

· 综述 ·

## 水生环境中细菌与微藻的相互关系及其实际应用

王少沛<sup>1,2</sup>, 曹煜成<sup>2</sup>, 李卓佳<sup>2</sup>, 杨莺莺<sup>2</sup>, 陈素文<sup>2</sup>

(1. 广东海洋大学, 广东 湛江 524000; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

**摘要:** 概括了细菌和微藻之间的相互关系及其作用机理, 阐述了细菌抑制有害微藻、微藻抑制病原细菌、细菌与微藻协同净化水质的研究进展, 并针对水产养殖的实际, 提出菌-藻关系研究及开发应用的一些思路。

**关键词:** 细菌; 微藻; 相互关系

中图分类号: S917.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2008)01-0076-05

## The relationship between bacteria and microalgae in water environment and its practical application

WANG Shaopei<sup>1,2</sup>, CAO Yucheng<sup>2</sup>, LI Zhuojia<sup>2</sup>, YANG Yingying<sup>2</sup>, CHEN Suwen<sup>2</sup>

(1. Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, China; 2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** The relationship between bacteria and microalgae and its action mechanism was summarized. The progress in research on the following aspects was addressed: inhibition effect of bacteria against harmful microalgae; inhibition effect of microalgae against pathogenic bacteria; the application research situation of bacteria and microalgae in water purification. Aiming at the aquaculture we put forward suggestions for the research on the relationship between bacteria and microalgae and its development and application.

**Key words:** bacteria; microalgae; interrelationship

随着工农业生产的迅猛发展和人民生活水平的提高, 近海海域和养殖池塘的水质状况日益下降, 主要表现为有机物增多, 氮、磷、硫等化合物浓度增加, 蓝藻和赤潮藻类等有害藻的大量繁殖、水产病原细菌大量生长等, 养殖病害增多。为了防治各种病害, 人们大量使用化学药物, 结果在杀灭病原生物的同时也使有益生物大量减少, 造成生态系统的严重失衡, 对生产不利。采用生物调控的方法, 利用生物之间及生物和水环境之间的复杂关系进行水质调控, 以达到生态平衡, 是有效改善水环境质量、提高养殖生产成功率的安全技术。

微生物(细菌和微藻)是自然界水体中广泛存在的生

物种类, 它们对促进水环境中的物质循环, 维持水生环境的生态平衡具有举足轻重的作用。然而, 细菌和微藻之间存在着复杂的关系, 弄清它们之间的相互关系以及对水体中各种物质的转化规律是利用其调控水质需要解决的首要问题。文章就水生环境中细菌和微藻之间相互关系的研究进展进行综述分析, 以期科学构建菌-藻生物平台, 以此有效调控、优化水产养殖水体环境提供理论参考。

### 1 细菌和微藻的相互关系

#### 1.1 细菌和微藻胞外产物的相互作用

细菌和微藻在生长过程中会向周围分泌一些胞外产物,

收稿日期: 2007-04-06; 修回日期: 2007-10-18

资助项目: 国家“十一五”支撑计划(2006BAD09A11; 2006BAD03B0106); 中央级科研院所基本科研业务费专项资金项目(2007ZD01); 广东省重大科技兴海(渔)项目(A200601A01; A200601A04)

作者简介: 王少沛(1982-), 男, 硕士研究生, 从事水产养殖水体菌-藻关系研究。E-mail: happywsp2002@yahoo.com.cn

通讯作者: 李卓佳, E-mail: zhuojiali609@163.com

它们就是通过这些胞外产物而相互影响。胞外产物的作用结果可分为2种,起促生长的正作用和抑制生长的负作用。细菌分泌的对微藻有益的胞外产物有类维生素物质、能分解有机质的酶类以及促进微藻生长的糖肽类物质,对微藻有毒害或抑制作用的胞外产物是一些蛋白类或酶类物质。微藻的胞外分泌物主要是溶解态的氨基酸,能够刺激细菌的生长,而抑制细菌的胞外产物是一些类抗生素物质<sup>[1-3]</sup>。BELL<sup>[4]</sup>以动力学模型为基础,研究了菌-藻系统的生物量变化和胞外产物的分泌,其结果背离线性关系也正说明了细菌和微藻之间以胞外产物为介质的交感作用。

