

· 综述 ·

## 高效低碳——中国水产养殖业发展的必由之路

董双林\*

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 养殖种类不断增加, 营养层次不断提高, 集约化水平不断提升已成为我国水产养殖业总体发展的趋势, 疾病流行、良种匮乏、污染严重、产品质量堪忧等诸多难题也随之而来。但从大尺度来审视, 影响水产养殖近中期目标实现和可持续发展的主要问题则是水资源短缺、排污问题和产业发展对能源、鱼粉不断增大的需求。就产业主体而言, 为保障我国的食物安全、实现我国 CO<sub>2</sub> 减排目标, 高效低碳模式是水产养殖业发展的必由之路。对未来 10 年甚或更长时期我国水产养殖发展目标的实现还会主要依靠一些相对简单且易被大众掌握的新技术的应用。积极发展碳汇渔业, 特别是海水大型藻类和滤食性贝类的养殖, 是实现水产养殖产业总体上走高效低碳道路的结构保障。高效低碳养殖模式的建立需要大水域协同生产机制的体制保障, 需要政府加强对养殖污染物排放监管的法律保障, 需要生态学与经济学结合的学科保障。

**关键词:** 水产养殖; 发展; 高效; 低碳; 中国

**中图分类号:** S 965

**文献标志码:** A

水产养殖是世界动物食品生产中增长最快的产业, 远超过人口增长速度<sup>[1]</sup>。中国是世界水产养殖大国, 2008 年中国大陆水产养殖产量和产值分别占世界水产养殖总产量和总产值的 62.4% 和 52.9%<sup>[1]</sup>。水产养殖业分担着 2030 年前到来的我国 14.5 亿峰值人口<sup>[2]</sup> 食物安全的责任, 然而, 我国水产养殖业的发展已面临水资源短缺、养殖污染、鱼粉制约等的挑战, 同时, 该产业的发展还要践行我国政府 2020 年 CO<sub>2</sub> 减排的承诺。因此, 水产养殖业的发展之路值得深思。

### 1 我国水产养殖业的发展趋势

近三十年来, 我国水产养殖业发展十分迅速, 其产量从 1980 年的 178 万吨, 提高到 2010 年的 3 828.8 万吨<sup>[3]</sup>, 增加了 21.5 倍。1988 年我国实现了养殖产量超过捕捞产量的飞跃, 2006 年海水养殖产量又超过了海洋捕捞产量。由于内陆渔业资

源有限和近海渔业资源的衰退, 我国在未来一段时间内的渔业增长还将会主要源于水产养殖业的发展。

由于我国水产品供给已由总量短缺转变为结构性过剩, 伴有地域性和季节性的供求不平衡<sup>[4]</sup>。由于水产品市场趋于结构性饱和, 大众化养殖种类的价格趋于稳定, 人们对养殖“名、特、优、新”种类和海水养殖产品的需求已成为我国水产养殖业发展的重要驱动因素。据不完全统计, 仅山东省十五期间新引进或开发的水产养殖种类就有 29 种, 2007 年其养殖种类增加到 70 余种<sup>①</sup>。我国的水产养殖业也因此走上了发展“名特优新”的发展模式, 养殖种类不断增加。

目前, 我国水产养殖产量主要出自池塘、浅海、湖泊、水库等水域的养殖, 网箱和工厂化养殖的产量在海水养殖占 3.4%, 在内陆水域养殖也仅占 7.7%。然而, 近些年我国水产养殖种类的

收稿日期: 2011-06-27 修回日期: 2011-08-13

资助项目: 国家科技支撑项目(2011BAD13B03); 海洋公益性行业科研专项(200905020)

通讯作者: 董双林, E-mail: dongsl@ouc.edu.cn

① 山东省海洋渔业厅. 山东省渔业发展“十一五”规划. 2007.

