

## 深水网箱养殖装备技术前沿进展

郭根喜, 陶启友, 黄小华, 胡昱

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

**摘要:**上世纪七十年代末,海水鱼类养殖其中最重要的一项技术成果是发明了深水网箱,持续数十年的研究与开发应用,使现代海洋农业有了新的诠释。随着深水网箱装备技术的进步,围绕“一条鱼”养殖工程技术的种质、养成、营养、管理、环境、加工、物流、信息以及养殖配套装备等技术链日益完善,深水网箱已成为现代海洋农业不可或缺的重要装备。

**关键词:**深水网箱;养殖;装备技术

**doi:**10.3969/j.issn.1008-0864.2011.05.07

**中图分类号:**S967.3      **文献标识码:**A      **文章编号:**1008-0864(2011)05-0044-06

## Progress on Frontier of Equipment Technology for Sea-cage Aquaculture

GUO Gen-xi, TAO Qi-you, HUANG Xiao-hua, HU Yu

(South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** At the end of the 1970's, sea-cage was the most important technical achievement in marine fish aquaculture. The sustainable investigation and application for several decades made the modern marine agriculture have a new interpretation. Along with the progress on equipment technologies of sea-cage, technology around the industry chain of "one fish" aqua-cultural engineering, such as germplasm, farming, nutrition, management, environment, processing, logistics, information and facility technology has become perfect day by day. Sea-cage is a indispensable and important equipment in modern sea aquaculture.

**Key words:** sea-cage; aquaculture; equipment technologies

随着全球人口增长、资源短缺和环境恶化问题愈发突出,陆地资源已难以充分满足社会发展的需求。3.6亿 km<sup>2</sup> 浩瀚的海洋是一种潜力巨大的资源宝库,是人类食物的重要来源,也是增加人类优质蛋白质的“粮仓”,海洋正在成为人类的第二生存空间,21世纪人类对海洋的开发与利用将迎来一个空前迅猛的发展时代。

随着科学技术的进步,海水设施养殖成为世界各国开发和利用海洋的重要途径,也是我国新时期向海洋领域拓展的重要战略举措。深水网箱是海水设施养殖的重要战略方向,是海水养殖先进生产力的代表,在提升海水养殖产业技术水平、拓展海水养殖空间、保护近海生态环境等方面具有重要作用。

### 1 发展深水网箱养殖的意义

#### 1.1 发展离岸深水养殖是拓展食物生产空间的有效途径

我国地少人多,人均耕地面积仅为世界平均水平的1/3,陆地农业发展面临着耕地日益减少和人口不断增长的双重压力,对食物安全供给构成严重威胁<sup>[1]</sup>。随着社会经济的快速发展,人们对优质蛋白类食品,尤其是水产品的需求不断增加。发展现代海水养殖业,向海洋索取资源,拓宽生存空间,是保障食物安全和满足人们对优质蛋白食品需求的重要途径。我国海洋面积299.7万 km<sup>2</sup>,其中20 m等深线内海域面积约1600万

收稿日期:2011-07-04;接受日期:2011-07-22

基金项目:国家863计划资助项目(2006AA100302);国家科技支撑计划资助项目(2011BAD13B11);广东省科技计划项目(2008B021000042);广东省海洋渔业科技推广专项资助项目(A200901G03)资助。

作者简介:郭根喜,研究员,从事海洋渔业及渔业设施研究。E-mail:scsggx@163.com

hm<sup>2</sup>, 40 m 等深线以内海域面积约 5 000 万 hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>, 海水养殖的发展空间巨大。据测算, 在现有养殖装备技术支撑下, 如将其中的 100 万 hm<sup>2</sup> 用于发展深水网箱养殖业, 可增加优质鱼类产量达 680 万 t, 相当于世界水产养殖产量的 10% 以上<sup>[3]</sup>, 若装备技术再提升一个层次, 同样的面积产量将提高 2 倍, 对缓解粮食安全保障压力, 解决我国未来 16 亿人口食物安全问题具有重要意义。

