小规格鱼苗(Martin & Wertheimer, 1989), 这可能是因为处在同一生长期的塘养鱼苗个体大于野生鱼苗, 且更具攻击性, 易占据生态位。然而, 这种情况下, 野生鱼苗将被排挤出其原有生态位(Nickelson et al, 1986)。且一味增加放流鱼苗规格, 可能会影响放流鱼苗的生活史特征(如性成熟的大小、年龄等), 对长期放流或放流世代超过一代的种类影响尤其明显(Bilton et al, 1982)。另外, 大规格苗种运行成本大、所需生产设备多, 且随着饲养时间延长, 苗种对池塘养殖的遗传适应逐渐形成, 放流至野外后的繁殖成功率较低。中华鲟的回捕监测中, 14 月龄幼鱼成活率较 2 月龄稚鱼高(Yang et al, 2005)。放流~1 个月的胭脂鱼鱼苗较在水泥池中培育的鱼苗生长速度快 5~7 倍, 而根据胭脂鱼自身的生长条件, 适宜放流 1 龄鱼种(Wan et al, 2007)。大于 10 cm 的草鱼释放到野外有较高存活率(Li, 1999)。因此, 鱼

苗放流规格还需在实践中不断摸索, 平衡塘养环境与野外生境确定适宜放流规格, 以确保放流成功。

5.4 地理种群界线的混淆

连续的人工繁殖往往会造成养殖种群与野生种群的遗传趋异, 养殖种群管理不善易给野生种群带来种质混杂和污染(Wang et al, 2002)。而非同一进化显著单元繁殖出来的个体, 存在“外来种”入侵的威胁, 这些都为地理种群混淆创造了机会(Yang et al, 2011c)。大头鲤(*Cyprinus pellegrini*)是云南高原湖泊特有的国家 II 级重点保护鱼类。由于众多因素, 土著大头鲤与外来鲤(*Cyprinus carpio*)的渐渗杂交已在星云湖野生种群中广泛发生。形态学分析近几年采自星云湖的鲤鱼样本和馆藏标本结果显示, 采集的“大头鲤”形态介于大头鲤和普通鲤之间, 与星云湖其他鲤属鱼类均无形态学重合。对螺蛳铺大头鲤原种群分析显示, 螺蛳铺大头鲤在形态上介于大头鲤与鲤之间, 微卫星因子对应分析也显示相同结果, 且其与大头鲤更为相似(Tang & Chen, 2012), 同时也证实大头鲤原种群可能是一个杂种种群(Tang & Chen, 2012)。线粒体分析显示, 星云湖大部分鲤鱼与大头鲤同源性高, 少部分则与其他地区鲤鱼同源性高。由此可见, 星云湖纯种大头鲤已经灭绝(Yang et al, 2011a), 这也给人工增殖放流敲响了警钟。因此, 应避免不同地理种群混养导致的苗种杂交、跨水系放流导致外来种入侵等, 尤其要慎重放流未研究清楚系统关系和遗传背景的广布种, 避免由于增殖对象选择不当而混淆地理种群或近缘种之间的分类界限。

5.5 商业性状选择与鱼类保护的矛盾

对一个即将灭绝的鱼类物种来说, 通过人工繁殖途径短期内获得大量苗种, 快速恢复其野外种群十分必要。但在实践中, 渔业管理者易被鱼类的经济性状吸引, 片面追求“良种”, 而这些“良种”可能在一定程度上丧失了帮助它们渡过野外危险境地的性状或生活型(Brown & Day, 2002)。另一方面, 受传统渔业专业课程设置的影响, 目前我国从事渔业管理人员多具备开展大宗鱼类养殖专业的背景, 缺乏珍稀濒危水生生物保护的技术人才。

5.6 “外来种”入侵

鱼类增殖放流活动可能带入外来疾病、寄生虫和外来物种等, 而这些生物进入水体后对本来就濒危的种群可能是致命的。鱼类保育与其他动物类群保育有很大不同, 很多外来物种可以通过养殖水体

进入到鱼类增殖站内,稍有不慎极易通过放流活动将外来种扩散到自然水体。因此,水产管理部门应加强放流前的科学论证和审批,并将相关信息及时向社会公开,从而让社会和媒体监督放流。

6 结 语

水利工程建设、过度捕捞、外来种引入、水环境退化或丧失等因素造成我国特有淡水鱼类生存面临严峻考验。我国许多地区物种多样性高,但还未彻底清查之前,相当比例的物种已经消失。近年来,鱼类新种、新纪录的陆续发现,说明许多地区的鱼类区系调查和研究还不够深入,而水电开发快速,水环境被破坏,同时,受食品安全问题影响,人们对野生鱼类的需求大幅度上升,自然水域渔产品过度捕捞,使水生生物面临更严重威胁。再者,我国淡水鱼类生态生物学研究严重滞后,对众多鱼类习性缺乏基本认识,影响了人工繁殖成功率,增加了已经濒临灭绝鱼类物种的保育难度。我国多数水生生物保护工作由各地各级水产工作站兼职,而相关人员缺乏基本的水生生物保护意识和技能,常常借助鱼类保护名义从事库区渔业或大宗渔业,例如电站库区大规模网箱养鱼、放养外来种和经济鱼种等,进一步加剧了鱼类保护与经济矛盾的矛盾。