生态学营养层次总体上在快速提高。例如,1999年到2008年的10年间内陆水产养殖中滤食性的鲢、鳙产量从占内陆水域养殖总产量的33.5%降至26.5%,同时,海水养殖中投饲养殖的鱼、虾和蟹产量从占海水养殖总产量的6.2%升至12.6%<sup>[5]</sup>。2008年我国海水养殖产量为1340万吨,其中需要投饲养殖的鱼类和甲壳动物占12.7%。由于淡水养殖的罗非鱼和草鱼已被广泛地实行池塘投饲料养殖,粗略估计,我国内陆水域养殖产量中靠投饲养殖的产量约占59%。就整体而言,我国水产养殖中有约41%的产量靠投饲养殖获得。投饲养殖产量比例的增加表明水产养殖集约化程度在提升。

1999年我国消耗鱼粉133.7万吨,其中进口63.1万吨。如干/鲜鱼折合系数为0.225<sup>[6]</sup>,如75%用于水产养殖<sup>[7]</sup>,则相当于水产养殖消耗445.8万吨鲜杂鱼。1999年我国水产养殖的动物产量为1959.39万吨,因此,该年水产养殖的鱼粉投入产出比(鱼粉比率)为0.23。2009年,我国利用了278.81万吨鱼粉,水产养殖的动物产量为3476万吨,如75%用于水产养殖则其鱼粉比率为0.36。可见,由于养殖动物营养层次的提高和集约化程度或投饲比例的提高,单位水产养殖产品的鱼粉用量在增加。

由此可见,近些年我国水产养殖业发展的基本趋势是,养殖种类的数量不断增加,养殖种类的营养层次不断提高,集约化水平不断提升。

## 2 我国水产养殖业面临的挑战

我国水产养殖业面临着一些专家经常提到的疾病流行、良种匮乏、产品品质堪忧等诸多困难。但从大尺度来审视,影响水产养殖中远期目标实现和可持续发展的更重要的问题则是水资源短缺、养殖污染和产业对能源、鱼粉不断增大的需求。

我国是一个水资源十分短缺的国家,人均水资源量仅为世界人均水平的1/4,是世界上13个缺水最严重的国家之一<sup>[8]</sup>。尽管我国农业需要在连续多年丰收的基础上继续增产,以满足2020年我国对6亿t粮食的需求,但从国家水安全战略考虑,未来30年我国农业用水只能维持零增长或负增长,水利部已将此作为一项重要工作目标<sup>[9]</sup>。基于我国淡水资源的利用形势和国家坚

守1.2亿hm<sup>2</sup>耕地红线的决心,我国内陆水域养殖产业的发展会受到越来越大的阻力。

我国海水养殖业对近海水域的污染已经到了不可忽视的程度。据崔毅等<sup>[10]</sup>估算,2002年我国黄渤海沿岸的海水养殖污水排放量达119.8×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,其中含氮6010t、磷924t、COD29016t。水产养殖的氮和磷排放量分别占该区域陆源排放量的2.8%和5.3%。另据程序<sup>[11]</sup>推算,我国海水网箱养殖和池塘养殖的氮排放量分别达3.7万t和45万t(而我国每年城镇生活污水排放氨氮总量仅90多万t)。这些养殖污染物不仅会造成养殖自身污染,引发养殖生物疾病、影响生长等,还会引发更严重的海洋环境问题。

集约化养殖具有的高碳排放特点或许将会影响其未来的发展。据徐皓等<sup>[12]</sup>的报道,我国当前池塘、工厂化和网箱养殖的单位产品耗电量分别为0.37、8.66和3.16kWh/kg。MUIR<sup>[13]</sup>对多种养殖系统的研究也得出类似的结果。耗电多意味着间接排放CO<sub>2</sub>也多(1kWh电=0.997kgCO<sub>2</sub>)。随着水产养殖业规模的扩大和向集约化、高营养层次化的发展,该产业对能源的依赖性会越来越大,生产过程中产生的CO<sub>2</sub>也会越来越多。

大气中温室气体浓度的持续升高已成为21世纪社会经济可持续发展最为严峻的挑战。我国政府已决定,到2020年中国的单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放将比2005年下降40%至45%<sup>[14]</sup>。在此大背景下,简单的集约化和高营养层次化的发展方向有悖于国家减排目标。