### 1.2 细菌和微藻之间的竞争作用

当生态环境处于一个相对平衡的状态时,各个物种的生态位原则上不重合;当生态系统中不同生物的生态位发生重合则会形成竞争。例如,微藻在光照条件下能够进行光合作用,吸收二氧化碳产生氧气,在黑暗中则跟细菌一样只进行呼吸作用,这样细菌和微藻就对氧气形成了竞争。除了氧气,它们也对营养物质(特别是对氮、磷等营养盐)进行竞争。氮、磷等营养盐是合成有机物的重要原料,所以,当水体中的某些营养盐含量较低时,细菌和微藻就会对这些营养盐形成竞争。而JANSSON<sup>[5]</sup>研究细菌和藻类对磷酸盐的利用,提出细菌对磷酸盐的利用效率较高,但细菌对能量物质的需求更甚于对磷酸盐的需求,当藻类分泌的能量物质减少时,细菌对磷酸盐的吸收也会受到限制。由此可以看出,它们对营养物质的竞争并不是简单的争夺,而是受不同因素交互影响的。

### 1.3 细菌和微藻之间的共生关系

细菌和藻类之间的作用是相互的,它们可能因竞争营

养物质而相互抑制,也可能相互利用与促进,甚至相互依赖形成复杂的共生系统(图1)<sup>[6]</sup>。能够形成共生系统的细菌和微藻在代谢功能方面一般是互补的,主要表现为对氧气和营养物质的释放和利用。微藻在光照条件下能够通过光合作用吸收二氧化碳并放出氧气,而同时微藻和细菌吸收氧气放出二氧化碳完成呼吸作用。在营养物质的代谢方面,微藻通过吸收氮、磷等无机营养盐而合成有机物,并能够向周围释放一些有机物,作为重要的分解者,细菌能够分解利用藻类所分泌的有机物质以及死亡的藻细胞<sup>[7-8]</sup>,其分解产物被藻类吸收利用。细菌和微藻在生长过程中也能向周围释放一些酶物质,如葡萄糖苷酶、乳糖苷酶、磷酸酶、硫酸酯酶、脂肪酶等,这些胞外酶主要通过水解作用分解多糖、蛋白质等,使之变成可以通过细胞质膜的小分子物质<sup>[3]</sup>。郑天凌等<sup>[9]</sup>研究了赤潮藻类塔马亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)与细菌共培养条件下两者胞外酶的活性变化,发现当细菌加入培养液时,胞外酶的活性显著升高。塔马亚历山大藻与盐敏芽孢杆菌(*Bacillus halmapalus*)共培养时,胞外酶活性高于两者单独培养的酶活性之和,表明共培养对双方胞外酶的分泌均有一定的促进作用。IETSWAART等<sup>[10]</sup>发现,缺陷假单胞菌(*Pseudomonas diminuta*)和泡囊假单胞菌(*P. vesicularis*)这2种专性需氧菌与藻类共同培养可以促进栅藻(*Scenedesmus bicellularis*)和小球藻(*Chlorella* sp.)的生长,但未发现细菌分泌任何促进微藻生长的物质,其实这就是它们之间代谢功能互补的表现。也有的藻类能够和具有某些特定的功能的细菌形成紧密的外共生,如GYURJAN等<sup>[11]</sup>用电子显微镜观察固氮细菌,发现固氮细菌始终停留在微藻的表面附近。

