

杨彦豪,黄光华,冯鹏霏,等. 生物絮团技术在罗氏沼虾养殖中的应用前景[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):10-13.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.003

生物絮团技术在罗氏沼虾养殖中的应用前景

杨彦豪,黄光华,冯鹏霏,卢小花,黄立斌

(广西水产科学研究院,广西南宁 530021)

摘要:生物絮团技术(biofloc technology, BFT)是当前比较先进的水产养殖技术之一,它通过向养殖水体中添加有机碳源,调节水体中的碳氮比(C/N),培养水体中的异养细菌,经过生物絮凝作用形成团聚物,从而实现净化水质、提高饵料利用率的作用。从生物絮团的组成和影响因素,以及生物絮团技术在虾类养殖中的应用情况进行了概述,最后对该技术应用到罗氏沼虾养殖进行了分析,并提出了研究方向。

关键词:生物絮团;罗氏沼虾;应用;前景分析

中图分类号: S967.4;S966.12⁺1.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0010-03

随着人们对水产品需求量的进一步增加,这就使得水产养殖与土地资源、水资源及周围环境之间的矛盾日益突出。此外,从 20 世纪 90 年代各种病害引起的疾病一直困扰着广大水产生产者,因此寻找一种新型的生态养殖技术已迫在眉睫。近年来,国内外学者转换思路,积极寻找新的突破口,从养殖池塘的整个生物链入手,研究菌、藻及水环境之间的关系,采用生物调控方式,使水质调控与生态平衡二者有机统一,在零水交换的基础上,发展出一种新型水产养殖新技术——生物絮团技术(biofloc technology, BFT)。生物絮团技术是通过操控水体营养结构,人为地向养殖水体中添加有机碳(葡萄糖、蔗糖等),调节水体中的碳氮比(C/N),提高水体中异养细菌的数量,利用微生物将水体中的氨氮等含氮化合物转化成菌体蛋白,再通过细菌凝聚,形成可被滤食性养殖对象直接摄食的生物絮凝体,能够有效地解决养殖水体中腐屑和残饵滞留问题,实现饵料的再利用,起到维持水体稳定、净化水质、减少换水量、节省饲料、提高养殖对象成活率及产量作用的一项技术^[1-2]。生物絮团技术在水产养殖中具有较大的开发潜力与推广价值,被认为是解决当前水产养殖业发展面临的环境制约问题和饲料成本问题的有效技术。

目前,生物絮团技术已经在很多虾类品种的养殖中得到应用,并取得了不错的养殖效果,但在罗氏沼虾养殖中还未见应用。本研究浅析了生物絮团的组成和影响因素,概述了生物絮团技术在虾类养殖中的应用情况,最后对该技术应用到罗氏沼虾养殖进行了分析,并提出了研究方向。

1 生物絮团的组成和影响因素

1.1 生物絮团的组成

生物絮团是以丝状细菌、菌胶团细菌为核心,附着微生物

胞外产物、胞外聚合体和胞内产物聚- β -羟基丁酸酯、多聚磷酸盐、多糖类等,以及二价的阳离子,将水体中悬浮的异养菌、硝化细菌、藻类、原生动物、有机碎屑等黏合在一起,自然形成的肉眼可见的微小絮状物,絮团的大小从几微米到几百微米,甚至达到数千微米^[3],生物絮团养殖系统也由此而得名。研究表明,生物絮团的干物质中,粗蛋白质的含量超过 50.0%,粗脂肪含量为 2.5%,纤维含量为 4.0%,灰分为 7.0%,是杂食性和滤食性鱼类较好的饵料^[4]。生物絮团中含 2%~20%的有机碎屑,微生物附着在有机碎屑上,总有机物占生物絮团的 60%~70%,总无机物占 30%~40%^[5]。因不同的饵料、饲养品种、管理模式及环境条件的不同,生物絮团的生化组成和物理特性也存在较大的不同,生物絮团形状不均一,比表面积可以达到 20~100 cm²/mL,这极大地促进了絮团颗粒物质能量交换,生物絮团本身就是一个微生态系统,是水体中许多个富营养微环境,会导致大量原生动物、轮虫、线虫等来摄食,生物絮团的微生物群落结构对水产动物养殖产生较好的影响。生物絮团中能观察到各种类型的藻类,大部分包裹在生物絮团内,只有少部分是游离状态,这些微藻可被饲养的水产动物摄食,可以显著地促进水产动物的生长。

