

我国近海渔业资源可持续产出基础 研究的热点问题*

金显仕^{1①} 窦硕增² 单秀娟¹ 王震宇³ 万瑞景¹ 卞晓东¹

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 中国水产科学研究院
黄海水产研究所 青岛 266071; 2. 海洋生态与环境科学重点实验室 中国科学院海洋研究所 青岛 266071;

3. 教育部海洋环境与生态重点实验室 中国海洋大学 青岛 266100)

摘要 近海具有极其重要的生态服务功能,是众多渔业生物的关键栖息地和优良渔场,支撑着近海渔业资源的补充和可持续生产。在我国,近海渔业提供 90% 以上的海洋捕捞产量,是我国优质蛋白的重要来源。目前,因过度捕捞直接造成的资源量骤减、及大规模围填海工程、陆源污染和海水养殖等高强度人类活动的加剧,近海资源和环境问题日益凸显,如:富营养化导致的赤潮、水母暴发等生态灾害,湿地减少引起产卵场、育幼场碎片化或功能消失等,使得近海渔业资源的补充和可持续性严重受损。渔业资源的补充过程是海洋生物、物理作用耦合的过程,依赖复杂多样的环境驱动因子来调节和维系可持续渔业生产。而渔业种群早期生活史阶段是其生命中最脆弱、对栖息环境变化的敏感性最强的阶段,小规模环境变化也可能对其资源补充过程产生剧烈影响。因此,渔业种群早期生活史的关键生境(产卵场、育幼场等)和过程(繁殖发育、存活生长等)对环境变化的响应机制及其资源效应的研究成为海洋生态系统演变和生物资源可持续产出前沿领域的重点和热点。作者在综合国内外相关研究动态和我国近海渔业生态系统存在的突出问题的基础上,展望并分析了关键栖息地的形成和变迁过程与机理、关键资源补充过程与机制、渔业种群对生境变化的适应性响应以及资源效应的综合评估与模型分析等研究热点,期待为我国该研究领域的发展起抛砖引玉之用。

关键词 渔业种群; 补充过程; 资源效应; 环境变化

中图分类号 S937 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2015)01-0124-08

海洋作为人类社会可持续发展的宝贵财富,是解决当今人类所面临的人口增长、环境恶化和资源短缺三大问题的关键基础保障。特别是 1994 年《联合国海洋法公约》生效后,各沿海国家均把可持续开发海洋、发展海洋经济定为基本国策。其中,近海及其邻近地区具有非常重要的供给、支持、调节与文化等生态系统服务功能,成为各国实施海洋战略的主要区域。近海渔业更是对于保障各国食物安全和促进海洋经济发展发挥了极其重要的作用,成为各国缓解粮食危机的战略措施之一(Jacquet *et al.*, 2010)。从全球来看,近海及其周边地区用 18% 的地球表面,提供了

25% 的初级生产力和 90% 的渔获量(Field *et al.*, 2002)。目前,约 30 亿人口的动物蛋白摄入量中有近 20% 来自水产品。其中,近海捕捞产量占 60% 以上(FAO, 2012)。就我国而言,自 20 世纪 80 年代改革开放以来,渔业生产力得到了显著提高,近海渔业得以快速发展。2012 年,近海捕捞产量达 1267 万 t,产值逾 1700 亿元(包含远洋产量 122 万 t; 中国渔业统计年鉴, 2013),在保障我国水产品供给、增加渔民收入、促进沿海地区海洋经济发展等方面做出了巨大贡献。

然而,随着科学技术的进步和生产力的不断提高,以及迅速增长的世界人口对食物资源需求的急剧

* 国家重点基础研究发展规划项目(2015CB453300)和山东省泰山学者专项基金共同资助

① 通讯作者: 金显仕, 研究员, E-mail: jin@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-09-13, 收修改稿日期: 2014-10-16

增加,人类对近海渔业资源的开发利用规模也越来越大,加之由于工业化、城市化、大型水利工程建设、农业活动等人类活动及全球气候变化的影响,近海生态系统健康和渔业资源的可持续产发生了显著变化。通过对世界 12 个近海和河口生态系统研究发现,90%以上的重要海洋生物资源被过度开发甚至消耗殆尽,超过 65%的海草和湿地栖息地遭受不同程度的破坏,并且造成严重的水环境污染(Lotze *et al.*, 2006; Stramma *et al.*, 2008; Courrat *et al.*, 2009)。渔业资源作为海洋生物资源的主体,因过度捕捞直接造成的资源量骤减和生态环境恶化造成的关键栖息地如产卵场退化,已经呈现全球性衰退趋势,日益危及生态系统的健康和渔业资源的可持续性。而且,这种趋势已从沿岸水域蔓延到近海水域(Myers *et al.*, 2003; Lotze *et al.*, 2006; Worm *et al.*, 2005、2006、2007、2009; Zeller *et al.*, 2011; Jacquet *et al.*, 2010; Anticamara *et al.*, 2011),引起了各国科学家的广泛关注。认识生物种群资源变动对环境变化响应的能力,探究生物资源的生产过程与机制也已成为 GLOBEC、IMBER 等国际科学组织的前沿研究方向(唐启升等, 2002)。渔业资源因其对世界优质蛋白供应的特殊贡献,其资源变动和可持续利用问题更是备受关注,尤其是环境变化下渔业资源的补充过程及资源效应已成为当前国际渔业资源领域基础研究的重点和热点。

