

# 水产饲料对养殖环境调控的研究与探索

戈贤平<sup>1,2\*</sup>, 缪凌鸿<sup>1,2</sup>, 孙盛明<sup>1</sup>, 刘波<sup>1,2</sup>, 周群兰<sup>1,2</sup>

(1. 农业部淡水鱼类遗传育种与养殖生物学重点开放实验室, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心;  
2. 南京农业大学渔业学院: 江苏 无锡 214081)

**摘要:**在水产养殖集约化程度日益提高的情况下, 养殖环境污染导致了生态环境的恶化、对水域生物多样性的破坏以及引起水域生态系统结构的变化等一系列问题。针对这些日益突出的矛盾, 在探索发展可持续水产养殖精养方式的过程中, 本课题组和有关学者发现通过调整添加水产动物饲料中营养性物质和非营养性物质、设置合理的投喂策略, 可以调控养殖水体的质量, 进而提高养殖效益。本文从饲料营养与生态环境关系的角度, 对近年来的研究成果和相关理念进行了梳理, 提出了水产饲料对养殖环境调控这一新观点, 希望能够为学者们提供新的研究思路。[中国渔业质量与标准, 2014, 4 (4): 1-6]

**关键词:**水产动物; 饲料; 养殖环境; 调控; 相互关系

**中图分类号:** S96      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-1833(2014)04-0001-06

近几年, 中国首次把生态文明建设提升到总体布局的战略高度, 水生动物对环境因子胁迫的生理响应研究需求度越来越高。在水产科学领域, 目前还没有一个完整而公认的环境营养学定义, 研究营养与环境关系, 其目的是最大限度地发挥饲料效价, 降低生产成本, 提高水产品质量, 并且将水产养殖业对环境所造成的污染降到最低。本文将从水产健康养殖与饲料营养的角度, 结合现有的研究进展和国内外最新研究动态, 梳理近年来水产饲料与养殖环境关系研究的一些脉络, 希望能够抛砖引玉, 激发学者们的新思路。

## 1 水产养殖中饲料对环境的污染效应

目前, 全球近 1/3 食用鱼类都是由水产养殖业提供的, 但水产养殖业在全球的迅速发展也带来了一系列的负面影响。由于水产养殖自身的生态结构和养殖方式的缺陷使得大部分养殖存在着许多环境问题, 特别是很多商业化水产养殖的发展会涉及到扩大养殖区域、使用更高密度的水产养殖装置和使用来自临近区域之外的饲料等问题。随着更高集约化生产方式的发展, 还出现了引进外来物种、使用廉价的低值饲料原料以及在一些系统内使用违禁化学品控制或处理病害等问题, 这些都可能导致生态环境的恶化、

对水域生物多样性的破坏和引起水域生态系统结构的变化等一系列问题。许多水产养殖方式中饲料对生态系统的影响主要包括以下几个方面。

### 1.1 不规范的药物投入

在水产养殖病害防治中使用药物饵料的情况非常普遍, 药饵中的化学药物有相当一部分直接散失到水体中, 对水体生态环境造成短期或长期的积累性影响。而药物的不规范使用及残留, 在杀灭病虫害的同时, 也会抑制、杀伤及致伤水中的浮游生物和有益菌等, 造成微生态失去平衡<sup>[1]</sup>。

### 1.2 廉价的饲料原料和不合理的配方

饲料生产企业为了控制饲料成本, 提高利润空间, 往往在饲料配方中使用大量的廉价原料, 有的养殖户更是直接投喂大量野杂鱼、化肥、粪肥和粗饲料, 造成饲料系数高(饲料系数普遍在 1.8~2.6, 少部分在 1.2~1.8), 利用效率差, 浪费严重, 大量的残饵进入水体, 75% 以上的氮磷被排放进入水体和底泥, 成为养殖环境污染的重要原因之一。

### 1.3 亟待提升的饲料加工技术水平

饲料中的抗营养因子、激素、霉菌毒素、重金属及非法添加物等均会对养殖环境和人类的健康构成威胁。另外, 中国的饲料挤压膨化技术普及率不高, 很多饲料加工企业依然沿用传统的颗粒挤压技术生产