世界有限的鱼粉供给将会影响我国水产养殖业的发展模式。1995年到2007年国际鱼类养殖的鱼粉比率已从1.04降至0.63<sup>[6]</sup>。但是,与国际的发展趋势相反,我国1999年到2009年水产动物养殖的鱼粉比率却从0.23上升为0.36。如仅就投饲养殖种类而言,我国2009年水产养殖产品的鱼粉比率约为0.87,高于世界平均水平。这意味着,如照此模式发展下去,随着我国水产养殖业集约化程度的提高水产养殖业对鱼粉或鲜杂鱼的需求量也将越来越大。

2009年我国渔业总产量为5116万t。专家估计,2020年我国水产品的需求将增加到6170万t<sup>[15]</sup>,到2030将达到7260万t<sup>[16]</sup>。如前所述,我国渔业产量的增加将主要依靠水产养殖业的发展。也就是说,到2020年和2030年我国需要增

加 1 054 万 t 和 2 154 万 t 水产养殖产量。如简单地仍然按照目前的养殖结构和养殖技术水平计算,那时我国新增鱼粉消耗会达 61.6 万 t 和 128.7 万 t。到 2030 年我国仅水产养殖消耗鱼粉量就将达到 338 万 t。国际鱼粉生产能力在 500~700 万 t,其产量主要受海洋现象(如厄尔尼诺等)影响而波动<sup>[17]</sup>。目前世界水产养殖业已利用了约 68% 的世界鱼粉生产量<sup>[18]</sup>。按照现在的模式发展,如饲料和鱼粉替代物研发没有重大突破,鱼粉供求矛盾将成为我国水产养殖业发展的巨大障碍。

### 3 我国水产养殖业发展的路径

就产业主体而言,高(生产)效(率)低碳(排放)模式是我国水产养殖业发展的必由之路。预计在 2030 年前我国人口将达到 14.5 亿峰值,未来 20 年我国大农业各行业的首要任务应该是应对保障我国人民的食物安全问题。我国的粮食增产已面临着水资源短缺、化肥污染严重、耕地减少、农业生物燃料争地、气候变化等的挑战<sup>[19-20]</sup>,因此,水产养殖业义不容辞地应分担保障我国食物安全的责任。另外,我国政府已承诺大幅度降低单位国内生产总值 CO<sub>2</sub> 排放量,水产业也应该践行这一承诺。因此,为满足我国对水产品的需求,为保障我国的食物安全、为实现我国的 CO<sub>2</sub> 减排目标,水产养殖产业的主体只能走高效低碳的发展道路。

就科技层面而言,我国水产养殖的发展可同时走两条途径:一是靠现代生物技术、工程技术的应用,二是靠大众容易掌握的相对简单的养殖技术水平的提高。现代生物技术,包括转基因、免疫、微生物技术等,在水产养殖中的应用可以大幅度提高养殖生物的生长速度、改善水质、减少死亡率,从而提高养殖产量<sup>[21-22]</sup>。然而,由于很多现代生物技术还不够成熟或较为复杂,因此,大规模的应用还需要一个过程<sup>[23-25]</sup>。可以预见,现代生物技术、工程技术的进步对水产养殖发展的贡献会越来越大,然而,对未来 10 年甚或更长时间的水产养殖发展目标的实现还将会主要依靠一些相对简单且易被大众掌握的新技术的应用。

就养殖环境层面而言,我国水产养殖发展的重点应该放在海水养殖。我国是一个人口众多、水资源匮乏、耕地缺乏的国家,且由于工业化和城

镇化的发展耕地还在不断减少、水资源更显缺乏,在巨大的粮食安全压力之下,我国内陆水域养殖产业的发展会受到越来越大的阻力。相比之下,我国海水养殖还有着较为广阔的发展空间。2010 年我国海水池塘养殖的单产为 4.78 t/hm<sup>2</sup>,而淡水池塘养殖的单产已达 6.93 t/hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。两者单产的差异除养殖种类有所不同之外,更主要的是技术水平的差异。因此,海水养殖也还有更大的通过提高养殖技术水平来提高养殖产量的余地。