1 研究意义和国家需求

近年来,我国水产品动物蛋白消费量约占人均动物蛋白消费量的三分之一,且呈上升趋势。根据国民经济与人口的发展趋势分析,预计 2020 年我国对海洋水产品的需求将有大幅度的增加,达到 4000 万 t/年,其中海洋年捕捞产量需要维持在 1500 万 t 左右。目前,海洋捕捞产量中 90%以上来自近海。然而,在人类活动和环境变化压力下,我国近海生态系统的结构与功能正发生着显著的变化,并影响到其生态服务功能(关道明, 2012; 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究课题组, 2013)。例如,围填海直接导致滩涂、湿地和海湾空间减少、水动力条件改变及其自净能力的下降,污染和富营养化加剧水质/底质恶化和生态服务功能下降,过度捕捞和关键栖息地的数量减少和质量退化导致渔业资源衰退。诸如此类栖息地的生境变化已导致渔业种群资源补充过程受损、渔场渔汛消失、渔获质量降低和资源衰退或枯竭等问题,严重制约近海生态系统的健康和食物产出能力,日益危及渔业资源的可持续发展(金显仕等, 2005; 唐启升, 2006)。而我国远洋渔业虽然在过去 30 多年中已

取得了较大发展,但年产量仅维持在 100 万 t 左右,远远不能支撑我国对海洋水产品的基本需求。由此,2013 年,国务院在《关于促进海洋渔业持续健康发展的若干意见》中明确指出,“加强海洋渔业资源和生态环境保护,不断提升海洋渔业可持续发展能力”是我国今后渔业发展的主要任务。在人类活动和气候变化影响日益加剧的情况下,科学认识环境变化对海洋渔业资源变动的的影响及渔业种群对环境变化的响应机理是保护海洋渔业资源和生态环境、提升渔业资源的可持续发展能力的必要前提,也是促进我国海洋渔业持续健康发展的需求。因此,亟需研究近海渔业种群资源补充过程的变化机理,认识渔业种群数量变动规律,为寻求渔业资源可持续开发利用与环境相协调发展的科学途径、保障近海生态系统的食物可持续产出功能和优质水产品供给的管理与政策的实施提供理论依据和技术支撑。

另一方面,近海渔业问题还涉及到我国在今后海洋资源安全和战略发展的走向。随着与一些周边国家的双边渔业协定的实施,我国一些传统作业渔场范围正在变小,捕捞配额和产量受到严重影响。而在处理国际渔业纠纷问题时,科学认识渔业种群生物学、资源属地和属性的确权及其数量变动规律等问题至关重要。许多在我国近海产卵繁育的重要洄游性渔业种类(如小黄鱼 *Larimichthys polyactis*、鲆鲽类和中国对虾 *Penaeus chinensis*)的越冬群体会洄游到一些国际水域而被“共享”。因此,开展环境变化下渔业资源变动的基础研究,特别是解决近海环境变化对渔业种群早期生活史、补充过程、资源效应及其迁移分布的影响等问题,将有利于我国争取国际共享资源的高配额和提升资源分配与管理的话语权,以及应对未来可能产生的国际海洋资源与环境问题争端。

2 国际研究热点和发展趋势

鱼类早期生活史的研究兴起于 20 世纪 60、70 年代 FAO 设立鱼类浮游生物(鱼卵、仔稚鱼)调查工作组(Working Party on Fish Egg and Larval Surveys)并颁布了调查技术规范和研究方法(Standard Techniques for Pelagic Fish Egg and Larva Surveys)之后(Smith *et al.*, 1977)。在 70、80 年代国际海洋考察理事会(ICES)举办的 3 次鱼类早期生活史国际学术研讨会大大革新了渔业种群补充机制及数量变动研究的理念(Blaxter, 1974; Lasker *et al.*, 1981; Blaxter *et al.*, 1989)。从 1977 年起美国渔业学会(American Fisheries Society, AFS)举办的仔鱼学术年会(Annual Larval Fish Conference)

