

夏磊,唐夏,张洪玉.微生态制剂在对虾养殖中的研究与应用综述[J].江苏农业科学,2014,42(11):259-262.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.093

微生态制剂在对虾养殖中的研究与应用综述

夏磊^{1,2},唐夏^{1,2},张洪玉¹

(1.中国水产科学研究院,北京 100141; 2.北京鑫洋水产高新技术有限公司,北京 102488)

摘要:综述了国内外微生态制剂对对虾外部水环境及内部环境的调节作用,包括提高水体溶氧量,降低水体铵态氮、硝酸盐、亚硝酸盐含量及抑制水体中有害微生物的繁殖,生物夺氧、分泌、竞争作用及刺激免疫系统的调节作用与应用现状,提出了今后微生态制剂在对虾养殖中的发展方向。

关键词:微生态制剂;对虾养殖;作用机理;应用现状

中图分类号:S968.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)11-0259-03

近年来,随着对虾养殖密度不断加大,水质不断恶化,以及对虾种质资源退化,细菌性、病毒性疾病始终困扰着对虾养殖业的健康发展。科技人员和产业界人士投入了很大精力对对虾病的病原、病理、传播途径及其防治方法进行研究,但效果不是很理想。如 1992 年暴发的白斑综合征病毒(white spot syndrome virus, WSSV),至今仍未有有效解决办法。

对虾疾病的暴发不是单一因素造成,是养殖环境破坏及虾体抗病力减弱共同作用的结果。微生态制剂具有既能改善养殖环境又能提高虾体抗病力的独特优势,被认为是对虾养殖中最有应用前景的生物制品。微生态制剂按其作用方式主要分为外泼和内服 2 种,分别起着调节对虾外部水环境及其自身内部环境的作用。笔者对微生态制剂调节对虾外部水环境及内部环境的作用机理及其应用进行了概述,以期对对虾微生态制剂的进一步研究与应用奠定基础。

1 微生态制剂对对虾外部水环境的调节作用

我国的生产性对虾人工养殖系统是为实现经济目的而建立起来的人工开放型生态系统,其营养结构简单,自净能力较差,物质循环见图 1、图 2。

在前期的虾池生态系统中,虾个体小,投喂饵料少,产生的代谢产物不多,虾池中的溶解氧比较充足,虾池的微生态环境处于相对稳定的良性循环状态(图 1)^[1]。

随着养殖生产的实施,首先大量的残饵、排泄物等有机物逐日增多并沉积池底(图 2),在养殖水体的下层或底层,浮游微藻的光合作用微弱,水体中少量的溶解氧很快就被代谢产物的氧化分解所消耗,好氧微生物的活动受到抑制^[2]。其次厌氧性或兼性厌氧性微生物大幅度生长而成优势菌群,厌氧消化取代了氧化分解,但是厌氧消化降解有机物慢且不彻底,易产生氨气、有机酸、胺类、硫化氢、低级脂肪酸、甲烷等对对



图1、图2引自李卓佳^[1]

图1 养殖前期虾池微生态的良性循环

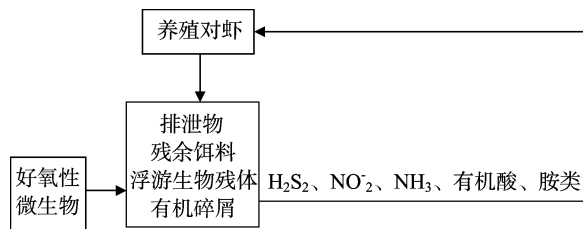


图2 养殖中、后期下层和底层水体微生态的不良循环

虾有毒的中间产物,进而引起对虾发病^[1]。高密度的养殖动物以及污染的生态环境为各种病原微生物、病毒的生长提供了生态条件^[3],严重破坏了虾池的生态平衡。

对虾养殖过程中产生的残饵、粪便等如果不能及时降解累积,很容易引发虾池微生态的恶性循环,而微生态制剂能够直接或间接的分解和利用这些有机物质,提高水体溶解氧,减少养殖水体中铵态氮、亚硝酸盐等有害物质的含量,抑制有害病原菌的孳生,其作用机制如下。

