

# 一种复合微生态制剂对养殖水体中生物因子的影响

肖国华 高晓田 赵振良\* 付仲 张立坤 陈力 杨金晓

(河北省海洋生物资源与环境重点实验室 河北省海洋与水产科学研究院 河北 秦皇岛 066200)

**摘 要:**【目的】研究海水养殖池塘中投放以芽孢杆菌和假单胞菌为主的一种自主研发的微生态制剂对池塘养殖生物、微生物菌相、浮游生物的影响, 以期为建立微生物生态调控技术体系提供参考。【方法】实验期间, 每隔 15 d 于试验池塘中泼洒微生态制剂一次, 每月末取样测量水体和底泥中异养菌和弧菌密度、浮游生物种类和密度, 实验结束时测量养殖生物的生长率和成活率。【结果】该微生态制剂能够显著提高南美白对虾和三疣梭子蟹的存活率和生长速度, 试验组南美白对虾的存活率和体重增长率较对照组分别提高了 11.3% 和 1 400%, 试验组三疣梭子蟹的存活率和体重增长率较对照组分别提高了 1.2% 和 37.5%; 微生态制剂能够显著提高海水池塘的异养菌总数, 从而抑制致病性弧菌的数量, 试验组池水和底泥的异养菌平均密度在整个养殖期较对照组提高了 58.5% 和 51.3%, 而试验组水体中致病菌——弧菌的数量在整个养殖期较对照组降低了 39.7%; 微生态制剂使绿藻门和硅藻门的藻类密度明显增加, 对蓝藻和甲藻的生长有抑制作用。【结论】该微生态制剂能够有效地改善养殖池塘中生物群落结构, 提高某些养殖品种的生长速度。

**关键词:** 微生态制剂, 浮游动物, 浮游植物, 细菌, 养殖生物, 影响

## Effects of a kind of compound probiotics on the several kinds of biological factors

XIAO Guo-Hua GAO Xiao-Tian ZHAO Zhen-Liang\* FU Zhong  
ZHANG Li-Kun CHEN Li YANG Jin-Xiao

(Marine Living Resources and Environment Key Laboratory of Hebei Province, Ocean Fishries Research Institute of Hebei Province, Qinhuangdao, Hebei 066200, China)

**Abstract: [Objective]** This paper was about the effects of a kind of probiotics on several kinds of biological factors in seawater ponds. The probiotics was independently researched and developed by our research team. The main components of the probiotics were *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp.. The biological factors included three kinds of breeding living being and the microorganism and the plankton. The objective of this study was for establishing technical system of ecological control of microorganisms. The research methods were described below. **[Methods]** During the experiment, the probiotic was spilled in the experimental ponds every 15 days. The density of heterotrophic bacteria and vibrio of the water and sediment were measured at the end of the month. The species and density of plankton was investigated at the end of the month. The growth rate and survival rate of cultured organisms was measured by the end of harvest season. The experiment was carried out nearly three months. **[Results]** There were three results. Firstly, the probiotics could enhance the growth and survival rate of two kinds of breeding living being, including *Litopenaeus vannamei* and *Portunus trituberculatus*. The survival rate and growth rate of the *Litopenaeus vannamei* of test groups enhanced respectively 11.3% and 1 400% compared with the control groups. The survival rate and growth rate of the *portunus trituberculatus* of test groups enhanced respectively 1.2% and 37.5% compared with the control groups. Secondly, the probiotics could enhance the density of heterotrophic bacteria, and restrained the growth of vibrios. The heterotrophic bacteria density of test groups in the water was higher 58.5% than the control groups. The heterotrophic bacteria density of test groups in the sediment was higher 58.5% than the control ponds. The vibrios density of test groups in the water was lower 39.7% than control groups. Thirdly, the probiotics could improve the density of Chlorophyta algae and Bacillariophyta algae, and inhibited the growth of Cyanophyta algae and Pyrrophyta algae. **[Conclusion]** It came to the conclusion that the probiotics could effectively improve biology community structure and the growth rate of some farmed species in the aquaculture ponds.

