

海洋生物资源增殖放流回顾与展望

程家骅, 姜亚洲

(中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

摘要: 海洋生物资源增殖放流是一项实现海洋渔业可持续发展的重要管理措施。本文简要回顾了海洋生物资源增殖放流的发展历史, 分析了过去一百多年来各国增殖放流实践中的经验和教训, 同时介绍了当前倡导的负责任海洋生物资源增殖放流理念, 以期为中国今后的增殖放流工作提供参考与借鉴。[中国水产科学, 2010, 17(3): 610–617]

关键词: 渔业管理; 增殖放流; 生态效益; 负责任措施

中图分类号: S931

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2010)03–0610–08

随着世界人口增长和社会发展, 人类对水产品的需求量不断增加, 海洋渔业资源所承受的压力与日俱增, 过度捕捞、水体污染等人为干扰因素已致使世界上许多国家的近海渔业资源出现了严重衰退迹象, 渔业产业的母体——近海生态系统的服务和产出功能亦日益退化^[1–2]。根据世界粮农组织(FAO)的评估结果, 目前世界主要海洋生物资源种类中, 25%的种群已被过度开发, 处于衰退状态; 52%的种群已被充分开发; 仅有23%的种群仍具有继续开发的潜力^[3]。

针对目前海洋渔业资源衰退现状, 各国政府相应实施了一系列的渔业管理措施, 归结起来, 大致可分为3种类型: 即控制捕捞力量、在重要水域(如一些经济种类产卵场)设立自然保护区和实施海洋生物资源增殖放流^[4–5]。其中, 海洋生物资源增殖放流是一项通过向特定水域投放鱼、虾、蟹和贝类亲体、人工繁育种苗或暂养的野生种苗来恢复海洋渔业资源, 实现渔业可持续发展的管理手段。有专家指出, 实施海洋生物资源增殖放流是最直接、最根本的渔业资源恢复措施^[6]。至今世界各国已开展了大量增殖放流实践, 据FAO统计显示, 在1984年至1997年间, 共有80个国家针对184个物种进行过增殖放流

尝试, 但令人遗憾的是绝大多数海洋生物资源增殖放流并没有达到预期的效果^[7–8], 许多学者已从多角度分析了增殖放流过程中存在的缺陷和不足, 并提出许多改进策略^[5, 9–13]。为此, 本文拟回顾分析过去100多年来各国在增殖放流实践中所形成的经验和教训, 同时引入当前世界上倡导的负责任海洋生物资源增殖放流理念, 旨在为中国今后的增殖放流工作起到有益的借鉴作用。

1 海洋生物资源增殖放流的发展历史

1.1 起步阶段

19世纪末期, 随着人类在海水鱼类人工繁殖技术领域实现突破, 美国、日本和西欧一些国家开始建立海洋鱼类孵化场, 人工繁殖经济价值较高的鳕(*Gadus macrocephalus*)、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)等鱼种, 并尝试通过人工投放种苗的方式来增加自然水域的野生种群资源量^[14–15], 海洋生物资源增殖放流工作由此兴起。

1.2 种苗规模化生产投放阶段

进入20世纪, 随着海洋生物人工繁育技术的进一步发展和人工繁育种类的不断增多, 世界上许多

收稿日期: 2009–08–09; 修订日期: 2009–10–06.

基金项目: 农业部专项—东海区渔业资源动态监测(2008–2009).

作者简介: 程家骅(1965–), 男, 研究员, 主要从事渔业资源评估与管理研究. E-mail: ziyuan@sh163.net

国家诸如美国、挪威、澳大利亚、日本、韩国和中国等开展了大规模的增殖放流活动^[16-17],放流种类涵盖鱼类、甲壳类和软体动物等多种类型,多达100多个种类。该阶段增殖放流活动存在一个很大的缺陷,即重投放规模、轻效益评估。在增殖放流过程中,过分强调种苗的生产数量和放流规模,每年投入大量人力、物力和财力用于种苗繁育和投放。但是由于标记技术的限制、基础研究的滞后、放流策略和方法尚不成熟,致使增殖放流成效很难评估,许多增殖放流活动无法达到预期效果^[18-19]。由此,很多国家在进行了一段时间的增殖放流实践后,停止了资金投入,资源增殖工作也随之停滞。以美国为例,从19世纪后期起,经过半个多世纪的增殖放流实践后发现,放流水域资源增殖效果无法达到预期,于是1948年关闭了所有的增殖放流种苗孵化场,并在随后的近半个世纪时间里,增殖放流工作几乎处于停滞状态。