收稿日期: 2014-06-11; 接收日期: 2014-06-28

资助项目: 现代农业产业技术体系大宗淡水鱼产业技术体系(CARS-46)

作者简介: 戈贤平(1963-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为水产健康养殖和水产动物营养与饲料, gexp@ffrc.cn

沉性颗粒饲料,饲料黏结性差,水中稳定性低,浪费严重。提升和改善加工工艺是提高饲料转化效率、钝化饲料中抗营养因子、消除致病菌和霉菌毒素等有害物质的的重要手段,对降低粮食浪费和渔业的次生污染、保证食品安全具有重要意义。

#### 1.4 不科学的投喂方式

国内对投喂技术研究较少,没有和养殖品种的摄食习性和生长规律等结合起来,导致饲料成本上升,浪费严重<sup>[2]</sup>。投喂技术以前是一直受到忽视的,但随着对饲料效率的追求,饲料企业逐渐重视其饲料投喂技术。在集约化养殖的今天,养殖强度大,对投喂管理的要求也更加严格。精确投喂技术可以有效地提高饲料利用效率,降低废物排放。投喂系统参数通常包括投喂量、投喂时间、投喂节律与投喂频率等,还包括饲料种类、投喂地点与投饵机分布等。通过合理投喂,生产1 t 异育银鲫可减少0.86 t 饲料投入,降低31 kg 氨氮排放<sup>[3]</sup>。养殖1 t 长吻鮠可节约0.27 t 饲料,可以节约饲料成本2 160元,提高饲料转化效率27.6%,同时可以减少21.7 kg 氨氮排放和7 kg 磷排放<sup>[4]</sup>。

#### 1.5 残饵和鱼体排泄物的影响

在水产养殖过程中,投喂的外源性食物、大量残饵、养殖体的排泄物、养殖生物的死亡残骸等所含的营养物质氮和磷以及悬浮物和耗氧有机物等,都是主要污染物,而且这些营养物可能成为水体富营养化的污染源,如果养殖水域与外界不能很好地实现水体交换,则容易产生积累性污染,对水环境造成不利影响<sup>[5]</sup>。

#### 1.6 来自底泥的污染

很多研究表明,水产养殖区底泥中碳、氮和磷等含量明显高于周围水体底泥中的含量,而且底泥中经常有残饵富集,形成有机污染。一些老化池塘中,残饵、粪便和死亡生物的残骸以及药物等化学物质在底泥中富集更为严重,促使微生物活动的加强,产生的污染物在适当条件下会向水体释放氮和磷等,促进藻类生长,引起水体的富营养化。在集约化养殖水体中,氨氮污染已经成为制约水产养殖环境的主要胁迫因子<sup>[6]</sup>。

## 2 水产饲料与养殖环境关系的研究

随着集约化养殖模式的扩大和推广,水产养殖业得到了迅猛发展。然而养殖密度提高、投饲频率增加

以及水体污染等问题使养殖环境不断恶化,从而导致疾病暴发流行和养殖动物的大规模死亡。健康养殖的重要核心物质基础是水、种、饵,其中,饵料是一个非常重要的方面。优质、高效和环保型配合饲料的开发是水产养殖业可持续发展的关键因素,一方面可以替代原有的冰鲜鱼活体饲料,缓解水质环境恶化;另一方面可以增强其抗病力,减少抗生素过度使用所产生的药物残留,减少对养殖水体的污染。然而,学者们常常关注配合饲料自身的生理功能,而忽略了水产饲料与养殖环境的关系。近年来,对水产动物饲料功能的研究不再仅停留在传统意义,而是逐渐扩展,开始关注水生动物对环境因子的生理生化响应及其营养调控、养殖水体可持续精养的营养调控和饲料投喂技术降低养殖水体废物的排放等方面。

