

文章编号: 1674-5566(2020)05-0661-14

DOI:10.12024/j.sou.20190502673

2000 年来中国水产养殖发展趋势和方向

张文博^{1,2,3}, 马旭洲^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 中国是世界最大的水产养殖国家, 为全球粮食安全和营养供应做出了重要贡献。在新的社会发展阶段, 中国水产养殖需要解决与粮食安全、减贫和提供就业、食品安全和环境保护等相关的复杂且敏感的问题, 以期达到更加可持续地发展。本文系统综述了 2000 年来中国水产养殖发展趋势、存在问题和方向。中国水产养殖业自 2000 年以来获得了持续的发展, 集约化水平不断提高, 新增的特种养殖品种使得产业多样化水平增加, 一些传统的养殖模式逐渐消失, 而新的养殖技术和模式不断涌现。中国水产养殖的变化和发展响应了社会发展对水产养殖业的需求。然而中国水产养殖目前仍面临诸如生态环境、科技水平、产品供应结构、小农生产和政策风险等亟待解决的问题。随着中国社会发展和经济水平不断进步, 发展水产养殖的主要侧重点也逐渐从提供食物到提供就业和发展经济, 再到环境保护和食品安全。中国水产养殖业需要充分利用最新的设施装备技术、信息技术、遗传育种技术、营养饲料和病害防治技术促进水产养殖业发展, 努力提高水产养殖业规模化和组织化, 促进渔业“一、二、三产”协同发展, 并在新形势下逐渐走向国际化和可持续发展的道路。

关键词: 中国; 水产养殖; 可持续发展; 现状; 趋势
中图分类号: F 326.4 **文献标志码:** A

水产品(包括淡水和海水)是粮食供应的重要组成部分, 为人类提供了大量优质蛋白源, 能够提供人体必需的不饱和脂肪酸及多种微量元素^[1-3]。水产养殖是满足世界对水产品日益增长需求的唯一解决方案^[4-5]。中国是世界最大的水产品生产国、出口国和消费国, 占据全球约三分之一的市场份额^[6]。由于海洋生态环境受各种人类活动影响(工农业污染入海、围海造田和沿海堤坝建设引起的栖息地丧失以及捕捞压力增加等), 中国海洋捕捞增长乏力。2017 年水产养殖产量达 4 906 万 t, 养殖水产品占水产品比例从 2000 年的 60% 增至 2017 年的 76%^[7]。中国养殖的水产品不仅满足了国内需求, 而且对全球粮食安全和营养供应做出了重要贡献^[3]。20 世纪 80 至 90 年代中国水产养殖进入快速增长期(年

均增长率超过 11%), 由于水产养殖业增长基数增大、市场需求受政策调控以及环保政策执行等原因, 21 世纪中国水产养殖进入了平稳增长期(增长率为 3% ~ 7%), 2017 年降至 2.35%^[7]。根据《全国农业现代化规划(2016—2020 年)》和《全国渔业发展第十三个五年规划》, 渔业发展以保护资源和减量增收为重点, 推进渔业结构调整进行转型升级, 对水产养殖产业提出了更高的要求。在新的社会发展阶段, 中国水产养殖需要解决与粮食安全、减贫和提供就业、食品安全、环境保护等相关的复杂且敏感的问题, 以期达到更可持续地发展。本文系统综述了 2000 年来中国水产养殖发展现状和趋势、存在问题和方向, 以为开展相关研究和制定产业发展政策提供参考。

收稿日期: 2019-05-23 修回日期: 2020-03-15

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系项目(沪农科产字[2018]第 4 号); 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目(ZF1206); 上海市高水平大学建设研究项目(A1-3201-19-3003)

作者简介: 张文博(1981—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为水产养殖和渔业可持续发展。E-mail: wb-zhang@shou.edu.cn

通信作者: 马旭洲, E-mail: xz-ma@shou.edu.cn

1 现状与趋势

2000年后,在中国经济快速增长背景下,中央政府推出以工补农、以城带乡,缩小城乡差距的重大决策。从2004年起,中央政府颁布系列年度“1号文件”支持“三农”发展,使得渔业成为国家战略产业,并强调了发展水产养殖对农业环境保护、提高农民收入、增加水产品供应和解决“三农”问题的重要性。自2006年起,中国连续制定了“十一·五”、“十二·五”和“十三·五”3个全国渔业发展五年规划,对水产养殖和渔业的阶段性发展制定了详细的目标和计划。同期的改革措施还包括取消农业税;土地确权、流转和改革;实施农(渔)业补贴政策,如农业机械补贴和燃油补贴等;实施农(渔)业科技入户工程;农(渔)业良种工程;水产养殖园区标准化建设;海洋捕捞的零增长、负增长等政策。这些改革措施均有力地支撑了水产养殖发展^[8-9]。

2000年后,中国水产养殖模式进入了基于饲料投入为发展基础的新阶段,传统粗放式淡水鱼类混养逐渐转变为单一品种为主、少量套养品种为辅的集约化精养,单位面积产量快速增长^[8,10-15]。在人民群众不断实践的基础上以及新的生物学、养殖工程和养殖技术研究的支撑下,我国池塘养鱼不断突破高产记录。我国水产养殖平均每公顷产量从1990年的1 500 kg大幅度增至2013年的4 600 kg^[16],并进一步增长至2017年的近7 000 kg^[7]。长江流域的传统家鱼养殖单产稳定在15 000~22 500 kg/hm²^[17]。珠江三角洲乌鳢养殖最高单产达150 000 kg/hm²^[18],肉食性大口黑鲈养殖单产也近60 000 kg/hm²^[19]。养殖设施的改造和标准化建设对水产养殖高产起到积极作用。至“十一·五”末,我国累计改造标准化养殖池塘超过67万hm²,创建标准化健康养殖示范场(区)1 700多个^[20];同时对工厂化循环水养殖、深水抗风浪网箱养殖等渔业设施装备技术进行了有益探索。

由于经济发展、地租快速上升、社会对水产品需求变化以及产业升级等原因,中国沿海经济发达地区传统鱼类养殖逐渐被新兴的特种鱼类和虾蟹类养殖取代,传统养殖对象鲤科鱼类从主养品种转变为特种养殖的套养品种^[12]。水产养殖模式和方式发生了较大的改变,一些传统养殖

方式逐渐消失,如中国传统的桑基、蔗基和花基鱼塘生产方式,虽然营养物质和能量的内部循环利用可以大幅降低对环境的影响,但由于受劳动力成本上升等经济因素影响,现已被新型集约化生产方式取代^[21]。中部地区如湖南、湖北和江西等地现为鲤科鱼类主要产区^[7]。在政府推动和产业自主发展下,水产养殖业形成了一大批产业集群区和优势产业带,如广东茂名和海南文昌的罗非鱼养殖区、江苏盐城沿海的鲫鱼养殖区、福建宁德近海的大黄鱼养殖区等。对虾、罗非鱼、鳊鲃和河蟹等养殖品种优势区域形成,带动了我国水产品出口贸易的快速增长^[22]。

内陆水域水产养殖的变化趋势如实地反映了不同时代对行业的需求。内陆大水面渔业从最初的野生资源捕捞利用,先转变为1980年代开始的增殖放流,然后发展成1990年代的高密度围栏、网箱鱼类精养,并在2000—2010年达到养殖面积和产量的高峰^[23]。然而由于放养草食性鱼类破坏湖泊水草资源和围栏、网箱养殖的饵料高投入均对养殖水域环境造成了较明显的影响并引起了政府和人民群众的关注。2007年由于工农业、养殖和生活污水污染引起的太湖蓝藻暴发并造成当地饮用水供应危机,中国大部分省市的大中型水域以及河道的围栏、网箱养殖被大幅缩减,约7%的水产养殖产量受到影响^[3]。