则是展示和交流国际上相关研究成果和动态的重要学术平台。年会的研究主题一般聚焦于环境变化和人类活动影响下海洋渔业种群的繁殖生态、仔鱼的分散运输过程、摄食和生长存活策略、饥饿和被捕食死亡过程,以及种群的适应性响应和资源数量变动等科学问题(Browman *et al.*, 2014)。

2.1 全球变化背景下, 渔业种群的补充机制及其对环境变化的响应机制已成为一些国际组织和大科学计划的研究主题之一

在 GLOBEC 的相关研究计划中, 北大西洋的“鲑鱼与气候变化”(ICES-CCC)、全球性的“小型中上层鱼类与气候变化”(SPFCC)和北太平洋的“气候变化与容纳量”(PICES-CCCC)等科学计划注重作用过程和反馈机制研究, 研究气候变化下鲑鱼等渔业种群的早期补充过程与关键海洋生物、物理过程的耦合作用, 认识这些国际共享性渔业种群数量变动对气候变化的响应及其对海洋生态系统演化的反馈作用等问题。科学问题包括从小规模海洋动力过程对仔鱼的摄食生长策略和生存死亡过程的影响、饵料生物种群变动与渔业补充群体的相互作用, 到全球变化背景下大尺度风速场、流场和温度场等物理过程变化对仔鱼分散运输和生长过程的调控机制等。这些研究计划大大促进了研究环境变化下渔业种群补充机制和资源变动规律的基本科学理论框架和技术方法体系的构建。

2.2 区域性渔业种群资源变动研究聚焦过度开发或衰退性渔业种群的资源补充过程、驱动机理及其对环境变化的响应机制等问题

渔业资源补充过程中的幼体分散运输过程及其动力学基础、饵料生物种群变动与资源补充过程耦合关系等研究一直备受关注。例如, AFS 第 37 届(2013)仔鱼学术年会将“仔鱼分散运输与种群连通性”列为主要的议题之一。近年来的相关研究尤其活跃, 并取得了一系列重要进展(Leggett *et al.*, 1994; Helbig *et al.*, 1998a、b; Baumann *et al.*, 2006; Pepin, 2009)。例如, 欧洲科学家研究发现, 在全球变化影响下, 北海鲑鱼(*Gadus morhua*)产卵场水温的长期变化引起了仔鱼的浮游动物饵料——桡足类的种类、种群结构的改变和数量变动, 导致仔鱼经常由于无法得到充足的饵料保障而大量死亡, 造成过去几十年间北海鲑鱼种群补充失败和资源数量急剧波动和衰退(Beaugrand *et al.*, 2003; Richardson *et al.*, 2004)。而日本科学家通过半个多世纪的不懈研究, 终于搞清楚日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)仔鱼从产卵场(马里亚纳海山附近水域)到育

幼场(东亚沿岸水域)的长达数月、超过 2000 km 的远洋运输过程与机制。即仔鱼在北赤道海流和黑潮中发育生长, 并借助黑潮动力驱动完成从产卵场到育幼场的远洋运输过程。全球变化下厄尔尼诺等海洋事件会通过影响黑潮水系的水动力条件(如温盐场、流场)和营养基础等而造成鳗鲡补充量和资源量的剧烈变动或衰退(Tsakamoto, 1992、2006)。这些开创性研究成果大大促进了该研究领域的发展。

2.3 渔业种群早期生长存活和死亡过程研究是资源补充机制及其数量变动规律研究的重点、难点和热点

AFS 第 36 届(2012)和 38 届(2014)仔鱼学术年会分别将“鱼类早期生活史阶段不同死亡过程对资源补充的影响评估分析”、“鱼类早期生活史阶段死亡过程对资源补充变动的驱动作用”和“仔鱼食物网与捕食者-被捕食者相互作用”列为主要的议题之一, 包括在近海生态机制转变下海洋生物、物理过程的变化对渔业补充群体的饥饿死亡过程的作用(Leggett *et al.*, 1994; Pepin, 2009)、敌害生物如水母暴发日趋严重的情况下补充群体被捕食死亡过程与机制(Bailey *et al.*, 1989; Purcell *et al.*, 2001; Pepin *et al.*, 2003; Pepin, 2004; Hallfredsson *et al.*, 2009)以及基于亲体——补充群体关系的死亡模型分析等。这些研究注重近海生态系统演变下水动力基础和饵料生物种群的长期变化对鱼类浮游性动物种群死亡的过程研究(Head *et al.*, 2010), 创新了许多观测和取样方法, 如连续水下鱼卵取样系统等(Pepin *et al.*, 2005), 同时形成和发展了一系列理论假说和死亡分析模型, 如关键生活史阶段的匹配-非匹配饥饿死亡理论(Cushing, 1990)、物理过程作用分割式死亡模型、选择性和制约性死亡模型分析等(Helbig *et al.*, 1998a、b)。相关的理论和研究方法的创新将会在未来长时期内引领该领域的研究方向和发展。