1.3 “负责任海洋生物资源增殖放流”探索阶段

20世纪90年代,随着种苗(卵、仔、稚、幼体)标记技术的日趋成熟,通过“标记-放流-重捕”实验评价增殖放流效果、优化增殖放流策略已成为可能,增殖放流技术得到快速的发展和提高。此外,随着人们对海洋生态系统认识的不断加深,通过海洋生物资源增殖放流来维护海洋生态系统稳定、实现渔业可持续发展又重新成为当前资源养护和管理的研究热点。目前,各国正在探索一种旨在取得经济、社会和生态效益三赢的“负责任海洋生物资源增殖放流”模式^[5,10-13]。

2 海洋生物资源增殖放流的经验教训

回顾海洋生物资源增殖放流的历史发现,成功的增殖放流案例相对较少。仅日本对大麻哈鱼,中国对海蜇(*Rhopilema esculentum*)、中国对虾(*Penaeus chinensis*)等少数种类进行的人工放流取得了显著效果^[20-21],而放流规模较大的细鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus gorbuscha*) (美国)、大鳞大麻哈鱼(*O. tshawytscha*)、银大麻哈鱼(*O. kisutch*) (美国、加拿大)、欧洲龙虾(*Homarus gammarus*) (英国、法国)、鳕(挪威)等的增殖放流均收

效甚微^[22],并且还引发了诸多负面效应,诸如:种群遗传多样性丧失、病害多发、生态系统失衡等^[23-27]。究其原因,主要有以下几个方面的因素。

2.1 缺乏长期近海生态系统监测

(1)对野生渔业资源群体衰退的原因认识不足。造成近海渔业资源衰退的因素很多,诸如捕捞过度、水体污染、气候变化和生境破坏等,区分并有效控制这些干扰因素的影响是恢复受损渔业资源群体的必要前提。在早期的增殖放流实践中,人们往往忽视了这一重要环节。实践表明,在不能有效控制外界干扰的情况下,仅凭增殖放流无法实现资源恢复的预期目标^[13]。

(2)对增殖放流种类的基础生物学及生态学习性认识不够。掌握放流种类的生物、生态学特征是实施有效增殖放流的前提条件,但目前在此方面的基础研究仍然相对滞后。以目前放流规模较大的大马哈鱼为例,其生活史相当复杂。有学者研究表明,该鱼种在特定的生活史阶段,其对外界环境的要求较为苛刻,仅能生活在特定水域,若放流时苗种投放水域不能满足其特定的局部适应性要求,很难保证放流苗种的成活率^[28-29]。因此,在对放流物种生物、生态学特性了解不够充分的情况下,盲目实施增殖放流,难以达到预期效果。

(3)缺乏对放流水域生态系统结构和功能的动态监测。海洋生态系统是海洋渔业产业的母体,其结构和功能特征从某种程度上决定了各种群的生存空间,只有了解掌握增殖放流水域生态系统的特点,才能准确制定诸如放流时间、放流规模等增殖放流策略^[30-31]。但早期的增殖放流实践,由于缺乏长期的海洋生态环境监测和调查,对放流水域生态系统的结构功能认识不清^[12,32],因此在此背景下实施的增殖放流,也就难以取得成效。

2.2 增殖放流效果评价体系欠缺

增殖放流的目标体系是评价增殖放流效果的依据,由于认识不足,早期增殖放流目标体系的制定缺乏合理性和可操作性。①某些目标明显脱离实际,超出增殖放流活动的效力范围,如企望通过增殖放

流进行生境恢复等^[33]; ②某些目标制定不明确, 不具备可检测性; ③目标评价体系仅涉及增加放流对象的渔获产量内容, 缺乏有关放流对野生群体遗传多样性和生态系统平衡的负面影响评价内容^[13]。虽然增殖放流可在一定程度上满足恢复野生生物资源的需求, 但不成功或反作用的可能和风险也同时存在, 放流后的生态失衡、种间关系破坏, 原有生物群落受到胁迫等负面效应在国内外也均有报道^[23-27]。

