

文章编号:1000 - 0615(2004)05 - 0568 - 05

综述·

## 海水池塘养殖模式优化:概念、原理与方法

王 岩

(上海水产大学生命科学与技术学院,上海 200090)

关键词:海水池塘;混养;系统优化

中图分类号:S967.4 文献标识码:A

### Optimization of culture model in sea water pond : concepts , principles and methods

WANG Yan

( College of Aquar-life Science and Technology , Shanghai Fisheries University , Shanghai 200090 , China)

**Abstract:** Currently used seawater pond culture models are evaluated , and principles and methods in optimizing pond culture model are discussed in the present paper. The author indicates that application of the traditional polyculture has been limited in single pond. Inputted nutrients such as feed and fertilizer can 't be efficiently utilized by animals cultured in a pond with the traditional polyculture , resulting in huge waste discharge , which is regarded as a pollution source to coastal regions. The author suggests it should be possible to put several seawater ponds with different stocking structures together and optimize stocking and management systemically. Compared with the traditionally polycultured seawater ponds , ecological benefits and nutrients transport in the systemically optimized ponds would be amplified. The production performance of the systemically optimized ponds , therefore , would be increased and their pollution would be reduced.

**Key words :** seawater pond ; polyculture ; systemically optimized ponds

随着海洋渔业资源衰退和人类社会对水产品需求的持续增长,海水养殖规模逐年扩大,养殖生产对环境的影响也日益严重<sup>[1-6]</sup>。现已确认海水鱼虾类养殖是造成海洋沿岸带水域富营养化的重要污染源之一<sup>[5-8]</sup>,这一严峻现实要求今后在发展海水养殖产业时不仅需要宏观上对养殖区域和养殖规模进行合理规划,还需要对传统的养殖方式和技术进行革新,控制养殖污染,实现清洁生产。本文在总结海水池塘养殖现状的基础上探讨了海水池塘养殖模式优化中的几个问题,旨在为发展我国可持续海水养殖生产模式提供参考。

#### 1 池塘养殖模式的概念

通常根据产量和管理的复杂程度将海水养殖分为粗养(extensive culture)、半精养(semi-intensive culture)和精养(intensive culture)3种类型,Kinne<sup>[9]</sup>认为粗养与精养的区别在于:前者对环境、营养、敌害、捕食者、竞争者和疾病等的控制程度低,前期投资、技术要求和生产效率低,对气候和海水水质依赖性强,利用天然水体和天然饵料生物;后者控制程度高,前期投资、技术水平和生产效率高,对当地气候和海水水质依赖性低,使用人工修建的养殖系统。按此标准,海水池塘(包括天然池塘和人工修建的池塘)养殖常

收稿日期:2003-02-28

作者简介:王 岩(1965-),北京市人,教授,主要从事水域生态学和鱼类营养生态学研究,Tel:021-65710764,E-mail:wangyan@shfu.edu.cn

被划分为粗养、半精养和精养<sup>[10-12]</sup>。我国淡水池塘养殖中习惯上依据放养种类的组成将养殖类型分为单养(monoculture)和混养(polyculture),或依据养殖中使用的营养物质的类别分为投饵(feeding)和施肥(fertilizing)养殖等类型<sup>[13,14]</sup>。本文中所述的池塘养殖模式有别于上述概念,指在一定地域范围内生产性能和经济效益比较稳定,具有一定特色和代表性的池塘养殖生产方式,其由养殖品种的放养模式和相应的管理模式两部分构成。我国淡水池塘养殖长期实践中形成了一些成功的模式,如以草鱼或团头鲂为主,搭配鲢、鳙或鲫的模式;以鲢、鳙为主,配养草鱼、鲤、银鲫、鲫、罗非鱼或团头鲂的模式;以草鱼和青鱼并重,搭配鲢、鳙、鲤、鲫或团头鲂的模式;以青鱼为主,搭配草鱼、鲢、鳙、团头鲂或鲫鱼的模式;以草鱼、鲮和鳙为主,搭配鲢、鲤、银鲫或鳊的模式;以鲤为主,搭配草鱼、鲢、鳙、团头鲂或罗非鱼的模式等<sup>[14]</sup>。