### 1.2 发展深水网箱养殖是加快转变海水养殖发展方式, 实现渔业安全生产的重要保障

长期以来, 由于我国近海养殖的设施化和工程化水平不高, 养殖生产基本处于低技术水平的数量规模化发展。目前, 我国拥有海水养殖网箱 100 多万箱, 但由于养殖设施简陋、装备水平落后, 无法抵御较大风浪和较恶劣的海况条件。据统计, 我国每年因风暴潮和台风等灾害事故给近海养殖造成的损失均达百亿元以上, 养殖生产仍处于“靠天吃饭”<sup>[4]</sup>。深水网箱是一种高投入、高产出的现代新型海洋设施养殖装备, 相对于传统网箱具有较高的生产效率和科技属性, 以现有一个 HDPE C43 深水网箱的产量是传统海水网箱的 40 倍, 养殖效率提高 30% 以上, 其具备抗风 12 级、抗浪高 5 m、耐流 1 m/s 的高风险抵御能力<sup>[5]</sup>, 大幅度提高了网箱在外海水域作业的安全性。融入高新技术元素的深水网箱及养殖, 使我国的近海养殖从低层次的粗放、脆弱型生产向多元化科技稳定型转变, 成为海洋产业最有活力和产业群经济带动的火车头, 形成农业生产体系向工业生产体系的质变, 促进渔业平稳、健康和可持续发展。

### 1.3 发展深水网箱养殖是缓解近海养殖环境压力, 保护海洋生态环境的重要举措

“以养为主”的渔业发展模式, 突破了渔业发展过分依赖天然渔业资源的旧模式, 拓展了渔业发展的空间。但随着海水养殖业的快速发展, 近海养殖活动已超过了生态环境的承载量, 致使养殖水域水质下降, 养殖生物疾病频发和浅海生态环境的破坏, 直接威胁着养殖业的可持续发展。深水网箱在远离海湾的开放海域, 在充分利用海洋国土获得高养殖效益的同时, 更好地保护了近海、浅海生态环境。近年来, 我国政府以及各级科技和渔业主管部门站在科学发展的高度, 积极推

动近海养殖向外海转移发展战略的实施, 使我国深水网箱养殖实现了跨越式发展。纵观国内外海水养殖的发展, 利用高新技术向深海进军已成为必然趋势, 深水网箱是实现现代海洋农业经济目标的首选。

## 2 国际前沿技术及相关战略性新兴产业发展现状与趋势

挪威在经历了从淡水陆基养殖到近海养殖发展阶段后, 近海养殖的成功带来了向深海养殖的基本思路, 积极探索和开发先进高效的深水养殖模式, 持续 30 余年的系统研究与创新, 基于深水养殖装备技术的成功开发, 造就了“一条鱼”深水养殖产业, 实现了单一品种(三文鱼)世界产量最大、全球贸易市场占有率最高、长盛不衰的局面。近 20 多年来, 欧、美、日等发达国家的离岸深水养殖产业发展迅速, 为各自国家的海洋利用和开发、渔业经济的可持续发展、人民生活水平的提高都做出了重要贡献。目前国际上关于离岸深水养殖技术的研发, 主要聚焦于深水网箱装备及以深水网箱为载体的养殖技术方面, 其涉及的前沿技术主要有深水网箱数字化设计技术、装备自动控制技术、养殖数字化管理技术和大型鱼类网箱养殖技术等方面。

### 2.1 深水网箱数字化设计技术

深水网箱数字化设计技术是实现海水养殖设施高效率、高质量、高标准设计的重要平台。不断创新的设计源于高性能的高仿真模拟, 促进了个性化设计, 优化了结构与工艺, 加快了养殖装备的更新换代, 成为引领海洋养殖持续发展的重要支撑<sup>[6]</sup>。国外一些先进企业累积了大量厚实的基础技术, 以 CAE 技术为基础, 开发了用于网箱结构设计及模拟分析的计算机软件, 如美国的 MOSES、AquaFE 软件<sup>[7]</sup>, 挪威的 RIFLEX、AquaSim 软件。先进分析与设计手段, 使养殖装备性能得到大幅度提高, 养殖容量更大, 操作更方便, 安全更有保障, 成本效益更高。如挪威的 AKVA 集团是目前世界著名的水产养殖技术与装备研发机构, 新产品应用率达 25% 以上。拥有 25 年的金属网箱、塑料网箱和工作船、投喂系统、饲料驳船、传感器系统和鱼类养殖系统软件的设计和制造经验, 并在世界范围内为网箱养殖客户提