2.3 试验性增殖放流重视不够

20世纪早期的增殖放流, 规模化繁育、投放种苗一直被视为资源增殖的中心任务, 但在大规模生产、投放种苗的同时, 却往往忽略了一个重要环节, 即进行试验性增殖放流。有关研究实践表明, 开展试验性放流, 可为后期规模化增殖放流策略的制定提供基础依据, 依托试验性增殖放流制定的放流策略, 其实践效果明显好于缺乏该过程的增殖放流^[34-35]。

2.4 种苗标志技术发展滞后

增殖放流效果科学评估是增殖放流工作中的重要一环。一方面可使增殖放流的责任方(通常是相关政府部门)准确把握增殖放流所产生的经济、生态和社会产出, 获取准确的成本收益信息; 另一方面效果评估的结果也可作为今后改进增殖放流策略、实施适应性管理提供重要参考依据。但早期的增殖放流实践, 成效评估环节明显存在不足, 其中一个重要的原因是放流种苗的标志技术发展相对滞后。虽然以往增殖放流也大量采用了成本低、易发现的体外标志法, 如体外挂牌、剪鳍法等, 但这些方法通常只适合于规格较大的放流个体。在对放流种苗个体进行标志时, 这类标志方式通常易对其行为和生理活动产生负面影响, 甚至还会造成炎症反应, 进而影响放流个体的成活率, 造成增殖放流效果容易被低估^[36-37]。相应地, 缺乏有力的放流效果证明也会降低社会各方对于增殖放流的再投入信心, 从而进一步阻碍增殖放流事业的持续发展。

2.5 后续配套管理措施不足

恢复近海渔业资源、实现渔业的可持续发展是一项系统工程。许多学者认为, 仅凭特定种类的单

一增殖放流过程无法完成此重任, 必须根据当地实际情况, 制定并实施与增殖放流配套的相应管理措施, 如进行增殖放流的同时, 应在放流水域建立禁渔期或禁渔区等管理制度, 确保增殖放流切实发挥其应有的功效^[12,22]。回顾以往增殖放流实践发现, 一方面与之配套的渔业管理措施严重缺失, 某些海域放流种苗过早被渔业利用, 增殖放流根本无法起到预期作用; 另一方面, 增殖放流活动缺乏制度性保障, 通常无法形成长效机制, 偶然的增殖放流行为无法对恢复渔业资源起到实质性的作用^[13]。

3 负责任海洋生物资源增殖放流

负责任海洋生物资源增殖放流是今后增殖放流事业的必循之路, 国内外许多学者已就其进行了多方面的探索。归纳起来, 其基本内涵主要包括以下4方面。

3.1 制订资源增殖规划和目标

3.1.1 合理的增殖放流规划 实施增殖放流之前, 责任方必须充分掌握增殖海域生态系统的特点和野生群体生存状况(包括地理分布、基因组成多样性等); 根据资源恢复、濒危物种保护、生态修复、渔民增收、水体生物净化等目标需求, 明确增殖放流的功能定位和作用; 同时根据增殖种类的生态学和生物学基本属性, 以及责任方的组织管理和技术能力条件, 制订合理的增殖放流规划。

3.1.2 明确的预期目标 开展海洋生物资源增殖放流工作, 应预先明确实施放流的预期效果(如成活率、放流群体与野生群体的相互影响、疾病状况等), 建立多项明确的增殖放流效果量化评价指标, 如增殖海域放流种类年产量增加5%, 5年后所释放苗种的等位基因突变率低于3%等, 但同时也应分析指出可能影响增殖放流效果的不确定因素^[4]。

3.2 构建增殖放流策略

3.2.1 合理选择增殖放流种类 合理选择增殖放流种类是实施增殖放流的首要环节, 也是确保增殖放流效果的前提条件。在早期的增殖放流实践中, 人们通常依据渔业生物种类经济价值的高低和人工养