### 2.1 水生动物对环境因子的生理生化响应及其营养调控

#### 2.1.1 温度、pH 和溶解氧胁迫

水温是影响鱼类生长的主要因子之一,称为控制因子。在适温范围内,代谢强度、消化酶活性与水温呈正相关,生长亦呈正相关,根本原因是与摄食和营养有关。鱼类的代谢率随着温度的升高而增大,但到了某一温度值以后,其代谢率反而降低。在高温条件下,鱼类的能量利用率降低,此时鱼类对能量的需求量升高。温度升高动物摄食增加(过高将停食),更高的新陈代谢速率可使氨氮等代谢废物增加,生长不会增加<sup>[7-8]</sup>。本课题组研究发现,团头鲂饲料中添加适量大黄素或维生素E能够减轻高温胁迫所带来的负面效应。在30℃高温下,团头鲂具有较高的食物转化率和较快的生长速率,饲料中添加25 mg/kg 大黄素有助于缓解长期高温对团头鲂的影响,促进鱼体的生长<sup>[9]</sup>。添加适量的维生素E(50~400 mg/kg)有利于缓解高温应激对团头鲂血液指标波动的影响,保护应激对团头鲂组织机构的损伤,对团头鲂起到一定保护作用<sup>[10]</sup>。

水体pH会影响鱼类代谢和影响水体营养元素或有害物质的存在状态。pH应该维持在一定的范围,对鱼体来说6.5~9.0为较适宜的范围。长期生活在pH不适宜的水中,生长会受到抑制。pH过高或过低,对水产养殖动物都有直接的损害,甚至会造成死亡。pH低于6.5时,鱼体血液中的pH下降,削弱其血液载氧的能力,造成水产养殖动物自身患生理缺氧症。pH过高的水则可能腐蚀养殖动物鳃部组织,使其失去呼吸能力而大批死亡。本课题组研究发

现,维生素 C 可以缓解 pH 为 9.5 的养殖水体对团头鲂应激 15 d 后血清谷丙转氨酶、碱性磷酸酶、总蛋白水平和氧化应激的影响,团头鲂饲料中添加适量维生素 C 能够缓解水体 pH 过高的胁迫效应<sup>[11]</sup>。

池塘溶解氧高,可抑制氨氮、亚硝酸盐和硫化氢等有害物质的产生,同时可减轻他们对养殖动物的毒害作用,增强养殖动物食欲,提高饵料利用率,降低养殖动物病害发生率,加快其生长发育;反之,养殖动物摄食、生长、病害发生率和饵料利用率就会受到不同程度的影响。一般鱼体溶解氧低于 2.5 mg/L 时,则会出现浮头,低于 2 mg/L 则会造成养殖动物死亡。因此,在水生动物养殖的全过程中均应保持有充足的溶解氧,最好能保持 5 mg/L 以上。青虾应答低氧应激的生理策略之一是启动无氧呼吸方式,大量的乳酸产生证实了这一假设,而血蓝蛋白的表达量先降低后升高,其内在机制是先提高血蓝蛋白氧气亲和力,再增加血蓝蛋白的合成量<sup>[12]</sup>。

### 2.1.2 氨氮和亚硝酸盐胁迫

氨是蛋白质代谢的最终产物,非离子氨对生物有直接毒性。氨氮的毒性与池水的 pH 及水温有着密切的关系,水温和 pH 愈高,其毒性愈强。水体氨氮可导致血氮水平上升<sup>[13]</sup>。本课题组研究结果显示,水体亚硝酸盐对鱼体毒性作用主要有两条途径:第一,亚硝酸盐刺激鱼体大量释放活性氧分子,进而对肝脏组织产生毒性作用;第二,亚硝酸盐可将鱼体的血红蛋白转化为高铁血红蛋白,使血球不能和氧结合,丧失运输氧气的能力,进而对肝脏组织产生胁迫作用<sup>[14]</sup>。本课题组系统地研究了亚硝酸盐对团头鲂幼鱼的毒性作用机制,研究表明,活性氧自由基和抗氧化系统的不平衡是导致亚硝酸盐毒性胁迫机制的主要原因,氧化胁迫标志物的显著增加和肝脏组织损坏证实亚硝酸盐对团头鲂幼鱼的毒性作用<sup>[15]</sup>。