近年来,众多科研人员和渔业管理者试图减缓

或恢复我国衰竭的特有淡水鱼类资源,大量的新技术和新方法得到广泛应用。其中,鱼类物种细胞、精子、卵子和胚胎的超低温冷冻保存依然是鱼类物种保护的主要方向。鱼类人工增殖放流也越来越多地应用到鱼类资源恢复工作中,并取得了众多可喜成绩,但也存在不少问题。现有研究多集中在特有淡水鱼类人工繁殖技术研发、池塘管理和鱼病防治等方面,有关塘养阶段和放流后的种群监测研究较少。我国鱼类增殖放流执行单位虽掌握了较高水平的人工繁殖技术,但放流种群监测和塘养种群的遗传管理能力较弱,使得鱼类增殖放流工作杂乱无序。水电业主和环境保护部门重视增殖站建设,却忽视了鱼类基础生态生物学研究,特别是预防研究的重要性,一味追求放流数量,注重鱼类放流的公众影响,而不关注放流效果。因此,在今后的工作中,除持续进行珍稀鱼类放流工作外,要加强塘养种群监测,及时评估放流效果,避免放流流于形式。另外,由于水坝对鱼类的长期影响,放流持续时间要依据长期环境监测数据,评估确定放流终止时间,并非电站运行几年后由业主确定放流终止时间,而是根据水坝对鱼类影响的监测数据决定增殖放流终止时间。在人工增殖实践中及时调整鱼类人工繁育方案,最终达到恢复野外种群的目的。

参考文献:

- Anders PJ. 1998. Conservation aquaculture and endangered species: can objective science prevail over risk anxiety? *Fisheries*, **23**(11): 28-31.
- Beckman DW, Schulz RG. 1996. A Simple Method for Marking Fish *Otoliths* with Alizarin Compounds. *Transactions of the American Fisheries Society*, **125**(1): 146-149.
- Bilton HT, Alderdice DF, Schnute JT. 1982. Influence of time and size at release of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) on returns at maturity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **39**(3): 426-447.
- Blanchet S, Páez DJ, Bernatchez L, Dodson JJ. 2008. An integrated comparison of captive-bred and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*): Implications for supportive breeding programs. *Biological Conservation*, **141**(8): 1989-1999.
- Bolla S, Holmefjord I. 1988. Effect of temperature and light on development of Atlantic halibut larvae. *Aquaculture*, **74**(3-4): 355-358.
- Brooks S, Tyler CR, Sumpter JP. 1997. Egg quality in fish: what makes a good egg? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **7**(4): 387-416.
- Brown C, Day RL. 2002. The future of stock enhancements: lessons for hatchery practice from conservation biology. *Fish Fisheries*, **3**(2): 79-94.
- Cabrera E, Robles V, Herraiz P. 2009. *Methods in Reproductive Aquaculture: Marine and Freshwater Species*. Boca Raton: CRC Press, 1-549.
- Cabrera E, Sarasquete C, Martínez-Paramo S, Robles V, Beirao J, Pérez-Cereales S, Herraiz MP. 2010. Cryopreservation of fish sperm: applications and perspectives. *Journal of Applied Ichthyology*, **26**(5): 623-635.
- Cassinelli J, Rosenberger S, Bohlen F. 2012. 2011 calendar year hatchery Chinook salmon report: IPC and LSRCP monitoring and evaluation programs in the state of Idaho. Idaho: Idaho Department of Fish and Game, 1-52.
- Chang JB. 1999. Structure and Dynamics of the Spawning Stock of Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis*, in the Yangtze River. Ph. D. dissertation, Institute of Hydrobiology, CAS, Wuhan, China, 1-136. [常剑波. 1999. 长江中华鲟繁殖群体结构特征和数量变动趋势研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉, 1-136.]
- Chang JB, Cao WX. 1999. History and prospect of conservation on Chinese sturgeon in the Yangtze river. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **23**(6): 712-720. [常剑波, 曹文宣. 1999. 中华鲟物种保护的历史与前景. 水生生物学报, **23**(6): 712-720.]
- Chen CN. 2008. Research progress of *Myxocyprinus asiaticus*. *Fisheries*