殖技术成熟与否来选择资源放流的对象。诸多实践表明,这种做法存在极大的盲目性,不但无法确保增殖放流的效果,往往还会对放流水域的生态环境造成负面影响。故此,依据放流水域的生态环境特点,选择合理的增殖放流种类,成为负责任增殖放流模式必须解决的问题。目前,已有学者提出了一种半定量的放流种类选择方法^[38],该方法包括以下4个环节:①召开研讨会制定选择放流种类应遵循的标准;②进行社会调查,征求对选择标准的意见,制定可能实施增殖放流种类的清单;③访问当地专家,依据标准对所选种类进行优先排序;④重新召开研讨会商议得出最终结果。在夏威夷周边水域的实践结果表明,该方法有一定的推广价值。值得重视的是,利用此种方法选择增殖放流对象的关键一环是依据合理的量化标准对所有种类进行优先排序,同时应切实遵循所选种类应为增殖水域本地种原则,绝不能仅凭经济价值的高低,随意放流外来种^[39]。此外,在某些特定水域(如生物多样性较高的自然保护区)实施增殖放流应特别谨慎,有研究表明在此类水域进行增殖放流存在较大的潜在风险^[13]。

3.2.2 科学制订增殖放流策略 开展海洋生物资源增殖放流,必须充分考虑放流水域的生态因子(诸如捕食者、食物可获得性、是否容易到达栖息地、对食物和空间的竞争力、温度和盐度适应性等)和放流对象的生理条件、行为能力(诸如游泳能力、摄食能力、逃避敌害能力、集群习性、栖息地选择等)对放流成活率的影响^[4,40]。这些因素的掌握与了解是提高放流对象存活率、确保放流效果的环境保障和理论应用基础。因此,在进行规模化增殖放流之前,彻底认清上述因素对于放流对象成活率的影响方式,科学制定增殖放流策略,选择合适的种类和数量、地点和时间、规格和结构进行放流,是取得最佳增殖效果的必要前提。

试验性增殖放流是制定海洋生物资源增殖放流策略的必要环节。许多专家认为,早期海洋生物资源增殖放流的失败案例,多与没有进行有效的试验性增殖放流密切相关^[4,13]。通过预实验可确定放流

种苗规格、放流季节、放流海域、放流规模,同时还可以确定放流评估目标、估算放流成本收益,最终为规模化增殖放流实践提供可靠依据。

3.2.3 配套制订放流技术规程 由于不同放流对象在形态和生理特点上存在差异,因此在放流准备过程中和放流方式上,针对不同种类也应相应采取不同的放流过程管理模式,并制订严格的放流技术操作规程,具体包括放流对象的质量控制、运输工具和方法、标志物与标志方法、放流方式方法等内容。实践证明,操作规程指导下的增殖放流活动,对放流成活率提高作用明显^[41-44]。

3.3 科学评估资源增殖效果

3.3.1 合理制定增殖放流效果评价体系 合理构筑增殖放流效果评价体系是进行增殖放流效果评价的基础,以往的评价体系中评价指标过于单一,多就增殖放流种苗的存活状况进行分析,不利于全面掌握增殖放流所产生的生态效益和经济效益。伴随着基于生态系统渔业管理理念的普及,单一指标已不能满足增殖放流效果评价的要求,许多学者已从生态、经济和社会效益多种角度阐述了增殖放流效果评价所应包含的内容。生态效益方面,应从种群—群落—生态系统3个方面进行评价。种群评价层面应涉及评估增殖放流活动是否能够提高放流种类的资源量以及是否对野生群体遗传多样性产生负面影响等内容;群落层面的评价应重点放在放流活动对生物群落多样性及群落结构稳定性产生何种影响的分析上;生态系统层面评价应涵盖对放流水域生态系统的结构功能和水质环境影响等内容的评估^[31]。经济效益方面,主要评价分析增殖放流的成本收益情况。社会效益方面,应以事实案例阐述水生生物资源综合管理能力和决策水平提高、全社会保护海洋生物和海洋生态意识加强、促进渔区社会稳定和精神文明建设等内容^[22]。放流效果评价应围绕规划预先设定的绩效指标进行量化评估,尽量避免模糊和定性评价(如通过增殖放流改善特定水域的生态环境等),以增加增殖放流效果评价的说服力。