一方面,氨氮和亚硝酸盐胁迫能够导致水生动物摄食降低,生长减慢;更为严重的是损害鳃的离子交换,降低氧在组织间的输送,导致水生动物窒息死亡。另一方面,氨氮和亚硝酸盐胁迫能够导致水生动物免疫机能和抗病力下降,易造成大规模死亡现象发生。本课题组发现,日粮中添加 400 mg/kg 肌醇,对氨氮应激下 3 d 团头鲂白细胞、淋巴细胞比例和血红蛋白的影响有一定的改善作用,且可有效地提高团头鲂幼鱼血清补体 3 和补体 4 水平以及血细胞的呼吸爆发活性,起到抗氨氮应激的作用,从而对机体产生一定的保护<sup>[16]</sup>。

### 2.1.3 底泥污染胁迫

池塘中的底泥污染不仅能够释放硫化氢等有毒物质,而且能够积累大量致病菌。尤其高温季节,池塘中的底泥污染物能够对养殖鱼类产生持续的胁迫作用,甚至导致死亡。今后这方面的工作将成为池塘健康养殖的研究热点。

## 2.2 养殖水体可持续精养的营养调控研究

### 2.2.1 生物絮团技术在水质调控中的应用

生物絮团是养殖水体中以好氧微生物为主体的有机体和无机物,经生物絮凝形成的团聚物,由细菌、浮游动植物、有机碎屑和一些无机物质相互絮凝组成。生物絮团是一项能够维持水环境稳定、减少换水量、提高养殖成活率、增加产量和降低饲料系数等作用的技术,被认为是解决水产养殖产业发展所面临的环境制约和饲料成本的有效替代技术。该技术于 1999 年由以色列养殖专家 Avnimelech 系统提出,2005 年在印度尼西亚试验成功<sup>[17]</sup>。目前,生物絮团技术普遍应用在凡纳滨对虾<sup>[18-20]</sup>和罗氏沼虾<sup>[21]</sup>等甲壳类动物的养殖中,近年来在罗非鱼<sup>[22-24]</sup>、草鱼<sup>[25]</sup>和鳊<sup>[26]</sup>等鱼类养殖中也略有报道。

生物絮团作为生物链的末端存在,能清除养殖系统残饵和粪便,净化水质<sup>[27-28]</sup>;生物絮团作为食物链的前端存在,可成为养殖动物的食物,节省饲料<sup>[29-30]</sup>。本课题组采用 DGGE 技术分析了生物絮团的微生物群落结构,确定生物絮团的主要微生物类群为变形菌、放线菌、芽孢杆菌和拟杆菌等,为生物絮团的水质调控提供了全新视角。生物絮团技术的应用明显降低了团头鲂饲料系数,团头鲂肠道中存在少量未完全吸收的生物絮团,结果显示团头鲂能够有效摄食生物絮团,促进鱼体的生长。

### 2.2.2 养殖水体可持续精养的营养性添加剂调控研究

传统的人工配合饵料研制均以追求最大增重或增长速度为目标,饵料中含磷多,且多超量投喂,这样的饵料和投喂方式往往造成水质败坏乃至危及鱼、虾和蟹的生存。赖氨酸和蛋氨酸是水生动物的蛋白质合成必需氨基酸,对体蛋白质和肝蛋白质合成具有促进作用,进而减少未吸收的氮在水体中的排放。有研究发现,牙鲆最大氮的沉积率 43.2% 和最低氮的排泄量 35.3 g/kg 增重是在饲料必需氨基酸和非必需氨基酸比率为 57 : 43 时获得的,当必需氨基酸和非必需氨基酸比率减小时,氮排放出现增加趋势<sup>[31]</sup>。

### 2.2.3 养殖水体可持续精养的非营养性添加剂调控

## 研究

近五年,关于水产养殖益生菌的研究很多,毫无疑问益生菌的营养调控机制研究已经引起国内外学者的广泛关注。其中水产动物的肠道健康研究已经成为学术界讨论的热点问题,相信在未来的几年将会有更多的研究报道。

益生菌进入水体后,在其代谢过程中具有气化、氨化、硝化、反硝化、解磷及固氮等作用,能将养殖水体中有害有毒的气体(如氨气和硫化氢)、养殖动物的排泄物、残存饲料和动植物残骸等有机物迅速分解为二氧化碳、硝酸盐、硫酸盐和磷酸盐等,进而被水体中的微藻类加以利用,起到净化水质的作用,增加水体透明度,降低化学需氧量(COD),增加溶氧量,使水体中的氨氮、亚硝酸氮和硫化物浓度降低,有效地改良了水质。在2013年召开的第9届世界华人鱼虾营养学术研讨会中,来自美国德克萨斯州农工大学的Gatlin教授强调益生菌在水产养殖中营养调控作用将越来越受到大家的重视。浙江大学李卫芬教授研究发现,复合益生菌能使水体中的氨氮和亚硝酸氮浓度降低,能够改善水体菌群结构<sup>[32]</sup>。