2.4 在全球变化背景下, 渔业种群对环境变化的响应机制和基于生态系统的适应性管理研究越来越受关注

近年来, Science 和 Nature 发表的一系列相关论文提出并探讨了环境变化对渔业生态系统服务功能的作用机理(Myers *et al.*, 2003; Lotze *et al.*, 2006; Sibert *et al.*, 2006; Cheung *et al.*, 2013a、b)、渔业种群对环境变化的响应机制(Olsen *et al.*, 2004; Worm *et al.*, 2006; Cheung *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2011)以及基于生态系统的渔业资源的重建与适应性管理等科学理

论框架(Botsford *et al*, 1997; Pikitch *et al*, 2004; Beddington *et al*, 2007), 形成了国际渔业科学领域研究的一个新趋势。而环境变化下渔业资源补充过程的变动及其资源效应等研究, 特别是资源补充过程对环境变化的反馈机制, 是完善和实践这些理论框架的核心基础研究内容。其中, 在生境选择、摄食和生殖策略转变、食物网变动以及种群和群落演替等研究方面取得了重要研究进展(Saucier *et al*, 1993; Dahlgren *et al*, 2000; Laurel *et al*, 2007; Cheung *et al*, 2013a, b)。环境变化下亲体-补充量关系研究也日趋活跃(Fox, 2001), 产生了基于日产卵量的生殖群体评估模型(Kraus *et al*, 2004; Stratoudakis *et al*, 2006; Haslob *et al*, 2012)和基于个体生理因子分析模型解决环境驱动下鱼类早期补充动态变化(Hufnagl *et al*, 2011; Gröger *et al*, 2014)等一系列亲体-补充量关系分析模型。尽管如此, 目前多数相关研究大都处于资料积累归纳分析、科学假设、方法论构建和案例分析等阶段, 其理论验证和应用尚需深入研究。

综上所述, 国际上近海环境变化与渔业资源变动关系研究的一个重要发展趋势是: 在科学认识近海渔业生态系统演变的基础上, 围绕环境变化资源补充机制反馈——种群适应性响应及其资源效应这一渔业科学基础问题, 研究渔业-资源的补充过程及其驱动机理, 探究生境变化对渔业资源补充过程和亲体——补充量关系的影响, 阐释渔业种群的适应性响应及其资源效应, 为渔业种群的重建和构建基于生态系统的种群适应性管理理论提供科学依据。

3 国内研究现状和水平

在 20 世纪 80 年代之前, 我国渔业资源学和渔业海洋学研究主要聚焦于鲈(*Pneumatophorus japonicus*)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、小黄鱼、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、鲷类等重要渔业种群的渔场海洋学及渔业生物学等研究, 如“全国海洋普查”、“烟威鲈鱼渔场环境及资源调查”等。“七五”期间开始开展渔业生物学、渔业资源数量变动与生态环境关系的研究, 如实施了“胶州湾生态学和生物资源”、“渤海水域渔业资源、生态环境及其增殖潜力的调查研究”、“三峡工程对长江口生态系的影响”、“闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究”等研究计划。这些研究在近海渔业种群生物学(如种群结构、摄食、年龄生长、繁殖、洄游分布等)、资源数量分布与变动规律、渔业生态环境等方面积累了重要的调查数据, 产生了一批开创性研究成果, 为我国海洋渔业科学的发展奠定了研究

基础(邓景耀等, 1991; 陈大刚, 1991)。

“八五”以来, “渤海增养殖生态基础调查研究”、“典型海湾生态系统动态过程与持续发展研究”、“渤海生态系统动力学与生物资源持续利用”、“东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用”等国家重大项目注重生态环境变化对生物资源生产的影响研究。这些工作引领并推动了我国海洋生态环境与生物资源相关领域的基础研究(金显仕等, 2005; 唐启升, 2006)。之后, 科技部相继支持和实施了一批与海洋相关的“973”项目。这些研究大大提高了我国近海生态系统与生物资源的综合观测、建模和预测技术的研究水平, 对推动我国海洋生态系统动力学研究的发展发挥了重要的作用(唐启升等, 2000、2002)。