3.3.2 准确应用标志手段跟踪放流群体 科学区分

放流群体和野生群体是准确评估增殖放流效果的基础,同时也是困扰增殖放流效果评价的主要难题。100年的增殖放流实践经验表明,标志技术创新是解决这一难题的有效手段。目前应用于海洋生物的标志方法主要有实物标志、分子标志和生物体标志3大类型^[45],其中实物标志种类相对较多,且操作方法也相对简便。

实物标志是早期增殖放流实践中使用最多的标记手段,传统上多采用体表标志,如挂牌、切鳍、注色法等。近年来,随着现代科学技术的进步,体内标志技术及其他高新标志技术也得到很快的发展,如编码微型金属标、被动整合雷达标、内藏可视标、生物遥测标、卫星跟踪标等也已广泛应用于海洋生物洄游习性和种群判别研究,而且这些标志技术仍在不断改进和完善^[36-37]。

分子标志是随着分子遗传学发展而诞生的一种基因标志方法。目前已在多种放流种类,诸如海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的群体判别上加以应用^[46-47]。

生物体标志主要是以生物的群体结构^[48-49]、形态结构、寄生生物^[50]等生物学和生化特征^[51]为分类基础所建立的一类标志方法。其中,群体标志法在某些种类(如中国明对虾)的增殖放流实践中已得到较好应用^[20]。

上述标志方法各有优、缺点。在应用于增殖群体的跟踪时,要根据实际情况以及调查目的和期限,选择合适的标志方法。

3.3.3 增殖放流生态效果评价 评估增殖放流的生态效果,通常包含2个方面的内容:①评估增殖放流对目标种类资源数量的增殖效果,这可通过放流种苗的成活率反映,具体评估指标参数涉及放流时的起始存活率、成长为幼体的成活率、生长为成体(可被渔业利用)的成活率、生长为繁殖群体的成活率^[52]。②评估放流群体对增殖水域的生态作用,重点分析增殖放流对生态系统结构和功能的影响程度。

3.4 完善资源增殖管理措施

3.4.1 对增殖放流种类实施遗传资源管理 遗传资

源管理是在实施增殖放流工作中的一项新的课题,其目的是在扩增种群资源数量的同时,避免由于引入人工放流种苗而引发遗传适合度的降低和遗传多样性的丧失^[53]。目前基因监测是实施遗传资源管理的主要手段,其监测过程应贯穿于实施增殖放流的全过程。

3.4.2 严格实施疾病防控和健康管理 对放流种苗实施疾病防控,不但可提高种苗的成活率,而且有利于放流物种野生群体及与之关系密切种类的生存与发展^[54]。目前许多国家已将之视为增殖放流的管理必须环节,如美国佛罗里达州要求种苗放流前一定要通过严格的细菌和病毒感染监测^[55]。

3.4.3 有效实施适应性管理 适应性管理是为了改善增殖放流工作质量的一种即时性管理,即放流责任方依据所获经验,可随时对增殖放流计划进行优化,以获取增殖效果最大化^[4]。

3.4.4 增殖放流应与其他渔业管理措施并举 就目前而言,造成种群衰退的原因往往是多重的,可能来自栖息地丧失、捕捞过度、环境污染和气候变化等诸多因素。在实施增殖放流的同时,如不对这些影响因素加以控制,增殖放流则无法达到其预期的目的。因此,明确种群衰退生态系统破坏原因,针对性地实施增殖资源特别渔业管理措施,将是实现增殖放流预期目标的重要保障^[12]。

4 结语和展望

4.1 中国海洋生物资源增殖放流现状及其存在的问题

中国规模化海洋生物资源增殖放流工作始于20世纪80年代末,虽然起步相对较晚,但发展迅速,特别是2006年国务院发布《中国水生生物资源养护行动纲要》后,全国沿海各省市更是纷纷行动起来,积极开展海洋生物资源增殖放流活动和人工鱼礁建设。据统计,2007年中国向各类水域投放各种鱼、虾、蟹、贝等经济水生生物种苗194.6亿尾(粒),投入资金2.64亿元,许多增殖放流种类获得了良好的投入产出效果。以中国对虾(*Panulirus stimpsoni*)