1.2 影响生物絮团的因素

1.2.1 温度因素 温度是水体环境条件中的重要因素,对水生动物机体生物代谢、生长及存活等有直接影响,水生动物对毒害物质的敏感性、耐受性及疾病的感染均受到温度的影响,温度还可通过影响盐度、溶氧等其他环境因子对水生动物产生间接影响^[6]。由于温度是微生物代谢的一个重要条件,也是絮团的产生条件,生物絮团由微生物等组成,是活的微生物集群,因此,生物絮团也要在一定的温度范围内才能存活。Krishna 等研究发现,当水温在 30~35℃时,活性污泥的体积指数较大,并且异养微生物可产生大量胞外多糖,可导致生物絮团膨胀裂散^[7];Wilen 等研究发现,在 18~20℃条件下,生物絮团比较容易形成;在 4℃条件下,生物絮团较难形成^[8]。以上研究结果表明,25~31℃有利于生物絮团的形成和稳定,因此适宜的水体温度是形成良好生物絮团的一个非常必要的条件。

1.2.2 pH 值因素 水体 pH 值对生物絮团的形成和维持也有重要的作用,生物絮团由活的微生物组成,需要在适宜的

收稿日期:2017-02-26

基金项目:广西壮族自治区直属公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(编号:GXIF-2014-020);广西水产畜牧科技推广应用项目(编号:桂渔牧科 20163305)。

作者简介:杨彦豪(1979—),男,河北藁城人,硕士,助理研究员,主要从事水产动物遗传育种及健康养殖研究。E-mail:haoyyh2006@163.com。

pH 值范围内才能存活和繁殖。集约化养殖通常会产生大量的异养细菌,加上水产动物的呼吸代谢产物都会引起水体 pH 值的变化,不但会影响水产动物的生长,还会抑制细菌微生态功能的发挥,导致氨氮、亚硝酸盐的积累,引起水质恶化。另外,细菌的絮凝在很大程度上也依赖于所处环境的 pH 值,在不同的 pH 值环境条件下,菌体和有机碎屑所带的电性不同,从而影响菌体、有机碎屑形成絮凝的能力,因此,适宜的 pH 值是影响生物絮团的重要因素。

1.2.3 曝气和搅拌 养殖水体中溶解氧的高低,对生物絮团中异养生物群落的组成结构有直接影响作用。由于生物絮团中的异养细菌大多是好氧细菌,它们的生长繁殖都要在 O₂ 充裕的环境中进行,任何厌氧状态都会对它们的生长繁殖产生重要的影响。在较高溶氧条件下,生物絮团结构趋向更加紧凑和稳定,其作用活性更加强大。因此,在养殖系统中需要设置增氧设备,不仅可以满足水产动物的需要,还能促进生物絮团悬浮。曝气是增加溶氧的手段,可以促进底层水体和表层水体间的充分混合,使养殖水体各层面溶氧达到均一。搅拌可以增加水体中细菌团块相互碰撞的频率,有利于异养细菌的聚集,促进生物絮团形成。持续的曝气和搅拌可以使生物絮团悬浮于水体中,有利于减缓生物絮团的惰化,一旦停止曝气,絮团会很快沉入水底,长时间的沉积会导致絮团死亡,从而恶化水质。因此,曝气和搅拌也被认为是影响生物絮团形成的一个重要因素。

1.2.4 碳源和碳氮比 水产养殖中氮氮的转化主要有 3 种方式:(1)通过微藻的光合作用吸收;(2)通过自养细菌的硝化作用转化;(3)通过异养细菌利用氨氮合成自身细菌蛋白。研究表明,在有充足的有机碳和适宜的碳氮比条件下,养殖水体中异养细菌会最先利用氨氮转化成细菌自身蛋白,当有机碳成为限制性因素时,自养细菌就起主要作用,通过硝化作用来消耗氨氮。异养细菌在生物絮团中发挥着主要作用,它的繁殖和生长都需要有机碳源和氮源,异养细菌利用水体中的氮源和有机碳源,将其转化成自身所需要的营养物质,促进自身的生长、繁殖,从而消耗分解水体中的氨氮等有害物质,使水体中氨氮含量达到平衡稳定状态。有机碳源的选择很大程度上决定了菌落的组成和稳定性,从而决定了生物絮团的数量、类型和作用,有机碳源的添加方式也会影响生物絮团聚落的组成,当底物水平较低时,丝状菌占有优势,丝状菌可以延伸到絮团表面吸收营养^[9]。碳氮比指养殖水体中总有机碳与总溶解氮的比值。Goldman 研究发现养殖水体中,碳氮比大于 10:1 时,异养细菌的生长状态最好,吸收外界碳和氮元素同化为自身细胞成分的效果最好^[10]。在养殖过程中,如果投喂的饲料碳氮比过低,异养细菌生长所需的营养物质受到抑制,导致异养细菌不能大量繁殖,需要通过添加额外的碳源以增加水体中的碳,促进异养细菌大量繁殖,使养殖系统由自养型转变成异养型。