供最有效的养殖设施<sup>[8]</sup>。设计技术的进步,大大优化了深水网箱结构及安全,促进了深水网箱向大型化、外海发展。

## 2.2 深水网箱装备自动控制技术

装备自动控制技术是实现海水设施工业化养殖的重要手段。海洋也是一种有限资源,单位综合效益的提高是对海洋有限资源空间的充分利用。随着养殖设施向大型化、外海发展,自动化、机械化的养殖配套装备,使养殖过程操作变得简单易行,是代替人工操作不可或缺的重要工具。挪威 Akvasmart 创建于 1980 年,研制的自动投饵系统被称为 Akvamarina 饲料系统<sup>[8]</sup>,包括各种饲料和环境传感器,多普勒颗粒传感器和各种水下、水面摄像机系统。自动投饵系统由电脑控制,使复杂的养殖过程控制变得异常简单和准确,可以同时实现对 40 个网箱进行远程投饵,最大喂料量 11 520 kg/h,最大输送距离达 1 400 m。爱尔兰 FLUID 公司生产的离心式吸鱼泵,大大缩短了渔获时间,独特的泵体叶轮结构设计保证了被吸鱼体的存活<sup>[9]</sup>。装备技术的进步,使养殖产量大幅度提高及可控生产成为可能。目前,除中国外,挪威及美国生产的养殖装备在世界各国的深水网箱养殖、工厂化养殖应用广泛。

## 2.3 深水网箱养殖数字化管理技术

数字化管理技术是实现设施渔业现代化的必然选择。养殖数字化管理系统是养殖过程管理的专家,有效实现软硬装备智能一体化的管家。其关键优势在于:实现软件和硬件设备一体化的有效地集成,鱼类养殖控制与饲料系统及多环境参数相结合;形成强大的分析报告,经过统计优化,减少了人为工作的错误;同时饲料系统和所有环境传感器都将被自动记录;有 450 多个养殖分析变量,以适应个人需要和养殖记录溯源。

挪威的深水网箱养殖场,都有自己开发的养殖管理软件。AKVA 集团开发的养殖管理系统是一种强大而先进的软件,正逐步向全球同户推广<sup>[8]</sup>。养殖管理软件针对性较强,系统要根据不同的养殖品种、饲料营养以及养殖环境等进行特定编程,不能像微软视窗那样普遍共享。其下一步的数字化管理技术开发重点是与物联网衔接,使养殖、销售、加工和管理一体化。

## 2.4 大型鱼类(金枪鱼)网箱养殖技术

金枪鱼肉质柔嫩,营养价值高,是很受欢迎的海洋美食。因欧洲各国限制金枪鱼的捕捞,而天然金枪鱼的资源越来越少,许多国家开始进行金枪鱼的人工养殖。日本对金枪鱼的养殖研究,已坚持了近 30 年,取得了一系列重要科研成果,目前已培育出子二代金枪鱼,但距产业化规模化养殖仍有一段技术距离<sup>[10]</sup>。澳大利亚则侧重于网箱阶段性养殖,取得了全球较好的经济效益。日本、澳大利亚、墨西哥以及地中海地区沿岸国家是金枪鱼养殖的主要国家。据不完全统计,2008 年世界养殖金枪鱼总产量为 31 900 t,其中地中海沿岸国蓄养的大西洋蓝鳍金枪鱼合计产量为 18 000 t;墨西哥蓄养的太平洋蓝鳍金枪鱼产量为 3 000 t;日本养殖的北太平洋蓝鳍金枪鱼产量为 5 600 t;澳大利亚蓄养的马苏金枪鱼产量为 5 300 t<sup>[10]</sup>。这些国家大部分是采用周长 100 m 以上的大型网箱进行金枪鱼圈养,苗种均来源于捕捞的野生金枪鱼。我国在金枪鱼网箱养殖技术研究方面尚属空白。但在“十一五”期间,由农业部资助在广东省进行了一些有益的探索,积累了一些有益的经验及数据。如:在农业部“948”项目“我国金枪鱼繁育及加工技术引进及产业化”资助下,金枪鱼捕捞技术取得突破进展,成功摸索了一套活钓金枪鱼技术,掌握了金枪鱼海上运输的基本技术,在开展海上小规模网箱暂养金枪鱼试验方面进行了尝试,为今后金枪鱼养殖发展积累了经验<sup>[11]</sup>。