为例,现阶段该种类年放流种苗约6亿尾(粒),有研究表明,在黄海和东海海域对其进行增殖放流的投入产出比分别高达1: 8.5和1: 5.6^[20]。但在取得成绩的同时,冷静分析中国增殖放流的历程发现,目前各地的放流工作在技术上仍存在着诸多不足,总结起来主要集中在以下3个方面: ①有关中国海洋生态系统现状的基础调查研究工作滞后,大规模的种苗放流缺乏科学指导,在选择适宜放流对象、确定放流种苗最佳规格和数量、合理配比投放结构等方面存在着一定的盲目性; ②缺乏有效的标记技术,无法准确衡量增殖放流所产生的经济和生态效益; ③增殖放流对海域生物多样性和生态系统的影响方面仍缺乏深入系统的研究^[56-58]。

4.2 今后工作重点

目前,中国增殖放流工作主要以政府为主导,事业成本也主要由国家和地方财政负担,工作目标仍主要是以恢复渔业资源为首要任务,因此在基本认识上,开展“负责任海洋生物资源增殖放流”,不仅要确保增殖对象的资源状况得以恢复,以满足持续开发利用的要求; 同时还要确保野生资源群体的环境适应性、遗传资源多样性不会因投放人工繁育种苗而发生退化和降低; 充分考虑增殖水域生态系统的承受能力,注重其结构和功能的维持与稳定,决不能以破坏水域环境和生态系统平衡为代价,片面追求增殖放流可能产生的经济效益; 要坚持对政府成本和社会资本投入负责,最大限度地实现生态效益、经济效益和社会效益的三丰收。在技术上,应结合“负责任海洋生物资源增殖放流”的内涵,针对中国海洋生物资源增殖放流技术工作中存在的问题和不足,加强近海生态系统监测,根据增殖水域的生态系统特点,合理选择增殖放流种类,科学制定放流技术规程和资源增殖策略; 注重放流对象的质量和遗传资源管理; 着力加强放流群体的标志、回捕和评估技术研究,科学评价增殖效果; 加快制定与增殖放流工作相辅佐的配套渔业管理措施,有效发挥海洋生物资源增殖放流的资源增殖和生态修复效果。

参考文献:

- [1] Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems[J]. *Science*, 2001, 293: 629-638.
- [2] Pauly D V, Christensen S, Guenette T J, et al. Towards sustainability in world fisheries [J]. *Nature*, 2002, 418: 689-695.
- [3] FAO. The state of world fisheries and aquaculture [C]. Rome: FAO, 2006, 323-339.
- [4] Blankenship H L, Leber K M. A responsible approach to marine stock enhancement [C]// *Am Fish Soc Symp*, 1995, 15: 165-175.
- [5] Lorenzen K. Understanding and managing enhancement fisheries system [J]. *Rev Fish Sci*, 2008, 16 (1-3): 10-23.
- [6] Grimes C B. Marine stock enhancement: sound management or techno-arrogance? [J]. *Fisheries*, 1998, 23: 18-23.
- [7] Svåsand T, Kristiansen T S, Salvanes A G V, et al. The enhancement of cod stocks [J]. *Fish Fish*, 2000, 1: 173-205.
- [8] Boyce J, Herrmann M, Bischak D, et al. The Alaska salmon enhancement program: a cost/benefit analysis [J]. *Mar Res Econ*, 1993, 8: 293-312.
- [9] Bartley D M, Bell J D. Restocking, stock enhancement and sea ranching: Arenas of progress [J]. *Rev Fish Sci*, 2008, 16: 357-365.
- [10] Bell J D, Leber K M, Blankenship H L, et al. A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources [J]. *Rev Fish Sci*, 2008, 16: 1-9.
- [11] Bell J D, Bartley D M, Lorenzen K, et al. Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: Potential, problems and progress [J]. *Fish Res*, 2006, 80: 1-8.
- [12] Blaxter J H S. The enhancement of marine fish stocks [J]. *Adv Mar Biol*, 2000, 38: 1-54.
- [13] Molony B W, Lenanton R, Jackson G, et al. Stock enhancement as a fisheries management tool [J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2004, 13: 409-432.
- [14] Liao I C. How can stock enhancement and sea ranching help sustain and increase coastal fisheries? [M]// Howell B R, Moksness E, Svåsand T. *Stock Enhancement and Sea Ranching*. Oxford: Fishing News Book, 1999: 132-149.
- [15] Solomon D J. Salmon stock and recruitment, and stock enhancement [J]. *J Fish Biol*, 2006, 27: 45-57.
- [16] Masuda R, Tsukamoto K. Stock enhancement in Japan: review and perspective [J]. *Bull Mar Sci*, 1998, 62 (2): 337-358.
- [17] Bartley D M, Leber K M. Marine ranching[R]. FAO Fisheries Technical Paper No. 429, 2004: 1-18.
- [18] Svåsand T, Kristiansen T S, Salvanes A G V, et al. The