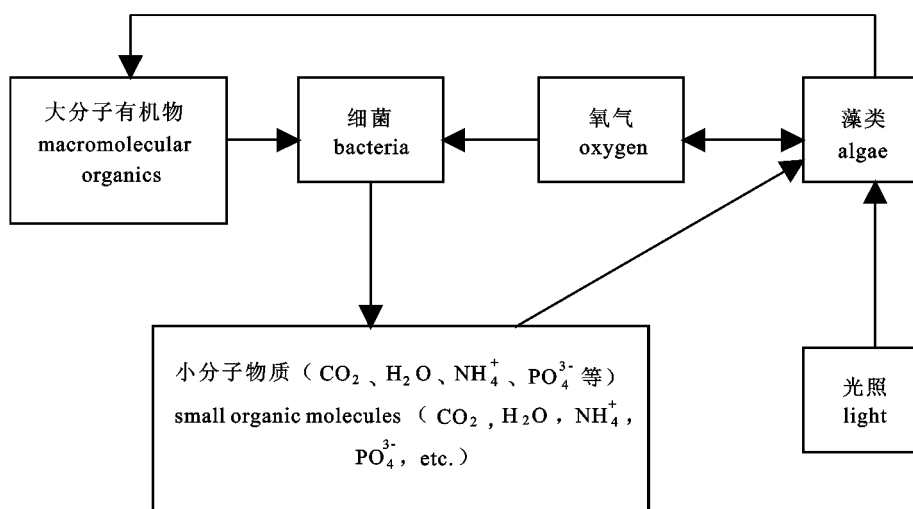


图1 菌藻共生关系

Fig. 1 The symbiotic relationship between bacteria and algae

## 2 细菌和微藻相互关系的应用研究

### 2.1 细菌对微藻的抑制

水体中有的微藻能够释放毒素或粘液, 这些微藻大量繁殖会危害到其它水生生物。近海海域中的有害藻主要是赤潮藻类, 而水产养殖池和内陆湖泊中则经常暴发蓝藻水华。国内外对细菌抑制微藻尤其是有害藻类的研究较多, 主要是细菌对微藻的资源性竞争抑制和细菌胞外产物对微藻的抑制。徐金森等<sup>[12]</sup>研究了2种海洋杆菌属细菌巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*) 和枯草芽孢杆菌 (*B. halmapulus*) 对赤潮藻塔马亚历山大藻细胞生物量的影响, 结果显示, 细菌滤液对藻细胞增殖的影响与细菌浓度、细菌的生物学特性以及藻细胞自身的生长阶段有关。其中, 细菌浓度为  $2 \times 10^{10}$  ind·mL<sup>-1</sup> 对藻细胞生物量具有明显的抑制作用, 而浓度相对较低的  $2 \times 10^8$  和  $2 \times 10^9$  ind·mL<sup>-1</sup> 的处理组则显示了一定的促进作用, 而且促进或抑制作用在生长前期比后期更为明显。笔者认为起抑制作用的处理组是因为细菌浓度过高, 对微藻形成了资源竞争性抑制, 而不是通过胞外产物进行抑制。在自然界中细菌很难达到如此之高的浓度, 所以, 用这2种细菌治理赤潮实际意义不大。相对于微藻来说, 细菌的个体较小, 要想通过其竞争作用达到对微藻的抑制效果就必须使细菌具有很强的增殖能力并提供充足的营养物质。这在自然环境中很难实现, 因此, 利用细菌抑制有害藻类应从胞外产物入手。郑立等<sup>[13]</sup>通过细胞活体荧光测定方法, 研究了15株海洋生物共栖细菌对微藻生长的抑制作用, 结果显示, 7株细菌的代谢产物对2种微藻的生长具有不同程度的抑制作用, 并表现出一定的选择性, 其中3株海洋细菌 NJ6-3-2、QD1-2、ATC102-4 的代谢产物对2种赤潮微藻的生长都具有抑制作用。不同细菌对微藻的抑制程度不同, 有的细菌能够在微藻衰老期加快它的老化<sup>[14]</sup>, 也有的细菌能在微藻的生长期抑制其生长, 使微藻的增殖速度明显慢于正常生长速度, 还有的细菌能够强烈的抑制微藻, 表现为微藻的快速死亡。王爱丽等<sup>[15]</sup>将铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 与芽孢杆菌混合培养, 发现混合培养组的铜绿微囊藻的生长受到明显抑制, 到第6天时已经逐渐死亡而成空泡。还有一些细菌在与藻细胞接近时就能表现出其强烈的溶藻特性, 如 DAFT 和 STEWART<sup>[16]</sup> 从苏格兰海域分离出一株细菌 *Bacterium* CP-I, 它能够在与微藻接近时移动并附着到微藻的表面, 30 min 后微藻细胞破裂溶解。很明显, 在细菌与微藻细胞接触时分泌出类似溶胞酶的物质, 能够快速裂解藻细胞。以生物方法抑制有害藻类的关键是分离具有较强抑藻活性的细菌。阚振荣等<sup>[17]</sup>研究菌-藻、藻-藻间相互抑制作用, 寻找抑制藻类水华的新途径, 但选取的12种细菌均未见对水华微藻有明显的抑制作用。自然界中对微藻具有明显抑

制作用的细菌种类较少, 溶藻细菌通常会出现发生在发生水华的水域, 特别是在水华的消退期, 溶藻细菌的量最大、溶藻活性最强, 且容易分离。所以, 水华消退期的样品是分离溶藻细菌的最好材料, 可以分离出多种类、效率高的溶藻细菌<sup>[18]</sup>。