就养殖种类层面而言,低营养层次生物养殖的发展潜力更大。海水鱼、虾养殖,特别是高度集约化养殖模式,存在能耗高、排污多、过分依赖鱼粉和鱼油的弊端<sup>[5,13,26-27]</sup>。虽然供需矛盾导致的鱼粉和鱼油价格的上涨会加速鱼粉和鱼油替代品以及养殖新种类的研发和应用,但这一矛盾的解决还要假以时日<sup>[6,23]</sup>。相比之下,低营养层次的藻类、滤食性或草食性动物的养殖则既可以不投饲料还可净化环境。

## 4 展望

### 4.1 发展理念

水产养殖系统具有食物生产、价值增值和环境维持三大基本功能<sup>[5]</sup>。水产养殖业可持续发展就是平衡水产养殖系统的各项基本功能,实现综合效益的最大化。水产养殖业发展中出现的种种问题多是片面追求经济利益所致。生态系统水平的水产养殖或基于生态系统管理的水产养殖是国内外倡导的养殖方式,其能够兼顾相关社会系统和生态系统的可持续发展和现时需求,有效利用营养资源和多种产品的输出,减小对环境的负面影响<sup>[28]</sup>。

综合水产养殖(包括多营养层次综合养殖)是生态系统水平水产养殖理念的实践典范,是实现水产养殖业高效低碳发展的重要途径。综合养殖的优越性包括可生产更多样的产品、减少废物排放、改善养殖环境、生境保护、减少有害菌、减少有害生物、促进养殖生物生长<sup>[29]</sup>。发展综合养殖并不意味着回头走低碳低效的粗放养殖方式,而是依据养殖废物资源化利用、养殖种类或养殖系统间功能互补等原理构建高效低碳的养殖模式<sup>[30]</sup>。

### 4.2 养殖结构保障

积极发展碳汇渔业是实现水产养殖产业总体上走高效低碳道路的关键举措。在市场经济条件

下,适度规模的高价值种类的养殖,即高碳养殖活动是经济规律的必然,但其排碳量应该被碳汇渔业所对抵。碳汇渔业是指通过渔业生产活动促进水生生物吸收水体中的  $\text{CO}_2$ ,具有直接或间接降低大气  $\text{CO}_2$  浓度效果的渔业生产活动<sup>[31]</sup>。2008年中国海水养殖产量的85.5%是贝类和藻类,这些养殖产品的组织或贝壳中包含大量的碳元素。据唐启升<sup>[31]</sup>估算,1999—2008十年间中国的贝、藻养殖业合计移出1 204万t碳,相当于义务造林500多万  $\text{hm}^2$ ,为世界碳减排做出了巨大贡献,因此,被称为“碳汇渔业”。积极发展以贝、藻养殖为代表的碳汇渔业既是保障我国水产品供给也是保障我国水产养殖业整体上走低碳道路的结构保障。

开放海域鱼类网箱养殖通常具有污染严重、排碳量多等特点<sup>[11-13,25-26]</sup>。鱼类网箱与贝类、藻类的综合养殖或称多营养层次综合养殖是减少污染、提高投入物质利用率、对抵碳排放的有效措施。加强养殖动物的营养与饲料和鱼粉替代物研发也是提高饲料利用率、减少排污、降低水产养殖对鱼粉依赖的重要途径<sup>[18,32]</sup>。

#### 4.3 管理体制保障

开放海域养殖的系统化管理十分重要。从生态学意义上讲,开放海域养殖的系统化管理的一个重要目标就是实现养殖系统整体的零排污;从管理上讲,就是要实现各养殖生产单位按照统一的合理的计划开展生产活动。杨鸣等<sup>[33]</sup>提出了海水养殖健康养殖带概念,即将一个海湾或一个特定海域视做一个系统,或者将一个海域连同其邻近的滩涂视为一个系统,在整个系统内的各养殖单元(自养养殖系统和异养养殖系统<sup>[34]</sup>)间实现自养过程与异养过程的生态平衡。中国目前的开放海域的养殖生产主要是以多个家庭或集体为单位独立进行的,尽快建立协同生产的机制是海水养殖健康发展的体制保障。