- enhancement of cod stocks [J]. *Fish Fish*, 2000, 1 (2): 173–205.
- [19] Boyce J, Herrmann M, Bischak D, et al. The Alaska salmon enhancement program: a cost/benefit analysis [J]. *Mar Res Econ*, 8, 293–312.
- [20] Wang Q, Zhuang Z, Deng J, et al. Stock enhancement and translocation of the shrimp *Penaeus chinensis* in China [J]. *Fish Res*, 2006, 80: 67–79.
- [21] 梁维波, 于深礼. 辽宁近海渔场海蜇增殖放流情况回顾与发展的探讨[J]. *中国水产*, 2007, 7: 72–73.
- [22] Hilborn R. The economic performance of marine stock enhancement projects [J]. *Bull Mar Sci*, 1998, 62 (2): 661–674.
- [23] Blaxter J H S. The enhancement of cod stocks [J]. *Adv Mar Biol*, 2000, 38: 1–54.
- [24] Aprahamian M W, Martin S K, McGinnitw P, et al. Restocking of salmonids—opportunities and limitations [J]. *Fish Res*, 2003, 62: 211–227.
- [25] McDowell N. Stream of escaped farm fish raises fears for wild salmon [J]. *Nature*, 2002, 416: 571.
- [26] Lee C L, Purcell S W, Maguire G B. Farming *Trochus* [J]. *Aquaculture WA*, 2001, 8: 1–8.
- [27] White R J, Karr J R, Nehlsen W. Better roles for fish stocking in aquatic resource management [C]// *Am Fish Soc Symp*, 1995, 15: 527–547.
- [28] Flagg T A, Waknitz F W, Maynard D J, et al. The effects of hatcheries on native coho salmon populations in the Lower Columbia River [C]// *Am Fish Soc Symp*, 1995, 15: 366–375.
- [29] Conover D O. Local adaptation in marine fishes: evidence and implications for stock enhancement [J]. *Bull Mar Sci*, 1998, 62: 477–493.
- [30] Sterigiou K I. Overfishing, tropicalization of fish stocks, uncertainty and ecosystem management: resharpening Ockham's razor [J]. *Fish Res*, 2002, 55: 1–9.
- [31] Link J S, Brodziak J K T, Edward S F, et al. Marine ecosystems assessment in a fisheries management context [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2002, 59: 1429–1440.
- [32] Travis J, Coleman F C, Grimes C B, et al. Critically assessing stock enhancement: an introduction to the Mote Symposium [J]. *Bull Mar Sci*, 1998, 62: 305–311.
- [33] Washington P M, Koziol A M. Overview of the interactions and environmental impacts of hatchery practices on natural and artificial stocks of salmonids [J]. *Fish Res*, 1993, 18: 105–122.
- [34] McEachron L W, Colura R L, Bumguardner B W, et al. Survival stocked red drum in Texas [J]. *Bull Mar Sci*, 1998, 62: 359–368.
- [35] Leber K M, Brennan N P, Arce S M. Marine enhancement with striped mullet: are hatchery releases replenishing or displacing wild stocks? [C]// *Am Fish Soc Symp*, 1995, 15: 376–387.
- [36] 张堂林, 李钟杰, 舒少武. 鱼类标志技术的研究进展[J]. *中国水产科学*, 2003, 10 (3): 246–253.
- [37] 陈锦淘, 戴小杰. 鱼类标记放流技术的研究进展[J]. *上海水产大学学报*, 2005, 14 (4): 451–456.
- [38] Leber K M. Prioritization of marine fishes for enhancement in Hawaii [Z]. 1994, The Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii.
- [39] Lassuy D Y. Introduced species as a factor in extinction and endangerment of native fish species [C]// *Am Fish Soc Symp*, 1995, 15: 391–396.
- [40] Leber K M. Rationale of an experimental approach to stock enhancement [M]// Howell B R, Moksness E, Svåsand T. *Stock enhancement and sea ranching*. Oxford: Fishing News Book, 1999: 63–75.
- [41] 周永东, 王永顺, 黄鸣夏. 浙江近海海域海蜇的增殖放流[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2004, 23 (1): 28–36.
- [42] 沈新强, 周永东. 长江口、杭州湾海域渔业资源增殖放流与效果评估[J]. *渔业现代化*, 2007, 34 (4): 54–57.
- [43] 梁维波, 姜连新, 于深礼. 辽宁近海渔场海蜇增殖放流的回顾与发展[J]. *水产科学*, 2007, 26 (7): 423–424.
- [44] 周永东. 浙江沿海渔业资源放流增殖的回顾与展望[J]. *水产科学*, 2004, 26 (2): 131–139.
- [45] Nielsen L A. Methods of marking fish and shellfish [M]. New York: *Am Fish Soc Spec Publ*, 1992: 23.
- [46] Wilbur A E, Arnold W S, Bert T M. The genetic assessment of an “enhanced” bay scallop population: do hatchery scallops produce successful recruits? [J]. *J shellfish Res*, 2000, 19: 667–668.
- [47] Castano-Sanchez C, Fuji K, Hayashida K, et al. A set of polymorphic trinucleotide and tetranucleotide microsatellite markers for the Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Anim Genet*, 2007, 38 (1): 75–76.
- [48] Zane L, Marcato S, Bargelloni L, et al. Demographic history and population structure of the Antarctic silverfish *Pleuragramma antarcticum* [J]. *Mol Ecol*, 2006, 15 (14): 4499–4511.
- [49] Zardoya R, Castilho R, Grande C, et al. Differential population structuring of two closely related fish species, the mackerel (*Scomber scombrus*) and the chub mackerel (*Scomber japonicus*), in the Mediterranean Sea [J]. *Mol Ecol*, 2004, 13: 1785–1798.
- [50] Larsen G, Hemmingsen W, MacKenzie K, et al. A population study