另外,酶制剂、中草药和小肽等非营养性添加剂的添加也可以减少水生动物氨、氮和磷等物质的排放。水生动物因缺乏内源性植酸酶,饲料中的植酸基本不能被单胃动物直接利用而随粪便排出,造成磷的大量浪费和对环境的严重污染,而饲料中植酸酶能够增强鱼体对磷的利用率,减轻水源污染。一般认为,添加植酸酶可使磷的利用率提高20%~50%。国外学者研究报道在以大豆粉为基础原料的虹鳟饲料中添加植酸酶,鱼类消耗1 kg饲料,在其粪便中磷的排泄量为0.32 g,相比投喂商品鱼饲料,磷的排泄量减少了95%~98%<sup>[33]</sup>。中草药在水产养殖中的应用可减少抗生素对环境的污染。本课题组研究发现大黄萜醌提取物和大黄素可以有效缓解团头鲂对嗜水气单胞菌的感染及高温应激<sup>[34-35]</sup>。本课题组也发现抗菌肽对团头鲂的抗病免疫能力有显著的增强作用<sup>[36-38]</sup>。

## 2.3 合理的投喂技术可降低养殖水体废物排放

饲料在水体中的溶失率较高,在水体中2 h后溶失率可达15%,如何提高饲料的利用率,寻找合理的投喂模式极为关键<sup>[39]</sup>。浙江大学王岩教授研究表明不同的投喂率能够调节水体中氮排放<sup>[40]</sup>。在鱼-空心菜复合养殖系统中,提高投喂频率能够保证增加

罗非鱼增重率的同时,促进植物的生长。有研究认为,每天投喂3~5次对团头鲂的生长有促进作用,但是日投喂次数高于5次却会抑制生长<sup>[41]</sup>。因此,根据养殖模式和养殖环境,采用合理的投喂技术同样可以调节养殖环境,提高养殖效率。

## 3 结语

中国的水产养殖业正朝着向资源节约型和环境友好型的可持续发展道路上迈进,人们越来越重视水产动物的健康养殖,尤其关注水产养殖环境胁迫效应及其养殖尾水的处理。而传统保护措施依靠频繁换水和化学药物的过度使用,这无疑加剧了水环境的污染程度。近年来,越来越多的研究发现水产饲料与养殖动物、养殖水质和养殖效益是相互关联的。饲料配方与加工的优化可以促进鱼类的生长,降低废物排放,提高养殖环境质量;而水质的控制与改良,可以提高饲料的利用,提升养殖效益。因此,通过对水产饲料配方和投喂策略等技术的研究和开发,调控养殖环境,增加养殖效益,才是实现可持续水产养殖发展的根本途径。

## 参考文献:

- [1] 崔力拓,李志伟. 海水养殖自身污染的现状与对策[J]. 河北渔业, 2006(10): 4-5.
- [2] 麦康森. 中国水产养殖业可持续发展战略研究: 水产养殖动物营养与健康饲料工程发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 279-333.
- [3] 周志刚. 利用生物能量学模型建立异育银鲫投喂体系的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2002.
- [4] 韩冬. 长吻鮠投喂管理和污染评估动态模型的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2005.
- [5] 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.
- [6] Antoni O T, Carlos M, Manul P M, et al. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine water [J]. Wat Res, 2000,34(1):334-342.
- [7] Liu B, Ge X P, Xie J, et al. Comparison study of the effects of anthraquinone extract and emodin from *Rheum officinale* Bail on the physiological response, disease resistance of *Megalobrama amblycephala* under high temperature stress [J]. Turk J Fish Aquat Sci, 2012, 12: 905-916.