## 2 海水池塘养殖的现状

### 2.1 海水池塘养殖品种与养殖类型

甲壳动物,特别是对虾和新对虾,如中国对虾、日本对虾、长毛对虾、斑节对虾、墨吉对虾、印度对虾、短沟对虾、白对虾、凡纳对虾等是海水池塘养殖的主要品种。最早的海水池塘养殖是将野生虾苗与鱼类简单地混养在一起<sup>[10,11]</sup>,鱼虾产量均很低。20世纪70年代后随着对虾人工育苗技术和配合饲料技术的完善,精养和半精养模式迅速发展起来<sup>[11,12]</sup>。对虾精养或半精养的基本特点是高密度放养人工繁殖的虾苗,大量投喂配合饲料,通过大量换水调节池塘水质<sup>[12,15,16]</sup>,其产量较高,但对近海污染较严重<sup>[12]</sup>。20世纪90年代后由于对虾流行性病害爆发和蔓延,海水池塘混养开始受到重视,混养类型有:(1)虾贝混养:混养的贝类种类有海湾扇贝<sup>[17]</sup>、牡蛎<sup>[18]</sup>、泥蚶<sup>[19]</sup>、文蛤<sup>[20]</sup>、魁蚶<sup>[21]</sup>、缢蛏<sup>[22]</sup>和菲律宾蛤仔<sup>[23]</sup>等;(2)虾鱼混养:混养的鱼类品种有遮目鱼<sup>[11]</sup>、鲮<sup>[10,11]</sup>和梭鱼<sup>[24]</sup>等;(3)虾蟹混养:养虾池中混养锯缘青蟹<sup>[25]</sup>;(4)虾参混养:养虾池中混养刺参<sup>[26]</sup>;(5)虾藻混养:养虾池中栽植江蓠<sup>[27]</sup>。

### 2.2 当前海水池塘混养的特点与问题

由于产品价格和市场的原因,对虾和新对虾目前仍然是海水池塘养殖的主体,海产贝类或杂食性鱼类被作为与对虾搭配养殖的品种,其放养种类与数量往往视池塘空间和饵料资源状况而定,虾池混养的目的主要是为了增加养殖系统的稳定性,降低对虾的生产风险和提高其产量。此外,现有的海水池塘混养都是基于单个池塘进行的,不同的混养池塘间相互独立,彼此隔绝,池塘通过换水与外界环境直接沟通,养殖废水对环境污染问题未受到足够重视。

存在的主要问题有:(1)在混养过程中仍然需要大量投入饵料或肥料以满足不同养殖种类的营养需求,混养池塘内的富营养化程度远高于天然水域,中国对虾养殖或收

获过程中往往需大量排水,未经处理的养殖废水排放仍造成较严重的污染;(2)海水池塘混养中的滤食性种类主要为海产贝类,其对池塘水质的调控作用与鲢、鳙等淡水滤食性鱼类相比有一定差异,有些海产贝类对池塘环境适应能力较差,在养殖过程中易大量死亡。

为了防止虾病流行和蔓延,国内部分养虾场曾采用“封闭养殖”技术养殖中国对虾,所谓“封闭”是指养殖期间不换水。由于海水池塘中有机氮的矿化能力有限,而收获中国对虾时往往需要反复灌水和排水,在水流冲刷下养殖期间积累在底泥表层的氮、磷和有机物会大量涌出<sup>[28,29]</sup>,因此这种“封闭养殖”不能从根本上解决养殖污染问题。

## 3 海水池塘养殖模式优化的原理与方法

### 3.1 优化养殖模式的生态学原理

优化养殖模式是通过改善养殖生态系统的结构和功能来提高养殖生物产量、降低生产成本和控制养殖污染,通常通过优化放养结构(放养的种类和数量)和管理技术两种途径优化海水池塘养殖模式。