- Science and Technology Information*, **35**(4): 160-163. [陈春娜. 2008. 我国胭脂鱼的研究进展. 水产科技情报, **35**(4): 160-163.]
- Chen JC, Gao J, Liu J. 2005. Resource status and conservation strategy of *Acipenser sinensis* Gray. *Fishery Modernization*, **32**(3): 3-4. [程金成, 高健, 刘健. 2005. 中华鲟资源现状及其保护对策探讨. 渔业现代化, **32**(3): 3-4.]
- Chen JH, Zhuang P, Wu JH, Huang SL, Liu J, Yang JP, Xu JN, Zheng YP, Zhao F, Zhang T. 2011a. Migration and distribution of released *Acipenser sinensis* in the sea based on pop-up archival tag technique. *Journal of Fishery Sciences of China*, **18**(2): 437-442. [陈锦辉, 庄平, 吴建辉, 黄硕琳, 刘健, 杨吉平, 徐嘉楠, 郑跃平, 赵峰, 张涛. 2011. 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. 中国水产科学, **18**(2): 437-442.]
- Chen LQ, Wu Q, Zheng SM. 2006. Study on the artificial propagation of *Acrossocheilus yunanensis*. *Freshwater Fisheries*, **36**(1): 43-45. [陈礼强, 吴青, 郑曙明. 2006. 云南光唇鱼的人工繁殖研究. 淡水渔业, **36**(1): 43-45.]
- Chen SL, Qin QW. 2011. Theory and Technology of Fish Cell Culture. Beijing: Science Press, 1-25. [陈松林, 秦启伟. 2011. 鱼类细胞培养理论与技术. 北京: 科学出版社, 1-25.]
- Chen SY, Zhang RD, Feng JG, Xiao H, Li WX, Zan TG, Zhang YP. 2009. Exploring factors shaping population genetic structure of the freshwater fish *Sinocyclocheilus grahami* (Teleostei, Cyprinidae). *Journal of Fish Biology*, **74**(8): 1774-1786.
- Chen YR, Yang JX, Li ZY. 1998. The diversity and present status of fishes in Yunnan Province. *Biodiversity Science*, **6**(4): 272-277. [陈银瑞, 杨君兴, 李再云. 1998. 云南鱼类多样性和面临的危机. 生物多样性, **6**(4): 272-277.]
- Chen ZM, Yang JX, Su RF, Chen XY. 2001. Present status of the indigenous fishes in Dianchi lake, Yunnan. *Biodiversity Science*, **9**(4): 407-413. [陈自明, 杨君兴, 苏瑞凤, 陈小勇. 2001. 滇池土著鱼类现状. 生物多样性, **9**(4): 407-413.]
- China Association for Science and Technology. 2012. Report Advances in Fishery Science (2011-2012). Beijing: China Scientific & Technical Publishers, 1-186. [中国科学技术协会. 2012. 水产学学科发展报告 (2011-2012). 北京: 中国科学技术出版社, 1-186.]
- Christie MR, Marine ML, French RA, Blouin MS. 2012. Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, **109**(1): 238-242.
- Deng JH, Ye CC. 2001. Science of Fisheries Resources. Chongqing: Chongqing Press, 306-307. [邓景耀, 叶昌臣. 2001. 渔业资源学. 重庆: 重庆出版社, 306-307.]
- Doherty PJ. 1999. Recruitment Imitation is the Theoretical Basis for Stock Enhancement in Marine Populations. In: Howell B R, Moksness E, Svasand T. Stock Enhancement and Sea Ranching. Oxford: Blackwell Publishing, 9-21.
- Fauvel C, Suquet M, Cosson J. 2010. Evaluation of fish sperm quality. *Journal of Applied Ichthyology*, **26**(5): 636-643.
- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA. 2002. Introduction to Conservation Genetics. 2nd ed. Cambridge UK: Cambridge University Press, 1-618.
- Franklin IR. 1980. Evolutionary change in small populations. In: Soule ME, Wilcox BA. Conservation Biology: An Evolutionary-ecological Perspective. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 135-149.
- Gillanders BM, Elsdon TS, Munro AR. 2006. Impacts of native fish stocking on fish within the Murray-Darling basin. Murray-Darling Basin Commission.
- Gui JF. 2003. History and status of releasing four Chinese carps of Yangtze river. China. *China Fisheries*, **45**(1): 11-12. [桂建芳. 2003. 长江四大家鱼原种放流的历史与现实. 中国水产, **45**(1): 11-12.]
- Guo BF, Chang JB, Xiao H, Zhu B, Wan JY, Tian JY, Shu DB. 2011. The reproductive biology of first filial generation of *Acipenser sinensis* growing up in the freshwater environment. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **35**(6): 940-945. [郭柏福, 常剑波, 肖慧, 朱滨, 万建义, 田家元, 舒的斌. 2011. 中华鲟初次全人工繁殖的特性研究. 水生生物学报, **35**(6): 940-945.]
- Haddy JA, Pankhurst NW. 2000. The effects of salinity on reproductive development, plasma steroid levels, fertilization and egg survival in black bream *Acanthopagrus butcheri*. *Aquaculture*, **188**(1-2): 115-131.
- Hagedorn M, Kleinans FW. 2000. Problems and prospects in cryopreservation of fish embryos. In: Tiersch TR, Mazik PM. Cryopreservation in Aquatic Species. Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society, 161-178.
- Hard JJ, Jones RP, Delarm MR, Waples RS. 1992. Pacific Salmon and Artificial Propagation Under the Endangered Species Act. Seattle: NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-2, 1-40.
- Helfman GS. 2007. Fish Conservation: A Guide to Understanding and Restoring Global Aquatic Biodiversity and Fishery Resources. Washington: Island Press, 130-154.
- Hilborn R, Eggers D. 2000. A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska. *Transactions of American Fish Society*, **129**(2): 333-350.
- Hitoshi A, Becky C, Michael SB. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, **318**(5847): 100-103.
- Huang H, Li ZY, Yang X, Zhang ZQ, Shen XD. 2008. Artificial propagation and rearing of *Procypris rabaudi*. *Reservoir Fisheries*, **28**(1): 72-73. [黄辉, 李正友, 杨兴, 张竹青, 申晓东. 2008. 岩原鲤人工繁殖与苗种培育技术研究. 水利渔业, **28**(1): 72-73.]
- Huang L, Wei G. 2002. A preliminary study of the reproduction of *Pseudobagrus nitidus*. *Journal of Southwest Agricultural University*, **24**(1): 54-56. [黄林, 魏刚. 2002. 光泽黄颡鱼繁殖的初步研究. 西南农业大学学报, **24**(1): 54-56.]
- Ji WZ, Su B. 1999. Principle and Method of Genetic Diversity Research. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 42-50. [季维智, 宿兵. 1999. 遗传多样性研究的原理和方法. 杭州: 浙江科学技术出版社, 42-50.]
- Jiang WH, Yu DP. 2003. A study on resources status and recovery of *Myxocyprinus asiaticus* in Tongling section of Yangtze river. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, **25**(3): 31-34. [蒋文华, 于道平. 2003. 铜陵江段胭脂鱼资源现状与恢复的研究. 特产研究, **25**(3): 31-34.]
- Li J. 1999. An appraisal of factors constraining the success of fish stock enhancement programmes. *Fisheries Management and Ecology*, **6**(2): 161-169.
- Li LP. 2011. Preliminary Study on Living Aquatic Resources Enhancement in China-based on the Management of Evaluation System. M. D. dissertation, Shanghai Ocean University, Shanghai, China. [李陆媛. 2011. 我国水生生物资源增殖放流的初步研究—基于效果评价体系的管理.]