2 生物絮团在虾类养殖中的应用

目前,人们对生物絮团技术在水产养殖方面的应用进行了大量研究,尤其是在虾类养殖方面。赵大虎等研究了生物絮团对养殖环境的清洁作用及对对虾生理指标的影响,研究结果表明生物絮团对养殖水体中氨氮有明显的清洁作用,并对凡纳滨对虾免疫指标和解毒代谢指标影响显著^[11];王超等

研究了生物絮团在凡纳滨对虾零水交换养殖系统中的应用技术,结果表明添加有机碳源培育生物絮团,可以有效地调控水质,而且在减少投饵情况下,生物絮团养殖凡纳滨对虾可以基本保持正常的生理健康水平,降低饵料系数,提高投入产出比,提高养殖效益^[12];盖春蕾等利用芽孢杆菌研究了生物絮团在日本对虾育苗中的应用研究^[13];岳强等以枯草芽孢杆菌和光合细菌为研究对象,研究了生物絮团对中华锯齿米虾养殖水体酸碱度、氨态氮、亚硝酸盐氮、COD 等水质指标的调节及其在促进米虾生长方面的作用,结果表明,试验组比对照组养殖水体的亚硝基氮含量降低 54%,COD 水平降低 39%,氨氮含量降低 35%,pH 值稳定保持在适宜的水平,中华锯齿米虾的存活率和增质量率也显著提高^[14];邓应能等将生物絮团技术应用到凡纳滨对虾试验性封闭养殖系统中,筛选生物絮团养殖所需的适宜碳源及其添加量,在此基础上研究生物絮团养殖系统中凡纳滨对虾的适宜养殖密度^[15];孙振等利用红糖与尿素为碳氮源在自然海水中培养微生物絮团,综合分析认为,凡纳滨对虾摄食微生物絮团后,能够显著提高对虾的非特异免疫力,抗微生物感染的能力得到增强^[16];邓吉朋等为确定斑节对虾养殖系统中生物絮团形成所需的最适碳源及添加量,研究了不同碳源对斑节对虾的影响,结果表明添加 75% 的蔗糖最适合生物絮团在斑节对虾养殖系统中形成,并促进斑节对虾的生长^[17];胡修贵等采用富集培养、分离纯化等微生物学手段,从对虾养殖池的生物絮团中筛选对氨氮有高转化率的菌株,研究结果表明,胜利盐单胞菌更适合在生物絮团技术中应用^[18];杨章武等为提高凡纳滨对虾种苗生产的生态化水平,分别以蔗糖、葡萄糖、淀粉为添加碳源,同时添加地衣芽孢杆菌,在 1 000 L 的水体中进行凡纳滨对虾生物絮团技术育苗试验,结果表明在凡纳滨对虾生物絮团技术育苗中,蔗糖和葡萄糖作为添加碳源是合适的^[19]。索建杰等研究了日常规换水、循环水和“生物絮团”3 种凡纳滨对虾养殖模式中,水质指标的变化规律及对虾的存活与生长。结果表明,生物絮团组养殖模式中的各个指标均明显好于另外 2 个试验组^[20]。

通过对生物絮团在虾类养殖中的研究可以发现,生物絮团在虾类养殖系统中的作用,一是有效减少水体中的氮源,实现养殖水体的自主清洁。在虾类养殖过程中,残饵和粪便不断积累,氨氮、亚硝酸盐等含氮物质的大量积累,导致水质不断恶化,达到一定的程度就会对养殖生物产生毒害作用,在有机碳源充足的情况下,生物絮团中的异养细菌通过同化作用,将水体中的氮磷等污染物质转变成自身的营养物质,从而降低了水体中的氨氮和亚硝酸盐浓度,净化了水体。二是再利用水体中的营养物质。养殖过程中投入到养殖水体中的饲料蛋白质中,除小部分蛋白质被虾类利用外,大部分以有机碎屑、残饵和排泄物的形式存在于水体中,不仅污染了水体,还造成了饲料蛋白质的浪费,增加了养殖成本,在生物絮团养殖系统中,有机碎屑、残饵和排泄物等均可以通过细菌黏附聚集成生物絮团的一部分,进入养殖生物的食物链,提高物质的循环利用,从而降低了饲料投喂量。三是抑制病原菌的生长繁殖,减少虾类疾病的发生。在生物絮团系统中,添加有机碳源可以有效促进异养细菌的生长与繁殖,不仅可以和病原菌竞争生存空间、营养物质,抑制病原菌的生长和繁殖,有的有益菌还可以分泌一些抑菌因子,如溶菌酶、细菌素等物质来抑制