优化养殖品种放养结构即合理混养。混养的优点主要有两方面:(1)适度混养能够改善池塘内的营养结构,提高养殖生物对营养物质的利用效率,增加产量。研究表明在鱼虾类养殖中,养殖生物对氮的利用率多为20%~30%,很少超过40%<sup>[30-33]</sup>,在海水网箱养殖过程中,未被养殖生物利用的大量的碳、氮、磷排放到环境中<sup>[2-4]</sup>。混养部分食浮游生物或腐屑的种类,可增加池塘内营养物质循环的途径和层次。围隔实验表明,将对虾与罗非鱼混养较单养对虾可明显提高养殖生物对氮、磷的利用率<sup>[34]</sup>;(2)适度混养可加快水体中物质循环,改善池塘养殖环境,增加养殖系统的稳定性。20世纪70年代以来发现鱼类通过捕食或改变营养盐循环等途径能够显著影响浮游生物群落的结构,导致一部分浮游生物种类生物量降低而另一些种类生物量增加,这种沿食物链自上而下的影响被称为“下行效应”<sup>[35]</sup>。“下行效应”在海水养殖池塘中的体现为:养虾池中混养罗非鱼往往导致浮游植物生物量和初级生产力增加<sup>[36-38]</sup>,混养海湾扇贝、缢蛏和菲律宾蛤仔等则有助于降低水中的有机负荷<sup>[39]</sup>。池塘中浮游植物光合作用受浮游植物群落结构、生物量、藻细胞生理状况和营养盐浓度等多种因素影响,水呼吸则与水中有机负荷有关,通过合理混养可通过改变池塘内浮游植物光合作用与水呼吸状态,进而改善池塘内的溶氧状况。

优化管理技术包括优化投饵技术和优化水质调控技术,前者指采用合适的投喂策略(投喂水平和方法)投喂高营养且营养平衡的饲料,后者指合理运用机械增氧、换水、各种化学或生物水质改良剂等物理、化学或生物手段来调节、控制池塘水环境。养殖池塘环境状况很大程度上取决于养殖管理措施,施肥养殖池塘内养殖生物对氮和磷的利用率较低,通常氮浓度较低而磷浓度较高,并且 $\text{PO}_4\text{-P}$ 在

总磷(TP)中的比例较高,投饵养殖池塘内养殖生物对氮和磷的利用率与施肥养殖池塘相比相对较高,氮浓度较高而磷浓度较低<sup>[31,39]</sup>。由于饲料是鱼类养殖污染的主要来源,鱼类营养学家认为使用容易被养殖生物消化、营养密度高的饲料可降低养殖污染。20世纪80年代末鲑科鱼类养殖中开始使用高能饲料(HND),大大降低鲑科鱼类养殖的污染<sup>[40]</sup>。

通过大量使用廉价的畜、禽粪肥来增加渔产力的做法被认为是淡水池塘养殖中一项成功的经验<sup>[14]</sup>,粗养海水对虾的池塘中也往往借助施有机肥来培养浮游生物<sup>[10]</sup>。围隔实验表明养殖过程中使用的饵料或肥料的类别与数量对海水养虾池中氮或磷的浓度影响很大<sup>[39]</sup>,施有机肥可加剧池塘底部有机质的积累<sup>[41]</sup>。因此,本文作者认为在海水虾池中不宜大量使用有机肥。

### 3.2 海水池塘养殖模式的“系统优化”

研究表明通过生物净化方式处理养殖废水可获得较好的效果,如利用浮游植物<sup>[42]</sup>或大型海藻<sup>[12,43]</sup>可回收废水中的营养盐;利用滤食性贝类如翡翠贻贝<sup>[12]</sup>和牡蛎<sup>[44]</sup>等可降低养殖废水中颗粒有机质的含量;利用贝类与大型海藻组合构成的贝-藻系统来处理海水养鱼池排出的废水<sup>[45,46]</sup>,贝、藻组合可去除废水中95%以上的氮<sup>[45]</sup>;将物理沉淀和硝化作用等水处理技术与藻类生物净化作用结合起来处理精养鱼池废水的模式近年也开始受到重视<sup>[47,48]</sup>。

如2.2和3.1中所述,传统的池塘混养理论在控制海水池塘养殖污染方面有一定的作用,但同时也存在一定的局限性。鉴于不同类型的养殖池塘在养殖效益和净化养殖废水的效果上不同,作者认为:在优化单个池塘的放养结构和管理技术的基础上,将多个具有不同放养结构并在生态功能上具有互补性的池塘组合起来,进行“系统优化”将有助于提高海水池塘养殖的经济效益和生态效益。

海水池塘养殖模式的“系统优化”应包含以下几方面内容:

(1)确定不同类型养殖池塘的经济学和生态学功能。“系统优化”的海水池塘养殖系统应由“生物生产”和“生物生产净化”两部分构成。“生物生产”部分旨在获得高的经济效益,对当前海水池塘养殖而言,该部分大致包括精养虾池和混养池塘,后者利用前者的废水,适当补充少量饵料和肥料,进行虾、鱼、贝混养;“生物生产净化”部分目的是降低养殖的污染,同时获得一部分养殖产量和利润,该部分主要包括贝类和藻类养殖池塘,其中利用养贝池塘去除“生物生产净化”部分废水中的有机质,利用养藻池塘进一步去除养贝池废水中的氮和磷。

(2)将具有不同经济学和生态学功能且具有互补性的池塘组合在一起,统筹规划,从整体上加强这些池塘的生产性能和对营养物质的利用效率,实现养殖的经济效益和生态效益。经过“生物生产净化”的养殖废水一部分可重

新回到“生物生产”部分再利用,另一部分在环境法规允许的前提下排出养殖系统。

(3)根据养殖系统内各个池塘的经济学和生态学功能,从系统的角度综合优化养殖管理措施,通过采用合理的投饵、施肥和水质调控技术加快系统内营养物质循环并增强养殖生态系统的稳定性。

综上所述,“系统优化”既可保留传统的混养所具有的池塘内食物和空间资源多元分配的优点,同时由于明确了系统内各个池塘的经济学和生态学功能,功能互补的池塘间能共享营养资源,使整个养殖系统内物质循环途径和层次较传统的混养池塘更完善,并能够有效控制传统混养中池塘内不同养殖品种之间可能出现的有害竞争,但“系统优化”同时也存在系统内不同池塘间容易传播病害,某一个池塘发生问题会引起系统内其它池塘的连锁反应,甚至导致系统崩溃等缺点。有关池塘养殖模式系统优化的研究迄今未见报道,作者认为:今后应在继承传统混养理论的基础上,兼顾池塘养殖经济效益和生态效益,开展对海水池塘“系统优化”模式的研究,以推动我国海水池塘养殖生产的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] Smith S V, Hollibaugh J T. Carbon-controlled nitrogen cycling in a marine “macrocosm”: an ecosystem-scale model for managing cultural eutrophication [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1989, 52: 103 - 109.
- [2] Hall P O, Anderson L G, Holby O, *et al.* Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm I. Carbon [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1990, 61: 61 - 73.
- [3] Holby O, Hall P O. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm II. Phosphorus [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1992, 70: 263 - 272.
- [4] Hall P O, Holby O, Kollberg S, *et al.* Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm IV. Nitrogen [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1992, 89: 81 - 91.
- [5] Braaten B. Impact of pollution from aquaculture in six Nordic countries. Release of nutrients, effects, and wastewater treatment [J]. *Aquaculture and Environment*, 1992, 16: 79 - 101.
- [6] Dvir O, van Rijn, Neori A. Nitrogen transformations and factors leading to nitrite accumulation in a hypertrophic marine fish culture system [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1999, 181: 97 - 106.
- [7] Gowen R J. Managing eutrophication associated with aquaculture development [J]. *J Appl Ichthyol*, 1994, 10: 242 - 257.
- [8] Cloern J E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2001, 210: 223 - 253.
- [9] Kinne O. Marine ecology, a comprehensive, integrated treatise on life in ocean and coastal waters, Vol III Cultivation, Part 3 [M]. London: John Wiley & Sons, Ltd, 1979. 1321 - 1390.