- of cod, *Gadus morhua* L., in northern Norway using otolith structure and parasite tags [J]. Fish Res, 1997, 32: 13–20.
- [51] Campana S E. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1999, 188: 263–297.
- [52] Lorenzen K. Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: practical theory for assessment and policy analysis [J]. Phil Trans Royal Soc B, 2005, 360: 171–189.
- [53] Busack C A, Currans K P. Genetic risks and hazards in hatchery operations: fundamental concepts and issues [C]// Am Fish Soc Symp, 1995, 15: 71–80.
- [54] Bartley D M, Bondad-Reantaso M G, Subasinghe R P. A risk analysis framework for aquatic animal health management in marine stock enhancement programs [J]. Fish Res, 2006, 80: 28–36.
- [55] Landsverg J H, Vermeer G K, Richards S A, et al. Control of the parasitic copepod *Caligus elongus* on pond-reared red drum [J]. J Aquat Anim Health, 1991, 3: 206–209.
- [56] 赵法箴. 加强增殖放流科学研究促进水生生物资源保护[J]. 中国渔业经济, 2004, 4: 29–30.
- [57] 张橙茂. 浅谈我国海洋渔业资源增殖[J]. 福建水产, 2000, 1: 52–57.
- [58] 邓景耀. 我国渔业资源增殖业的发展和问题[J]. 海洋科学, 1995, 4: 21–24.

Marine stock enhancement: Review and prospect

CHENG Jiahua, JIANG Yazhou

(Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Marine stock enhancement is an important measure for sustainable fishery management. In the paper, the history of marine stock enhancement was reviewed, and the experiences and lessons from stock enhancement programs in the last century were also presented. In the meanwhile, the paper introduced responsible approach to marine stock enhancement. All of these were expected to play a guiding role in the future marine stock enhancement programs in China. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 610–617]

Key words: fishery management; stock enhancement; ecological benefit; responsible approach