

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.03.012

· 综述 ·

水产养殖面源污染控制的最佳管理实践

鲍旭腾, 徐皓, 张建华, 丁建乐

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 农业部渔业装备与工程重点开放实验室)

摘要: 随着水产养殖规模和产量的不断攀升, 水产养殖造成的环境污染问题逐渐引起世界范围内的广泛关注。水产养殖污染是农业面源污染的重要组成部分, 通过各种措施进行高效治理和保护, 将极大地有利于养殖业的健康和可持续发展。美国在水产养殖面源污染控制方面走在世界前列, 具有较多经验可供借鉴。文章对美国水产养殖中应用最佳管理实践(BMP)的概念、内涵和研究应用情况作了简要介绍; 对BMP中在工程上和非工程上的2种管理方法进行了深入分析, 特别针对工程上和非工程上的关键问题进行了阐述, 并提出中国水产养殖生产中应用BMP的重要性。

关键词: 最佳管理实践; 水产养殖; 面源污染

中图分类号: X 506

文献标识码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)03-0079-08

Best management practices for controlling aquaculture non-point pollution

BAO Xuteng, XU Hao, ZHANG Jianhua, DING Jianle

(Key Lab. of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture; Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai, 200092, China)

Abstract: With increasing breeding scale and yield of aquaculture, pollution problems caused by aquaculture gradually draw worldwide attention. Aquaculture pollution is an important part of agricultural non-point source pollution. Effective control and protection is good for healthy and sustainable aquaculture development. America's non-point pollution control is the lead of the world. In this paper, we briefly introduce the concept, content and applications of best management practices (BMP) in America's aquaculture. Besides, we analyze 2 management methods of BMP in engineering and non-engineering, especially describing the concerned key issues. Finally, we emphasize the importance of applying BMP in China's aquaculture.

Key words: best management practices (BMP); aquaculture; non-point pollution

随着人类社会的不断发展, 淡、海水产品需求量的不断增加, 水产自然资源也在相应地减少、甚至枯竭, 天然渔业资源的压力越来越大, 经济效益也日益降低; 与此同时, 水产养殖业大力发展, 养殖产量逐年攀升。中国1985年开始确立以养为主的渔业发展方针, 水产养殖业蓬勃发展, 自1988年起, 养殖产量超过捕捞产量, 并成为当今世界上唯一养殖产量超过捕捞产量的国家。然而, 水产养殖

带来的环境污染、水资源浪费和水产品质量安全等问题也开始影响人类的生产和生活^[1-5]。资料显示, 2010年中国水产养殖面积达 $764.522 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 比2009年增加 $36.209 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 增长4.97%。其中海水养殖面积为 $208.088 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占水产养殖总面积的27.21%, 比2009年增加 $22.157 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 增长11.92%; 淡水养殖面积为 $556.434 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占水产养殖总面积的72.79%, 比2009年增加

收稿日期: 2011-12-06; 修回日期: 2012-01-18

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203083)“淡水池塘工程化改造与环境修复技术研究示范”

作者简介: 鲍旭腾(1983-), 男, 硕士, 从事渔业装备及信息研究。E-mail: baouxuteng@126.com

通讯作者: 徐皓, E-mail: xuhao@fmiri.ac.cn

140.52 × 10⁴ hm², 增长 2.59%^[6]。

水产养殖规模的不断扩大, 养殖污染问题也逐渐引起广泛关注。在水产养殖生产过程中由于生产科技水平低, 粗放式的操作管理模式, 生产布局的不合理, 药品使用的不规范等原因造成养殖水体污染, 破坏环境, 进而限制水产养殖业的健康可持续发展。水产养殖对环境潜在的影响主要包括生物栖息地的改变, 废弃物增加环境负荷, 对深层地下水影响, 化学物质的污染, 土壤盐碱度的变化等。环境污染问题将逐渐成为水产养殖健康可持续发展面临的主要挑战之一^[7]。水产养殖带来的污染是农业面源污染的重要组成部分, 不仅危害养殖生产系统本身, 而且也对周围区域的水环境、生物多样性以及人类的健康造成威胁^[8-10]。

因此, 对于养殖水体的环境监测、污染成因分析、生态养殖技术和治理技术的开发利用等逐渐成为近年来各界关注的热点^[8-9]。欧美等国家在水产养殖中通过立法、政府援助等各种手段加强对环境的保护^[11-18]。其中美国在水产养殖上控制面源污染的最佳管理实践(best management practices, BMP)^[19]尤其引人关注。此文通过介绍和分析美国在 BMP 上的研究应用, 以期为中国水产养殖面源污染问题的解决提供参考。