### 2.2 微藻对病原菌的抑制

藻类对细菌的抑制作用可分为直接抑制和间接抑制。其中, 直接抑制表现为藻类分泌抗生素类物质抑制或杀死细菌, 也有的微藻能够直接吸收利用细菌, 如 KIRCHNER 等<sup>[19]</sup>研究了夜光藻 (*Noctiluca scintillans*) 引发的赤潮期间的海洋菌群, 发现夜光藻在指数增长期可消化和吸收水中的细菌以及其它可食的有机体, 使水体中细菌密度降低。水产养殖池中病原菌对养殖生物形成很大威胁, 抑制病原菌的生长是保证养殖生产的有效手段。杨立平<sup>[20]</sup>研究了对虾育苗池中微藻对细菌的抑制作用, 发现某些微藻 (如等鞭金藻、扁藻等) 的分泌物对鳗弧菌 *Vibrio anguillarum* 具有抑制作用, 而对哈氏弧菌 *V. harveyi* 则没有抑制作用。BELL 等<sup>[21]</sup>研究了骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 的胞外产物对螺旋状菌 (*Spirillum* 7697) 和假单胞菌 (*Pseudomonas* HNY) 的影响, 发现假单胞菌无论在分批培养还是连续培养条件下都能快速生长; 而螺旋菌与骨条藻共培养时生长受到明显的抑制。可见藻类胞外产物对细菌的作用因种的差异有促进也有抑制。王瑞旋等<sup>[22]</sup>以固定化技术为基础, 研究了波吉卵囊藻 (*Oocystis borei* snow) 和微绿球藻 (*Nannochloropsis oculata*) 对对虾养殖池中细菌数量的影响。试验3组水样中的弧菌数量分别降低了95%、95%和81.7%, 且微藻不同时期对细菌的抑制作用也不同, 藻细胞生长达到高峰时抑菌能力最强, 而微藻对弧菌的排斥需要水体某些细菌的协调作用才能达到最佳效果。藻类对细菌的间接抑制表现为促进某些细菌的生长, 而这些细菌又抑制了另一些细菌的生长, 或者藻类直接与细菌竞争营养物质而起到抑制作用。

### 2.3 菌藻协同净化水质

细菌和藻类协同作用的应用是使细菌和藻类达到共生状态, 利用它们的协同作用降解有机质、毒素以及各种营养盐, 进而优化水体环境, 同时为养殖生物提供丰富的饵料资源。邓家齐和叶春芳<sup>[23]</sup>在室内模拟条件下, 研究了一些生态因子对藻-菌生态系统代谢有机碳 ( $C_6H_{12}O_6$ )、氨氮 ( $NH_4-N$ ) 和无机磷 (IP) 的影响, 研究结果表明, 当藻-菌生态系统中藻或菌的起始数量一定时, 其代谢有机碳的速率随与之组合的菌或藻的起始数量增加 (数量比则相应降低) 而增加, 且藻-菌生态系统代谢速率大于藻、菌单培养物的速率。另外, 对营养物质的代谢速率与菌藻数量比也有一定的关系。王高等<sup>[24]</sup>以正交法建立了由栅藻 (*Scenedesmus obliquus*)、小球藻 (*Chlorella vulgaris*)、亚硝

化细菌 (Nitrite bacteria)、硝化细菌 (Nitrate bacteria) 组成的复合藻-菌净化系统用于去除氨氮和亚硝酸盐氮, 利用最佳配比去除率分别为 97.3% 和 68.8%, 远远高于单藻组和单菌组。除了降解水中的营养盐和有机物, 细菌与藻类协同作用也可影响病毒的活性。郑耀通等<sup>[25]</sup>研究了污水稳定塘生态系统去除与灭活植物病毒的效率与机理, 实验结果显示, 稳定塘系统中的悬浮固体 (SS) 可在短时间内吸附烟草花叶病毒 (tobacco mosaic virus, TMV) 且达到一个饱和值, 纯培养的枯草芽孢杆菌及小球藻对 TMV 的存活无明显不良影响, 而光合细菌和稳定塘中的混合细菌群却对 TMV 具灭活作用, 当它们同藻类形成菌藻共生体系时, 对 TMV 的灭活速率分别从对照的每天  $0.0404 \log_{10}$  (枯斑数 $\cdot \text{mL}^{-1}$ ) 升高到  $0.0783 \log_{10}$  和  $0.075 \log_{10}$  (枯斑数 $\cdot \text{mL}^{-1}$ )。