致病微生物的生长繁殖^[21]。

3 生物絮团技术在罗氏沼虾养殖中应用前景分析

罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*), 别称马来西亚大虾, 主要分布在泰国、缅甸和马来西亚等东南亚国家, 生活于淡水或咸淡水水域中。因其营养丰富、肉味鲜美、生长速度快、食性广泛、适应性和抗逆性强、易于养殖等特点, 已成为我国最主要的淡水养殖品种之一, 20 世纪 90 年代罗氏沼虾已成为国内最主要的淡水养殖品种。2002 年以后, 由于罗氏沼虾产业受到种质资源退化、市场失调、白体病暴发、凡纳滨对虾养殖热潮等多重冲击, 罗氏沼虾的育苗产量和养殖产量都严重下降, 罗氏沼虾产业走入低谷。近年来, 随着罗氏沼虾白体病病原的确诊及相关防控技术的建立, 凡纳滨对虾的养殖风险高等原因, 全国罗氏沼虾的养殖面积在大面积恢复。因此, 探索使用新的生态养殖技术养殖罗氏沼虾, 成为推动罗氏沼虾养殖业发展的重要任务, 生物絮团技术的提出为此提供了新思路。

目前, 生物絮团在以生物絮团为饵料的杂食性养殖对象中应用较多, 如对虾、罗非鱼等。在罗氏沼虾中, 应用生物絮团技术的报道较少, 仅有生物絮团在罗氏沼虾育苗水体中的应用研究^[22], 根据罗氏沼虾养殖特点以及生物絮团技术的特点, 利用生物絮团技术养殖罗氏沼虾是可行的, 可以从以下几个方面开展研究。

3.1 有机碳源的选择和适宜添加量

生物絮团技术的原理就是异养细菌通过消耗大量的有机碳源, 将水体中的氨氮等转化为自身的蛋白质, 同时结合水体中的悬浮物质形成可供水生动物摄食的絮团。因此, 有机碳源的选择和添加量对生物絮团的形成和维持具有重要作用。当前, 国内外常用的有机碳源有 3 类: 第 1 类为单糖或较易被分解的含糖化合物, 如葡萄糖、果糖、蔗糖等含糖化合物; 第 2 类为较难被直接利用, 但会被异养细菌缓慢降解吸收的碳源, 如木薯粉、小麦粉等; 第 3 类为不能被直接利用, 但通过发酵后可以被异养细菌利用的碳源, 如小麦秸秆、麦麸等。有机碳源的选择在很大程度上决定了生物絮团的组成, 决定了水体中絮团的数量和种类, 另外有机碳源的成本也是实践中有机碳源选择的决定性因素。除了选择合适的有机碳源之外, 适宜添加量也尤为重要。研究表明, C/N 为 15 左右时, 能很好地稳定生物絮团系统, C/N < 10 时, 异养细菌主要利用水体中的有机氮源, 氮的氨化作用会使水体中的氨氮量增加; C/N > 10 时, 养殖系统中的无机氮被异养细菌利用, 水体中的氨氮被消耗^[23]。因此, 有机碳源的选择和适宜添加量不是固定不变的, 需要根据具体的养殖环境而做出最优组合, 重点研究适合罗氏沼虾养殖的有机碳源及其适宜添加量, 达到合适的 C/N, 从而起到有效降低水体中氨氮等无机氮含量的作用。

3.2 生物絮团的调控

除了要快速建立以异养细菌为主的生物絮团系统对养殖水质进行调控外, 还要能及时消除老化多余的絮团, 防止老化絮团沉积, 产生一些厌氧代谢产物, 对罗氏沼虾生长产生不利影响。目前, 认为消除有效的方法有 3 种^[24], 第 1 种是将所形成的生物絮团直接从水体中分离出来, 但这种方法需要大量的人力、物力, 在大水体中操作难度较大; 第 2 种是通过调节生物絮团结构, 使得生物絮团成为水产动物的饵料, 被水产动物食