1 BMP 的概念

水产养殖的 BMP 是一系列针对水产养殖面源污染所采取的各种高效的控制和管理措施的总称。美国环境保护署(USEPA)对 BMP 的定义是通过工程或非工程的实践操作, 减少或避免水产养殖生产(农业生产)带来的水污染问题^[20-21]。

良好农业规范(good agricultural practice, GAP)是一套针对农产品生产的操作标准, 是提高农产品生产基地质量安全管理水平的有效手段和工具。应用于水产养殖即称为“良好水产养殖规范”(good aquaculture practice, GAP)。该规范主要关注于优化水产养殖生产模式, 提高养殖企业的管理水平, 实施可持续的发展战略, 寻求水产品食品安全、质量、生产效益、环境影响等可操作的规范^[22-23]。最佳水产养殖规范(best aquaculture practice, BAP)主要是通过建立苗种、养成、加工以及流通过程中的各项生产标准, 有效评估食品安全、可追溯性及社会责任等内容^[24-26]。

BMP 与 GAP、BAP 主要的区别是 BMP 侧重于在不影响养殖生产或优化养殖生产的前提下, 提高对环境的保护作用、社会经济的可持续性以及动物健康和福利; GAP 和 BAP 则是通过规范化的操作管理, 提高养殖产量的同时, 更侧重于水产养殖的健康生产和食品安全。

BAP 采取的是认证的制度。该套标准主要由全球水产养殖联盟(GAA)制定, GAA 是由技术专家和非政府机构组建的国际性非营利贸易协会。目前, BAP 已得到世界 70 多个国家的认可, 在许多欧美国家成为水产品市场准入通行

证^[27]。GAP 是联合国粮农组织为世界各国和地区提供的一套规范化水产养殖的参考, 没有专门的组织管理机构。BMP 首先是在 20 世纪 70 年代英、美等国开始实行, 以有效控制氮(N)、磷(P)元素对水环境的污染。1972 年美国联邦水污染法(FWPCA)首先明确提出控制农业生产带来的面源污染, 提倡以土地资源利用合理化的 BMP。

2 美国 BMP 的研究历史

1992 年美国国会就要求 USEPA 建立一套可持续的环保行动计划。5 年后的 1997 年, 环保协会(Environmental Defense Fund, EDF)公布了名为“水污染: 美国水产养殖的环境影响”的报告。在该报告中 EDF 建议美国政府在 1977 年颁布的“清洁水法(clean water)”中增加对水产养殖污染控制的内容。2000 年 1 月 USEPA 开始制定规则以规范商业或公共水产养殖, 减少环境污染问题。其中 BMP 是一个最突出的亮点。

2001 年 USEPA、美国国家研究、教育、推广农业部(CSREES)以及密西西比州立大学联合制定了一个指导性的文件草案, 对各种减轻水产养殖对环境的影响的管理实践作了总结。该草案经过广泛审查后, USEPA 于 2003 年 12 月发布了对流水、网箱、循环水及池塘等水产养殖进行 BMP 的白皮书。2004 年 6 月联邦纪事(federal register)最终颁布了水产养殖对环境影响的 BMP。

美国水产养殖的管理通常是多部门的协作式管理。中国与之不同, 是属于农业部和地方水产系统管理部门的管辖, 环保部门较少介入。美国政府在 BMP 上具有重要的作用, USEPA 通过立法已经建立的最低水质标准和实行污水的限排措施, 并根据各地区实际情况, 实施各自的 BMP 措施; 为了鼓励自愿的方式实施 BMP 措施以解决水产养殖水污染问题, 政府部门提出具体的可行性建议并予以一定的经济资助。在具体操作上包括: 1) 税收控制、价格调节、教育和技术援助; 2) 限制在某些区域进行水产养殖生产, 如作为饮用水源的水域禁止水产养殖等; 3) 鼓励和发展水产养殖废弃物处理市场, 如池塘底泥的处理等; 4) 加大科研力度, 大力发展环境可持续的养殖生产模式, 减少对环境的危害^[28]。

美国水产养殖主要集中于东南部, 代表的州有路易斯安那州、密西西比州、佛罗里达州、阿拉巴马州和阿堪萨斯州等。其他比较大面积养殖的州是华盛顿州和加利福尼亚州。尽管有很多的设施养殖模式, 池塘养殖还是最主要的养殖方式。