硕士学位论文, 上海海洋大学, 上海.]

Li SF. 2001. A Study on Biodiversity and Its Conservation of Major Fishes in the Yangtze River. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1-170. [李思发. 2001. 长江重要鱼类生物多样性和保护研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1-170.]

Li WF, Mai KS, Huang J, Shi CY. 2010. Progress on fish cell culture and its application in fish virology. *Progress in Veterinary Medicine*, **31**(5): 107-110. [李文峰, 麦康森, 黄健, 史成银. 2010. 鱼类细胞培养及其在病毒学研究中的应用. *动物医学进展*, **31**(5): 107-110.]

Li ZY, Chen YR, Yang JX, Zhang PQ, Huang MH. 2003. Egg-collection, hatching and fry rearing of *Anabarilius grahami* (Regan). *Freshwater Fisheries*, **33**(3): 29-31. [李再云, 陈银瑞, 杨君兴, 张培清, 黄明华. 2003. 鳊白鱼的人工采卵孵化和苗种培育. *淡水渔业*, **33**(3): 29-31.]

Liang YQ, Hu XJ. 2001. Studies on artificial propagation of *Leptobotia elongate*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **25**(4): 422-424. [梁银铨, 胡小建. 2001. 长薄鳊人工繁殖技术的研究. *水生生物学报*, **25**(4): 422-424.]

Lin HR. 2011. Fish Physiology. Guangzhou: Zhongshan University Press, 237-324. [林浩然. 2011. 鱼类生理学. 广州: 中山大学出版社, 237-324.]

Liu JY, Wei QW, Chen XH, Yang DG, Du H, Zhu YJ, Zheng WD, Gan F. 2007a. Reproductive biology and artificial propagation of *Acipenser sinensis* below Gezhouba dam. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **18**(6): 1397-1402. [刘鉴毅, 危起伟, 陈细华, 杨德国, 杜浩, 朱永久, 郑卫东, 甘芳. 2007a. 葛洲坝下中华鲟繁殖生物学特征及其人工繁殖效果. *应用生态学报*, **18**(6): 1397-1402.]

Liu LH, Wu GX, Chao WX, Wang ZL. 1986. Studies on the ecological effect on spawning of the black carp, the grass carp, the silver carp and the bighead carp in the Changjiang river after the constructions of the Gezhouba hydroelectric project. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **10**(4): 353-364. [刘乐和, 吴国犀, 曹维孝, 王志玲. 1986. 葛洲坝水利枢纽兴建后对青、草、鲢、鳙繁殖生态效应的研究. *水生生物学报*, **10**(4): 353-364.]

Liu LL, Zheng XX, You YL, Lin DJ. 2010. Experiment on the artificial propagation of *Acrossocheilus hemispinus*. *Freshwater Fisheries*, **40**(2): 57-61. [刘丽丽, 郑欣欣, 尤永隆, 林丹军. 半刺厚唇鱼的人工繁殖试验. *淡水渔业*, **40**(2): 57-61.]

Liu Q. 2009. Japanese Flounder Marking Techniques and Juveniles Released for Stock Enhancement. M.D. dissertation, Ocean University of China, Qingdao, China, 1-82. [刘奇. 2009. 褐牙鲆标志技术与增殖放流试验研究. 硕士学位论文, 中国海洋大学, 青岛, 1-82.]