在新形势下,中国水产养殖打造出了一系列符合生态和环保理念的增养殖模式,如淡水养殖的“保水渔业”和“净水渔业”^[24-26]。在湖泊、水库等大型水体中,“保水渔业”根据水体特定的环境条件,通过人工放养适当的鱼类,以改善该水域的鱼类群落组成,保障生态平衡,从而既达到保护水环境,又能充分利用水体的渔产力^[24]。在池塘养殖和围栏养殖等小型封闭、半封闭水体中,“净水渔业”以净化水环境为目的,以内源性生态修复方式,根据水体特定的环境条件,通过种植水生植物和人工放养适当的净水生物(鱼、螺、贝类)以改善水域的水生生物群落组成,让水体的氮、磷通过营养转化,增强水体自净能力,修复和维持水域生物多样性^[25]。“保水渔业”和“净水渔业”已在中国千岛湖渔业和河蟹养殖中成功实践,成为了我国淡水生态养殖的典范。

海水养殖也出现了“多营养层次综合水产养殖(IMTA)”。该系统将吃食性鱼类、滤食性贝

类、海藻等水生植物等物种适当混养。系统的高营养级物种养殖过程中废弃的营养物质,可被低营养级养殖对象重复利用以获得更多水产品和经济价值,并显著提高水产养殖的可持续性和生态、社会以及经济效益^[27-28]。中国 IMTA 模式的产业化程度(以大连獐子岛的海珍品底播增养殖以及荣成桑沟湾的贝藻综合养殖为例)已走在了世界前列^[27,29]。

另外,在粮食安全成为基本国策的背景下,中国稻田综合种养发展取得了显著成效。一大批以水稻为中心,以特种水产品为主导,以产业化经营、规模化开发、标准化生产为特征的稻田综合种养典型模式不断涌现,逐步形成了“以渔促稻、稳粮增效、质量安全、生态环保”的稻田综合种养新模式,在全国范围掀起了新一轮的发展热潮^[30-31]。

2 面临的挑战

2.1 生态环境问题

近年来随着中国经济发展,养殖水域环境显著恶化。中国水环境面临主要污染物排放量远超水体环境容量、江河湖泊普遍遭受污染、水环境恶化加剧等问题。同时水产养殖生产与环境保护也存在一定的矛盾,如水产养殖引起水体污染、湖库富营养化、海水发生赤潮等^[15,32]。水产养殖引起的一系列环境问题使得整个产业受到了巨大的公共压力^[32],也对产业本身造成了严重冲击,形成了诸如对鱼、虾养殖周期性繁荣与萧条的现象^[33-34]。由于中国以池塘养殖为主的水产养殖较为密集和集中,养殖集约化水平逐渐升高,且缺乏统一的科学规划和养殖容量管理制度,水产养殖形成的污染通常超过了当地水体的自净能力。如我国现有的 80% 以上工厂化养殖采用“大进大出”的用水方式^[22],造成地下水资源枯竭、近海污染和病害传播^[35],而循环水养殖水体仅占工厂化养殖总水体的 5% 左右^[36]。传统的养殖方式不仅不符合当前重视环境保护的潮流,而且对自身发展也造成负面影响。

2.2 科技水平问题

虽然中国水产养殖种质资源和遗传育种研究有较大的进展^[37],但中国很多主要养殖鱼类良种化比例仅 25%^[38],且经过长期养殖后出现了近亲繁殖和种质衰退等问题。中国的水产饲料

工业也面临部分品种营养生理基础研究滞后、饲料品质差、蛋白源利用效率低等问题。一些肉食性养殖品种仍依赖于海捕小杂鱼作为主要饵料,不仅破坏海洋渔业资源,也造成养殖水体环境恶化和病害传播^[39]。中国的养殖鱼类在长期养殖之后,由于环境恶化、种质衰退和病原传播等问题,病害发生频率和广度大幅增加。2017 年中国因病害造成水产养殖损失 20.6 万 t,受灾面积 15.9 万 hm²,损失达 34 亿元^[7]。由于中国养殖品种多样,大多数鱼类缺乏相应疫苗,并存在抗生素、消毒剂和各种化学品过量使用等问题^[40]。近年来使用较多的微生物制剂在水产养殖中的作用仍存在较大不确定性,需要进一步研究^[41]。

另外水产养殖的发展可能受到环境、资源、宏观经济条件、国际贸易和关税、市场特征和社会行为等影响而发生重大变化^[3]。当前水产养殖面临的挑战包括:气候变化、气候多变性和极端天气事件;环境退化和生境破坏;治理不善、疫病和逃逸以及外来物种入侵;场地和水资源的可获得性和可供性;高效水产养殖增长以及技术和科研进步;食品安全和可追溯性等问题^[3]。这些问题均需要进一步科学研究。

2.3 产品供应结构性问题

随着中国社会经济的高速发展和人们生活水平的改善和提高,人们对食品安全的意识和对食品品质的追求也与日俱增。中国水产养殖区域较为集中,而且水产养殖和上市时间受季节变化规律影响,容易出现季节性、区域性供应过剩问题,影响产业经济效益。一方面,中国市场水产品种类丰富、数量繁多,似有“供过于求”的状况,但另一方面,真正让消费者放心的安全、优质水产品仍比较少,远不能满足市场的需求。现有水产养殖产品名特优品牌少、缺乏质量安全体系、竞争力低。

2.4 小农为主的生产模式问题

中国水产养殖业仍以中小规模养殖户为主,生产和管理较为分散,距离标准化、产业化生产有较大差距,尚属农业化、牧业化的弱质产业。中小规模养殖户无力开展品牌管理、质量管理、环境管理,使得食品安全风险控制较为困难,难以符合时代对高质量和安全水产品的要求。

2.5 政策风险问题

未来水产养殖的发展取决于可获得的空间、

土地、水和其他资源^[3]。然而目前发展中国家水产养殖需要获取的空间仍存在一定的政策风险。当前中国粮食安全政策主要着眼于以谷物为主的宏量元素供应^[42],而水产品保障微量元素供应方面做出的突出贡献^[43]以及其多样健康膳食的重要意义^[3]并没有在当前粮食安全政策体现出来,并有导致“隐藏的饥饿^[44]”的风险。粮农组织和世界卫生组织牵头的联合国“营养行动十年(2016—2025年)”正呼吁将水产品纳入主流的粮食安全和营养政策^[3]。当前的《基本农田保护条例》及农田保护的“土地开发红线”,均对进一步发展池塘养殖形成了制约。由于中国经济快速发展,第一产业增加值占国内生产总值的比重逐年降低。2017年中国渔业经济总产值和水产养殖产值分别占全年国内生产总值的3.0%和1.1%^[7,45]。因此,渔业易被忽视,并在与工业化和城市化进程对土地使用的竞争中处于劣势。环保优先的发展战略也将进一步对水产养殖和捕捞业赖以生存的发展空间造成挤压。

3 发展方向

不同的经济、社会发展阶段,对水产养殖有不同的需求。改革开放伊始,中国温饱问题亟待解决,渔业重点在于为社会提供更多的食物,中国水产养殖得到了快速发展并显著提高了集约化水平和单位面积产量。

随着温饱问题的解决,水产养殖产业提供就业和发展经济的功能逐渐被重视。在农业中,水产养殖是附加值和产值较高的产业,发展水产养殖业是传统农业和农民进行多样化发展和消除贫困的重要策略之一^[46-47]。水产养殖生产的各个环节提供了大量的劳动就业。2017年中国水产养殖行业为490万人提供了直接就业^[7]。中国各地涌现了一大批水产养殖专业乡镇和专业村,带动了大批农业人口脱贫致富。水产养殖相关的产业,包括饲料、加工、流通和休闲渔业等提供了以千万计的就业机会。水产养殖业已成为促进农村经济发展的支柱产业。据国家统计局城乡住户调查结果显示,2017年全国渔民人均纯收入18452元,大幅度高于中国农村居民人均可支配收入13432元^[7,48]。