美国各大州采用 BMP 方法对水产养殖进行管理, 对养殖废水进行了资源化的利用和管理, 取得了很多的经验。起初, 美国 BMP 只是针对特定的地区, 根据其水文、土壤、气候等自然状况因地制宜地采取不同的管理措施, 只有一些管理原则, 没有具体的量化指标; 随着 BMP 方法的顺利推广, 开始逐渐建立明确的管理目标、具体的计划和

制度等,对BMP进行有意识的量化;最后,完善BMP的方法,进行大力推广,同时开始对养殖生产和管理者进行教育、培训,并提供财力和技术支持。众多的应用表明,很多流域的水质状况在实行BMP方法后,得到了明显的改善^[29-38]。

3 美国BMP的内容和应用

BMP对于水产养殖的经济可持续性和环境友好型的发展模式具有重要的作用。无论是BMP还是GAP,其目的都是让水产养殖与环境的关系变好或更好。显然,BMP在实践过程中一方面需要减少投入的成本,另一方面需要增加对环境良好的改善。对养殖者而言,BMP能让其更好地进行养殖生产实践,确保水产品安全生产,对增加水产养殖收益、减少污水排放等方面具有重要意义。

水产养殖的BMP可分为工程的和非工程的两大类技术和管理上的实践措施。工程上的包括养殖场选址及建设,污水处理系统的建设等;非工程上的包括水资源的使用管理,养殖的运行管理,规范标准的制定,外来物种控制,健康养殖和药品使用,捕获和销售管理,人员培训和认证等。这些措施主要涉及到水产养殖的用水、建设、生产、管理和环境影响等方面的BMP。下面将分别针对其中的一些关键方面进行分析。

3.1 池塘养殖的BMP

目前,水产养殖可分为池塘养殖、网箱养殖、循环水养殖和流水养殖等几种养殖模式。池塘养殖占据水产养殖的绝大部分,池塘养殖造成的面源污染也最为严重。美国对池塘养殖的BMP主要通过池塘选址、建设、用水、排污、饲料及投饲、用药、设备维护等方面进行优化。

池塘选址、建设的BMP主要考虑的因素有当地的水文、地形、气候和可行性等,这些因素对于养殖的前期优化具有重要作用;水产养殖用水来源于地表和地下水源,一般用于养殖系统(池塘、水道和网箱中)本身和相关的辅助系统(实验室、水产品加工),需要考虑蒸发、渗漏和排污的出水,应该合理利用水资源,减少排放;饲料及投饲、用药、设备维护等涉及到水产养殖的生产管理,良好的管理不仅增加养殖效益,也增加环境效益^[39-42]。主要考虑的因素有精确投喂、饲料转化率、增加溶氧和温度调控等。具体的BMP处理方法很多,表1列举了其中一部分内容加以比较。

3.2 流水养殖的BMP

流水养殖相对于池塘养殖,养殖规模较少,但污染却未必比池塘养殖少。传统的流水养殖,水未经过处理直接流向下游,容易造成下游的环境污染^[43-44]。和池塘养殖类似,美国对流水养殖的BMP主要通过选址、饲料及投饲、污水排放、用药及设备维护等方面进行优化。其中很多内容可借鉴池塘养殖的BMP(表2)。

3.3 循环水养殖的BMP

循环水养殖(recirculating aquaculture systems, RAS)是各种养殖模式中科技水平最高的,其养殖用水循环再利用,换水率较低,排放量较少,全封闭式的循环水养殖甚至没有排放,因此循环水养殖的污染也是最低的^[47-48]。循环水养殖的BMP主要考虑养殖场的选址、饲料及投饲、水处理、养殖健康管理和设施设备等(表3)。

3.4 网箱养殖的BMP

网箱养殖可以在内陆淡水中进行,也可以在深海盐水中进行,一般设置在开阔的水域上。目前网箱养殖产量仅次于池塘养殖,其养殖的相对影响面相应也较大,因此,带来的水污染问题也较多^[45-46]。美国网箱养殖的BMP主要考虑选址、饲养、废水处理、防止逃逸及设备维护等方面(表4)。

虽然上述列举的各种养殖模式分别具有各自的BMP,但很多内容是相通的。此外,美国BMP还涉及人员管理、销售管理等方面。如对养殖人员进行培训教育,并颁发资格证书;必须要有水产养殖的证书登记号才能具有进入市场的资格;水产养殖品必须按照规定的运输工具运输;记录所有购买、销售的具体信息等。

4 面临的问题

虽然美国在BMP领域积累了很多经验,但对于BMP的研究还刚刚起步,有许多问题尚待进一步研究。如BMP提供的指标还只是通用的建议和方法,尚不能解决许多地方性或区域性的具体问题,需要分别针对各自的特点进行不断补充完善。同时,应针对不同的养殖模式、种类及规模等制定不同的、有针对性的BMP标准^[49]。