- [10] Sinha V R P, Srivastava H C. Aquaculture productivity [M]. London: Mohan Primalni for Oxford and IBH Publishing Co Put Ltd, 1991. 33 - 47, 201 - 211.
- [11] Fast A W, Lester L J. Developments in aquaculture and fisheries science, marine shrimp culture: principles and practices [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992. 345 - 353.
- [12] Pullin R S V, Rosenthal H, Maclean J L. Environment and aquaculture in developing countries [C]. Malaysia: ICLARM Conf Proc, 1993. 171 - 179.
- [13] Zhang Y Z, Tan Y J, Ouyang H. Pond culture of fishes in China [M]. Beijing: Science Press, 1989. 318 - 386. [张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海. 中国池塘养鱼学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 318 - 386.]
- [14] Liu J K, He B W. Cultivation of the Chinese freshwater fishes (3rd) [M]. Beijing: Science Press, 1992. 185 - 256, 343 - 380. [刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 185 - 256, 343 - 380.]
- [15] AQUACOP. Review of ten years of experimental penaeid shrimp culture in Tahiti and New Caledonia (South Pacific) [J]. J World Aquacult Soc, 1984, 15: 73 - 91.
- [16] Allan G L, Maguire G B. Effects of water exchange on production of *Metapenaeus macleayi* and water quality in experimental pools [J]. J World Aquacult Soc, 1993, 24(3): 321 - 328.
- [17] Guo X T. Techniques for polyculture of Panaeid shrimp and bay scallop [J]. China Fisheries, 1989, (12): 33. [郭新堂. 对虾与海湾扇贝混养技术[J]. 中国水产, 1989, (12): 33.]
- [18] Zhang Q X, Li S K. A preliminary discussion on techniques for polyculture of shrimp and oyster [J]. Mar Fish, 1990, 12(1): 27. [张起信, 李胜宽. 浅谈虾蚶混养技术[J]. 海洋渔业, 1990, 12(1): 27.]
- [19] Wu S J. Techniques for polyculture of *Tegillarca granosa* in shrimp ponds [J]. Fish Sci, 1991: 35 - 37. [吴树敬. 虾塘混养泥蚶技术[J]. 水产科学, 1991: 35 - 37.]
- [20] Xu X J, Yuan M. Techniques for polyculture of *Meretrix meretrix* in shrimp ponds [J]. J Aquac, 1991, (5): 2 - 3. [许兴基, 袁明. 对虾池混养文蛤的技术[J]. 水产养殖, 1991, (5): 2 - 3.]
- [21] Yan X Q. Preliminary studies on survival of *Scapharca broughtonii* cultured in shrimp ponds during the summer and winter [J]. Fish Sci, 1992, 11(7): 8 - 10. [严秀萁. 虾池内混养魁蚶度夏越冬初探[J]. 水产科学, 1992, 11(7): 8 - 10.]
- [22] Chen J C, Kong L B. Techniques for polyculture of *Sinonovacula constricta* in shrimp ponds [J]. Mar Sci, 1992, (5): 5 - 6. [陈建聪, 孔立波. 对虾池缢蛏混养技术[J]. 海洋科学, 1992, (5): 5 - 6.]
- [23] Yue Z F, Liu S S, Zhang H, et al. Studies on techniques for polyculture of *Ruditapes philippinarum* in shrimp ponds [J]. Shangdong Fisheries, 1992, (6): 7 - 9. [岳忠峰, 刘思忠, 张慧, 等. 对虾池混养菲律宾蛤仔技术研究[J]. 齐鲁渔业, 1992, (6): 7 - 9.]
- [24] Liu S H, Yang S S. Experiments for polyculture of *Liza haematocheila* and shrimp in ponds [J]. Mar Sci, 1991, (6): 4 - 5. [刘树海, 杨树山. 虾池梭鱼与对虾混养技术的试验[J]. 海洋科学, 1991, (6): 4 - 5.]
- [25] Wei S Q. Studies on polyculture of algae, shrimp and crab [J]. Acta Oceanol Sin, 1990, 12(3): 388 - 394. [韦受庆. 藻、虾、蟹混养的研究[J]. 海洋学报, 1990, 12(3): 388 - 394.]
- [26] Zhang Q X. Techniques for polyculture of shrimp and sea cucumber [J]. Mar Sci, 1990, (6): 65 - 66. [张起信. 虾参混养技术[J]. 海洋科学, 1990, (6): 65 - 66.]
- [27] Hopkins J S, Hamilton II R D, Sandifer P A, et al. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds [J]. J World Aquac Soc, 1993, 24(3): 304 - 320.
- [28] Krom M D, Neori A. A total nutrient budget for an experimental intensive fishpond with circulatory moving seawater [J]. Aquac, 1989, 83: 345 - 358.
- [29] Boyd C E. Chemical budgets for channel catfish ponds [J]. Trans Ame Fish Soc, 1985, 114: 292 - 298.
- [30] Acosta-Nassar M V, Julio-Orell, Corredor J E, et al. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond [J]. J World Aquac Soc, 1994, 25(2): 261 - 270.
- [31] Green B W, Boyd C E. Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics [J]. J World Aquac Soc, 1995, 26(3): 284 - 296.
- [32] Daniels H V, Body C E. Chemical budgets for polyethylene-lined, brackishwater ponds [J]. J World Aquac Soc, 1989, 20(2): 53 - 60.
- [33] Krom M D, Porter C, Gordon H. Nutrient budget of a marine fishpond in Eilat, Israel [J]. Aquac, 1985, 51: 65 - 80.
- [34] Wang Y, Qi Z X. Budgets of nitrogen and phosphorus in sea water experimental enclosures with different types of monoculture and polyculture [J]. J Shangtou Univ, 1998, 13(2): 71 - 75. [王岩, 齐振雄. 不同单养和混养海水实验围隔的氮磷收支[J]. 汕头大学学报, 1998, 13(2): 71 - 75.]
- [35] Northcote T G. Fish in the structure and function of freshwater ecosystems: a "Top-down" view [J]. Can J Fish Aquac Sci, 1988, 45: 361 - 379.
- [36] Wang Y, Zhang H Y. Studies on primary production in sea water experimental enclosures with different types of monoculture and polyculture [J]. J Fish China, 1999, 23(2): 138 - 143. [王岩, 张鸿雁. 不同单养和混养海水实验围隔初级生产力的研究[J]. 水产学报, 1999, 23(2): 138 - 143.]
- [37] Wang Y, Zhang H Y. Studies on plankton in seawater experimental enclosures with different types of monoculture and polyculture [J]. J Fish Sci China, 1999, 6(3): 49 - 54. [王岩, 张鸿雁. 不同单养和混养海水实验围隔浮游生物的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 49 - 54.]
- [38] Wang Y, Zhang H Y, Qi Z X. Ecological effects of tilapia