近年来, 微藻固定化技术在污水处理中得到比较广泛的应用, 该技术是 20 世纪 60 年代发展起来的, 具有维持较高的微藻浓度、处理后易于分离、净化效率高等优点<sup>[6]</sup>。郑耀通等<sup>[26]</sup>利用固定化菌藻混合代谢生态体系处理含氨污水, 结果发现该系统可以在最初的 5 h 内,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率达到 37.5%, 而游离菌藻则是 28.1%, 在历时 35 h 的处理过程中,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除一直保持着稳定的效率, 平均高出了游离细胞 13.2%, 说明固定化菌藻系统是十分有效的含氨污水生物脱氮代谢体系。但是, 固定化系统也存在一定的缺陷, 实际使用成本较高、重复利用性较差、容易对水体造成二次污染等。固定化技术在水产养殖中应用较少, 如何建立高效、廉价的菌-藻固定化系统有待于研究。

### 3 结语

水产养殖的效率如何主要取决于水质, 可以说养殖就是“养水”。水环境优劣的重要表现就是水色, 而造成水色差异的重要因素就是浮游藻类的种类和浓度, 所以利用有益细菌促进优良藻类的生长, 形成良好的藻相, 对水环境的生态调控有重要意义。同时, 微藻也是一些水产动物不可缺少的饵料资源, 使微藻保持一定的浓度是生产的需要, 而且有些藻类可以抑制病原菌的生长, 这对提高水产养殖效率、减少病害的发生有重要作用; 另一方面, 利用抑藻细菌抑制赤潮藻、蓝藻等有害藻类的生长也是生态修复的重要途径<sup>[27-30]</sup>。自然界水体中细菌和藻类的种类繁多, 它们之间的关系较复杂, 利用某种细菌促进有益藻的生长或抑制有害藻的生长关键是要使该细菌成为优势菌, 这就要求这种细菌具有较强的适应能力和竞争能力, 所以开发高效抑制赤潮藻、蓝藻等有害藻类的细菌和有利于饵料微藻生长的细菌具有重要的现实意义。另外, 发展池塘微藻的定向培育技术以减少病原菌也是实现健康养殖的有效手段。利用一些细菌和藻类代谢功能互补的特点建立菌-藻系

统来净化养殖水环境和处理养殖废水具有较高的效率, 应该加以研究与应用。

目前, 对细菌和藻类的相关研究已经受到人们的重视, 并取得一定的成就, 但同时也存在一些问题。笔者认为今后的研究可以从以下几点考虑:

(1) 利用传统的分离方法和 PCFR-DGGE 技术分析分离水体中的微生物, 了解水体中的微生物群落结构。

(2) 筛选能够抑制病原菌、降解亚硝酸盐氮和氨氮等净化水质和促进有益微藻生长的细菌。

(3) 研究细菌和微藻在水中的增殖规律以及环境因子对它们的影响, 从而确定调控水环境最佳的时机和方法。

(4) 水生态是个复杂的系统, 研究水体中各种微生物之间的竞争或共生关系, 为调节水中的微生态平衡提供参考。

(5) 分离鉴定细菌和微藻的胞外分泌物中的活性物质, 分析这些活性物质对细菌或微藻的作用机理。

### 参考文献:

- [1] 李福东, 张城, 邹景忠. 细菌在浮游植物生长过程中的作用 [J]. 海洋科学, 1996 (6): 30-34.
- [2] 周名江. 海洋微藻与细菌相互关系的研究—正负相互作用的几个例证 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2005: 70-74.
- [3] 王斐, 郑天凌, 洪华生. 细菌胞外酶的生态作用 [J]. 海洋科学, 1999, 23 (3): 33-36.
- [4] BELL W H. Bacterial utilization of algal extracellular products. 1. The kinetic approach [J]. Limnol Oceanogr, 1980, 25 (6): 1 007-1 020.
- [5] JANSSON M. Phosphate uptake and utilization by bacteria and algae [J]. Hydrobiologia, 1988, 170 (1): 177-189.
- [6] 李小霞, 解庆林. 菌藻共生系统处理污水的研究及应用前景 [J]. 广西民族学院学报: 自然科学版, 2006, 12 (3): 112-114.
- [7] PEREZ M T, RUBEN Sommaruga. Differential effect of algal- and soil-derived dissolved organic matter on alpine lake bacterial community composition and activity [J]. Limnol Oceanogr, 2006, 51 (6): 2 527-2 537.
- [8] NYGAARD K, TOBIESEN A. Bacterivory in algae: A survival strategy during nutrient limitation [J]. Limnol Oceanogr, 1993, 38 (2): 273-279.
- [9] 郑天凌, 徐美珠, 俞志明, 等. 菌-藻相互作用下胞外酶活性变化研究 [J]. 海洋科学, 2002, 26 (12): 41-44.
- [10] IETSWAART T, SCHNEIDER P J, PRINS R A. Utilization of organic nitrogen sources by two phytoplankton species and a bacterial isolate in pure and mixed cultures [J]. Appl Environ Microbiol, 1994, 60 (5): 1 554-1 560.
- [11] GYURJAN I, TURTOCZKY I, TOTH G, et al. Intercellular symbiosis of nitrogen-fixing bacteria and green alga [J]. Acta Botanica