目前BMP面临的最关键的几个问题是:1)环境安全的水质营养成分的标准化问题;2)环境安全的水产品药物使用的规范问题;3)环境安全的饲料投喂精确化问题;4)养殖水域营养物质流失处理问题等。这些问题的解决对于广泛推广BMP方法具有重要的意义。

5 借鉴价值

水产养殖业的环境友好型可持续性的发展模式是中国渔业发展的方向。BMP的提出对于实现发展渔业经济的同时,减少对环境的污染具有重要的作用。水产养殖对环境的负荷日益加重,高密度和高产量的养殖模式带来的是高投喂和高换水的资源消耗,同时也带来了高浪费和高污染;环境恶化导致养殖体病害频发。近年来因病害导致大面积的虾类、贝类、鱼类的死亡事件频频发生,且呈加重趋势,突发性、不明原因性的病害种类剧增,严重危害中国水产养殖业的发展;水产品食品安全问题日益突出,随着环境恶化带来的病害的发生,鱼药的滥用或非法使用逐渐成为养殖业面临的另一个重要问题,不仅可能加速养殖环境的

表1 传统池塘水产养殖与BMP池塘水产养殖的管理比较

Tab. 1 Comparison of management between conventional practices and BMP in pond aquaculture

	传统池塘水产养殖 traditional pond aquaculture	BMP 池塘水产养殖 BMP pond aquaculture
池塘选址 site selection	1) 池塘布局规划不规范 2) 鱼塘建在溪流附近, 未考虑洪涝的影响 3) 将池塘建造在城市郊区或工业区附近 4) 将池塘建设在危险的地形上或降水量较大的地方 5) 未考虑地下暗流的影响 6) 土壤选择不合理	1) 不要将池塘建设在湿地或者保护区里 2) 不要将池塘建设在容易受到有规律洪涝的地区 3) 不要将池塘建设在城市和工业污染区附近, 或在已被污染的土壤上 4) 应选择合适的地形和水文条件 5) 避免地下暗流对池塘结构的影响 6) 选择适合建造池塘的土壤
池塘建设 pond construction	1) 土壤来路不明, 危害鱼池 2) 直接排放建造产生的污染物 3) 未对底泥做适当的处理	1) 建议使用来自池塘内部的泥土来整修池塘。 2) 建造过程中, 关闭排水管, 减少排放 3) 对底泥进行处理
池塘用水 pond water	1) 水源使用不规范 2) 水资源浪费严重 3) 较少利用雨水 4) 环保部门较少介入是否可以养殖 5) 未对养殖水进行循环利用 6) 未对水质进行改良	1) 在颁发水产养殖许可证前, 需对水源进行调查分析 2) 最大限度地减少水的使用和实施节约用水 3) 合理利用雨水 4) 开阔水域的使用需要具体审查, 以确定是否满足环保要求 5) 使用水循环系统或水再利用系统, 保持周边环境的蓄水量 6) 使用各种水质改良措施, 如使用曝气器、生物过滤、化学处理、人工湿地等
池塘排污 effluent	1) 直接排放到排水沟 2) 池塘底部出水 3) 直接排出污水 4) 直接排出污水 5) 直接排出污水	1) 将污水用于灌溉各种农作物 2) 使用池塘表面排水 3) 禁止在鱼大量死亡时排水 4) 使用湿地或沉淀池处理污水 5) 将污水经过处理后再使用
饲料及投饲 feeds & feeding	1) 盲目投喂, 导致过量 2) 饲料质量低 3) 未添加动物蛋白 4) 保存饲料不合理, 容易受潮或变质	1) 精确投喂, 提高投饲率 2) 使用高质量的饲料 3) 使用鱼糜和其他动物蛋白作为补充饲料 4) 合理地保存饲料, 保证其质量
池塘用药 chemical pollution	1) 药品等放置不规范 2) 缺少应对鱼病爆发前的应急机制 3) 缺少鱼病爆发后的应对措施 4) 不能及时施药 5) 盲目施药	1) 合理放置药品、化学品、易燃品等 2) 建立严格的生物安全计划, 防止疾病爆发 3) 建立鱼病爆发引起灾难性事件的应对措施 4) 定期监控水质, 及时施药 5) 根据兽医或规范要求施药
设备维护 facilities operation & maintenance	1) 设备使用不规范, 运行不正常 2) 较少检查排水、供水等管道是否正常 3) 未储备柴油发电机	1) 确保所有设备良好的工作状态 2) 经常检查排水管和供水线是否正常 3) 储存一定的柴油, 保证在缺电时, 用柴油发电