- stocked in seawater experimental enclosures [J]. *Acta Oceanol Sin*, 2000, 22(6): 81 - 87. [王 岩, 张鸿雁, 齐振雄. 海水实验围隔中放养罗非鱼的生态学效应[J]. *海洋学报*, 2000, 22(6): 81 - 87.]
- [39] Wang Y, Qi Z X. Studies on water chemistry in sea water experimental enclosures with different monoculture and polyculture [J]. *J Fish China*, 1999, 23(4): 350 - 356. [王 岩, 齐振雄. 不同单养和混养海水实验围隔水化学的研究[J]. *水产学报*, 1999, 23(4): 350 - 356.]
- [40] Cowey C B, Cho C Y. Nutritional strategies & aquaculture [M]. Canada: Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (NSMAW), 1991. 37 - 50, 51 - 64.
- [41] Wang Y. Effects of management methods on content of organic carbon, nitrogen and phosphorus in bottom soils of seawater enclosures [J]. *Mar Sci*, 1999, (4): 1 - 3. [王 岩. 不同养殖方式对海水围隔底泥中有机碳和氮磷含量的影响[J]. *海洋科学*, 1999, (4): 1 - 3.]
- [42] Kinne O. Marine ecology: a comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters, Vol III Cultivation, Part I [M]. London: John Wiley & Sons, Ltd, 1976. 19 - 300.
- [43] Neori A, Krom M D, Ellner S P, *et al*. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish - seaweed culture units [J]. *Aquac*, 1996, 141: 183 - 194.
- [44] Jakob G S. Growth trial with the American oyster *Crassostrea virginica* using shrimp pond water as food [J]. *J World Aquac Soc*, 1993, 24(3): 344 - 351.
- [45] Shpigel M, Neori A, Popper D M, *et al*. A proposed model for environmentally clean land based culture of fish, bivalves and seaweeds [J]. *Aquac*, 1993, 117: 115 - 128.
- [46] Neori A, Krom M D, Berr-Ezra D. A sustainable integrated system for culture of fish seaweed and abalone [J]. *Aquac*, 2000, 186: 279 - 291.
- [47] van Rijn. The potential for integrated biological treatment system in recirculating fish culture: a review [J]. *Aquac*, 1996, 139: 181 - 201.
- [48] Shnel N, Barak Y, Ezer T, *et al*. Design and performance of a zero discharge tilapia recirculating system [J]. *Aquac Eng*, 2002, 26: 191 - 203.