- Hungarica, 1984, 30 (3): 249-256.
- [12] 徐金森, 郑天凌, 郭清华, 等. 两种海洋细菌对赤潮藻的细胞生物量的影响研究 [J]. 海洋科学, 2002, 26 (12): 57-60.
- [13] 郑立, 韩笑天, 严小军, 等. 海洋生物共栖细菌抑藻活性的初步研究 [J]. 海洋科学进展, 2006, 24 (4): 511-519.
- [14] 林伟, 刘秀云. 海洋微藻除菌及除菌与自然带菌微藻生长特点比较 [J]. 海洋与湖沼, 2000, 31 (6): 647-652.
- [15] 王爱丽, 宋志慧, 王福明. 藻菌混合固定化及其对污水的净化 [J]. 环境污染与防治, 2005, 27 (9): 654-657.
- [16] DAFT M J, STEWART W D P. Light and electron microscope observations on algal lysis by bacterium CP-I [J]. New Phytologist, 1973, 72 (4): 799-808.
- [17] 阙振荣, 王欣伊, 李彦芹, 等. 菌-藻、藻-藻间化感作用初探 [J]. 微生物学杂志, 2006, 26 (5): 14-18.
- [18] IMAMURA N, MOTOIKE I, SHIMADA N, et al. An efficient screening approach for anti-microcystis compounds based on knowledge of aquatic microbial ecosystem [J]. J Antibiotics, 2001, 54 (6): 582-587.
- [19] KIRCHNER M, SAHLING G, UHLING G, et al. Does the red-tide-forming dinoflagellate *Notiluca scintillans* feed on bacteria? [J]. Sarsia, 1996, 81 (1): 45-46.
- [20] 杨立平. 半封闭式中国明对虾育苗池细菌生态与微藻抑菌作用研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003: 23-28.
- [21] BELL W H, LANG J M, MITCHELL R. Selective stimulation of marine bacteria by algal extracellular products [J]. Limnol Oceanogr, 1974, 19 (5): 833-839.
- [22] 王瑞旋, 黄翔鸽, 陈毕生. 固定化微藻对养殖对虾细菌数量的影响 [J]. 南方水产, 2005, 1 (2): 41-45.
- [23] 邓家齐, 叶春芳. 藻-菌生态系统代谢功能的生态学研究 [J]. 应用生态学报, 1994, 5 (2): 177-181.
- [24] 王高学, 姚嘉赞, 王绥标. 复合藻-菌系统水质净化模型建立与净化养殖水体水质的研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15 (2): 22-27.
- [25] 郑耀通, 林奇英, 谢联辉. 污水稳定塘菌-藻生态系统去除与灭活植物病毒 TMV 研究 [J]. 环境科学学报, 2004, 24 (6): 1128-1134.
- [26] 郑耀通, 吴小平, 高树芳. 固定化菌藻系统去除氨氮影响 [J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2003, 25 (1): 99-102.
- [27] 赵以军, 刘永定. 有害藻类及其微生物繁殖的基础—菌藻关系的研究动态 [J]. 水生生物学报, 2000, 20 (2): 173-181.
- [28] 李卓佳, 郭志勋, 冯娟, 等. 应用芽孢杆菌调控虾池微生态的初步研究 [J]. 海洋科学, 2006, 30 (11): 28-31.
- [29] 姚雪梅, 王珺, 王思, 等. 人工培养牟氏角毛藻对弧菌抑制效果研究 [J]. 南方水产, 2005, 1 (4): 41-46.
- [30] 连玉武, 王艳丽, 郑天凌. 赤潮科学中菌藻关系研究进展 [J]. 海洋科学, 1999, 23 (1): 35-38.