1.1 提高水体溶氧量

虾池水体中的溶解氧含量是对虾赖以生存的重要条件,微生态制剂主要通过以下 2 个方面来提高水体溶解氧含量:(1)分解有机物质,降低氧气消耗。应用最广泛的微生态制剂主要是光合细菌、芽孢杆菌。光合细菌是光能异氧菌,细胞内含有类似于植物叶绿体的细菌叶绿素,能以光为能源在厌氧条件下以水中鱼虾残饵及排泄物为碳源进行不产氧的光合作用,合成大量菌体,增氧机制是通过同化水中有机物减少有机耗氧来实现的^[4]。付保荣等研究表明,在养殖池水中泼洒光合细菌,可明显增加水体中溶解氧含量^[5]。高存川等研究

收稿日期:2014-02-28

基金项目:中国水产科学研究院基本科研业务费专项资金(编号:2012C016)。

作者简介:夏磊(1976—),男,安徽亳州人,副研究员,从事水产科技成果转化与产业技术体系研发。E-mail: xialei666@126.com。

通信作者:唐夏。E-mail: 182218162@.com。

表明,芽孢杆菌能迅速降解养殖水体中的有机物,包括残余饵料、水产动物的排泄物、死亡生物残体及池底淤泥,能有效改良水质,营造良好的养殖生态环境^[6]。(2)微生态制剂能够将沉积池底的大量有机物通过氧化、氨化、硝化、反硝化、硫化、固氮等作用迅速分解为 CO₂、硝酸盐、磷酸盐等营养盐,为单细胞藻类的生长繁殖提供营养,单细胞藻类通过光合作用产生大量溶解氧。黄永春研究了复合微生态制剂对养虾水体水质的影响,结果表明,水体中溶解氧提高了 11.0%^[7]。

1.2 降低水体铵态氮、硝酸盐及亚硝酸盐含量

虾池中的氮循环大致为含氮有机物(残饵、粪便等)→铵态氮→亚硝酸盐→硝酸盐→藻类。在虾池中人工投饵输入的氮占总输入氮的 90% 左右,仅 19% 转化为虾体内的氮^[8],过高的铵态氮、亚硝酸盐、硝态氮对养殖动物具有很强的毒性,不仅会对对虾产生直接毒害,而且能够诱发多种疾病,影响对虾的生长。目前,在降低水体铵态氮、硝酸盐及亚硝酸盐含量方面应用较多的微生态制剂主要有光合细菌、芽孢杆菌、硝化细菌 3 大类。

谢凤行等研究表明,光合细菌的固氮作用将水体中的游离氮气固定在自身体内,使生态系中的氮含量增加,这对氮限制的水体更有意义^[9];马述法等在对虾养殖池中按 0.75 g/m² 光合细菌与沙均匀搅拌后投放,结果试验池的 NH₄⁺ - N 比对照池平均下降 0.08 mg/L^[10]。

丁雷等发现,芽孢杆菌不能起到分解水体中小分子有机物同化铵态氮的作用,但有明显降低水体中硝酸盐、亚硝酸盐的作用^[11];王彦波等也发现芽孢杆菌能大大降低水中亚硝酸盐的含量,在试验过程中,亚硝酸盐含量从 0.28 mg/L 下降至 0.14 mg/L,下降幅度达 50%;对照组亚硝酸含量从 0.26 mg/L 增至 0.56 mg/L,增幅为 115.38%^[12]。

硝化细菌能够克服光合细菌对亚硝酸盐转化低率较低和芽孢杆菌对铵态氮转化低的不足,它是一类能自养型细菌,有亚硝酸细菌和硝酸细菌两类生理亚群组成,亚硝酸细菌完成 NH₄⁺ - N 到 NO₂⁻ - N 的转化;而硝酸细菌完成 NO₂⁻ - N 到 NO₃⁻ - N 的转化,从而使对水生动物有毒的铵态氮和亚硝酸盐转化为对水生动物无毒的硝酸盐^[4]。邢华等在对虾池中施用纯化的硝化细菌制剂发现在未换水的情况下,亚硝酸盐含量下降 98%,对虾生长良好^[13];韩士群在对虾池中投加硝化细菌后水体氨氮浓度仅为对照池的 40%。

1.3 抑制水体中有害菌群与有害微生物的繁殖

有些微生态制剂可通过分泌一些抑菌物质,或产生许多抑制病原体生长的代谢产物来降解环境中致病菌和有害微生物产生的毒性物质。Moriarty 将由多株芽孢杆菌组成的复合菌剂投放到虾养殖池塘后,发现池塘底沉积物中发光弧菌的数量显著降低,水体中其他致病菌和有害微生物的数量也降低到最低程度^[14]。付保荣等研究表明,光合细菌对水体中致病菌和有害藻类有明显的抑制作用^[5]。Bachère 研究发现,在凡纳滨对虾幼体养殖中,枯草芽孢杆菌可以控制致死率高达 100% 的哈维弧菌^[15]。