用; 第 3 种是利用养殖水体中的微生物, 将所形成的絮团沉淀物分解成为水体中植物可以利用的物质。因此, 在罗氏沼虾养殖过程中, 如何调控、消除生物絮团也是一个需要解决的问题。

3.3 生物絮团组成及对罗氏沼虾生长、繁殖的影响

随着分子生物学的发展, 可以利用 PCR 等分子生物学方法深入研究生物絮团组成成分和细菌种群结构等, 并通过免疫学方法等研究生物絮团对罗氏沼虾生长、繁殖各阶段营养生理的影响, 为生物絮团技术在罗氏沼虾实际养殖生产中的进一步应用打下基础。

综上所述, 生物絮团技术是一项新型健康的实用技术, 该技术不仅能够促进养殖水体中氨氮的吸收, 加强水质稳定性, 可最大限度地减少水的使用及排放, 还能够提高饵料营养再利用率, 降低饲料成本, 有效提高养殖成活率, 从而增加养殖产量, 它又是一种有效减少水产养殖疾病发生的有效方法。该技术既无药物残留等水产品安全性问题, 又不会对水域生态环境产生负面影响, 使得水产养殖朝着更加环境友好型的方向发展。因此, 随着对生物絮团进行深入的研究, 将生物絮团技术应用到罗氏沼虾养殖中, 必将推动罗氏沼虾养殖业的快速发展。

参考文献:

- [1] Crab R, Defoirdt T, Bossier P, et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges [J]. Aquaculture, 2012, 356–357 (4): 351–356.
- [2] Emerenciano M, Ballester E L, 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]. Aquaculture Research, 2012, 43 (3): 447–457.
- [3] de Schryver P, Crab R, Defoirdt T, et al. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture [J]. Aquaculture, 2008, 277 (3/4): 125–137.
- [4] Azim M E, Verdegem M J, Singh M, et al. The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth [J]. Aquaculture Research, 2003, 34 (9): 685–695.
- [5] Sears K, Alleman J E, Barnard J L, et al. Density and activity characterization of activated sludge flocs [J]. Journal of Environmental Engineering, 2006, 132 (10): 1235–1242.
- [6] Wang W N, Wang A L, Liu Y, et al. Effects of temperature on growth, adenosine phosphates, ATPase and cellular defense response of juvenile shrimp *Macrobrachium nipponense* [J]. Aquaculture, 2006, 256 (1): 624–630.
- [7] Krishna C, van Loosdrecht M C M. Effect of temperature on storage polymers and settle ability of activated sludge [J]. Water Research, 1999, 33 (10): 2374–2382.
- [8] Wilen B M, Lund N J, Keiding K, et al. Influence of microbial activity on the stability of activated sludge flocs [J]. Colloids and Surfaces B – Biointerfaces, 2000, 18 (2): 145–156.
- [9] Martins A M, Heijnen J J, von Loosdrecht M C. Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability [J]. Microbiol Biotechnol, 2003, 62 (5/6): 586–593.
- [10] Goldman J C, Caron D A, Dennett M R. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio [J]. Limnology and Oceanography, 1987, 32 (6): 1239–1252.

孙俊峰, 苏春江, 朱万泽. 餐用油橄榄栽培采收及其产品开发现状与趋势[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 13–18.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.004

餐用油橄榄栽培采收及其产品开发现状与趋势

孙俊峰^{1,2,3}, 苏春江^{2,3}, 朱万泽^{2,3}

(1. 西南民族大学, 四川成都 610041; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:餐用油橄榄对果实含油量要求较低,但对栽培采收及产品加工技术要求较高。分析了国内外餐用油橄榄栽培采收及其产品开发的现状与趋势。结果表明,世界餐用油橄榄产业已经从传统种植业转型升级为现代农产品深加工产业,餐用油橄榄育种需综合考虑果实体积、果实质量、脂肪酸比值和是否有利于集约化种植采收等多项指标,新品系也在逐渐形成。我国应积极引进和培育餐用油橄榄新品种,加强营养生长控制、水分调节、病虫害综合防治、小型机械化采收等研究,并针对消费者需求特点深入研究产品创新,真正实现油橄榄油用和餐用相结合的综合开发。