Liu T, Li JG, Hu SR, Liu BS. 2011. Artificial propagation of *Semilabeo notabilis*. *Fisheries Science Technology Information*, **38**(4): 216-218. [刘霆, 李建光, 胡世然, 刘必生. 2011. 唇鲮的人工繁殖技术. *水产科技情报*, **38**(4): 216-218.]

Liu YT, Xu WY, Leng Y, Meng ZR, Bao JH, Yang ZX, Zhang GD. 2002. Study on artificial propagation technique of *Schizothorax yunnanensis*. *Freshwater Fisheries*, **32**(5): 6-7. [刘跃天, 徐伟毅, 冷云, 孟自荣, 宝建红, 杨再兴, 张谷丁. 2002. 云南裂腹鱼人工繁殖初步研究. *淡水渔业*, **32**(5): 6-7.]

Liu YT, Leng Y, Xu WY, Bao JH, Yang GQ, Wang DW, Yang ZX, Zhao SH, Zhang SH. 2007b. Study on artificial propagation technique of *Schizothorax wangchiachii*. *Reservoir Fisheries*, **27**(5): 31-32. [刘跃天, 冷云, 徐伟毅, 宝建红, 杨光清, 王德文, 杨再兴, 赵树海, 张绍华. 2007b. 短须裂腹鱼人工繁殖初探. *水利渔业*, **27**(5): 31-32.]

Luo X. 2011. Tagging and Releasing Techniques of *Ctenopharyngodon Idellus* Juveniles in Dongjiang River. M. D. dissertation, Jinnan University,

Guangzhou. 1-58. [罗新. 2011. 草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)标志方法及东江放流技术研究. 硕士学位论文, 暨南大学, 广州, 1-58.]

Martin RM, Wertheimer AC. 1989. Adult production of chinook salmon reared at different densities and released as two smolt sizes. *The Progressive Fish-Culturist*, **51**(4): 194-200.

Mauger PE, Lebaill PY, Labbé C. 2006. Cryobanking of fish somatic cells: Optimizations of fin explant culture and fin cell cryopreservation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemistry and Molecular Biology*, **144**(1): 29-37.

McNeil WJ. 1991. Expansion of cultured Pacific salmon into marine ecosystems. *Aquaculture*, **98**(1-3): 173-183.

Meuwissen T. 2009. Genetic management of small populations: a review. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A: Animal Science*, **59**(2): 71-79.

Miller LM, Kapuscinski AR. 2003. Genetic guideline for hatchery supplementation programs. In: Hallerman EM. Population Genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 329-356.

Min R, Ye L, Chen XY, Yang JX. 2009. Morphometrics analysis of *Sinocyclocheilus grahami* (Cypriniformes: Cyprinidae). *Zoological Research*, **30**(6): 707-712. [闵锐, 叶莲, 陈小勇, 杨君兴. 2009. 滇池金线鲃形态度量学分析 (Cypriniformes: Cyprinidae). *动物学研究*, **30**(6): 707-712.]

Muchlisin Z. 2005. Review: Current status of extenders and cryoprotectants on fish spermatozoa cryopreservation. *Biodiversitas*, **6**(1): 66-69.

Mylonas CC, Zohar Y. 2007. Promoting Oocyte Maturation, Ovulation and Spawning in Farmed Fish. In: Babin PJ, Cerdà J, Lubzens E. The Fish Oocyte: from Basic Studies to Biotechnological Applications Dordrecht: Springer Publishing Company, Inc, 437-474.

Neff BD. 2004. Stabilizing selection on genomic divergence in a wild fish population. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, **101**(8): 2381-2385.

Nelson JS. 2006. Fishes of the World. 4th ed. New York: Wiley.

Nickelson TE, Solazzi MF, Johnson SL. 1986. Use of hatchery coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) presmolts to rebuild wild populations in Oregon coastal streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**(12): 2443-2449.

Pan XF, Chen XY, Yang JX. 2009a. Threatened fishes of the world: *Sinocyclocheilus grahami* (Regan) 1904 (Cyprinidae). *Environmental Biology of Fishes*, **85**(1): 77-78.

Pan XF, Liu SW, Li ZY, Yang JX. 2009b. Artificial propagation and larvae cultivation of *Sinocyclocheilus tingi*. *Zoological Research*, **30**(4): 463-467. [潘晓赋, 刘淑伟, 李再云, 杨君兴. 2009b. 抚仙金线鲃人工繁殖与鱼苗培育技术. *动物学研究*, **30**(4): 463-467.]

Pan XF, Yang JX, Li ZY, Chen XY. 2009c. Feeding changes and growth performance of *Sinocyclocheilus grahami* (Pisces, Barbiniae) larvae and juveniles in farm environment. *Zoological Research*, **30**(4): 433-437. [潘晓赋, 杨君兴, 李再云, 陈小勇. 2009b. 池塘养殖环境下滇池金线鲃仔稚鱼的食性转化与生长. *动物学研究*, **30**(4): 433-437.]