#### 4.4 学科保障

水产养殖系统是典型的生态经济学系统,简单地用生态学或经济学方法对其加以研究都会有失偏颇。粗放的养殖方式通常具有较高的生态效益,而单种类高密度精养方式或许具有较高的经济效益,高效低碳的综合养殖应该是能够更好兼顾生态效益和经济学利益的养殖方式。高效低碳养殖系统的建立需要用恰当的生态经济学方法进

行评判。因此,经济学和生态学结合是研发高效低碳养殖模式的学科保障。

#### 4.5 法律保障

高效低碳养殖业的建立和发展需要有效的法律保障。《中华人民共和国渔业法》(2004)和《海水养殖水排放要求》(SC/T 9103-2007)要求,从事养殖生产应当保护水域生态环境,不得造成水域的环境污染,并明确规定了10种污染物的排放要求。但是,有些地区水产养殖的排污并没有得到有效的监管。相关法律执行不力不仅会加大养殖活动的环境风险,也会使应该纳入养殖成本中的水处理费用添加在了“收益”中。虚高的“利润”会助推市场上对高污染养殖方式有利的不公平竞争。提高水产养殖从业者的法律意识,加强政府对养殖排放水的监管是水产养殖业健康发展的法律保障。

尽管现在中国有些地方还没有强制性限制养殖排污,但对排污实行强制性约束将成为严厉的国家行为。尽管现在还没有法律强制实行低碳养殖,但低碳养殖将会成为不可逆的国际准则。在上述两个约束条件下,发展高效低碳的水产养殖是我国水产业发展的必由之路。

感谢中国海洋大学李德尚教授、纪建悦教授、中国水产科学研究院李杰人研究员和审稿人提出的建设性意见。

#### 参考文献:

- [1] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture [R]. Rome:FAO. 2010.
- [2] UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, UN Secretariat. World Population Prospectus: The 2004 revision [R]. NY:UN. 2005.
- [3] 农业部渔业局. 2011 中国渔业统计年鉴 [Z]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [4] 孙琛. 中国水产品市场分析 [D]. 北京:中国农业大学,2000.
- [5] 董双林. 系统功能视角下的水产养殖业可持续发展 [J]. 中国水产科学,2009,16(5):798-805.
- [6] NAYLOR R L, HARDY R W, BUREAU D P, et al. Feeding aquaculture in an era of finite resources [J]. PNAS, 2009, 106(36):15103-15110.
- [7] MIAO W M, LIANG M Q. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in China [R]. FAO Fisheries Technical Paper. Rome:

- FAO,2007(497):141-190.
- [8] 中国科学院水资源领域战略研究组. 中国至 2050 年水资源领域科技发展路线图[R]. 北京:科学出版社,2009.
- [9] 吴普特,冯浩,牛文全,等. 中国节水农业战略思考与研发重点[J]. 科技导报,2006,24(5):86-88.
- [10] 崔毅,陈碧鹃,陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报,2005,16(1):180-185.
- [11] 程序. 生物质能与节能减排及低碳经济[J]. 中国生态农业学报,2009,17(2):375-378.
- [12] 徐皓,张祝利,张建华,等. 我国渔业节能减排研究与发展建议[J]. 水产学报,2011,35(3):472-480.
- [13] MUIR J. Managing to harvest? Perspectives on the potential of aquaculture [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2005, 360: 191-218.
- [14] SHI M J, LI N, ZHOU S L, *et al.* Can China realize CO<sub>2</sub> mitigation target toward 2020? [J]. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(2):145-154.
- [15] DELGADO C L, WADA N, ROSEGRANT M W, *et al.* Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Global Markets [R]. The International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2003.
- [16] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture [R]. 2002, Rome: FAO.
- [17] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture [R]. 2008, Rome: FAO.
- [18] TACON A G J, METIAN M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects [J]. Aquaculture, 2008, 285: 146-158.
- [19] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [20] 中国科学院农业领域战略研究组. 中国至 2050 年农业科技发展规划[R]. 北京:科学出版社,2009.
- [21] MELAMED P, GONG Z, FLETCHER G, *et al.* The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture [J]. Aquaculture, 2002, 204: 255-269.
- [22] 相建海,刘保忠. 重要海水养殖动物病害发生和免疫防治的基础研究[J]. 生命科学,2007,19(4):396-398.
- [23] POWELL K. Eat your veg [J]. Nature, 2003, 426: 378-379.
- [24] NEORI A, CHOPIN T, TROELL M, *et al.* Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture [J]. Aquaculture, 2004, 231: 361-391.
- [25] NAYLOR R L, BURKE M. Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea [J]. Annual Review of Environment and Resources, 2005, 30: 185-218.
- [26] TACON A G J, FORSTER I P. Aquafeeds and the environment: policy implications [J]. Aquaculture, 2003, 226: 181-189.
- [27] NAYLOR R L, GOLDBURG R J, PRIMAVERA J H, *et al.* Effect of aquaculture on world fish supplies [J]. Nature, 2000, 405: 1017-1024.
- [28] SOTO D, AGUILAR-MANJARREZ J, HISHAMUDNDA N. Building an ecosystem approach to aquaculture [R]. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No. 14. Rome: FAO. 2008: 15-35.
- [29] SOTO K. Integrated mariculture: A global review [R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome: FAO. 2009.
- [30] 董双林. 中国综合水产养殖的历史、原理和分类[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1-8.
- [31] 唐启升. 碳汇渔业与又好又快的发展现代渔业[C]. 北京:中国工程院第109场工程科技论坛:“碳汇渔业与渔业低碳技术”论文集,2010:1-2.
- [32] 麦康森. 中国水产养殖与水产饲料工业的成就与展望[J]. 科学养鱼,2010(11):1-2.
- [33] 杨鸣,王继业,杨俊杰,等. 山东省沿海健康养殖带科技发展战略研究[J]. 海洋科学,2005,29(5):17-22.
- [34] 董双林,李德尚,潘克厚. 论海水养殖的养殖容量[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(2):245-250.

## High efficiency with low carbon: the only way for China aquaculture to develop

DONG Shuang-lin\*

(*Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China*)

**Abstract:** Development trend of China aquaculture is that the quantity of farmed species, the trophic level of farmed species and the intensity of aquaculture systems are increasing rapidly. China aquaculture now is encountering some difficulties, such as epidemic prevailing, lack of improved varieties of farmed species, pollution, product safety and so on. However, considering aquaculture development from the point of sustainability, the main challenges to its development are freshwater shortage, environment deterioration and increasing consumption of energy and fishmeal. High productive efficiency with low carbon emission (HELIC) is the only way for China aquaculture to develop in order to ensure the food security of 1.45 billion of Chinese population before 2030 and to keep the promise of Chinese government that CO<sub>2</sub> emission per GDP in 2020 is reduced by 40% – 45% based on the 2005 level. Although it is believed that modern biotechnology and modern engineering will contribute more and more in future aquaculture development, their wide application in aquaculture still need time and effort. Aquaculture development in China will have to come mainly from simple farming technologies, which farmers can easily adopt, in near future. Initiatively developing carbon sequestration mariculture (in which CO<sub>2</sub> is absorbed from water and in turn CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere is reduced directly or indirectly), such as bivalvia and seaweeds farming, is structural guarantee for HELIC. In addition establishing cooperation mechanism of every production units within large waters, improving environment protection and legal consciousness of producers, reinforcing supervision for aquaculture pollutant discharge, and cooperation of aquacultural ecologists and economists are needed to guarantee the development of China aquaculture along the road to HELIC.

**Key words:** aquaculture; development; high efficiency; low carbon; China

**Corresponding author:** DONG Shuang-lin. E-mail: dongsl@ouc.edu.cn