渔业种群作为海洋生态系统的生物主体之一, 其资源量的变动是反映生态系统结构与功能变化的重要指标, 因此, 环境变化与渔业资源补充机制和种群数量变动关系一直是国际上渔业科学研究的主题, 也是我国上述相关研究计划的重要研究内容之一。我国在该领域中也取得了一些重要研究成果, 如阐释了鳀鱼补充机制和资源变动规律、渤海渔业生态系统结构长期演变机制以及中国对虾的生活史及其亲体——补充量关系等问题(邓景耀等, 1991; 金显仕等, 2005; Tang *et al*, 2003; Jin *et al*, 2013)。其他相关研究主要集中在近海渔业种群的繁殖群体结构及繁殖力、鱼卵仔鱼的数量分布以及鱼类个体水平上的生殖、早期发育、存活及其与环境因子的关系等方面(姜言伟等, 1988; 万瑞景等, 2008、2009; 王爱勇等, 2010; Bian *et al*, 2014)。另外还有一些关于仔鱼关键阶段的摄食、饥饿死亡及鱼卵仔鱼被水母捕食死亡方面的研究(曹亮等, 2012; Dou *et al*, 2003; Shan *et al*, 2009)。在渔业种群对捕捞和环境变化压力的适应性响应的认识和研究方面, 也取得了一些进展, 如发现小黄鱼、带鱼等种群的性成熟个体年龄提前和小型化等现象(金显仕等, 2005)。但在总体上, 在关键资源补充过程中幼体分散输运过程、生长和死亡过程、亲体-补充量关系与海洋生物-物理过程的耦合关系以及渔业种群对环境变化的适应性响应机制等重要科学问题的研究尚不系统、深入, 研究水平有待于提高, 急需开展深入研究。

4 我国近海渔业生态系统的突出问题和研究关注点

近海拥有丰富的陆源营养物质补充, 基础生产力和生物多样性高, 具备适宜生物繁育生长的水动力基

基础和底质条件。渔业种群数量的变动主要由补充量的变化驱动,而种群的补充机制直接决定了渔业资源的世代发生量和生物资源的可持续产出。因此,近海是众多渔业生物的优良产卵场、索饵场和渔场,支撑着渔业种群的持续补充和繁衍。但近海同时又是人类活动密集、开发强度高的区域,其生境和生物资源受人类活动和环境压力的影响也是显而易见的(Worm *et al.*, 2006; Lotze *et al.*, 2006)。伴随着大规模围填海工程、污染物入海、海水养殖等高强度人类活动的加剧,我国近海富营养化,赤潮和水母爆发等生态灾害日趋严重,已经导致产生了许多渔业环境和资源问题。如栖息地减少、碎片化或消失,湿地功能退化,仔鱼分散输运动力学基础剧烈变动,饵料基础失衡,产卵场和育幼场环境污染严重与质量退化,生物多样性降低,食物网结构简单化、敌害生物种群暴发等(崔毅等, 2003; 金显仕等, 2005; Song, 2009; 关道明, 2012; 孙松, 2012; Jin *et al.*, 2013)。毋庸置疑,这些生境数量的减少和质量功能退化将对渔业种群的繁殖发育、幼体分散运输、生长存活、性成熟等关键补充过程产生深刻影响,并产生了一系列种群对环境变化的适应性响应问题如繁殖和生长生存策略转变、种群结构更替、生活史型演变、分布迁移路线变更和资源数量剧烈变动等(邓景耀等, 2000; Tang *et al.*, 2003; 张波等, 2004; 郭旭鹏等, 2006; 单秀娟等, 2011、2012; Jin *et al.*, 2013)。但是,对这些环境变化过程与生物生产过程的关联机制等诸多科学问题的认识尚不甚清楚,亟待深入研究。

环境变化导致近海生态系统服务功能的衰退已成为制约我国海洋渔业可持续发展的主要瓶颈,为实现基于生态系统的渔业管理造成了巨大障碍。为突破这种困境,围绕国家对近海渔业可持续发展的重大需求以及所面临的渔业生境退化和渔业资源衰退等问题,应重点关注以下4个方面的研究。

(1)关键栖息地的形成和变迁过程与机理。研究渔业种群繁育对产卵场、育幼场等栖息地的理化、生物环境条件的基础需求;探究生境变化对栖息地质量和种群繁育的影响途径;解析环境变化如围填海、污染等导致产卵场和育幼场的生境碎片化、数量减少以及质量功能退化等生境问题的过程和原因,阐释种群早期生活史生境的变迁特征及其驱动基础。

(2)关键资源补充过程与机制。研究渔业种群的卵和幼体的数量分布与环境因子变化的关系,揭示关键资源补充过程与重要海洋生物-物理过程的耦合机制;解析补充群体的分散运输过程和动力学基础、摄食策略和饵料生物种群变动与饥饿死亡过程、早期发