2 微生态制剂对对虾内部环境的调节作用

对虾内环境主要是指对虾肠道环境。对虾肠道中存在着各种微生物,它们作为一个整体影响着机体的生理、生化和免

疫反应^[16]。

健康对虾肠道内的微生物菌群,在定性、定量和定位等方面都保持着平衡状态,但这种平衡状态一旦失调,对虾便会出现生产力下降和表现疾病症状。大量研究和生产实践证明,微生态制剂对对虾内环境生态平衡起着重要的调节作用^[17]。调节作用主要通过如下方式实现。

2.1 生物夺氧

所谓“生物夺氧”就是为了给厌氧菌的生长繁殖创造一个无氧的环境。正常情况下,对虾肠道内优势菌群为厌氧菌,而需氧菌和兼性厌氧菌只占 1% 左右^[18]。如果专性厌氧菌减少,失去优势菌群地位,虾体肠道微生态平衡就会失调。当微生态制剂以孢子状态进入消化道后,迅速增殖,消耗肠内氧气,使肠道内氧气浓度下降,造成不利于致病性好氧菌生长的环境,有助于厌氧微生物的生长,恢复正常的菌群平衡,达到防病治病和促进生长的目的。

2.2 分泌作用

Burbank 等研究认为,大部分益生菌通过分泌一种特异性的复合物来抑制或杀灭有害菌种^[19-20]。Leweus 等研究发现,乳酸菌分泌的抑菌物质的有效成分是过氧化氢、有机酸及其所分泌的乳酸,这些分泌物可以通过渗透作用进入致病菌细胞内,到达抗菌效果^[21]。余焕玲等研究发现,乳酸菌能够产生某些有机酸类,降低肠道内 pH 值,抑制病原菌的生长,维持肠道微生物的平衡^[22]。

某些益生菌还可以分泌消化酶和营养物质,增强宿主的营养物质代谢,促进宿主生长,提高抗病力。某些益生菌本身就含有丰富的蛋白质,能够为宿主细胞提供营养物质。像乳酸菌等益生菌本身就能够利用蛋白质、糖类和脂肪等物质,通过分解作用产生一系列营养物质供宿主使用。Gullian 等研究发现在饲料中添加微生物可以促进对虾生长^[23]。

2.3 占位竞争与营养竞争

根据“生物生存竞争规律”和“菌群互制原理”,生物要生存与繁殖,就必须抢占有限的生存空间与有限的食物,进而抑制其他物种的扩张。占位竞争通常指有益菌与致病菌争夺肠道内的黏附位点。致病菌通过与肠壁上皮细胞特异性的受体识别和结合达到黏附的目的,而有益菌细胞表面的大分子能有效阻断和抑制病原菌与肠上皮细胞受体的结合^[24-25]。Yan 等的研究虽然没有直接验证竞争性抑制,但是证实了附着在海藻上的芽孢杆菌中抗生素的产生与芽孢杆菌生物膜的形成有关^[26]。也有研究发现肠道内出现益生菌后,可以有效抑制病原菌的附着^[27]。也有研究证明,益生菌的分泌物的功能之一就是抑制有害生物的附着。

研究表明,在饲料中添加有益活菌制剂后,有益菌可以通过与病原菌争夺营养物质方式抑制病原菌的数量。Gram 等研究发现,Fe 离子对细菌的生长是至关重要的,在动物体内 Fe 离子的含量十分有限,铁载体是微生物吸收铁离子重要的载体,有益菌通过产生铁载体对病原菌产生抑制作用^[28]。

2.4 刺激虾体免疫系统

对虾属低等的无脊椎动物,免疫系统比较原始,缺乏真正意义上的 T 淋巴细胞、B 淋巴细胞和抗体,免疫反应属于非特异性免疫。目前,用微生态制剂提高对虾免疫力的研究尚处于探索阶段,还有许多问题需要开展深入细致的研究,已有研