然而近年来随着经济、社会的快速发展,人们除了要求农业供应食物之外,逐渐在环境和食品安全等方面提出更多的要求。环境保护和食品安全在农业中的重要性逐渐超越粮食安全和提供就业(图1)^[50]。中国渔业也逐渐从粗放式增长走向了经济效益、生态效益和社会效益并重的道路,并在“十三·五”期间明确了以生态效益优先的发展道路^[3,9,20,22,49]。这要求水产养殖业的发展,要适应新形势下、以生态保护为优先发展策略的可持续发展的战略要求。

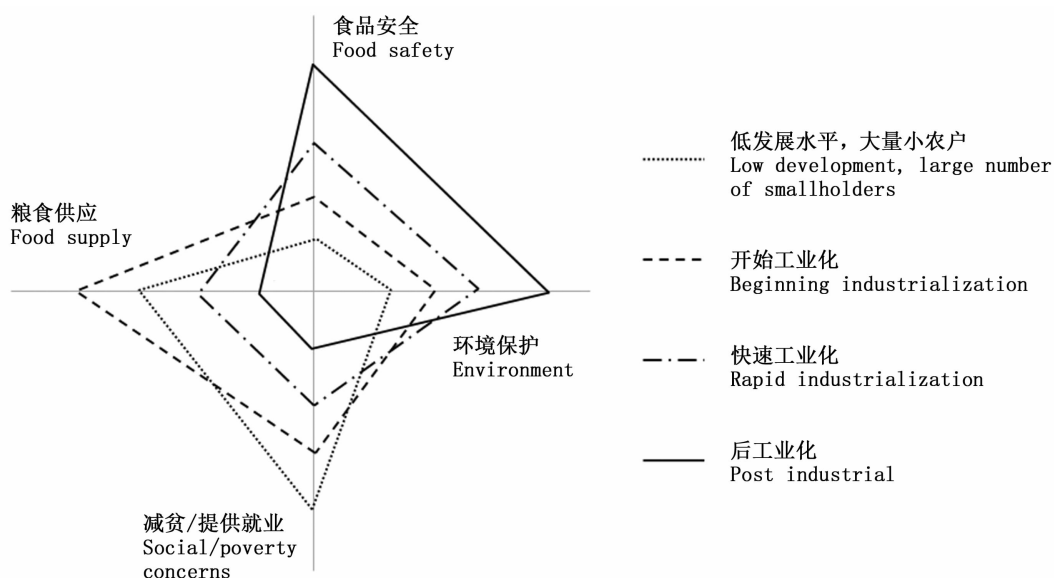


图1 经济发展的畜牧业政策重心演变

Fig. 1 Shift in livestock policy objectives in relation to economic development

3.1 利用最新科学技术促进水产养殖业发展

3.1.1 渔业设施装备技术

中国水产养殖业要改变“面朝水面,背朝天”的作业方式,必须在生产资料、生产手段方面实现机械化、工业化、自动化,才能提高生产力,降低劳动强度,提高劳动者生产效率,缩短养殖周期,增加经济效益。鱼类增养殖业的设施化包括从常规的养殖池塘标准化建设、工厂化流水养殖和普通网箱,到先进的循环水养殖和外海深水网箱等设施渔业装备。通过对传统池塘养殖设施的改造和标准化建设,增加生态养殖所需的新装备和新技术,改变水产养殖业内源污染严重的现状。同时研究和开发水环境修复技术,对现有的污染水体进行积极地修复和生态重建,促进渔业转型升级和生态环境修复协调发展^[49]。近期池塘养殖出现的池塘流水槽养殖系统等有潜力推动养殖技术革新的设施,但其投资较高且系统成熟度有限,仍未被产业广泛应用。循环水养殖目前由于系统成本较高、技术设施投入和维护成本较高、技术要求较严格,以及中国养殖品种繁多、常规养殖品种经济价值较低等因素,其应用仍局限于部分高价值特种鱼类,如石斑鱼、大菱鲆和鳗鲡等品种的养殖^[51]。尽管外海深水网箱提供了一个水产养殖产业新的增长点,但由于技术可靠性、经济效益,以及与其他行业竞争海域使用权等问题,其发展仍有诸多不确定因素^[52-55]。普通网箱也存在大量投饵极易导致水域富营养化,生态网箱技术被研发出来并取得良好的生态效益^[56],但其在内陆水域的推广仍受当前环保政策的限制。需要根据中国国情,掌握养殖设施现代化的度,在实践中对工业化的生产方式进行进一步地实践和探索,努力找出一条适合中国国情的渔业设施装备发展新道路。

3.1.2 信息技术

伴随着传感器技术、卫星遥感、物联网技术、电子商务、大数据、云计算、机器学习和人工智能等新一代信息技术发展,“智慧农业”将成为未来全球农业发展的方向。在“智慧农业”、“精准农业”概念基础上,水产养殖行业也提出向“智慧渔业”和“精准养殖”方向发展,以期利用现代信息技术和装备对渔业生产的各个要素进行数字化设计、智能化控制、精准化运行及科学化管理。现阶段信息技术在水产养殖的应用包括:物联网

水产养殖监测与控制软硬件系统、渔业水质及气象智能化测报系统和基于地理信息系统和物联网的智慧渔业政府管理系统等。然而由于缺乏对现有养殖系统基础数据的积累和相关养殖模型的研究,现有的渔业信息系统与实现“智慧渔业”和“精准养殖”尚有较大差距,推进“智慧渔业”和“精准养殖”是一项长期性的工程。

3.1.3 鱼类遗传育种

种质资源是水产养殖业发展最根本的物质条件。水产养殖优质苗种和遗传改良计划,尤其是品种选育,是提高生产效率和提升水生动物健康状况的有效手段^[3]。中国种业经过多年发展,经历了从群体选育和杂交育种到如今的家系选择育种和基因组选择编辑的技术变革,育种目标也从单纯追求高产转向高品质和抗逆性选育^[37]。新的育种技术,尤其是全基因组选择育种、分子模块设计育种、转基因和基因编辑等,为水产养殖的发展带来新的机遇^[57-58]。经过长达 20 年的多方面安全评估后,2015 年美国食品药品监督管理局批准一种可供食用的转基因三文鱼上市销售,这是全球第一种获批准上市的、供食用的转基因动物。中国在转基因鲤鱼的研发和安全评估走在国际前列。研究表明,转基因技术可以将养殖周期大幅缩短至对照组的一半时间,饵料转化效率提高近 20%,降低了养殖成本和风险,大幅度降低了劳动强度并减少了对环境影响^[59-60]。随着社会进步和人们科学素养的提高,基因工程有望成为水产养殖业发展的主要技术驱动力之一。

3.1.4 鱼类营养饲料技术的开发

2000 年以来,传统的水产养殖品种逐渐从施肥和投放精饲料为主转变为配合饲料化,促使养殖产量不断提升。作为水产养殖业发展的物质基础,水产配合饲料行业随水产养殖业的快速发展进入了高速发展时期。1991 年中国水产配合饲料产量只有 75 万 t,仅占中国配合饲料总产量约 3%,到 2014 年中国水产配合饲料产量约为 1 874 万 t,占配合饲料总产量 12.26%。水产饲料行业已发展成为中国饲料工业的重要支柱产业^[61]。据统计,2014 年中国水产饲料产量占全世界水产饲料产量 40%^[62]。目前,中国水产养殖通过投喂配合饲料生产的比例仍较低,有巨大的发展潜力^[14]。水产养殖投喂策略研究,包括投喂率、投喂频率以及投喂时间,均对鱼类的生长