**Keywords:** Probiotics, Zooplankton, Phytoplankton, Bacteria, Breeding living being, Influence

当前水产养殖业的迅猛发展, 集约化程度不断提高, 一定程度上推动了社会经济的发展。但

是伴随着水产养殖业的发展, 水产养殖污染与生态环境的矛盾也日益突出, 已成为水产养殖业可

持续发展的障碍。许多学者研究表明,养殖过程中的残饵、粪便是造成养殖环境污染的主要来源<sup>[1-3]</sup>。因此,开展水产养殖环境的生物修复技术已成为迫切的需要。水质微生物控制技术的原理就是通过微生物分解水中的有害因子成为无害的物质,而自身通过利用分解产生的物质和能量进行生长。目前,与传统物理和化学方法相比,应用微生物控制养殖的生态环境具有成本低、收效大、无二次污染等优点,成为研究的热点。净水微生物的主要种类有光合细菌、芽孢杆菌、硝化细菌、酵母菌、放线菌和基因工程菌等,其中光合细菌和芽孢杆菌应用比较广泛。2009–2011年,课题组人员为解决河北省海水养殖池塘污染日益严重的问题,从海水池塘的底泥中分离到5株有益菌,将其制成微生态制剂并进行了效果测定。本文主要从微生态制剂对养殖生物、池塘的菌相和浮游生物的影响进行了研究,以期对建立微生物生态调控技术体系提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

微生态制剂由本课题组人员开发,主要成分为芽孢杆菌和假单胞菌,细菌密度为 $1 \times 10^{10}$  CFU/g。

实验地点为秦皇岛江鹏水产养殖科技开发有限公司。实验采用了5个池塘,每个池塘面积 $3.3 \text{ hm}^2$ ,东西方向,水深1.5 m左右,有深30 cm–50 cm环沟,各自备有进排灌系统。海水水源盐度25–35, pH 8.2–8.4。

每个池塘初始放养南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*) 30万尾,体长0.9 cm–1.0 cm; 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) 2.4万只,规格1.2万只/kg; 扇贝(*Argopecten irradians*) 20万粒,规格0.3 cm–0.5 cm。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验组设计:** 实验分为试验组和对照组,

试验组3个池塘,对照组2个。4月20日进水,25日在试验池按2.0 mg/L的用量泼洒复合菌制剂,以营造良好的池塘生态环境,以后每隔15 d泼洒1次,剂量减半。对照池则不用任何菌制剂。

**1.2.2 养殖生物的采样和处理:** 2010年10月5日,对南美白对虾、三疣梭子蟹和海湾扇贝进行回捕,从捕到的渔获物中随机抽取100个,进行个体体重的测量,计算出3种养殖生物的平均体重。捕捞完成后,称量出每种养殖生物的总重。

**1.2.3 养殖生物的成活率及生长率:** 成活数=养殖生物总重/养殖生物平均体重;

成活率(%)=成活数/放养数 $\times 100$ ;

体重增长率(%)=(终末体重–初始体重)/初始体重 $\times 100$ 。

**1.2.4 细菌的采样和处理:** 从2010年5月15日至9月25日,每月末采集底泥和池水进行异养菌和弧菌的培养计数。从试验池塘四角和中心取表层50 cm以下的水500 mL,混匀后取500 mL于无菌容器中带回实验室待测。从试验池塘四角取表层10 cm以下的底泥于无菌塑料袋中,带回实验室。样品中异养菌和弧菌的数量以平板计数法测定,异养菌培养基为2216 E培养基<sup>[4]</sup>,弧菌为TCBS培养基<sup>[4]</sup>。

**1.2.5 细菌计数方法:** 取1 mL水样,用灭菌的生理盐水稀释10倍、 $10^2$ 倍、 $10^3$ 倍、 $10^4$ 倍几个浓度梯度,分别用移液枪取0.1 mL稀释液涂布于2216 E和TCBS培养基上,每个稀释度在培养基上做3个平行,求平均数。28 °C恒温培养48 h后计数。

水样中的细菌浓度 $F=10 \times A \times B$ ; 其中 $F$ 为细菌浓度,单位:CFU/mL;  $A$ 为培养基平板上菌落的数量(30–300 CFU);  $B$ 为样品稀释倍数。

取1 mL泥样,放入100 mL无菌生理盐水中,混匀,取1 mL溶解液用灭菌生理盐水稀释10倍、 $10^2$ 倍、 $10^3$ 倍、 $10^4$ 倍几个浓度梯度,分别用移液

枪取 0.1 mL 稀释液涂布于 2216 E 培养基上，每个稀释度在培养基上做 3 个平行，求平均数，28 °C 恒温培养 48 h 后计数。

泥样中的细菌浓度  $F=1\,000\times A\times B$ ；其中  $F$  为细菌浓度，单位：CFU/g； $A$  为培养基平板上菌落的数量(30–300 CFU)； $B$  为泥样的溶解液稀释倍数。