育生长和存活过程、逃避敌害策略和被捕食死亡过程的环境驱动基础。

(3)渔业种群对环境变化的适应性响应。研究渔业种群资源补充过程对产卵场、育幼场生境变迁响应的途径与机理;研究饵料基础、污染物及其他主控环境因子变迁对种群繁殖、生长存活等资源补充过程的作用,阐释种群生活史对生境变化的适应性响应机制。

(4)资源动态模型分析与资源效应综合评估。在上述研究的基础上,查明不同环境变化情景下种群亲体-补充量关系,分析生境变化对补充量的影响,建立资源效应综合预测评估模型,探究近海渔业种群早期生活史生境修复和资源养护的理论基础和科学途径。

参 考 文 献

- 万瑞景, 赵宪勇, 魏皓. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 II. 鳀鱼的产卵习性和胚胎发育特性. *动物学报*, 2008, 54(6): 988-997
- 万瑞景, 赵宪勇, 魏皓. 山东半岛南部产卵场温跃层对鳀鱼鱼卵垂直分布的作用. *生态学报*, 2009, 29(12): 6818-6826
- 邓景耀, 赵传纲. *海洋生物学*. 1991. 北京: 中国农业出版社, 1-452
- 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及保护研究. *动物学研究*, 2000, 21(1): 76-82
- 王爱勇, 万瑞景, 金显仕. 渤海莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼生物多样性的年代际变化. *渔业科学进展*, 2010, 31(1): 19-24
- 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究课题组. *中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究*. 2013. 北京: 中国环境科学出版社, 1-493
- 中国渔业统计年鉴. 2013. 北京: 中国农业出版社, I-II
- 孙松. 水母暴发研究所面临的挑战. *地球科学进展*, 2012, 27(3): 257-261
- 关道明. *中国滨海湿地*. 2012. 北京: 海洋出版社, 1-233
- 陈大刚. *黄渤海渔业生态学*. 1991. 北京: 海洋出版社, 1-505
- 张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究. *海洋科学进展*, 2004, 22(4): 393-404
- 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. *黄、渤海生物资源与栖息环境*. 2005. 北京: 科学出版社, 1-405
- 单秀娟, 金显仕, 李忠义, 等. 渤海鱼类群落结构及其主要增殖放流鱼类的资源量变化. *渔业科学进展*, 2012, 33(6): 1-9
- 单秀娟, 金显仕. 长江口近海春季鱼类群落结构的多样性研究. *海洋与湖沼*, 2011, 42(1): 32-40
- 郭旭鹏, 金显仕, 戴芳群. 渤海小黄鱼生长特征的变化. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 243-249
- 姜言伟, 万瑞景, 陈瑞盛. 渤海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼调查. *海洋水产研究*, 1988, 9: 185-192
- 唐启升. *中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境*. 2006. 北京: 科学出版社, 1-1158