## 3 我国深水网箱发展现状与存在的主要问题

### 3.1 我国深水网箱发展现状与成就

“十五”以来,在国家“863”计划、科技攻关计划的资助下,我国深水网箱养殖关键技术、重要装备技术得到突破性进展,填补了我国深海养殖技术与装备的空白,深水网箱及养殖实现了“零”的突破<sup>[5]</sup>。2002 年起,在国家和地方政府相关政策的鼓励引导下,深水网箱养殖得到快速发展,我国的深水网箱数量逐年递增(见图 1)。截至 2009 年 12 月,我国深水网箱的应用总量超过 5 000 只,分布在 -20 m 半开放水域附近,养殖品种主要有卵形鲳鲹、军曹鱼、大黄鱼、鲈鱼等,比传统港

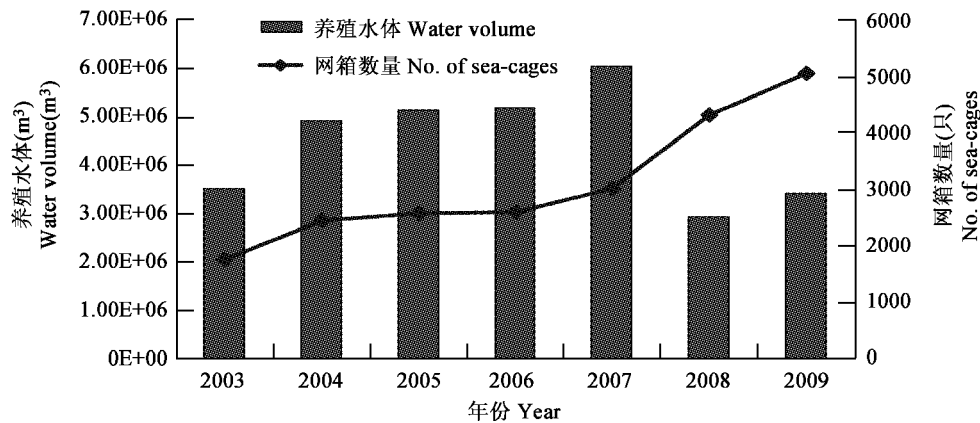


图1 我国深水网箱数量及养殖水体变化情况<sup>[12]</sup>

Fig.1 The changes of the number of sea-cages and water volume of sea-cages<sup>[12]</sup>.

湾网箱综合经济效益提高约 30% ~ 60%，取得了重大科技成果<sup>[12]</sup>。

“十一五”期间，国家“863”计划和科技支撑计划等相关项目针对我国深水网箱应用中存在的问题及产业技术需求，开展了第二阶段的科技攻关，先后研制出多种类型的新型网箱，创制出深水网箱养殖远程多路自动投饵系统、吸鱼泵、智能起网机等多个配套装备，开发出海水网箱数字化养殖操作管理软件。从技术研发层面看，我国深水网箱的设施与工程化技术较“十五”期间，又向前迈进了一大步。“十五”以来有 20 多项专利技术得到较好的孵化，应用于深水网箱养殖产业建设，建立了年生产能力达 1 200 只网箱的制造企业，建立了 13 个深水网箱超百箱规模的养殖基地，技术的应用与推广取得了较大的社会效益和经济效益<sup>[13]</sup>。南海区掀起了新一轮的深水网箱产业发展热潮，预计至 2015 年，南海区新增深水网箱将超过 3 000 箱。

### 3.2 我国深水网箱与国外技术的差距及存在的主要问题

在“十五”和“十一五”期间深水网箱快速发展，虽然我国的深水网箱数量已和挪威大致相等（约为 5 000 只），但我国深水网箱装备技术及养殖产量与挪威相比仍不在同一级别上，特别是在前沿技术研发方面差距甚远。高技术、前沿技术研究的滞后，从 2009 年我国深水网箱产量为 35 676 t<sup>[12]</sup>，仅相当于挪威网箱年养殖产量的 1/20。差距及其存在的主要问题具体表现在如下几个方面：

**3.2.1 设计技术落后** 一个新产品的诞生，从设计开始。设计的合理与否，直接影响产品的生命力。目前，我国大部分深水网箱设计仍以传统经验为主，我国海况复杂，海底地貌多样，产品的技术参数盲点较大。深水网箱系统设计具有个性化鲜明的特点，与建筑工程技术相仿，不同的海域和养殖品种需要不同的深水网箱系统。若每次进行单独模型试验，时效长成本高，况且不能“放之四海而皆准”。国外普遍使用的数字化设计技术，通过数字化设计平台有效解决了深水网箱适应性与构筑等技术问题。我国深水网箱数字化设计技术仍处于空白状态，深水网箱工程技术的基础理论研究薄弱，网箱养殖设施的设计仍缺乏详实的理论依据，许多工作都是建立在经验和实践的基础之上的，盲目性较大，严重障碍了我国深水网箱产业的发展。