表2 传统流水水产养殖与BMP流水水产养殖的管理比较

Tab. 2 Comparison of management between conventional practices and BMP in flow-through aquaculture

	传统流水水产养殖 traditional flow-through aquaculture	BMP 流水水产养殖 BMP flow-through aquaculture
养殖选址 site selection	1) 未考虑是否限制就使用 2) 未检测是否受过污染 3) 建造在容易有洪水的地区 4) 容易造成环境污染、水污染 5) 选用的地形条件较差 6) 选择地水源较差	1) 避免选择在限制使用的地方 2) 避免选择在受过污染的地方 3) 避免选择在容易洪水泛滥的地方 4) 避免选择在容易污染环境和水源的地方 5) 选择合适的地形 6) 选择具有充足水量和较好水质的地方
饲料及投饲 feeds & feeding	1) 饲料质量低 2) 饲料转化率低 3) 粗放式投喂, 效率低 4) 不考虑摄食情况 5) 饲料储存不规范, 饲料易变质 6) 投饲设备未经常检查	1) 使用高质量的饲料 2) 提高投饲效率 3) 投饲精准化 4) 使用投饲机时保持摄食的活性 5) 合理储存饲料保持饲料质量 6) 经常检查投饲设备确保有效投喂
污水排放 effluent	1) 直接流到下游 2) 无自我清理设计 3) 无沉淀池设计 4) 不能及时去除沉淀物 5) 沉淀物弃置	1) 通过水流渠道能进行最大化的自我清理 2) 设计、建造、管理循环的单元进行自我清理 3) 将污水导入沉淀池 4) 及时去除沉淀池中的沉淀物 5) 堆肥处理

表3 传统循环水水产养殖与BMP循环水水产养殖的管理比较

Tab. 3 Comparison of management between conventional practices and BMP in net cage aquaculture

	传统循环水水产养殖 traditional RAS aquaculture	BMP 循环水水产养殖 BMP RAS aquaculture
养殖选址 site selection	1) 未考虑限制因素 2) 地形和水文条件较差	1) 避免在有限制的区域建造养殖场 2) 选择合适的地形和水文条件。
饲料及投饲 feeds & feeding	1) 饲料质量不高 2) 投饲方式技术含量低 3) 投饲系统自动化程度低	1) 使用高质量的饲料 2) 使用有效的投饲方式 3) 使用高自动化的投饲系统
污水处理 effluent	1) 过滤水平低, 换水量大 2) 去粗固体颗粒物效率低 3) 直接排放 4) 不能有效去除有毒有害物质	1) 使用高效水循环系统进行过滤 2) 快速有效地去除固体颗粒物 3) 排放前先去除固体颗粒物 4) 有效去除有毒有害物质
健康管理 health management	1) 鱼病用药不科学 2) 鱼病监控不精确 3) 无法阻止疾病传播 4) 设备对鱼类有伤害 5) 养殖物种管理不规范。 7) 水质较差, 溶解氧含量低	1) 选择合适的鱼类健康管理规则 2) 加强疾病监管控制 3) 通过合理手段减少疾病传播 4) 使用生物安全的设备系统 5) 养殖物种需要经过批准, 特别是对外来物种 6) 保持高品质的水质和溶解氧水平
设备安全 safety of equipment	1) 能耗高 2) 安全系数小 3) 建造、设备加工及运行成本高	1) 使用能耗低的设施设备 2) 使用安全的设施设备 3) 降低设备及其运行成本

表4 传统网箱水产养殖与BMP网箱水产养殖的管理比较

Tab. 4 Comparison of management between conventional practices and BMP in cage aquaculture