Pan XF, Yang JX, Chen XY, Li ZY. 2011. Broodstocks management, fecundity and the relationship between egg size and embryo survival ability of *Sinocyclocheilus grahami* (Regan). *Zoological Research*, **32**(2): 196-203. [潘晓赋, 杨君兴, 陈小勇, 李再云. 2011. 滇池金线鲃亲鱼培育、繁殖力以及卵径大小与胚胎存活率的关系. *动物学研究*, **32**(2): 196-203.]

- Princée FPG. 1998. Genetic Management of Small Animal Populations. Ph. D. University of Groningen, Groningen.
- Qi HF, Shi JQ. 2009. Artificial propagation and larvae cultivation of *Gymnocypris przewalski*. *Fisheries Science and Technology Information*, **36**(3): 149-151. [祁洪芳, 史建全. 2009. 青海湖裸鲤的人工繁殖及苗种的淡水培育技术. 水产科技情报, **36**(3): 149-151.]
- Routray P, Dash C, Dash C, Dash SN, Tripathy S, Verma DK, Swain SK, Swain P, Guru BC. 2010. Cryopreservation of isolated blastomeres and embryonic stem-like cells of *Leopard danio*, *Brachydanio frankei*. *Aquaculture Research*, **41**(4): 579-589.
- Ruo M, Wang HT, Yin QY, Fan XW, He X, Tang EZ, Duan CJ. 2001. Studied on artificial propagation of *Schizothorax prenanti*. *Freshwater Fisheries*, **31**(6): 3-5. [若木, 王鸿泰, 殷启云, 范兴旺, 何曦, 唐恩柱, 段才军. 2001. 齐口裂腹鱼人工繁殖的研究. 淡水渔业, **31**(6): 3-5.]
- Sekino M, Saitoh K, Yamada T, Hara M, Yamashita Y. 2005. Genetic tagging of released Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) based on polymorphic DNA markers. *Aquaculture*, **244**(1): 49-61.
- Song N, Gao T, Han G, Zhang XM. 2010. Application of molecular marker in fishery stock enhancement. *Chinese Fisheries Economics*, **28**(3): 111-117. [宋娜, 高天翔, 韩刚, 张秀梅. 2010. 分子标记在渔业资源增殖放流中的应用. 中国渔业经济, **28**(3): 111-117.]
- Stockwell CA, Ashley MV. 2004. Rapid adaptation and conservation. *Conservation Biology*, **18**(1): 272-273.
- Stone R. 2008. From remarkable rescue to restoration of lost habitat. *Science*, **322**(5899): 184.
- Tan FX, Yang FX, Wang WM, Wang M, Lu YA. 2009. A new fish cell line of fin established from rare minnow as versatile tool in ecotoxicology assessment of cytotoxicity of heavy metals. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **33**(4): 767-771. [谭凤霞, 杨方星, 王卫民, 王敏, Lu YA. 2009. 稀有鲫鲫鳍细胞系的建立及其作为测定重金属毒性模型的探讨. 水生生物学报, **33**(4): 767-771.]
- Tang WX, Chen YF. 2012. Genetic status of the original population of barbless carp *Cyprinus pellegrini*. *Chinese Journal of Zoology*, **47**(5): 8-15. [唐卫星, 陈毅峰. 2012. 大头鲤原种种群的遗传现状. 动物学杂志, **47**(5): 8-15.]
- Tsakamoto K, Masuda R, Kuwada H, Uchida K. 1997. Quality of fish for release: behavioural approach. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture*, **3**(Suppl 1): 93-99.
- Vay LL, Carvalho GR, Quintino ET, Leбата JH, Ut VN, Fushimi H. 2007. Quality of hatchery-reared juveniles for marine fisheries stock enhancement. *Aquaculture*, **268**(1-4): 169-180.
- Wan Q, Lai NY, Liu YB, Sun W X, Shen BP, Pan HP, Wang X. 2007. Study on resource status and release protection of *Myxocyprinus asiaticus* in Anhui Section of Yangtze river. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, **35**(8): 2281-2282. [万全, 赖年悦, 刘映彬, 孙文贤, 沈保平, 潘和平, 王旭. 2007. 安徽无为长江段胭脂鱼资源现状与放流保护研究. 安徽农业科学, **35**(8): 2281-2282.]
- Wang XA, Yang JX, Chen XY, Pan XF, Li ZY. 2012a. Cryopreservation of sperm from *Neolissochilus benasi*. *Zoological Research*, **33**(3): 283-289. [王晓爱, 杨君兴, 陈小勇, 潘晓赋, 李再云. 2012a. 软鳍新光唇鱼精子的超低温冷冻保存. 动物学研究, **33**(3): 283-289.]