- 唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究(I): 关键科学问题与研究发展战略. 2000. 北京: 科学出版社, 1–252
- 唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究(II): 渤海生态系统动力学过程. 2002. 北京: 科学出版社, 1–445
- 崔毅, 马绍赛, 李云平, 等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 35–41
- 曹亮, 刘金虎, 于鑫, 等. 实验条件下幼海蜇对褐牙鲆卵和初孵仔鱼捕食的比较研究. 海洋与湖沼, 2012, 43(3) : 513–519
- Anticamara JA, Watson R, Gelchu A, *et al.* Global fishing effort (1950–2010): Trends, gaps, and implications. *Fish Res*, 2011, 107: 131–136
- Bailey KM, Houde ED. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. *Adv Mar Biol*, 1989, 25:1–83
- Baumann H, Hinrichsen HH, Möllmann C, *et al.* Recruitment variability in Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus*) is tightly coupled to temperature and transport patterns affecting the larval and early juvenile stages. *Can J Fish Aquat Sci*, 2006, 63: 2191–2201
- Beaugrand G, Brander KM, Lindley JA, *et al.* Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature*, 2003, 426: 661–664
- Beddington JR, Agnew DJ, Clark CW. Current problems in the management of marine fisheries. *Science*, 2007, 316: 1713–1716
- Bian X, Zhang X, Sakrai Y, *et al.* Temperature-mediated survival, development and hatching variation of Pacific cod *Gadus macrocephalus* eggs. *J Fish Biol*, 2014, 84: 85–105
- Blaxter JHS. The early life history of fish. 1974. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1–200
- Blaxter JHS, Gamble JC, Westernhagen HV. The early life history of fish. The third ICES symposium, Bergen, 3-5 October 1988. Rapp P-V Réunion, ConsInt Explor Mer, 1989, 191: 1–497
- Botsford LW, Castilla JC, Peterson CH. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 1997, 277: 509–515
- Browman HI, Skiftesvik AB. The early life history of fish—there is still a lot of work to do! *ICES J Mar Sci*, 2014, doi:10.1093/icesjms/fst219
- Cheung WLW, Lam VWY, Sarmiento JL, *et al.* Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish*, 2009, 10: 235–251
- Cheung WLW, Watson R, Pauly D. Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*, 2013a, 497: 365–368
- Cheung WLW, Sarmiento J L, Dunne J, *et al.* Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change*, 2013b, 3:254–258
- Courrat A, Lobry J, Nicolas D, *et al.* Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estu Coast Shelf Sci*, 2009, 81(2): 179–190
- Cushing DH. Plankton production and year class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv Mar Biol*, 1990, 26: 249–293
- Dahlgren CP, Eggleston DB. Ecological processes underlying ontogenetic habitat shifts in a coral reef fish. *Ecology*, 2000, 81: 2227–2240
- Dou SZ, Masuda R, Tanaka M, *et al.* Identification of factors affecting the growth and survival of the settling Japanese flounder larvae. *Aquaculture*, 2003, 218(1–4): 309–327
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture. 2012. Rome, 1–209
- Field JG, Hempel G, Summerhayes CP. *Ocean 2020: Science, Trends and the Challenge of Sustainability*. 2002. Island Press, 1–296
- Fox C. Recent trends in stock-recruitment of blackwater herring (*Clupea harengus* L.) in relation to larval production. *ICES J Mar Sci*, 2001, 58: 750–762
- Gröger JP, Hinrichsen HH, Polte P. Broad-scale climate influences on spring-spawning herring (*Clupea harengus*, L.) recruitment in the Western Baltic Sea. *PLoS one*, 2014, 9(2): 1–14.
- Hallfredsson EH, Pedersen T. Effects of predation from juvenile herring (*Clupea harengus*) on mortality rates of capelin (*Mallotus villosus*) larvae. *Can J Fish Aquat Sci*, 2009, 66: 1693–1706
- Haslob H, Hauss H, Hinrichsen HH, *et al.* Application of the daily egg production method to Baltic sprat. *Fish Res*, 2012, 127: 73–82
- Head EJH, Pepin P. Spatial and inter-decadal variability in plankton abundance and composition in the Northwest Atlantic (1958–2006). *J Plankton Res*, 2010, 32: 1633–1648
- Helbig JA, Pepin P. Partitioning the influence of physical processes on the estimation of ichthyoplankton mortality rates. 1. Theory. *Can J Fish Aquat Sci*, 1998a, 55: 2189–2205
- Helbig JA, Pepin P. Partitioning the influence of physical processes on the estimation of ichthyoplankton mortality rates. II Application to simulated and field data. *Can J Fish Aquat Sci*, 1998b, 55: 2206–2220
- Hufnagl M, Peck MA. Physiological individual-based modelling of larval Atlantic herring (*Clupea harengus*) foraging and growth: insights on climate-driven life-history scheduling. *ICES J Mar Sci*, 2011, 68: 1170–1188
- Jacquet J, Pauly D, Ainley D, *et al.* Seafood stewardship in crisis. *Nature*, 2010, 467: 28–29
- Jin X, Shan X, Li X, *et al.* Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China. *Sci China (Earth Sci)*, 2013, 56: 366–374
- Kraus G, Köster FW. Estimating Baltic sprat (*Sprattus sprattus balticus* S.) population sizes from egg production. *Fish Res*, 2004, 69: 313–329
- Lasker R, Sherman K. The early life history: Recent studies.