- [ 8 ] Zhou C P, Liu B, Xie J, et al. Effect of dietary carbohydrate on the growth performance, immune response, hepatic antioxidant abilities and heat shock protein 70 expression of Wuchang bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *J Appl Ichthyol*, 2013, 29(6): 1348 - 1356.
- [ 9 ] 崔素丽, 刘波, 徐跑, 等. 两种温度下大黄素对团头鲂生长、血液指标及肝脏 HSP70 mRNA 表达的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(5): 919 - 928.
- [ 10 ] 周明, 刘波, 戈贤平, 等. 不同水平维生素 E 对高温应激及常温恢复后团头鲂血清生化指标、肠道抗氧化能力的影响[J]. *水产学报*, 2013, 37(9): 117 - 125.
- [ 11 ] 万金娟, 刘波, 戈贤平, 等. 维生素 C 对团头鲂幼鱼生长、血液学及肌肉理化指标的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2013, 22(1): 112 - 119.
- [ 12 ] Sun S M, Xuan F J, Ge X P, et al. Identification of differentially expressed genes in hepatopancreas of oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense* exposed to environmental hypoxia[J]. *Gene*, 2014, 534: 298 - 306.
- [ 13 ] Edward S, Jonathan A C R, Tiedo V K, et al. The impact of elevated water ammonia and nitrate concentrations on physiology, growth and feed intake of pikeperch (*Sander lucioperca*) [J]. *Aquaculture*, 2014, 420/421: 95 - 104.
- [ 14 ] Sun S M, Ge X P, Xuan F J, et al. Nitrite - induced hepatotoxicity in Bluntnout bream (*Megalobrama amblycephala*): the mechanistic insight from transcriptome to physiology analysis [J]. *Envir Toxicol Pharmacol*, 2014, 37(1): 55 - 65.
- [ 15 ] Sun S M, Ge X P, Zhu J, et al. Identification and mRNA expression of antioxidant enzyme genes associated with the oxidative stress response in the Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) in response to acute nitrite exposure [J]. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 2014, 159: 69 - 77.
- [ 16 ] 崔红红, 刘波, 戈贤平, 等. 肌醇对氨氮应激下团头鲂幼鱼免疫的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(2): 228 - 236.
- [ 17 ] Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems [J]. *Aquaculture*, 1999, 176 (3/4): 227 - 235.
- [ 18 ] Stephen H J, Sandier P A, Browdy C L. Effect of two feed protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water exchange [J]. *J World Aquacult Soc*, 1995, 26(1): 93 - 97.
- [ 19 ] Burford M A, Thompson P J, McIntosh R P. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high - intensity, zero - exchange system [J]. *Aquaculture*, 2004, 232(1): 525 - 537.
- [ 20 ] 李卓佳, 杨莺莺, 杨铿. 对虾养殖水环境无公害高效调控技术之四[J]. *中国水产*, 2008(9): 55 - 57.
- [ 21 ] 刘杜鹃, 潘晓艺, 尹文林, 等. 生物絮团在罗氏沼虾育苗中的应用[J]. *上海海洋大学学报*, 2013, 22(1): 47 - 52.
- [ 22 ] Crab R, Kochva M, Verstraete W, et al. Bio - flocc technology application in over - wintering of tilapia [J]. *Aquacult Eng*, 2009, 40(2): 105 - 112.
- [ 23 ] Azim M E, Little D C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2008, 283 (1/2/3/4): 29 - 35.
- [ 24 ] Schneider O, Sereti V, Eding E H, et al. Molasses as C source for heterotrophic bacteria production on solid fish waste [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(4): 1239 - 1248.
- [ 25 ] 卢炳国, 王海英, 谢骏, 等. 不同 C/N 水平对草鱼池生物絮团的形成及其水质的影响[J]. *水产学报*, 2013, 37(8): 1220 - 1228.
- [ 26 ] 李朝兵. 生物絮团作为鲮饵料的研究与应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [ 27 ] Avnimelech Y, Kochva M, Diab S. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio [J]. *Isr J Aquacult - Bamid*, 1994, 46(3): 119 - 131.
- [ 28 ] McIntosh P R. Changing paradigms in shrimp farming: IV. Low protein feeds and feeding strategies [J]. *Global Aquac Adv*, 2000, 3: 44 - 50.
- [ 29 ] Emerenciano M, Ballester E L C, Cavalli R O, et al. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus Brasiliensis* (latreille, 1817) [J]. *Aquac Res*, 2012, 43(3): 447 - 457.
- [ 30 ] David D K, Addison L L, Gregory D B, et al. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus Vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2010, 303(1): 28 - 33.
- [ 31 ] 王家林, 常青, 梁萌青. 饲料中必需氨基酸与非必需氨基酸的比率对牙鲆生长、氮的沉积与排泄的影响[J]. *海洋水产研究*, 2006, 27(3): 67 - 72.
- [ 32 ] 李卫芬, 邓斌, 陈南南, 等. 芽孢杆菌对草鱼生长和肠黏膜抗氧化功能及养殖水质的影响[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(1): 65 - 70.
- [ 33 ] Sugiura S H, Gabaudan J, Dong F M, et al. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of