- Wang XA, Yang JX, Chen XY, Pan XF, Li ZY. 2012b. Effect of four penetrating cryoprotectants on *Semilabeo obscurus* sperm cryopreservation. *Journal of Hydroecology*, **5**(5): 88-93. [王晓爱, 杨君兴, 陈小勇, 潘晓赋, 李再云. 2012b. 4种渗透性抗冻剂对暗色唇鱼(*Semilabeo obscurus*)精子冷冻保存的影响. 水生态学杂志, **5**(5): 88-93.]
- Wang XA, Yang JX, Chen XY, Pan XF. 2012c. Establishment and characterization of a fibroblast-like cell line from *Anabarrilius grahami* (Cypriniformes: Cyprinidae). *Zoological Research*, **33**(E5-6): E89-E97.
- Wang ZY, Wang YL, Lin LM, Khoo SK, Okamoto N. 2002. Genetic polymorphisms in wild and cultured large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* using AFLP fingerprinting. *Journal of Fishery Sciences of China*, **9**(3): 198-202. [王志勇, 王艺磊, 林利民, 邱淑贞, 本信明. 2002. 福建官井洋大黄鱼 AFLP 指纹多态性的研究. 中国水产科学, **9**(3): 198-202.]
- Waples RS, Do C. 1994. Genetic risk associated with supplementation of Pacific salmonids: captive brood stock programs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**(Suppl. 1): 310-329.
- Wei QW, Chen XH, Yang DG, Liu JY, Zhu YJ, Zheng WD. 2005. Variations in spawning stock structure of *Acipenser sinensis* within 24 years since damming of Gezhouba dam. *Journal of Fishery Sciences of China*, **12**(4): 452-457. [危起伟, 陈细华, 杨德国, 刘鉴毅, 朱永久, 郑卫东. 2005. 葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化. 中国水产科学, **12**(4): 452-457.]
- Xu WY, Leng Y, Liu YT, Bao JH, Yang ZX, Zhao SM, Zhao SH, Dong DH. 2004. Preliminary study on artificial reproduction of *Schizothorax parvus*. *Freshwater Fisheries*, **34**(5): 39-41. [徐伟毅, 冷云, 刘跃天, 宝建红, 杨再兴, 赵世民, 赵树海, 董德华. 2004. 小裂腹鱼全人工繁殖试验. 淡水渔业, **34**(5): 39-41.]
- Yan H, Zhan HX, Zhou LJ, Li JP. 2010. Study on artificial propagation technique of *Schizothorax grahami*. *Freshwater Fisheries*, **40**(6): 66-70. [晏宏, 詹会祥, 周礼敬, 李家平. 2010. 昆明裂腹鱼人工繁殖技术研究. 淡水渔业, **40**(6): 66-70.]
- Yan H, Gao H, Li DY, Dong WH, Yu C, Huang YX. 2009. Preliminary study on artificial reproduction of *Sinocyclocheilus oxycephalus*. *Journal of Hydroecology*, **30**(4): 143-145. [严晖, 高惠, 李德运, 董文红, 余春, 黄云仙. 2009. 尖头金线鲤人工繁殖初步研究. 水生态学杂志, **30**(4): 143-145.]
- Yang B, Chen XY, Yang JX. 2008. Structure of the mitochondrial DNA control region and population genetic diversity analysis of *Anabarrilius grahami* (Regan). *Zoological Research*, **29**(4): 379-385. [杨博, 陈小勇, 杨君兴. 2008. 鯪鱼白鱼线粒体 DNA 控制区结构和种群遗传多样性分析. 动物学研究, **29**(4): 379-385.]
- Yang B, Chen XY, Yang JX. 2011a. Non-nation carp of the genus *Cyprinus* in lake Xingyun, China, as revealed by morphology and mitochondrial. *Biological Invasions*, **13**(1): 105-114.
- Yang DG, Wei QW, Wang K, Chen XH, Zhu YJ. 2005. Downstream migration of tag-released juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze river. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **29**(1): 26-30. [杨德国, 危起伟, 王凯, 陈细华, 朱永久. 2005. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游. 水生生物学报, **29**(1): 26-30.]
- Yang HP, Tiersch TR. 2009. Current status of sperm cryopreservation in biomedical research fish models: Zebrafish, medaka, and *Xiphophorus*. *Comparative Biochemistry and Physiology C: Toxicology & Pharmacology at Science*, **149**(2): 224-232.
- Yang J, Pan XF, Chen XY, Yang JX. 2010. Status and conservation strategy of fish resources in Lixianjiang river. *Journal of Hydroecology*, **3**(2): 54-60. [杨剑, 潘晓赋, 陈小勇, 杨君兴. 2010. 李仙江鱼类资源的现状与保护对策. 水生态学杂志, **3**(2): 54-60.]