	传统网箱水产养殖 traditional cage aquaculture	BMP网箱水产养殖 BMP cage aquaculture
养殖选址 site selection	1) 选址不规范 2) 对当地水文不了解 3) 水深较浅 4) 水底结构不利于网箱养殖 5) 容易受到野生动物的攻击	1) 对场地进行环境调查 2) 避免受到极端天气和水的状况的影响 3) 选择水深大于网箱深度2倍以上的地方 4) 选择合适的底部类型 5) 避免设置在容易受到周围野生动物攻击的地方
饲料及投饲 feeds & feeding	1) 养殖种类单一 2) 混养贝类时, 放置位置欠佳 3) 混养中没有考虑其不利因素 4) 较为原始的投饲方法 5) 未对饲料消耗进行监控 6) 投喂精度不高 7) 投饲员未经培训	1) 使用混养的方式利用各种营养物质 2) 选择合适的位置混养贝类 3) 保证混养不对主要养殖体构成威胁 4) 使用有效的投饲方法 5) 监控饲料的消耗 6) 精确投喂 7) 培训投饲员
污水处理 effluent	1) 网箱随波而动 2) 对网箱底部生物影响不了解 3) 网箱养殖破坏底部生物栖息地	1) 设置网箱优化水循环 2) 建立评估底部生物影响的机制 3) 在无底部生物的地方设置网箱, 减少它们的滋生
鱼类逃逸 fish escape	1) 对于养殖体逃逸的分析不全 2) 网箱强度不够 3) 容易引起逃出逃逸 4) 网箱系统不安全 5) 锚泊系统不合理 6) 对锚泊系统检查较少 7) 防逃逸措施不系统全面 8) 对逃逸后的鱼束手无策	1) 考虑各种造成鱼逃逸的因素 2) 使用更高强度, 或双层的网箱 3) 建立安全网箱系统 4) 安装防跳出逃逸网 5) 使用合适的锚泊系统 6) 经常检查和调整锚泊系统 7) 建立一条完整的防逃逸计划 8) 重新捕获逃逸的鱼类
设备维护 facilities operation & maintenance	1) 设备运行检查较少 2) 未对网箱内的附作物及时清理 3) 燃油使用, 未建立规范 4) 缺少管理设备使用的记录	1) 经常检查系统运行情况 2) 及时清除网箱内的固体颗粒物 3) 建立一个燃油溢出管理计划 4) 建立一套看守记录系统

污染, 同时也危害食品安全。

中国对水产养殖面源污染问题的研究也才刚刚起步, 目前还没有全面的、系统的、可靠的研究资料, 在BMP研究和应用方面也才刚接触不久^[50-51]。通过学习欧美等国家在BMP上的研究实践, 有针对性地制定结合中国实际生产情况的BMP具有重要意义。

参考文献:

- [1] 徐皓. 我国渔业节能减排基本情况研究报告[J]. 渔业现代化, 2008, 35(4): 1-7.
XU Hao. Report on fishery industry energy conservation and emissions reduction research in China [J]. Fish Modern, 2008, 35

(4): 1-7. (in Chinese)

- [2] 王瑞梅, 刘杰, 史岩. 我国水产养殖业环境污染防治研究[J]. 中国渔业经济, 2010(5): 108-112.
WANG Ruimei, LIU Jie, SHI Yan. Environmental pollution prevention from aquaculture in China [J]. Chin Fish Econ, 2010(5): 108-112. (in Chinese)
- [3] 李树国. 内陆水产养殖的水域污染及其防治对策[J]. 水产科学, 2005, 24(3): 34-35.
LI Shuguo. Pollution of aquaculture in inland waters and its control [J]. Fish Sci, 2005, 24(3): 34-35. (in Chinese)
- [4] 蔡继哈, 李凯, 郑向勇, 等. 水产养殖对环境的影响及其防治对策分析[J]. 水产养殖, 2010, 31(5): 32-38.
CAI Jihan, LI Kai, ZHENG Xiangyong, et al. The influences of