究结果及对虾血淋巴中的相关酶学的分析可初步推断,对虾摄食微生态制剂后,可通过启动相关的免疫级联反应,一方面触发细胞免疫系统,包括血细胞的吞噬、包掩和凝集等免疫反应;另一方面诱发体液免疫系统,包括血淋巴或体液中酶(如溶菌酶、酚氧化酶、超氧化物歧化酶等)、免疫因子(如凝集素、溶血素等)以及调节因子(如酚氧化酶原激活系统等)的防御功能^[29],进而防止病毒病的发生^[30],增强机体免疫力和抗病性^[31]。Rengpipat 等对芽孢杆菌 S11 的研究发现,芽孢杆菌 S11 提高对虾免疫功能的方式是通过激活斑节对虾体液和细胞免疫系统来实现的^[32]。Ninawe 等研究报道,芽孢杆菌进入对虾肠道后利用表面抗原或代谢物不断刺激对虾的免疫防御系统,同时通过与有害细菌争夺营养和附着位点,保护机体免受病原菌的侵染,来增强机体的非特异性免疫力^[33-35]。李桂英等研究表明,益生菌对凡纳滨对虾超氧化物歧化酶、磷酸酶、溶菌酶和一氧化氮合酶活性都有不同程度的提高,除溶菌酶外其他酶活性个别组较对照组均达差异显著水平^[36]。

3 微生态制剂在对虾养殖业中的应用现状与展望

目前,对微生态制剂的开发和研究,国外已进入高潮,并且已形成强大的产业,每年收入相当可观。我国对微生态制剂的研究与应用相对缓慢,但微生态制剂作为水质改良剂在我国对虾养殖中已得到广泛应用,在消除养殖水体有机污染、降解水体铵态氮和亚硝态氮等方面取得了良好的效果,形成了“水产养殖-生物修复”的绿色健康养殖新模式,但是作为对虾饲料添加剂的效果并不理想,主要是目前市面上的微生态制剂大多源于陆生动物,对虾专用的微生态制剂非常少,微生态制剂的选择非常重要,不合适的微生态制剂会在动物的肠道内对寄主造成意想不到的损害。

尽管国内学者在微生态制剂防治虾病方面进行了有益的探索,但是相对于发达国家还有很大的差距,缺乏微生态制剂筛选安全性方面的统一标准,微生态制剂防治虾病的应用效果还不够理想,很多问题亟待解决。(1)目前已确定在我国适宜作对虾专用的微生态制剂或针对对虾某个生长阶段、某些疾病的专用微生态制剂的菌种种类太少,尚需要开发新的菌种,或利用现有的分子生物学等方法改造现有的菌种,使之具有新的特性。(2)关于微生态制剂作用机理的研究进展缓慢,对于对虾肠道正常菌群的组成和相互关系研究不够清楚。(3)微生态制剂的制作、加工工艺手段落后、单一,对微生态制剂生产后处理阶段手段匮乏,很难保证微生态制剂在与饲料混合的过程中不被其他有害菌污染,无法保证微生态制剂的安全稳定性。(4)对饲用微生态制剂的作用机制尚不十分清楚,无统一论;多菌种配比、机械化生产工艺和参数控制自动化等方面仍不完善;添加剂量、质量浓度与微生态平衡缺乏理论依据参数。

尽管微生态制剂存在各种不确定的因素,在对虾养殖业中的效用还不明显,但其本身所具有的无毒无害、无药残等优点还是毋庸置疑,以微生态制剂直接杀灭或抑制病原,是虾病防治方法研究的重要方向。随着现代生物工程、冷冻、保藏技术的发展,微生态制剂作为一种免疫增强剂必将广泛使用到甲壳动物上,微生态制剂可望成为解决虾病的重要途径之一。

参考文献:

- [1] 李卓佳,贾晓平,杨莺莺,等. 微生物技术与对虾健康养殖[M]. 北京:海洋出版社,2007:10-12.
- [2] 李海兵. 对虾肠道益生菌的筛选与免疫物质活性评价指标的建立[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [3] Emparanza E J. Problems affecting nitrification in commercial RAS with fixed-bed biofilters for salmonids in Chile[J]. Aquacultural Engineering,2009,41(2):91-96.
- [4] 李可. 对虾养殖环境微生物多样性分析和微生态制剂的研究与应用[D]. 厦门:厦门大学,2007.
- [5] 付保荣,曹向宇,冷阳,等. 光合细菌对水产养殖水质和水生生物的影响[J]. 生态科学,2008,27(2):102-106.
- [6] 高存川,徐春厚. 微生态制剂在水产养殖水质改良中的应用[J]. 湖北农业科学,2012,51(7):1419-1422.
- [7] 黄永春. 有效微生物菌群对养虾水体细菌生态和水质的影响[J]. 广东海洋大学学报,2009,29(1):44-48.
- [8] 杨逸萍,王增焕,孙建,等. 精养虾池主要水化学因子变化规律和氮的收支[J]. 海洋科学,1999(1):15-16.
- [9] 谢风行,赵玉洁. 几种微生态制剂在水产养殖中的研究进展和展望[J]. 天津农业科学,2006,12(4):18-21.
- [10] 马述法,王仁先,荣素之,等. 光合细菌在养虾生产中应用试验报告[J]. 中国水产,1989(7):32-33.
- [11] 丁雷,岳永生,李贵杰,等. 芽孢菌对养鱼水质影响的研究[J]. 淡水渔业,1999,29(10):7-10.
- [12] 王彦波,邓岳松. 微生态制剂对虾池水质影响的研究[J]. 水利渔业,2003,23(2):16-17.
- [13] 邢华,高会平,浦南书,等. 纯化硝化细菌制品降解养殖水体亚硝酸氮的应用试验[J]. 中国水产,2003(12):85-86.
- [14] Moriarty D W. Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds[J]. Aquaculture,1998,164:351-358.
- [15] Bachère E. Anti-infectious immune effectors in marine invertebrates:potential tools for disease control in larviculture[J]. Aquaculture,2003,227(1/2/3/4):427-438.
- [16] Conway P L. Development of intestinal microbiota[M]//Mackie R I,White B A,Isaacson R E. Gastrointestinal microbiology. New York:Chapman and Hall,1996:3-38.
- [17] 杨先乐. 微生态系统与水产动物的健康养殖[J]. 内陆水产,2000(2):23-24.
- [18] 刘淮德. 应用微生物分子生态学方法研究对虾肠道细菌组成及其变化规律[D]. 北京:中国科学院研究生院海洋研究所,2010.
- [19] Burbank, D R, Shah D H, LaPatra S E, et al. Enhanced resistance to coldwater disease following feeding of probiotic bacterial strains to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,2011,321:185-190.
- [20] Ring E, Gatesoupe F J. Lactic acid bacteria in fish: a view [J]. Aquaculture,1998,60:177-203.
- [21] Lewus C B. Inhibition of food-borne bacterial pathogens by bacteriocins from lactic acid bacteria isolated from meat [J]. Applied and Environmental Microbiology,1991,57(6):1683-1688.
- [22] 余焕玲,晏萍. 乳酸菌的生理功能及在食品中的应用[J]. 饮料工业,2000,3(4):10-13.
- [23] Gullian M, Thompson F, Todriguez J. Selection of probiotic bacteria and stuffy of their immunostimulatory effect in penaeus vannamei [J]. Aquaculture,2004,223:1-14.

侯立娟,王浩东,葛静波,等. 双孢蘑菇轻简化栽培技术[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):262-264.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.094

双孢蘑菇轻简化栽培技术

侯立娟¹, 王浩东², 葛静波², 林金盛¹, 马林¹, 曲绍轩¹, 李辉平¹, 宋金第¹

(1. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014; 2. 江苏省泗阳县农业科学研究所, 江苏泗阳 223700)

摘要:以工厂化金针菇的菌渣替代传统配方中的稻草,按照 5 个梯度添加量进行双孢蘑菇栽培。通过原料成本、二次发酵的能耗成本、用工成本、出菇周期、产量及综合效益 6 项指标评价,进一步明确金针菇菌渣栽培双孢蘑菇优越性。结果表明:原料成本随菌渣添加量的增加而减少。各处理成本均比 CK 节约 11.56%~22.72%,二次发酵的用工成本、能耗成本都比 CK 少 17.86%~32.14%、11.53%~100.00%。与 CK 相比,各处理现蕾出菇提前 4~9 d,有利于双孢菇产品提前上市,并使冬季出菇周期延长 2~23 d,双孢菇的产量增加 0.27~0.81 kg/m²。以上评价指标综合说明使用金针菇菌渣替代稻草栽培双孢蘑菇可行,并在生产上以 60% 金针菇菌渣添加量达到节本增效和轻简化栽培的目的。