- Yang JX, Pan XF, Li ZY. 2007. Preliminary report on the successful breeding of the endangered fish *Sinocyclocheilus grahami* endemic to Dianchi lake. *Zoological Research*, **28**(3): 329-331. [杨君兴, 潘晓赋, 李再云. 2007. 云南滇池濒危特有种滇池金线鲃人工繁殖初报. *动物学研究*, **28**(3): 329-331.]
- Yang JX, Pan XF, Li ZY, Chen XY, Cui GH, Zhang RB. 2011b. Report on Domestication and Artificial Propagation of *Sinocyclocheilus grahami*. Kunming: Kunming Institute of Zoology, CAS, 1-51. [杨君兴, 潘晓赋, 李再云, 陈小勇, 崔桂华, 张汝斌. 2011b. 滇池金线鲃的人工驯养繁殖研究. 昆明: 中国科学院昆明动物研究所, 1-51.]
- Yang JX, Chen XY, Pan XF, Li ZY, Wang XA, Zhao YP, Liu Q, Yang J, Liu SW, Li Y. 2012. Report on Artificial Propagation, Seeding Culture and Releasing of Rare and Endemic Fishes in Lixianjiang River Drainage in Yunnan (final report). Kunming: Kunming Institute of Zoology, CAS, 1-203. [杨君兴, 陈小勇, 潘晓赋, 李再云, 王晓爱, 赵亚鹏, 刘倩, 杨剑, 刘淑伟, 李原. 2012. 李仙江流域珍稀特有鱼类繁殖育苗放流项目(总报告). 昆明: 中国科学院昆明动物研究所, 1-203.]
- Yang YH, Yang JX, Pan XF, Zhou W, Yang ML. 2011c. Fishery resource protection by artificial propagation in hydroelectric development: Lixianjiang River drainage in Yunnan as an example. *Zoological Research*, **32**(2): 188-195. [杨永宏, 杨君兴, 潘晓赋, 周伟, 杨美临. 2011c. 云南李仙江流域水电开发中的鱼类资源保护. *动物学研究*, **32**(2): 188-195.]
- Yang Z, Shi F, Que YF, Xiong MH, Zhu B, Xu N. 2010. Preliminary studies on genetic diversity of first filial generation of *Myxocyprinus asiaticus* form artificial propagation releasing in Yangtze river. *Journal of Hydroecology*, **3**(5): 17-20. [杨钟, 史方, 阙延福, 熊美华, 朱滨, 徐念. 2010. 长江胭脂鱼人工放流子一代遗传多样性初步研究. *水生态学杂志*, **3**(5): 17-20.]
- Ye XH, Liu HQ, Yu XM, Zhang YB, Chang JB. 1999. Preliminary research on tissue culture of Chinese sturgeon. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **23**(6): 566-571. [叶湘辉, 刘汉勤, 俞小牧, 张义兵, 常剑波. 1999. 中华鲟组织培养的初步研究. *水生生物学报*, **23**(6): 566-571.]
- Yue PQ, Chen YY. 1998. China Red Data Book of Endangered Animals: Pisces. Beijing: Science Press, 104-106. [乐佩琦, 陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书(鱼类卷). 北京: 科学出版社, 104-106.]
- Zhang CG, Zhao YH, Kang JG. 2000. A discussion on resources status of *Myxocyprinus asiaticus* (Bleeker) and their conservation and the recovery. *Journal of Natural Resources*, **15**(2): 155-159. [张春光, 赵亚辉, 康景贵. 2000. 我国胭脂鱼资源现状及其资源恢复途径的探讨. *自然资源学报*, **15**(2): 155-159.]
- Zhang ZQ, Zhou L, Yang K, Yang CQ, Li DY, Zhan F. 2012. Artificial propagation of *Cranoglanis boudierius*. *Guizhou Agricultural Sciences*, **40**(5): 146-147. [张竹青, 周路, 杨凯, 杨昌齐, 李道友, 詹飞. 2012. 长臀鮠的人工繁殖试验. *贵州农业科学*, **40**(5): 146-147.]
- Zhao YH, Zhang CG. 2009. Endemic Fishes of *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes: Cyprinidae) in China-Species Diversity, Cave Adaptation, Systematics and Zoogeography. Beijing: Science Press, 1-271. [赵亚辉, 张春光. 2009. 中国特有金线鲃属鱼类——物种多样性、洞穴适应、系统演化和动物地理. 北京: 科学出版社, 1-271.]
- Zheng YP. 2007. Studies on Physio-ecological Characteristic of Sperm of Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis* Gray. M. D. dissertation, Huangzhong Agricultural University, Wuhan, China. [郑跃平. 2007. 中华鲟精子生理生态特性研究. 硕士学位论文, 华中农业大学.]
- Zhou GZ, Gui L, Li ZQ, Yuan XP, Zhang QY. 2008a. Establishment of a Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* tail-fin cell line and its susceptibility to frog iridovirus. *Journal of Fish Biology*, **73**(8): 2058-2067.
- Zhou L, Zhou T, Yang K, Yang X, Li DY, Li ZY. 2008b. Studies on artificial propagation of *Mystus guttatus*. *Reservoir Fisheries*, **28**(4): 83-84. [周路, 周涛, 杨凯, 杨兴, 李道友, 李正友. 2008b. 斑鲢人工繁殖的初步研究. *水利渔业*, **28**(4): 83-84.]
- Zhu B, Zheng HT, Qiao Y, Que YF, Chang JB. 2009. Artificial enhancement and releasing and ecological function on freshwater fishes of Yangtze river. *Chinese Fisheries Economics*, **27**(2): 74-87. [朱滨, 郑海涛, 乔晔, 阙延福, 常剑波. 2009. 长江流域淡水鱼类人工繁殖放流及其生态作用. *中国渔业经济*, **27**(2): 74-87.]
- Zohar Y, Mylonas CC. 2001. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture*, **197**(1): 99-136.