关键词:餐用油橄榄; 育种; 种植; 采收; 农产品加工

中图分类号: S565.704; S565.709

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2018)15-0013-06

油橄榄(*Olea europaea* L.)起源于地中海地区,与油茶、油棕、椰子并称为四大木本油料植物,具有油用、餐用、叶用等多种经济价值,在食品、医疗、保健、养殖、水土保持等多个领域有着广泛的用途。我国于1964年从阿尔巴尼亚引种栽培油橄榄,至今已有50多年的种植历史。我国油橄榄种植区多位于亚热带和温带季风气候区,雨热同季且拥有悠久的集约化土地利用传统,但由于日照、气温、湿度、土地利用等原因,导致中国产油橄榄果实含油量往往较地中海原产地低,而果实的体积、

果肉率及橄榄多酚等有效成分含量与原产地不相上下或更有优势^[1],因此油橄榄餐用、油用和叶用综合开发近年来逐渐成为为中国油橄榄产业界和学界的共识,餐用油橄榄也成为了中国油橄榄产业全值化利用战略的重要组成部分^[2-8]。

油橄榄餐用产品一般称为餐用油橄榄,是将油橄榄果实或特级初榨橄榄油及其果渣等原料经加工制作而成的食品或饮品^[9-11],近代以来在世界食品市场上就和橄榄油近乎齐名。餐用油橄榄生产最初局限于地中海地区,后随栽培区域的不断扩大,其产量及消费量长期以来均呈增长趋势。中国产油橄榄较高的综合品质奠定了其餐用产品加工的基础^[12-13],但同时也对相关研究提出了更高的要求。本研究通过对餐用油橄榄栽培采收及其产品开发研究的回顾,分析了国内外研究现状与趋势,以期为我国研究人员和产品研发单位提供参考及决策支持。

1 栽培采收研究

1.1 国内外研究态势

全球餐用油橄榄SCI发表论文累计超过10篇的国家和地

收稿日期:2017-10-20

基金项目:中国科学院国际科技合作与交流计划项目(编号:2013HH0017);交通运输部中国铁路总公司软科学项目(编号:2016-332-210-467);西南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号:2017NZYQN21)。

作者简介:孙俊峰(1979—),男,重庆丰都人,博士研究生,讲师,主要从事山区可持续发展与资源开发研究。E-mail: sjf1979@126.com。

通信作者:苏春江,研究员,博士生导师,主要从事山区可持续发展与资源开发研究。E-mail: sucj@imde.ac.cn。

[11] 赵大虎,潘鲁青,王超. 生物絮团对养殖环境的清洁作用及对虾生理指标的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2014(1): 67–73.

[12] 王超,潘鲁青,张开全. 生物絮团在凡纳滨对虾零水交换养殖系统中的应用研究[J]. 海洋湖沼通报, 2015(2): 81–89.

[13] 盖春蕾,王勇强,叶海斌,等. 生物絮团在日本对虾育苗中的应用研究[J]. 齐鲁渔业, 2011, 28(12): 12.

[14] 岳强,李彦芹,曹杰英,等. 生物絮团对中华锯齿米虾生长及水质的影响[J]. 河北渔业, 2012(2): 3–6.

[15] 邓应能,赵培,孙运忠,等. 生物絮团在凡纳滨对虾封闭养殖试验中的形成条件及作用效果[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 69–75.

[16] 孙振,王秀华,黄健. 一种微生物絮团的生化分析及其对凡纳滨对虾免疫力的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 473–480.

[17] 邓吉朋,黄建华,江世贵,等. 生物絮团在斑节对虾养殖系统中的形成条件及作用效果[J]. 南方水产科学, 2014, 10(3): 29–37.

[18] 胡修贵,赵培,李玉宏,等. 生物絮团中异养亚硝化菌的分离鉴定及其特性[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(5): 97–103.

[19] 杨章武,张哲,葛辉,等. 几种不同碳源对凡纳滨对虾生物絮团技术育苗效果的影响[J]. 福建水产, 2015, 37(5): 347–352.

[20] 索建杰,王玉玮,姜玉声,等. 三种凡纳滨对虾养殖模式的水质特征及养殖效果[J]. 水产学杂志, 2015, 28(5): 12–17.

[21] Verschuere L, Rombaut G, Sorgeloos P, et al. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture[J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2000, 64(4): 655–671.

[22] 刘杜娟,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): 47–53.

[23] Avnimelech Y. Carbon nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems[J]. Aquaculture, 1999, 176(3/4): 227–235.

[24] 李斌,马元庆,张秀珍,等. 生物絮团技术研究进展及其在工厂化养殖中的应用[C]. 2011 海洋资源科学利用论坛, 2011.