- aquaculture on environment and the prevention strategy analysis[J]. *J Aquac*, 2010, 31(5): 32–38. (in Chinese)
- [5] 吴成业, 叶玫. 我国水产食品安全面临的问题与对策[J]. 渔业现代化, 2006(6): 3–5.
WU Chengye, YE Mei. Security problems and countermeasures of China's aquatic products[J]. *Fish Modern*, 2006(6): 3–5. (in Chinese)
- [6] 中国农业信息网. 2010 年全国渔业经济统计公报[EB/OL]. (2011-06-28) [2011-12-07]. http://www.agri.gov.cn/v20/zx/nyyw/201106/t20110628_2039578.htm.
Chinese Agricultural Information Network. Statistical bulletin of national fisheries economic in 2010[EB/OL]. (2011-06-28) [2011-12-07]. http://www.agri.gov.cn/v20/zx/nyyw/201106/t20110628_2039578.htm. (in Chinese)
- [7] 赵蕾, 杨子江. 可持续发展水产养殖的生态系统框架构建[J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2009(2): 18–20.
ZHAO Lei, YANG Zijiang. Build the framework of sustainable development aquaculture ecosystem[J]. *J Ocean Univ China: Social Science*, 2009(2): 18–20. (in Chinese)
- [8] 王建平, 陈吉刚, 斯烈刚, 等. 水产养殖自身污染及其防治的探讨[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2008, 27(2): 192–196, 200.
WANG Jianping, CHEN Jigang, SI Liegang, et al. Discussions on self-pollution and its prevention and cure in aquaculture[J]. *J Zhejiang Ocean Univ: Natural Science*, 2008, 27(2): 192–196, 200. (in Chinese)
- [9] 彭自然, 陈立婧, 王武. 长江中下游浅水湖泊水产养殖污染现状与对策[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 6467–6468, 6621.
PENG Ziran, CHEN Lijing, WANG Wu. Pollution actuality and countermeasures of aquaculture in shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River area[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, 38(9): 6467–6468, 6621. (in Chinese)
- [10] WORM B, BARBIER E B, BEAUMONT N, et al. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services[J]. *Science*, 2006, 314(5800): 787–790.
- [11] KLAUDATOS S D. Greece: Best practices in aquaculture management and development[C]//*Advancing the Aquaculture Agenda: Workshop Proceedings*. France: OECD Publishing, 2010: 145–159.
- [12] BOYD C E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level[J]. *Aquaculture*, 2003, 226(1): 101–112.
- [13] BOYD C E, QUEIROZ J. Feasibility of retention structures, settling basins, and best management practices in effluent regulation for Alabama channel catfish farming[J]. *Rev Fish Sci*, 2001, 9(2): 43–67.
- [14] CULLUM R F, KNIGHT S S, COOPER C M, et al. Combined effects of best management practices on water quality in Oxbow lakes from agricultural watersheds[J]. *Soil Tillage Res*, 2006, 90(1/2): 212–221.
- [15] ENGLE C, VALDERRAMA D. Economic effects of implementing selected components of best management practices (BMPs) for semi-intensive shrimp farms in Honduras[J]. *Aquac Econ Manage*, 2004, 8(3/4): 157–178.
- [16] ICE G. History of innovative best management practice development and its role in addressing water quality limited water bodies[J]. *J Environ Eng*, 2004, 130(6): 684–689.
- [17] NAYLOR R L, BURKE M. Aquaculture and ocean resources: raising tigers of the sea[J]. *Annu Rev Environ Resour*, 2005, 30: 185–218.
- [18] PRIMAVERA J H. Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone[J]. *Ocean Coastal Manage*, 2006, 49(9/10): 531–545.
- [19] TUCKER C S, HARGREAVES J A. Environmental best management practices for aquaculture[M]. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008: 1–592.
- [20] MACMILLAN J R, HUDDLESTON T, WOOLLEY M, et al. Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms[J]. *Aquaculture*, 2003, 226(1/2/3/4): 91–99.
- [21] BOYD C E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level[J]. *Aquaculture*, 2003, 226(1/2/3/4): 101–112.
- [22] 吕青, 卢晓中, 焦宏强, 等. 良好水产养殖规范的发展现状和应用展望[J]. 渔业现代化, 2009, 36(4): 62–65.
LÜ Qing, LU Xiaozhong, JIAO Hongqiang, et al. Current development and application trend of good aquaculture practices[J]. *Fish Modern*, 2009, 36(4): 62–65. (in Chinese)
- [23] 彭树锋, 韦木莲, 蒋家金, 等. BAP 与 GAP 认证在国内外的 发展进程[J]. 中国水产, 2011(2): 20–23.
PENG Shufeng, WEI Mulian, JIANG Jiabin, et al. Development process of BAP and GAP certification in domestic and abroad[J]. *China Fish*, 2011(2): 20–23. (in Chinese)
- [24] 刘利平, 赵广学, 张宗峰. 最佳水产养殖规范(BMP)认证及 其在中国的发展[J]. 渔业现代化, 2011, 38(3): 54–56.
LIU Liping, ZHAO Guangxue, ZHANG Zongfeng. Best aquaculture practice certificate and its possible impact on international trade of China seafood[J]. *Fish Modern*, 2011, 38(3): 54–56. (in Chinese)
- [25] BOYD C E, MCNEVIN A A, CLAY J, et al. Certification issues for some common aquaculture species[J]. *Rev Fish Sci*, 2005, 13(4): 231–279.
- [26] USA: the Global Aquaculture Alliance. Aquaculture certification: the most stringent standards in aquaculture (BAP standards) guidelines[EB/OL]. [2011-12-07]. <http://gaalliance.org/cmsAdmin/uploads/BAP-ShrimpF-307-M.pdf>.
- [27] Florida USA: Best Aquaculture Practices. Best aquaculture practices certification of production processes for seafood buyers[EB/OL]. [2011-12-07]. <http://www.aquaculturecertification.org>.
- [28] 章明奎, 李建国, 边卓平. 农业非点源污染控制的 最佳管理实践[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(5): 244–250.
ZHANG Mingkui, LI Jianguo, BIAN Zhouping. Best management