- phosphorus, trace minerals and protein by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)) fed soybean meal – based diets [J]. *Aquac Res*, 2001, 32(7): 583 – 592.
- [34] Liu B, Ge X P, Xie J, et al. Effects of anthraquinone extract from *Rheum officinale* Bail on the physiological responses and HSP70 gene expression of *Megalobrama amblycephala* under *Aeromonas hydrophila* infection [J]. *Fish Shellf Immunol*, 2012, 32: 1 – 7.
- [35] Liu B, Ge X P, Xie J, et al. Comparison study of the effects of anthraquinone extract and emodin from *Rheum officinale* Bail on the physiological response, disease resistance of *Megalobrama amblycephala* under high temperature stress [J]. *Turk J Fish Aquatic Sci*, 2012, 12: 905 – 916.
- [36] He Y J, Liu B, Xie J, et al. Effects of antibacterial peptide extracted from *Bacillus subtilis* fmbJ on the growth, physiological response and disease resistance of *Megalobrama amblycephala* [J]. *Isr J Aquacult – Bamid*, 2013, 66: 952.
- [37] Zhang Y Y, Liu B, Ge X P, et al. Comparison study of Antibacterial properties of emodin and enrofloxacin against *Aeromonas hydrophila* [J]. *Isr J Aquacult – Bamid*, 2014, 66: 976.
- [38] Zhang Y Y, Liu B, Xie J, et al. Effects of dietary emodin supplementation on growth performance, non – specific immune responses, and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* in juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Isr J Aquacult – Bamid*, 2014, 66: 979.
- [39] Smith D M, Burford M A, Tabrett S J, et al. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 207(1/2): 125 – 136.
- [40] Wang Y, Kong L, Li K, et al. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens [J]. *Aquaculture*, 2007, 271(1/2/3/4): 350 – 356.
- [41] Li X F, Tian H Y, Zhang D D, et al. Feeding frequency affects stress, innate immunity and disease resistance of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* [J]. *Fish Shellf Immunol*, 2014, 38: 80 – 87.

## Study and exploration on the regulation of aquaculture environment with aquatic feed

GE Xianping<sup>1,2\*</sup>, MIAO Linghong<sup>1,2</sup>, SUN Shengming<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>1,2</sup>, ZHOU Qunlan<sup>1,2</sup>

- (1. Key Laboratory of Genetic Breeding and Aquaculture Biology of Freshwater Fishes, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;  
2. Fishery college, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** Aquaculture environmental pollution led to the deterioration of ecological environment, damaged on the waters of biodiversity, and caused a series of problems with the changing of the water ecological system structure for high aquaculture intensive degree. Aimed to the increasingly prominent contradiction, during the course of exploring the development of the sustainable intensive aquaculture, the research team found that it could control the quality of aquaculture water and improve the aquaculture benefit by adjusting the dietary nutritional and nonnutritive substances additive and using reasonable feeding tactics. Based on the perspective of the relationship between feed nutrition and ecological environment, this article carded the research conclusions and related concepts in recent years, and put forward the new idea of regulation to aquaculture environment by aquatic feed in hope to provide new research directions for scholars. [Chinese Fishery Quality and Standards, 2014, 4(4):1 – 6]

**Key words:** aquatic animals; feed; aquaculture environment; control; relationship

**Corresponding author:** GE Xianping, gexp@ffrc.cn