**1.2.6 浮游动、植物样品采集和处理：**浮游动、植物的样品采集从 2010 年 7 月 9 日开始至 9 月 25 日结束。浮游动、植物的取样利用采水法，在试验池四角及中部各取水样 500 mL，混匀后各取 500 mL，浮游植物用 1.5% 鲁哥氏液现场固定，浮游动物用 5% 福尔马林现场固定。在实验室进行种类鉴别和数量分析。

**1.2.7 浮游生物多样性指数和均匀度计算：**个体细胞数量以  $N\times 10^4$  个细胞/ $m^3$  表示。采用 Shannon-Weaver 指数方程计算生物多样性指数( $H'$ )<sup>[5]</sup>，采用 Pielou 指数方程计算均匀度指数( $J$ )<sup>[6]</sup>。

其公式分别为：

(1) 香农-韦佛(Shannon-Weaver)多样性指数：

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中， $H'$ ：种类多样性指数； $S$ ：样品中的种类总数； $P_i$ ：第  $i$  种的个体数( $n_i$ )与总个体数( $N$ )的比

值( $n_i/N$ )。

(2) 皮诺(Pielou)均匀度指数：

$$J=H'/H_{\max}$$

式中， $J$ ：均匀度； $H'$ ：种类多样性指数； $H_{\max}$ ： $\log_2 S$ ，多样性指数的最大值； $S$ ：样品中的种类总数。

2 结果与分析

2.1 养殖生物的成活率及增长率

养殖结束时，对照组南美白对虾的成活率和体重增长率分别为  $43.2\%\pm 2.7\%$  和  $7\,700\%\pm 108\%$ ；试验组则为  $54.5\%\pm 3.1\%$  和  $9\,100\%\pm 110\%$  (表 1)。各项指标相比较，试验组较对照组分别提高 11.3%、1 400%，进行  $t$  检验差异性均显著。对照组扇贝的成活率和终末体重分别为  $26.2\%\pm 4.1\%$  和  $(20.5\pm 3.6)$  g，试验组则为  $27.3\%\pm 3.4\%$  和  $(19.8\pm 4.7)$  g，差异均不显著。三疣梭子蟹的成活率和体重增长率分别提高了 1.2% 和 37.5%，试验组和对照组的成活率差异不显著，而体重增长率差异显著。

2.2 养殖水体及底泥中的微生物数量

池塘底泥中异养菌密度多处在  $10^5$ – $10^6$  CFU/mL 水平，远高于养殖水体的

表 1 养殖生物的成活率和体重增长率					
Table 1 The survival rate and weight growth rate of breeding living beings					
组别 Group	种类 Species	成活率 Survival rate (%)	初始体重 Initial weight (g)	终末体重 Terminal weight (g)	增长率 Growth rate (%)
对照组 Control group	南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	43.2±2.7	0.003±0.001	23.1±2.0	7 700±108
试验组 Test group	南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	54.5±3.1	0.003±0.001	27.3±2.2	9 100±110
对照组 Control group	海湾扇贝 <i>Argopecten irradians</i>	26.2±4.1	—	20.5±3.6	—
试验组 Test group	海湾扇贝 <i>Argopecten irradians</i>	27.3±3.4	—	19.8±4.7	—
对照组 Control group	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	5.2±0.7	0.83±0.05	141.2±19.4	169.2±12.4
试验组 Test group	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	6.4±0.6	0.83±0.05	172.4±21.6	206.7±14.3

$10^3$ – $10^4$  CFU/mL。就养殖水体而言, 异养菌浓度呈现升高——降低——升高的趋势(图 1), 养殖前期对照组和试验组的异养菌浓度差异不大, 随着养殖时间的延长而差异加大; 异养菌其中的一部分——弧菌, 其浓度呈现先升高再降低的趋势, 8 月份弧菌总数达到最高(图 2)。由图 1 中数据可以看到, 试验池水中的异养菌总数始终高于对照组, 平均高出 58.5%, 二者差异极显著; 弧菌浓度试验组始终比对照组低, 平均降低了 39.7%,