- Rapp P-V Réun, Cons Int Explor Mer, 1981, 178: 1–607
- Laurel BJ, Stoner AW, Ryer CH, *et al.* Comparative habitat associations in juvenile Pacific cod and other gadids using seines, baited cameras and laboratory techniques. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2007, 351: 42–55
- Leggett WC, Deblois E. Recruitment mechanism in marine fishes: is it regulated by starvation and predation at egg and larvae stages? *Nether J Sea Res*, 1994, 32: 119–134
- Lotze HK, Lenihan HS, Bourque BJ, *et al.* Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 2006, 312: 1806–1809
- Myers RA, Worm B. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 2003, 423: 280–283
- Olsen EM, Heino M, Lilly GR, *et al.* Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature*, 2004, 428: 932–935
- Pepin P. Early life history studies of prey-predator interactions: quantifying the stochastic individual responses to environmental variability. *Can J Fish Aquat Sci*, 2004, 61: 659–671
- Pepin P, Dower JF, Davidson FJM. A spatially explicit study of prey-predator interactions in larval fish: assessing the influence of food and predator abundance on larval growth and survival. *Fish Oceanogr*, 2003, 12: 19–33
- Pepin P, Snelgrove PVR, Carter KP. Accuracy and precision of the continuous underway fish egg sampler (CUFES) and bongo nets: a comparison of three species of temperate fish. *Fish Oceanogr*, 2005, 14: 432–447
- Pikitch EK, Santora C, Babcock EA, *et al.* Ecosystem-based fishery management. *Science*, 2004, 305: 346–347
- Purcell JE, Arai MN. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. *Hydrobiologia*, 2001, 451:27–44
- Richardson AJ, Schoeman DS. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 2004, 305: 1609–1612
- Saucier MH, Baltz DM. Spawning site selection by spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, and black drum, *Pogonias cromis*, in Louisiana. *Environ Biol Fish*, 1993, 36: 257–272
- Shan XJ, Huang W, Cao L, *et al.* Ontogenetic development of digestive enzymes and effect of starvation in miiuy croaker *Miichthys miiuy* larvae. *Fish Physiol Biochem*, 2009, 35: 385–398
- Sibert J, Hampton J, Kleiber P. *et al.* Biomass, size, and trophic status of top predators in the Pacific Ocean. *Science*, 2006, 314: 1773–1776
- Smith ADM, Brown CJ, Bulman CM, *et al.* Impacts of fishing low-trophic level species on marine ecosystems. *Science*, 2011, 333: 1147–1150
- Smith PE, Richardson SL. Standard techniques for pelagic fish egg and larva surveys. *FAO Fish Tech Paper*, 1977, 175: 1–100
- Song JM. Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas. 2009. Springer-Verlag GmbH&Zhejiang University Press, 1–662
- Stramma L, Johnson GC, Sprintall J, *et al.* Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, 2008, 320: 655–658
- Stratoudakis Y, Bernal M, Ganius K, *et al.* The daily egg production method: recent advances, current applications and future challenges. *Fish Fish*, 2006, 7: 35–57
- Tang QS, Jin XS, Wang J, *et al.* Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea. *Fish Oceanogr*, 2003, 12: 223–233
- Tsukamoto K. Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 1992, 356: 789–791
- Tsukamoto K. Spawning of eels near a seamount. *Nature*, 2006, 439: 929
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, *et al.* Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 2006, 314: 787–790
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, *et al.* Response to Comments on “Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services”. *Science*, 2007, 316: 1285
- Worm B, Hilborn R, Baum JK, *et al.* Rebuilding global fisheries. *Science*, 2009, 325: 578–585
- Worm B, Sandow M, Oschlies A. Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science*, 2005, 309: 1365–1369
- Zeller D, Rossing P, Harper S, *et al.* The Baltic Sea: estimates of total fisheries removals 1950–2007. *Fish Res*, 2011, 108: 356–363

Hot Spots of Frontiers in the Research of sustainable Yield of Chinese Inshore Fishery

JIN Xianshi¹Ⓐ, DOU Shuozeng², SHAN Xiujuan¹, WANG Zhenyu³, WAN Ruijing¹, BIAN Xiaodong¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071; 3. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, 266100)

Abstract The inshore water areas are the major habitats and fishing grounds of many commercial species. Chinese inshore fisheries accounts for more than 90% of the total marine catches, and is an important resource of high-quality proteins for Chinese people. Currently the inshore fishery resources have been markedly declining due to the combination of overfishing and other excessive human activities (e.g. large-scale reclamation, pollution and mariculture). The sustainable production of many inshore fishery species has been impaired by adverse ecological change, such as the eutrophication-induced red tide and jellyfish bloom, and the fragmentation and defunctionalization of spawning and nursery grounds caused by the loss of wetlands. The recruitment of fishery populations is generally regulated by the interaction between the biological and physical processes in marine ecosystems which can be largely affected by the changes in environmental factors. To better understand the succession of marine ecosystem and sustainable yield of marine fishery populations, it is crucial to investigate how environmental changes affect the habitats and recruitment of fishery populations, especially at their early life stages. In this paper we reviewed literatures regarding these topics and analyzed the current situation of Chinese inshore fishery and the relevant problems of inshore ecosystems. We proposed and discussed four promising topics in future study: 1) fundamental and long-term changes in spawning and nursery grounds of fishery populations; 2) recruitment of fishery populations and the environmental driving forces; 3) adaptive strategies of fishery populations to environmental changes; and 4) evaluation of the effects of environmental changes on fishery population dynamics. These prospective studies are expected to provide essential knowledge that helps with the conservation of fishery habitats and resources as well as the improvement of sustainable development of inshore fisheries in China.

Key words Fishery populations; Recruitment; Impacts on fishery resources; Environmental changes

Ⓐ Corresponding author: JIN Xianshi, E-mail: jin@ysfri.ac.cn