有显著影响^[63]。通过信息化技术的应用,可以构建水产养殖饲料配方模型,根据相关参数对水产养殖饲料配方和投喂决策进行制定,可实现养殖管理标准化、精细化和数字化,为信息化的生产管理提供理论依据^[63-65],这也将成为“智慧渔业”和“精准养殖”的核心环节。

3.1.5 将病害防治拓宽为“生物安全”

中国水产养殖业发展迅速,养殖规模较大,养殖过程容易出现各种疾病,而且发病复杂,疾病种类较多,容易呈现爆发性流行特点,这主要由中国水产养殖种类超过水域负载能力以及水产品病害诊断水平较低引起^[64]。对于水生动植物病害不仅从防病、治病的范畴去考虑,而应将生物安全观念逐步应用于集约式养殖^[40]。疾病预防与控制真正落实在养殖主体、水环境和病原3个环节。同时通过对水产养殖管理、水产品运输、水产养殖病害监控等方面进行系统性建设,可以实时发现病害,并且对病害程度进行报告,有利于养殖户与相关部门做好防范和预警工作,防止大面积暴发疾病^[64]。

3.2 提高水产养殖业规模化和组织化

在中国水产养殖业中,小型养殖场仍占多数。诸多学者认为小型养殖场在减贫、提供就业和粮食安全方面具有重要作用,因而在水产养殖发展中要避免其被边缘化^[66-69]。然而小农经济很难在市场经济和全球化的浪潮中保持竞争力^[70]。扩大水产养殖业的经营规模,可有效实现规模经济效益,促进劳动分工和专业化,并大幅提高劳动效率^[71-76]。在养殖技术推广中,小养殖户会遇到投入产出两难的问题,采用新技术总是需要一定学习或购置设备成本,而其收益却受到较小的养殖规模限制,因而养殖户对采纳新技术缺乏足够的动力^[76]。同样也无法在众多、分散的小型养殖场基础上建立有效的可追溯系统来保障食品安全,使其很难满足当前社会对安全水产品的需求^[76]。

欧洲鲑鳟养殖是水产养殖规模化的一个成功案例,其规模化的成功原因在于竞争加剧、新技术的应用、劳动者教育程度的提高等^[77]。现在欧洲鲑鳟养殖由少数在竞争中生存下来的几个公司进行经营^[78]。发展中国家也有较好的规模化案例,例如越南巴沙鱼养殖业在2008年70%的养殖场小于5 hm²^[79],至2012年这一比例降至

30%^[80],其规模化主要由出口推动、激烈的市场竞争和小养殖场无力增加投资等原因造成^[81]。同样,中国水产养殖业也需要进行规模化,这需要土地确权和发展土地租赁市场等配套措施^[82]。规模化通过提高劳动效率,降低对劳动力投入的需要。这也符合自2012年来我国劳动人口减少,剩余劳动力逐渐消失,渔业从业人员老龄化的现状^[83-84]。

农业合作社可以有效改善养殖场效益^[85-88]。建立渔业协会和合作社等新型生产合作组织,将分散的养殖户组织起来,不仅可以提高养殖技术,而且大幅度减少内耗,提高了经营管理水平,提高了市场竞争力^[89]。通过合作社,小养殖户也能够获得一定的规模效益^[90-91],并可有效克服市场经济和全球化带来的挑战^[92]。自2007年7月1日《农民专业合作社法》颁布实施以来,我国渔民专业合作经济组织数量增长迅速,截至2015年底,全国共有渔民专业合作社4.6万户^[93]。渔民专业合作社在渔业生产的产前产中产后各环节发挥着重要作用,其优势也日益突出,但部分渔业合作社发展水平参差不齐,仍需要继续发展和完善。我国水产养殖业仍需进一步向规模化和组织化方向发展。

3.3 从“一产”为主到“一、二、三产”协同发展

中国渔业和水产养殖产业仍然以第一产业为主。2017年第一产业占渔业总产值的50%。第二产业、第三产业分别占渔业总产值的23%和27%^[7]。在中国渔业产业发展中,应大力发展渔业的第二产业,包括水产饲料加工产业和水产品加工产业。这些产业是进一步提升渔业向工业化转化的重要措施,对拉长水产品产业链,提高渔业经济效益起着日益重要的作用。同时需要大力发展第三产业,尤其是要加快渔业相关的现代服务业发展,打造水产品的全产业链可追溯系统、电子商务系统和冷链物流系统,营造一个安全可控的水产流通系统,减少物流损失,确保新鲜的品质和高标准食品安全,加强水产品的认证工作和品牌建设工作,进一步增加水产品的附加值。还需要大力发展休闲渔业,开展休闲渔业相关研究^[94],将水产养殖功能由单纯的物质享受扩大到精神享受,集旅游、观赏、垂钓、娱乐、美食、休养、度假为一体的休闲渔业将成为蓬勃发展的新兴产业。

3.4 水产养殖业的国际化

全球化和贸易自由化重塑了世界农业和食品供应,一些发达国家和地区如欧盟逐渐变为农产品的净进口国^[94],水产品也从发展中国家大量出口到发达国家^[95]。现在水产养殖已经发展为一个深度全球化的行业,其原材料供应和最终产品销售,均高度依赖于国际贸易。随着食品运输科技进步,供应链因而逐步延长,水产品可能在 A 国生产、B 国加工、C 国消费^[3]。全球水产品贸易额占农产品贸易额的 10%^[95],并超过了许多传统国际贸易农产品如橡胶和咖啡^[31]。水产品国际贸易也刺激了诸多水产养殖品种发展,如中国的罗非鱼和越南的巴沙鱼,大部分产品都供应国际市场^[80]。

随着 2001 年中国加入世界贸易组织,中国渔业发展也逐渐融入了全球经济圈,水产品贸易得以快速发展。目前中国是全球最大水产品生产国、消费国、出口国和进口国^[3]。一方面中国水产养殖业依赖于国际市场提供原材料,尤其是水产饲料主要原材料豆粕和鱼粉。另一方面水产品出口快速增长,南美白对虾、罗非鱼、大黄鱼和鳗鲡等养殖水产品成为中国主要出口对象,带动了中国水产品出口贸易的快速增长;同时水产品加工能力显著增强,中国成为世界水产品来(进)料加工贸易的主要基地,在国际市场分工中占据了重要地位^[8,22]。

目前很多发达国家非常依赖养殖水产品进口^[96],如何确保其未来水产品的供应被逐渐重视^[97]。随着中国逐渐成为发达经济体,同时受国内渔业资源保护和环境保护工作力度加大、国内水产品消费需求日益增长、品质升级等方面因素影响,预计中国将进口更多水产品用于国内消费。中国水产养殖产量占世界养殖总产量的份额近年来持续下降,从 1995 年的 65.03% 降至 2014 年的 61.62%^[98],这主要由一些新兴水产养殖国家产量的迅速提升引起。例如,在此时期,印度尼西亚从 2.63% 增至 5.77%,越南从 1.56% 增至 4.60%,埃及从 0.29% 增至 1.54%^[98]。在此背景下,中国大力推进渔业方面的国际合作,尤其是推动一带一路项目框架下中国渔业产业在海外进行投资。国内水产养殖饲料和养殖龙头企业已经在越南、马来西亚和印度尼西亚等东南亚国家开始大量投资,建设本地化的饲料企业和