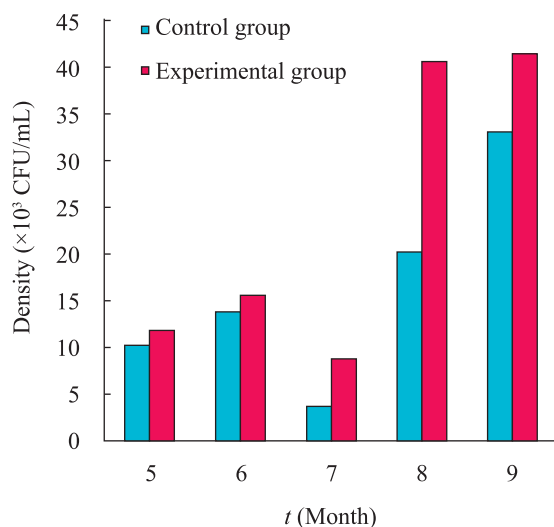


图 1 水体中异养菌浓度变化

Fig. 1 The density change of heterotrophic bacteria in the water

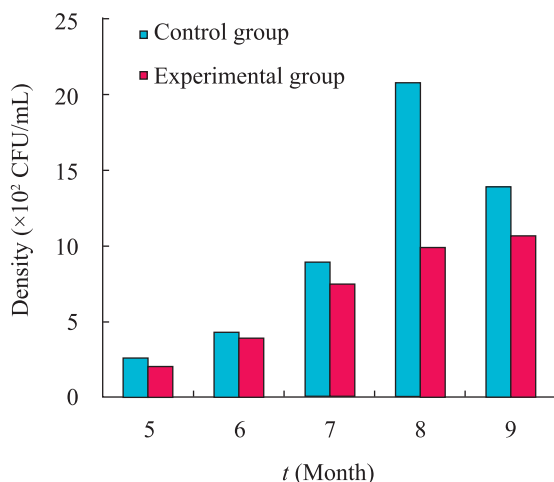


图 2 水体中弧菌浓度变化

Fig. 2 The density change of vibrios in the water

差异显著。就底泥而言, 试验组的异养菌总数也始终高于对照组, 约高出 23.5%–79.3%, 平均高出 51.3% (图 3)。

## 2.3 浮游植物的测定结果

**2.3.1 浮游植物的种类组成:** 7–9 月份, 浮游植物的物种类组成有硅藻(Bacillariophyta)、蓝藻(Cyanophyta)、绿藻(Chlorophyta)、隐藻(Cryptophyta)、裸藻(Euglenophyta)和甲藻(Pyrrophyta) 6 类, 共 61 种。以硅藻类为主, 33 种, 主要优势种和常见种有小环藻、菱形藻、舟形藻; 其次为绿藻类, 14 种, 主要种类有小球藻、娇柔塔胞藻; 蓝藻门有 4 种, 主要是衣藻; 裸藻门有裸藻; 甲藻类 10 种, 有海洋原甲藻、微小原甲藻、反曲原甲藻、春漆沟藻、锥状斯克里普藻等。

**2.3.2 浮游植物丰度:** 浮游植物丰度测定结果见表 2, 从表 2 中可以看出: 硅藻密度除 8 月份外, 密度都最高, 占有绝对优势, 平均密度达  $66.95 \times 10^4$  个/L (试验组)和  $24.92 \times 10^4$  个/L (对照组), 是其他藻类平均密度的数倍甚至几十倍。各门藻类平均密度从高到低的顺序依次为: 硅藻门>绿藻门>裸藻门>甲藻门>蓝藻门>隐藻门。对照池和试验池相比, 其蓝藻、甲藻出现的密度高, 硅藻出现的密度相对较低。

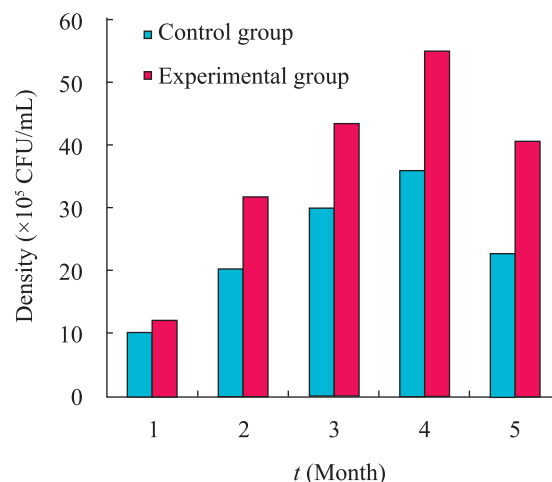


图 3 底泥中异养菌浓度变化

Fig. 3 The density change of heterotrophic bacteria in the sediment

**2.3.3 不同月份浮游植物生物量的分布：**分析表 2 和表 3 可知，各池塘藻类总平均密度变化趋势相一致，9 月份>8 月份>7 月份，但是试验组池塘内的藻类密度高于对照组，尤其是 7 月份和 9 月份，试验组藻类密度高出对照 1 倍