**3.2.2 配套装备技术缺失** 深水网箱养殖系统不是一个孤立的单一养殖装备，以深水网箱为主体附属配套装备才能形成强大的先进生产力，不同的深水网箱养殖生产方式对配套装备有不同的需求，通常以组合及系列产品出现。国外常见的配套装备有自动投饵机、养殖工船、机动快艇、水质环境监测装备、养殖监视装备、吸鱼泵和起网机等等。我国习惯上仍以传统的养殖管理方式，开发出的深水网箱养殖配套控制装备尚未进行标准化、产业化生产，其核心技术有待于进一步熟化，性能有待提高，目前只在个别深水网箱养殖基地进行试验与示范，严重制约了深水网箱产业做大做强。

**3.2.3 产业技术脱节** 深水网箱是养殖的载体,鱼类或其他生物体是养殖的主体,主体的生命及生长与营养及健康有关。在国外,人工配合饲料、病害控制技术是养殖准入条件也是必备条件。在我国,海水鱼人工配合饲料及病害控制技术研究往往落后于生产实际需求,这与个体渔民经营者由于规模较小,习惯上偏爱传统饲料有关,但重要的原因是不能预见性地培育养殖的主导产品或促进养殖市场的发育,提前展开预见性的产业前沿技术研究,一旦自发性的养殖品种市场形成,滥用药物及不清洁的饲料可能充斥市场,给养殖带来复杂的不确定因素,经济损失、信心受挫在所难免,严重影响了我国深水网箱养殖产业的健康发展。

## 4 我国深水网箱发展的重点任务

深水网箱是实现现代海洋农业生产体系最重要的技术装备,是人类开发海洋利用海洋获取巨大经济效益和提供丰富安全食物来源的生产工具,深水网箱必将得到持续发展,为人类作出巨大贡献。

我国海域辽阔,海况复杂,区域性生物多样性明显,为人工养殖提供了丰富资源。我国在深入贯彻落实科学发展观,以加快转变渔业发展方式为主线,以加快推进现代渔业健康可持续发展为主攻方向的背景下,深水网箱养殖产业悄然进入了沿海省快车道,面向满足国家优质水产品战略需求和瞄准世界深海养殖科技前沿,以装备技术拓展渔业生产空间,提升产业技术水平;以养殖技术拓展产业效益,提升养殖产品品质;以数字化技术拓展养殖效率,提升养殖管理水平。只有养殖装备技术的突破及创新,才能协同支撑和实现我国深水养殖产业的持续发展,赶上或超过海洋设施养殖国际先进水平。

根据我国现代海洋农业发展的战略方向和深水网箱养殖产业的发展趋势及技术需求,深水网箱前沿科技重点任务主要有如下几个方面:

### 4.1 深水网箱数字化设计技术

通过构建符合我国养殖条件和特点的数字化

设计技术平台,实现数字化设计与制造,为我国沿海海域海况多样性及养殖对象提供适合的安全的网箱系统。数字化技术的突破,是进入世界先进行列的重要标志,数字设计技术所形成的优势及优质价廉的网箱产品,是支撑我国深水网箱产业向外海拓展的“载体”和“助推器”,不仅影响着我国深水网箱产业化的进程,也将是迅速占领和引领正在兴起的庞大的深水网箱国际市场的重要手段。数字化设计技术的核心内容即是开发出深水网箱智能计算机辅助设计(intelligent CAD, ICAD)技术,构建高仿真性设计系统平台,研制出数字化完全海洋工况深水网箱养殖系统装备,以提高网箱养殖的风险控制能力,保障网箱养殖效益。

### 4.2 深水网箱养殖数字化控制技术

预计深水网箱“十二五”期间将在沿海省份得到快速发展,规模越来越大,离岸越来越远,传统的养殖及管理方式将无法适应规模化的养殖行为。建立以养殖品种为目标的基于养殖生产要素的数字控制技术与装备,提高养殖过程的可控性、准确性,大幅度提高规模化养殖的成本效益、经济效益是产业的生产核心。养殖数字化控制技术的突破,是传统生产方式向现代生产方式转变的关键,应围绕网箱养殖特定鱼类,重点研究深水网箱养殖数字化技术,构建养殖鱼类生长数字模型,开发深水网箱养殖IT应用管理技术、数字化装备合成应用技术,为实现深水网箱精准智能化养殖管理提供解决方案。