水产养殖设施^[99]。这些东南亚国家适宜的气候、充足的水资源、较为低廉的土地和人力成本为发展水产养殖提供了良好的条件和巨大的发展潜力。

同时,与发达国家的水产养殖产业,如挪威工业化三文鱼网箱养殖相比,中国水产养殖仍具有生产分散、技术水平较差、集约化程度较低的特点,并呈现出多样化养殖品种和养殖模式。中国与发达国家水产养殖的差距可以用劳动生产率来衡量。2010 年中国水产养殖产业人均年生产 7 t 水产品,而挪威 187 t,北美洲 183.2 t^[95]。与此同时,中国水产养殖总产值占世界养殖总产值的比例相对较低,2014 年仅占 45%,远低于产量占比^[100]。这是由于中国水产养殖产品以传统的低价格养殖品种为主,高价值品种所占比例较低造成。相比之下,挪威水产养殖产量占世界 1.8%,而产值占 4.2%,这是由于其产品主要以高价值的三文鱼为主。中国在提高养殖工业化、自动化和信息化水平方面,仍需要向国外发达国家学习,尽可能地与发达国家开展多领域的科研、教学和生产合作。引进国外养殖种类(经科学论证)、仪器设备以及养殖、加工工艺和经营管理方法等,实现渔业现代化。

3.5 走向“可持续养殖”的发展道路

当今世界正经历着工业化、城镇化、信息化和全球化的快速变革,诸如粮食安全和气候变化等全球性问题也让人们面临巨大挑战,这些问题的广度和复杂度需要全面的、系统的思维方式和相应的知识论、世界观和研究方法进行解决^[101]。近年来水产养殖和水产品的可持续性遭到质疑,尤其是针对食品安全事件、环境影响、产业周期性波动、酷渔滥捕和资源严重衰退等问题。这些问题不是纯粹的生物学或环境学问题,而是复杂的经济、社会和技术问题的复合体。传统的研究方式、方法并不能妥善地解决这些问题。

为了消除水产养殖和水产品贸易引起的环境和社会问题,可持续发展的概念被引入水产养殖产业研究。布伦兰特夫人将可持续发展定义为“既能满足当代人需要,又不对后代人满足其需要的可能性构成危害的发展”,其包含了环境、经济和社会 3 个方面^[102]。这 3 个方面也暗含了三者之间的权衡与取舍^[102]。如在面临饥荒的社会问题面前,需要降低生物多样性保护的重要

性。更复杂的权衡与取舍存在于水产品全球价值链的环境、治理、社会经济、粮食安全、腐败和企业社会责任等方面。

传统的水产养殖学研究仅关注生产系统的生物和环境因素,通常不考虑经济和社会因素及其影响,而且多是使用基于简化论的、自上而下专家导向的研究方法^[102]。而随着可持续发展研究的深入,自下而上基于社区参与的研究方式被重视起来,以期达到对现状更全面的分析^[102]。“系统性方法”被作为一种新的研究范式来解决可持续发展的问题。与传统的研究方法不同,系统性方法以整体论和系统论为基础,所有问题都需要放在一个整体中进行理解^[102]。需要通过一个多学科交叉、基于整体论的系统性研究方法对影响水产养殖发展的社会、经济和环境问题进行研究^[104]。

2015年联合国各成员国通过的《2030年可持续发展议程》,为渔业和水产养殖业对粮食安全和营养所做的贡献及其在自然资源利用方面的行为规范设定了目标,以确保在经济、社会和环境各方面实现可持续发展^[98]。近年来,一个水产养殖可持续发展的框架被开发出来,包括了生产技术、社会和经济因素及环境3个方面(图2)^[76,105]。

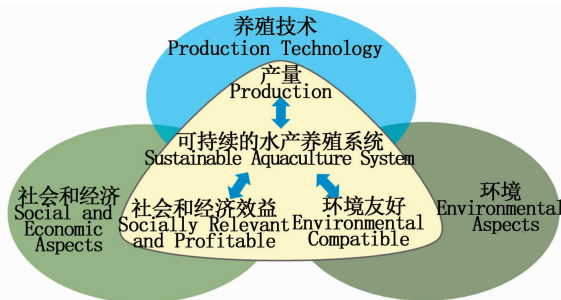


图2 水产养殖的可持续发展框架

Fig.2 Framework of sustainable aquaculture systems

联合国粮食及农业组织(粮农组织)在可持续发展框架下提出了水产养殖生态系统方法^[106]。中国水产养殖行业也提出了很多可持续发展的概念和做法,如健康养殖、生态养殖和标准化养殖等,并将其与循环经济、绿色经济和低碳农业等概念相结合^[107]。

随着全球水产养殖行业走向后生产主义,可持续消费的概念逐渐流行起来。生态标签、生态设计及清洁生产开始被水产养殖行业接受^[108],

这些策略的核心是产量让位于生态。传统的水产养殖业提高效益的核心策略主要是高投入、高产出的集约化和养殖品种的多样化。然而这些策略带来的环境影响较为显著,并影响了产业的可持续性^[109]。在可持续发展的框架下,水产养殖业需要改变以往的发展策略,重视通过产品认证和品牌宣传等手段提升产业效益并降低环境影响,解决相关的社会问题、食品安全和质量、动物卫生和福利等问题,以获得生态、经济和社会全面的可持续发展^[106]。如低营养级或滤食性鱼类对环境的影响较小,但由于其经济价值较低而不受重视。而近年来我国水产养殖业通过有机水产品认证、品牌建设等方式显著地提高了滤食性鱼类增殖的经济效益和环境效益,促进了渔业的可持续发展^[23,110]。

4 结论

在中央政府各项惠农和支持渔业发展的政策帮助下,中国水产养殖业自2000年来获得了持续的发展。水产养殖集约化水平不断提高,新增特种养殖品种使产业多样化水平增加。传统的养殖模式逐渐消失,而新的养殖技术和模式不断涌现,水产养殖正向生态养殖转变。中国水产养殖的变化和发展,响应了社会对水产养殖业不断变化的需求。

然而,中国水产养殖仍然面临着生态环境、科技水平、产品供应结构、小农生产和政策风险等问题。工农业发展引起的中国水环境污染有望在生态文明建设的大潮中有所改善,但水产养殖仍需要进行统一的科学规划并实施养殖容量管理制度,同时努力发展生态养殖新模式,降低养殖的内源污染,避免环境恶化引起的产业周期性繁荣与萧条的现象。经过多年努力,中国水产养殖产业的科技水平获得显著提高,但由于中国水产养殖品种较多和模式多样化程度较高,科研和新技术的应用较为分散,大多数养殖品种仍需要更多的科技支撑。水产养殖产品也出现了供求结构性失衡的问题,传统养殖品种的集约化养殖导致供应结构性过剩,从而导致低质低价问题,优质化养殖水产品发展相对滞后。由于历史原因,我国农业经营规模普遍较小。小农为主的经营模式,是普遍实施标准化水产养殖和保障食品安全的可追溯系统的巨大障碍。同时水产养

殖产业需要认识到影响产业发展的一些政策风险。

中国水产养殖的快速发展期,也是中国改革开放 40 年经济、社会发生翻天覆地巨大进步的时期。随着改革开放以来中国社会发展和经济水平不断进步,发展水产养殖的主要侧重点也逐渐从提供食物到提供就业和发展经济,再到环境保护和食品安全。中国水产养殖业需要充分利用最新的设施装备技术、信息技术、遗传育种技术、营养饲料和病害防治技术促进发展,针对目前小农经营为主的缺点,努力提高水产养殖业规模化和组织化,促进渔业“一、二、三产”协同发展,并在新形势下逐渐走向国际化和可持续发展的道路。

参考文献:

- [1] GJEDREM T, ROBINSON N, RYE M. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review[J]. *Aquaculture*, 2012, 350-353: 117-129.
- [2] ARANCETA J, PÉREZ-RODRIGO C. Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidelines for fat and fatty acids: a systematic review[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 107(s2): S8-S22.
- [3] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018 — meeting the sustainable development goals[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- [4] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2014[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.
- [5] DUARTE C M, HOLMER M, OLSEN Y, et al. Will the oceans help feed humanity? [J]. *BioScience*, 2009, 59(11): 967-976.
- [6] COOKE J. China's growing appetite for good seafood[EB/OL]. *ATS Content Manager's Blog*, 2012: 1. <http://www.ats-sea.agr.gc.ca/blog/6080-eng.htm>.
- [7] 农业农村部渔业管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *China fisheries statistical yearbook* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018.
- [8] CAO L, NAYLOR R, HENRIKSSON P, et al. China's aquaculture and the world's wild fisheries[J]. *Science*, 2015, 347(6218): 133-135.
- [9] CAO L, CHEN Y, DONG S L, et al. Opportunity for marine fisheries reform in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(3): 435-442.
- [10] EDWARDS P. Rural aquaculture: from integrated carp polyculture to intensive monoculture in the Pearl River Delta, South China[J]. *Aquaculture Asia Magazine*, 2008: 3-7.
- [11] EDWARDS D P. The changing face of pond aquaculture in China[J]. *Global Aquaculture Advocate*, 2008: 77-80.
- [12] CHIU A, LI L P, GUO S J, et al. Feed and fishmeal use in the production of carp and tilapia in China[J]. *Aquaculture*, 2013, 414-415: 127-134.
- [13] KANG B, LIU M, HUANG X X, et al. Fisheries in Chinese seas: what can we learn from controversial official fisheries statistics? [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2018, 28(3): 503-519.
- [14] 唐启升, 韩冬, 毛玉泽, 等. 中国水产养殖种类组成、不投饵率和营养级[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(4): 729-758.
TANG Q S, HAN D, MAO Y Z, et al. Species composition, non-fed rate and trophic level of Chinese aquaculture [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(4): 729-758.
- [15] EDWARDS P. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends [J]. *Aquaculture*, 2015, 447: 2-14.
- [16] KANG B, HUANG X X, LI J, et al. Inland fisheries in China: past, present, and future[J]. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2017, 25(4): 270-285.
- [17] XIAN Z. A study of carp production and consumption in Hubei Province of China[D]. University of Stirling, 2016.
- [18] 唐东东. 华南生鱼养殖调查报告[J]. *内陆水产*, 2009, 34(9): 11-16.
TANG D D. Investigation report on snake head fish farming in South China[J]. *Inland Aquatic Product*, 2009, 34(9): 11-16.
- [19] 张凯, 余德光, 谢骏, 等. 珠江三角洲地区大口黑鲈池塘养殖系统的能值评估[J]. *水产学报*, 2017, 41(9): 1424-1433.
ZHANG K, YU D G, XIE J, et al. Emergy evaluation of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) aquaculture system in the Pearl River Delta, China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(9): 1424-1433.
- [20] 农业部. 全国渔业发展第十二个五年规划(2011年-2016年)[R]. 北京: 农业部, 2011.
Ministry of Agriculture. *Twelfth five-year plan for national fisheries development (2011-2016)* [R]. Beijing: Ministry of Agriculture, 2011.
- [21] ASTUDILLO M F, THALWITZ G, VOLLRATH F. Modern analysis of an ancient integrated farming arrangement: life cycle assessment of a mulberry dyke and pond system[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2015, 20(10): 1387-1398.
- [22] 农业部. 全国渔业发展第十一个五年规划(2006年-2010年)[R]. 北京: 农业部, 2006.
Ministry of Agriculture. *The 11th five-year plan for national*

- fisheries development (2006-2010) [R]. Beijing: Ministry of Agriculture, 2006.
- [23] JIA P Q, ZHANG W B, LIU Q G. Lake fisheries in China: challenges and opportunities [J]. *Fisheries Research*, 2013, 140: 66-72.
- [24] 刘其根. 千岛湖保水渔业及其对湖泊生态系统的影响 [D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- LIU Q G. Aquatic environment protection oriented fishery in lake Qiandaohu and its influences on the lake ecosystem [D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [25] 吕东锋, 王武, 马旭洲, 等. 生态渔业中稻田养鱼(蟹)的生态学效应研究进展 [J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(3): 51-55.
- LUY D F, WANG W, MA X Z, et al. Research progress on biological effect of raising fish (Crabs) in ecological fishery [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2010, 38(3): 51-55.
- [26] 桂建芳, 张晓娟. 新时代水产养殖模式的变革 [J]. *长江技术经济*, 2018, 2(1): 25-29.
- GUI J F, ZHANG X J. The transformation of aquaculture model in the new era [J]. *Technology and Economy of Changjiang*, 2018, 2(1): 25-29.
- [27] TROELL M, JOYCE A, CHOPIN T, et al. Ecological engineering in aquaculture-Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems [J]. *Aquaculture*, 2009, 297(1/4): 1-9.
- [28] 张琪, 霍元子, 刘巧, 等. 上海低盐度封闭海域 IMTA 建立及大黄鱼生态养殖 [J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(2): 242-248.
- ZHANG Q, HUO Y Z, LIU Q, et al. Establishment of IMTA in Shanghai's low salinity closed sea and ecological breeding of large yellow [J]. *Shanghai Ocean University*, 2020, 29(2): 242-248.
- [29] 蒋增杰, 方建光, 毛玉泽, 等. 海水鱼类网箱养殖的环境效应及多营养层次的综合养殖 [J]. *环境科学与管理*, 2012, 37(1): 120-124.
- JIANG Z J, FANG J G, MAO Y Z, et al. Environmental effect of marine fish cage aquaculture and integrated multi-trophic aquaculture [J]. *Environmental Science and Management*, 2012, 37(1): 120-124.
- [30] 王武. 我国稻田种养技术的现状与发展对策研究 [J]. *中国水产*, 2011(11): 43-48.
- WANG W. Research on current situation and development countermeasures of rice-fish farmign technology in China [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2011(11): 43-48.
- [31] 郭海松, 徐冠洪, 刘其根. 青田稻-鱼共生系统水稻密度对水稻生长及产量构成的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(6): 890-901.
- GUO H S, XU G H, LIU Q G. Effects of rice density of Qingtian rice-fish coculture system on rice growth and yield composition [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(6): 890-901.
- [32] MARTINEZ-PORCHAS M, MARTINEZ-CORDOVA L R. World aquaculture: environmental impacts and troubleshooting alternatives [J]. *The Scientific World Journal*, 2012, 2012: 389623.
- [33] SZUSTER B. Coastal shrimp farming in Thailand: searching for sustainability [M]//*Environment and Livelihoods in Tropical Coastal Zones; Managing Agriculture-Fishery-Aquaculture Conflicts*. Oxon, England: Cabi Publishing, 2006: 86-98.
- [34] BELTON B, PADIYAR A, RAVIBABU G, et al. Boom and bust in Andhra Pradesh: development and transformation in India's domestic aquaculture value chain [J]. *Aquaculture*, 2017, 470: 196-206.
- [35] 殷蕊, 宫春光. 工厂化循环水养殖中若干问题的探讨 [J]. *河北渔业*, 2013(7): 62-64.
- YIN R, GONG C G. Discussion on some problems in industrialized recirculating aquaculture [J]. *Hebei Fisheries*, 2013(7): 62-64.
- [36] 唐启升. 水产养殖绿色发展咨询研究报告 [M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- TANG Q S. Research report on green development of aquaculture [M]. Beijing: Ocean Press, 2017.
- [37] 魏友海, 张明. 依靠水产种业创新 促进水产养殖业绿色发展 [J]. *科学养鱼*, 2018(7): 13-16.
- WEI Y H, ZHANG M. Relying on innovation in aquatic seed industry to promote green development of aquaculture industry [J]. *Scientific Fish Culture*, 2018(7): 13-16.
- [38] 中国养殖业可持续发展战略研究项目组. 中国养殖业可持续发展战略研究 水产养殖卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- China Aquaculture Sustainable Development Strategy Research Project Group. Sustainable development strategy research of China's livestock and aquaculture: aquaculture volume [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [39] Greenpeace East Asia. An investigation report into China's marine trash fish fisheries [R]. Beijing, 2017.
- [40] HENRIKSSON P J G, RICO A, TROELL M, et al. Unpacking factors influencing antimicrobial use in global aquaculture and their implication for management: a review from a systems perspective [J]. *Sustainability Science*, 2018, 13(4): 1105-1120.
- [41] 郑侠飞. 微生物制剂和碳源对水产养殖环境的影响及作用机制 [D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- ZHENG X F. The role and mechanisms of microbial product and exogenous carbon in affecting the environment for aquaculture [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [42] HE J. Chinese public policy on fisheries subsidies: Reconciling trade, environmental and food security stakes [J]. *Marine Policy*, 2015, 56: 106-116.
- [43] KAWARAZUKA N, BÉNÉ C. The potential role of small fish species in improving micronutrient deficiencies in developing countries: building evidence [J]. *Public Health Nutrition*, 2011, 14(11): 1927-1938.