关键词:菌渣;双孢蘑菇;轻简化;节本增效

中图分类号: S646.1⁺10.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)11-0262-03

近年来,随着食用菌产业的快速发展,食用菌工厂化栽培增加迅速且规模越来越大,2009 年我国金针菇日产量约为 400 t,且有不断增长的趋势。由此产生了大量食用菌的菌渣,食用菌菌渣即富有较高的营养价值,同时由于随地堆放容易孳生病菌、虫害,造成环境污染^[1-3],菌渣的利用率不高而成为新的污染源,随着食用菌栽培工厂化厂家的增多,如能利

用菌渣的营养价值,探索其作为其他菌类栽培原料,实现二次利用,形成绿色生态循环,对平抑食用菌市场价格和解决菌类栽培原料具有正向影响。因此,国家鼓励大力推广草腐菌栽培。其中,双孢蘑菇因其菇肉细嫩、味美,营养价值高,是世界上人工栽培最广泛和最受消费者青睐的品种^[4]。目前,金针菇菌渣作为其他食用菌栽培的原料或配料可行性已有报道^[5],但利用金针菇菌渣栽培双孢蘑菇尚未见报道。所以,本研究就如何将金针菇菌渣的高效利用和作为双孢蘑菇栽培原料的可行性有机结合,主要以原料成本、能耗成本、出菇周期、产量及综合效益为主要评价指标,筛选出金针菇菌渣最优添加量,从而达到节本增效和菌渣高效利用的双重目的。

收稿日期:2014-06-30

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(12)3024];江苏省农业“三新工程”(编号: SXGC[2012]407、SXGC[2012]356)。

作者简介:侯立娟(1981—),女,吉林松原人,博士,助理研究员,主要从事食用菌的育种及栽培。E-mail: mybailinggu@126.com。

[24] Sun J, Le G W, Shi Y H, et al. Factors involved in binding of *Lactobacillus plantarum* Lp6 to rat small intestinal mucus[J]. Letters in Applied Microbiology, 2007, 44(1): 79-85.

[25] Tallon R, Arias S, Bressollier P, et al. Strain- and matrix- dependent adhesion of *Lactobacillus plantarum* is mediated by proteinaceous bacterial compounds[J]. Journal of Applied Microbiology, 2007, 102(2): 442-451.

[26] Yan L, Boyd K G, Burgess J G. Surface of attachment induced production of antimicrobial compounds by marine epiphytic bacteria using modified roller bottle cultivation[J]. Mar Biotechnol, 2002, 4: 356-366.

[27] Vargas-Albore F, Yepiz-Plascencia G. Beta glucan binding protein and its role in shrimp immune response[J]. Aquaculture, 2000, 191: 13-21.

[28] Gram L, Melchiorson J, Spanggaard B, et al. Inhibition of *Vibrio anguillarum* by *Pseudomonas fluorescens* AH2, a possible probiotic treatment of fish[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(3): 969-973.

[29] Ratliff N A, Rowley A F, Fitzgerald S W, et al. Invertebrate immunity: basic concepts and recent advances[J]. International Review of Cytology - A: Survey of Cell Biology, 1985, 97: 183-350.

[30] Iwanaga S, Lee B L. Recent advances in the innate immunity of invertebrate animals[J]. Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2005, 38(2): 128-150.

[31] Dalmin G, Kathiresan K, Purushothaman A. Effect of probiotics on bacterial population and health status of shrimp in culture pond ecosystem[J]. Indian Journal of Experimental Biology, 2001, 39: 939-942.

[32] Rengpipat S, Rukpratanporn S, Piyatiratitivorakul S A. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiotic bacterium (*Bacillus* S11)[J]. Aquaculture, 2000, 191(4): 271-288.

[33] Ninawe A S, Selvin J. Probiotics in shrimp aquaculture: Avenues and challenges[J]. Critical Reviews in Microbiology, 2009, 35(1): 43-66.

[34] Gatesoupe F J. The use of probiotics in aquaculture[J]. Aquaculture, 1999, 180(1/2): 147-165.

[35] Gomez G B, Roque A, Turnbull J F. The use and selection of probiotic bacteria for use in the culture of larval aquatic organisms[J]. Aquaculture, 2000, 191(1/2/3): 259-270.

[36] 李桂英, 宋晓玲, 孙艳, 等. 几株肠道益生菌对凡纳滨对虾非特异免疫力和抗病力的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1358-1367.