- practices for controlling agricultural non-point pollution[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2005, 17(5): 244–250. (in Chinese)
- [29] CHARLES H B. Aquaculture best management practices rule[M]. Florida; Florida Department of Agriculture and Consumer Services, 2005: 1–104.
- [30] DALE F L. Best management practices for the shellfish culture industry in southeastern Massachusetts[M]. Massachusetts; Massachusetts Shellfish Growers, 2004: 1–100.
- [31] Maryland aquaculture coordinating council. Best management practices: a manual for Maryland aquaculture[EB/OL]. [2012-04-09]. http://www.marylandseafood.org/pdf/best_management_practices_manual.pdf.
- [32] CRAIG S H, REED B, KEITH W, et al. Best management practices for finfish aquaculture in Massachusetts[M]. Massachusetts; Western Massachusetts Center for Sustainable Aquaculture, 2006: 1–54.
- [33] MARTINS C I M, EDING E H, VERDEGEM M C J, et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability[J]. *Aquac Eng*, 2010, 43(3): 83–93.
- [34] PATRICIA J O, LEE C S. Management of aquaculture effluents workshop discussion summary[J]. *Aquaculture*, 2003, 226(1): 227–242.
- [35] RICHARDSON W B, BROWN W H, COREIL P D. Aquaculture production best management practices (BMPs) [M]. Louisiana; Louisiana Department of Environmental Quality, 2003: 1–28.
- [36] HOWERTON R. Best management practices for Hawaiian aquaculture[M]. Hawaii; Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, 2001: 1–32.
- [37] Best management practices (BMP's) for geoduck aquaculture on state owned aquatic lands in Washington state [M]. Washington; Washington State Department of Natural Resources, 2007: 1–8.
- [38] BOGREN R. LSU outlines best management practices for state's aquaculture[EB/OL]. (2003-08-08) [2011-12-13]. <http://deltafarmpress.com/lsu-outlines-best-management-practices-states-aquaculture>.
- [39] BRUNE D E, SCHWARTZ G, EVERSOLE A G, et al. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems [J]. *Aquac Eng*, 2003, 28(1/2): 65–86.
- [40] HARGREAVES J A, TUCKER C S. Defining loading limits of static ponds for catfish aquaculture[J]. *Aquac Eng*, 2003, 28(1/2): 47–63.
- [41] BOYD C E. Water use in aquaculture[J]. *J World Aquac Soc*, 2005, 36(3): 12–15, 70.
- [42] TUCKER C S, HARGREAVES J A. Water-level management, BMPs cut water use and pond effluents[J]. *Global Aquac Advocate*, 2006, 9(3): 50–51.
- [43] BERGHEIM A, BRINKER A. Effluent treatment for flow through systems and european environmental regulations[J]. *Aquac Eng*, 2003, 27(1): 61–77.
- [44] ENGLE C R, POMERLEAU S, FORNSHELL G, et al. The economic impact of proposed effluent treatment options for production of trout *Oncorhynchus mykiss* in flow-through systems[J]. *Aquac Eng*, 2005, 32(2): 303–323.
- [45] KENNETH M B, CONRAD V W M. Interactions of Atlantic salmon in the Pacific northwest environment II. Organic wastes[J]. *Fish Res*, 2003, 62(3): 255–293.
- [46] KENNETH M B, ANNETTE R S, CONRAD V W, et al. Chemical and biological remediation of the benthos near Atlantic salmon farms[J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1): 355–377.
- [47] TIMMONS M B, EBLING J M, WHEALTON F W, et al. Recirculating aquaculture systems [M]. 2nd ed. New York; Cayuga Aquaculture Ventures, LLC, 2002: 1–769.
- [48] BRIAN V J, STEVEN T S, DUNCAN A C, et al. Design of partial water reuse systems at White River NFH for the production of Atlantic salmon smolt for restoration stocking [J]. *Aquac Eng*, 2004, 32(1): 225–243.
- [49] TACON A G J, FORSTER I P. Aqua feeds and the environment: policy implications [J]. *Aquaculture*, 2003, 226(1): 181–189.
- [50] ZHANG Ru, ZHOU Wenbin, FIELD R, et al. Field test of best management practice pollutant removal efficiencies in Shenzhen, China[J]. *Frontiers Environ Sci Eng China*, 2009(3): 354–363.
- [51] ZAHEER I, CUI Guangbai, ZHANG Liqiong. Sedimentation retention basin utilization for best management practice[J]. *J Environ Sci*, 2003, 15(5): 662–668.