- [44] MABERLY G F, TROWBRIDGE F L, YIP R, et al. Programs against micronutrient malnutrition; ending hidden hunger[J]. Annual Review of Public Health, 1994, 15: 277-301.
- [45] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2017 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2019-01-20]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201802/t20180228_1585631.html.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistical Communiqué of the 2017 National Economic and Social Development of the People's Republic of China[EB/OL]. [2019-01-20]. http://www.stats.gov.cn/Tjsj/zxfb/201802/t20180228_1585631.html.
- [46] DIXON J, GULLIVER A, GIBBON D. Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world [M]. Rome and Washington; FAO and World Bank, 2001.
- [47] PINGALI P L, ROSEGRANT M W. Agricultural commercialization and diversification: processes and policies [J]. Food policy, 1995, 20(3): 171-185.
- [48] 中华人民共和国国家统计局. 2017 年居民收入和消费支出情况 [EB/OL]. (2018-01-18) [2019-01-20]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201801/t20180118_1574931.html.
National Bureau of Statistics. Residents' Income and Consumption Expenditure in 2017[EB/OL]. (2018-01-18) [2019-01-20]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201801/t20180118_1574931.html.
- [49] 农业农村部. 全国渔业发展第十三个五年规划(2016-2020 年)[R]. 北京: 农业农村部, 2017.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. The 13th five-year plan for national fisheries development (2016-2020) [R]. Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2017.
- [50] STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T, et al. Livestock's long shadow: environmental issues and options [M]. Rome: FAO, 2006.
- [51] 刘崇新, 操志翔, 刘新明, 等. 我国水产养殖污染物减排技术应用现状及建议[J]. 养殖与饲料, 2018(9): 119-124.
LIU C X, CAO Z X, LIU X M, et al. Application status and recommendations of aquaculture pollutant emission reduction technology in China[J]. Animals Breeding and Feed, 2018(9): 119-124.
- [52] TROELL M, JONELL M, HENRIKSSON P J G. Ocean space for seafood[J]. Nature Ecology & Evolution, 2017, 1(9): 1224-1225.
- [53] FROEHLICH H E, SMITH A, GENTRY R R, et al. Offshore aquaculture: i know it when i see it[J]. Frontiers in Marine Science, 2017, 4: 154.
- [54] OYINLOLA M A, REYGONDEAU G, WABNITZ C C C, et al. Global estimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species[J]. PLoS One, 2018, 13(1): e0191086.
- [55] BUCK B H, TROELL M, KRAUSE G, et al. State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) [J]. Frontiers in Marine Science, 2018, 5: 165.
- [56] 李猛, 马旭洲, 王武. 大藻对网箱养殖长吻鮠生长及氮、磷排放的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 402-406.
LI M, MA X Z, WANG W. Effects of aquatic macrophyte *Pistia stratiotes* L. on growth and nitrogen and phosphorus budgets in *Leiocassis longirostris* reared in net cages [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(5): 402-406.
- [57] 桂建芳, 周莉, 张晓娟. 鱼类遗传育种发展现状与展望[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(9): 932-939.
GUI J F, ZHOU L, ZHANG X J. Research advances and prospects for fish genetic breeding [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(9): 932-939.
- [58] GUI J F, TANG Q S, LI Z J, et al. Aquaculture in China: success stories and modern trends[M]. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 2018.
- [59] 王大元. 美国转基因三文鱼商业化的启示[J]. 科学通报, 2016, 61(3): 289-295.
WANG D Y. Implications of US GMO Salmon approved for commercial food use [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(3): 289-295.
- [60] 朱作言, 胡炜. 转基因鱼及其安全性[J]. 科学, 2017, 69(6): 25-27.
ZHU Z Y, HU W. Transgenic fish and its biosafety [J]. Science, 2017, 69(6): 25-27.
- [61] 智研咨询. 2016 年我国水产饲料行业发展概况分析[R]. 北京: 智研咨询, 2016.
ZHIYAN CONSULTING. 2016 China's aquatic feed industry development profile analysis[R]. Beijing: 2016.
- [62] ALLTECH. 2015 global feed survey [R]. Nicholasville Kentucky USA, 2015.
- [63] 李健鹏, 方彰胜, 陈怀定, 等. 水产养殖投喂策略的研究进展[J]. 农业与技术, 2019, 39(3): 110-112.
LI J P, FANG Z S, CHEN H D, et al. Research progress in aquaculture feeding strategy [J]. Agriculture & Technology, 2019, 39(3): 110-112.
- [64] 景瑞雪. 水产养殖信息化关键技术研究现状与趋势[J]. 农家参谋, 2018, (16): 17.
JING R X. Research status and trends of key technologies in aquaculture informationization [J]. Agriculture Consultant, 2018, (16): 17.
- [65] 赵建. 循环水养殖游泳型鱼类精准投喂研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
ZHAO J. Precise feeding for the swimming fish in recirculating aquaculture system [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [66] ITO S. Globalization and agrarian change: a case of freshwater prawn farming in Bangladesh [J]. Journal of International Development, 2004, 16(7): 1003-1013.