### 4.3 大型鱼类(金枪鱼)养殖技术装备开发

围绕外海深海养殖,大型洄游性鱼类深水网箱养殖是获取和提高海洋经济效益的主要方向。外海、深海、大型鱼类三者都联系在一起,对技术装备有全新的要求。突破大型装备的安全,研制出适合大型鱼类(如金枪鱼)养殖的大型深水网箱,突破和发展金枪鱼的苗种繁育和圈养技术,填补我国深海养殖金枪鱼技术与装备的空白,是促进我国设施养殖大国向养殖强国转变的重要标志。我国是世界水产养殖大国,海水养殖无论在面积还是产量上都位居世界前茅。但在现代养殖新技术的研究和开发上,我国缺少开创性的技术,缺乏打进国际市场的主导产品,迫切需要开发出大型

鱼类养殖技术装备,争取早日进入大型鱼类养殖产业的行列中来。

#### 4.4 鱼类养殖过程生长节点调控技术研究

围绕社会需求,针对养殖品种的利益最大化,突破“一条鱼”设施养殖系统工程从规模化繁育、优育、圈养、病防等深水网箱鱼类生长节点调控技术,采用环境调节控制产卵时间,确定不同条件下鱼类最佳单位放养密度、放养时间、投喂节点和渔获节点等养殖控制节点关键参数,构建“一条鱼”经济利益与社会需求的产业平台,实现自由生产向合同生产方式转变,支撑设施鱼类养殖持续稳定发展。

## 5 展望

建议“十二五”期间,成立“深水网箱产业技术创新战略联盟”,并以此联盟为基本团队,通过科技部科技专项持续对深水网箱养殖前沿技术研究资助,解决我国深水网箱养殖持续发展的相关技术问题,为我国利用海洋、开发海洋、保障粮食安全供给作出重要贡献。

在国家政府的有力政策支持下,深水网箱养殖有望成为我国海洋经济新的增长点,产业前景十分看好。随着深水网箱前沿技术的深入研究与突破,将为深水网箱拓展养殖发展空间、保障养殖生产安全、大规模提高养殖效益等方面提供技术

与装备支撑,深水网箱养殖产业必将迎来新一轮的发展机遇。

#### 参 考 文 献

- [1] 万宝瑞. 农业发展面临的矛盾与改革建议[J]. 人民论坛, 2008,3(6):6-7.
- [2] 黄其励. 加快能源结构调整,积极发展可再生能源[J]. 现代电力,2007,24(5):1-5.
- [3] 粮农组织渔业及水产养殖部. 世界渔业和水产养殖状况 2008[M]. 罗马:联合国粮食及农业组织,2009.
- [4] 左书华,李蓓. 近20年中国海洋灾害特征、危害及防治对策[J]. 气象与减灾研究,2008,31(4):28-33.
- [5] 郭根喜. 我国深水网箱养殖产业化发展存在的问题与基本对策[J]. 南方水产科学,2006,2(1):66-70.
- [6] 赵云鹏. 深水重力式网箱水动力特性数值模拟研究[D]. 辽宁大连:大连理工大学,2007.
- [7] DeCew J, Fredriksson D W, Bugrov L, et al. A case study of a modified gravity type cage and mooring system using numerical and physical models[J]. IEEE J. Oceanic Eng., 2005,30(1):47-58.
- [8] AKVAGroup. 2009-2010 网箱水产养殖[R]. 挪威,2010.
- [9] 中国赴挪威爱尔兰深水网箱和技术交流考察团. 挪威、爱尔兰深海养殖设施与装备技术考察报告[R]. 2009.
- [10] 李娟,林德芳,黄滨,等. 世界金枪鱼网箱养殖技术现状与展望[J]. 海洋水产研究,2008,29(6):142-147.
- [11] 张青,王锡昌,刘源. 中国金枪鱼渔业现状及发展趋势[J]. 南方水产科学,2009,5(1):68-74.
- [12] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 2010[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- [13] 姚国成,郭兴民. 向大海要“深蓝 GDP”——广东全力推进深水网箱产业园建设[N]. 中国渔业报,2010-08-02.