- [67] RIVERA-FERRE M G. Can export-oriented aquaculture in developing countries be sustainable and promote sustainable development? the shrimp case [J]. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2009, 22(4): 301-321.
- [68] BRUMMETT R E, GOCKOWSKI J, POUOMOGNE V, et al. Targeting agricultural research and extension for food security and poverty alleviation: a case study of fish farming in central cameroon [J]. *Food Policy*, 2011, 36(6): 805-814.
- [69] BONDAD-REANTASO M G, SUBASINGHE R P, JOSUPEIT H, et al. The role of crustacean fisheries and aquaculture in global food security: past, present and future [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2012, 110(2): 158-165.
- [70] World Bank. World development report 2008: agriculture for development [M]. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development, 2008.
- [71] SMITH A. The wealth of nations [M]. London: W. Strahan and T. Cadell, 1776.
- [72] NIRAGIRA S, DHAESE M, BUYASSE J, et al. Options and impact of crop production specialization on small-scale farms in the Noth of Burundi [C]//Proceedings of the 4th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, September 22-25, 2013. Hammamet, Tunisia: AAAE, 2013.
- [73] WEGNER L, ZWART G. Who will feed the world? The production challenge [R]. Oxford, UK: Oxfam International, 2011.
- [74] BELTON B, HAQUE M M, LITTLE D C. Does size matter? Reassessing the relationship between aquaculture and poverty in bangladesh [J]. *The Journal of Development Studies*, 2012, 48(7): 904-922.
- [75] 沈柳, 翟乾乾, 赵蕾, 等. 新型渔业经营主体生产技术效率研究——基于南京市水产专业大户的调查数据 [J]. *农业科技管理*, 2017, 36(6): 49-52, 72.
SHEN L, ZHAI Q Q, ZHAO L, et al. Research on production technology efficiency of new fishery business subjects —— based on survey data of major aquatic products in Nanjing [J]. *Management of Agriculture Science and Technology*, 2017, 36(6): 49-52, 72.
- [76] ZHANG W B. Sustaining export-oriented value chains of farmed seafood in China [D]. Scotland, UK: University of Stirling, 2014.
- [77] ROTH E. Does globalization of markets influence the aquaculture challenge in Asia? [C]//Proceedings of the ASEM Workshop Aquachallenge. 2002: 27-30.
- [78] NAYLOR R, BURKE M. Aquaculture and ocean resources: raising tigers of the sea [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 30(1): 185-218.
- [79] PHAN L T, BUI T M, NGUYEN T T T, et al. Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* in the Mekong Delta, Vietnam [J]. *Aquaculture*, 2009, 296(3/4): 227-236.
- [80] Phan T L. Sustainable development of of export-orientated farmed seafood in Mekong Delta, Vietnam [D]. Scotland, UK: University of Stirling, 2014.
- [81] DE SILVA S S, PHUONG N T. Striped catfish farming in the Mekong Delta, Vietnam: a tumultuous path to a global success [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2011, 3(2): 45-73.
- [82] HUANG J K, WANG X B, QUI H G. Small-scale farmers in China in the face of modernisation and globalisation [R]. The Hague, London: IIED/HIVOS, 2012.
- [83] KRUMME U, WANG T C, WANG D R. From food to feed: assessment of the stationary lift net fishery of East Hainan, Northern South China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2013, 57: 105-116.
- [84] 国家统计局. 马建堂就 2012 年国民经济运行情况答记者问 [EB/OL]. 国家统计局网站, (2013-01-18) [2015-10-01]. [http://www. stats. gov. cn/tjgz/tjdt/201301/t20130118_17719. html](http://www.stats.gov.cn/tjgz/tjdt/201301/t20130118_17719.html).
National Bureau of Statistics. Ma Jiantang answered questions on the operation of the national economy in 2012 [EB/OL]. National Bureau of Statistics website, (2013-01-18) [2015-10-01]. http://www. stats. gov. cn/tjgz/tjdt/201301/t20130118_17719. html.
- [85] GARRIDO S. Why did most cooperatives fail? Spanish agricultural cooperation in the early twentieth century [J]. *Rural History*, 2007, 18(2): 183-200.
- [86] STAATZ J M. Recent developments in the theory of agricultural cooperation [J]. *Journal of Agricultural Cooperation*, 1987, 2: 74-95.
- [87] PARLIAMENT C, LERMAN Z, FULTON J R. Performance of cooperatives and investor-owned firms in the dairy industry [J]. *Journal of Agricultural Cooperation*, 1990, 5: 1-16.
- [88] SRINATH K, SRIDHAR M, KARTHA P N R, et al. Group farming for sustainable aquaculture [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2000, 43(7): 557-571.
- [89] 王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013.
WANG W, WANG C H, MA X Z. Mitten crab ecological farming [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [90] BERDEGUÉ SACRISTÁN J A. Cooperating to compete: associative peasant business firms in Chile [D]. Netherlands: Wageningen University, 2001.
- [91] TAIN F H, DIANA J S. Impacts of extension practice: lessons from small farm-based aquaculture of Nile tilapia in Northeastern Thailand [J]. *Society & Natural Resources*, 2007, 20(7): 583-595.
- [92] KASSAM L, SUBASINGHE R, PHILLIPS M. Aquaculture farmer organizations and cluster management [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011.
- [93] 赵蕾, 孙慧武, 耿瑞, 等. 中国渔民专业合作社的发展实践与建议 [J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(20): 171-176.
ZHAO L, SUN H W, GENG R, et al. Development practice

- and recommendation of fishermen's professional cooperatives [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 57(20): 171-176.
- [94] 赵奇蕾,陈新军,韩博. 国际休闲渔业研究进展[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(2): 295-304.
ZHAO Q, CHEN X, HAN B. Review on the research of recreational fisheries in the world [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(2): 295-304.
- [95] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2012 [M]. Rome: FAO, 2012.
- [96] SWARTZ W, SUMAILA U R, WATSON R, et al. Sourcing seafood for the three major markets: The EU, Japan and the USA [J]. *Marine Policy*, 2010, 34(6): 1366-1373.
- [97] LITTLE D C, BUSH S R, BELTON B, et al. Whitefish wars: Pangasius, politics and consumer confusion in Europe [J]. *Marine Policy*, 2012, 36(3): 738-745.
- [98] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2016 [M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2016.
- [99] 刘翀, 岳冬冬, 刘兴国. 中国水产养殖业“走出去”的现状、存在问题与对策 [J]. *渔业信息与战略*, 2018, 33(4): 235-239.
LIU C, YUE D D, LIU X G. Reflection on “Going Out” for Chinese aquaculture [J]. *Modern Fisheries Information*, 2018, 33(4): 235-239.
- [100] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2016: contributing to food security and nutrition for all [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016.
- [101] WINOWIECKI L, SMUKLER S, SHIRLEY K, et al. Tools for enhancing interdisciplinary communication [J]. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2011, 7(1): 74-80.
- [102] BELL S, MORSE S. Sustainability indicators: measuring the immeasurable? [M]. 2nd ed. London Sterling, VA: Earthscan, 2008.
- [103] VILLASANTE S, RODRÍGUEZ D, ANTELO M, et al. The global seafood market performance index: a theoretical proposal and potential empirical applications [J]. *Marine Policy*, 2012, 36(1): 142-152.
- [104] EDWARDS P, LITTLE D C, YAKUPITTYAGE A. A comparison of traditional and modified inland artisanal aquaculture systems [J]. *Aquaculture Research*, 1997, 28(10): 777-788.
- [105] AIT. Partners in development: the promotion of sustainable aquaculture [M]. Bangkok: Asian Institute of Technology, 1994.
- [106] FAO. Aquaculture development 4. ecosystem approach to aquaculture [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.
- [107] 朱骅. 从碳汇渔业到蓝色粮仓的发展机制 [J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(6): 968-975.
ZHU H. Mechanism of advancement from carbon sink fisheries to blue granary [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(6): 968-975.
- [108] BUSH S R, BELTON B, HALL D, et al. Certify sustainable aquaculture? [J]. *Science*, 2013, 341(6150): 1067-1068.
- [109] LITTLE D C, YOUNG J A, ZHANG W B, et al. Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges [J]. *Aquaculture*, 2018, 493: 338-354.
- [110] XIE B, QIN J, YANG H, et al. Organic aquaculture in China: a review from a global perspective [J]. *Aquaculture*, 2013, 414-415: 243-253.

China's aquaculture development trends since 2000 and future directions

ZHANG Wenbo^{1,2,3}, MA Xuzhou^{1,2,3}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: China is the world's largest aquaculture producer and has made important contributions to global food security and nutrient supply. In the new stage of social development, China's aquaculture needs to address complex and sensitive issues related to food security, poverty alleviation and employment, food safety, and environmental protection in order to achieve more sustainable development. The present study reviews the development trends since 2000, existing problems and development directions of aquaculture in China. China's aquaculture industry has achieved continuous development since 2000, and the level of intensification and diversification has been continuously improved, some traditional farming systems have gradually disappeared, and new farming techniques and models have emerged. The changes and development of aquaculture in China have responded to society's changing needs of the aquaculture industry. However, China's aquaculture still faces difficulties around ecological environment protection, technology level improvement, product supply structure, smallholder producer and policy risks. With the continuous transforming and upgrading of China's social and economic levels since the reform and opening, the primary focus of the development of aquaculture has gradually shifted from providing food to providing employment and economic development, and then to environmental protection and food safety recently. China's aquaculture industry needs to make full use of the latest equipment technology, information technology, genetic breeding technology, nutrient and disease prevention technology to promote the development of aquaculture, strive to increase the scale and organization levels, promote synergistically development of primary, secondary, and tertiary industries, and move towards internationalization and sustainable development gradually.

Key words: China; aquaculture; sustainable development; status; trends