左右。  
**2.3.4 多样性指数和均匀度：**试验池和对照池浮游植物多样性指数和均匀度的变化情况基本一致，表现为养殖前期较高，养殖后期随着优势种的迅速繁殖而呈现逐渐降低的趋势(表 4)。

表 2 池塘浮游植物密度 Table 2 The density of phytoplankton in the seawater ponds (×10 <sup>4</sup> cells/L)								
种类 Species	组别 Group	日期 Date						
		7-09	7-12	7-23	8-13	9-11	9-19	平均
蓝藻门 Cyanophyta	试验组	1.90	0.40	0.06	2.00	1.10	0.69	1.03
	对照组	1.20	0.60	0.40	6.70	8.60	1.60	3.18
绿藻门 Chlorophyta	试验组	8.90	15.31	2.40	24.36	11.59	5.31	11.31
	对照组	13.20	6.44	1.10	14.58	5.90	6.34	7.93
硅藻门 Bacillariophyta	试验组	23.60	15.89	89.38	20.56	171.28	80.97	66.95
	对照组	26.22	13.05	25.20	8.36	47.40	29.30	24.92
裸藻门 Euglenophyta	试验组	12.30	15.65	1.12	10.89	2.40	17.43	9.97
	对照组	0	0.35	0.80	23.80	0	13.90	6.48
隐藻门 Cryptophyta	试验组	0.46	0	0	4.35	0.75	1.49	1.18
	对照组	0	0	1.10	3.04	3.10	4.10	1.89
甲藻门 Pyrrophyta	试验组	0	0.77	2.87	2.80	0.17	0	1.10
	对照组	0	8.96	5.30	3.10	0.57	14.97	5.48

表 3 不同月份浮游植物生物量的分布 Table 3 The biomass distribution of phytoplankton (×10 <sup>4</sup> cells/L)			
池号 Pool number	月份 Month		
	7 月份	8 月份	9 月份
试验组 Experimental group	63.67	64.96	146.59
对照组 Control group	34.64	59.58	67.89

表 4 试验池浮游植物多样性指数和均匀度 Table 4 The diversity index and evenness of phytoplankton in the test ponds				
日期 Date	试验组 Experimental group		对照组 Control group	
	H'	J	H'	J
07-09	2.42	0.81	3.09	0.72
07-12	1.87	0.46	3.62	0.82
07-23	2.31	0.60	2.28	0.54
08-13	2.82	0.76	2.55	0.67
09-11	0.67	0.15	2.35	0.58
09-19	0.78	0.16	1.20	0.26

2.4 浮游动物的测定结果

**2.4.1 种类组成:** 如表 5 所示, 共出现浮游动物 8 类 18 种, 其中以桡足类种类最多, 试验池有 6 种, 对照池 3 种; 其次是浮游幼虫, 有 4 种; 水母类、贝类幼虫、螺类幼虫、被囊类、毛颚类、十足类各 1 种。

**2.4.2 浮游动物多样性及均匀度:** 分析表 6 可知,

养殖池浮游动物种类多样性指数和种类均随着时间的推移有增加的趋势。

**2.4.3 不同月份浮游动物生物量的分布:** 从表 7 可见, 试验池和对照池浮游动物密度变化趋势相同, 7 月密度最高, 8 月次之, 9 月最低。密度下降梯度将近 10 倍。这与浮游植物密度变化相反。

表 5 试验池浮游动物种类组成 Table 5 The species composition of zooplankton in the test ponds				
分类 Status	种类 Species	试验组 Experimental group	对照组 Control group	
轮虫类 Rotifera		+	+	
桡足类 Copepod	小拟哲水蚤	+	+	
	双毛纺锤哲水蚤	+		
	拟长腹剑水蚤	+	+	
	真刺唇角水蚤	+		
	挪威小星猛水蚤	+		
	双刺唇角水蚤	+	+	
水母类 Medusa	小介穗水母		+	
贝类 Shellfish		+	+	
螺类 Snail		+	+	
被囊类 Tunicate	异极柱囊虫			
毛颚类 Chaetognatha	强壮箭虫		+	
浮游幼虫 Planktonic Larvae	短尾类的蚤状幼体			
	桡足类幼体		+	
	多毛类幼体	+	+	
	其他浮游幼虫	+	+	
原生动物类 Protozoa	夜光虫		+	
十足类 Decapoda	虾蛄	+		

注: +: 出现.  
Note: +: Appearance.

表 6 浮游动物的多样性指数及均匀度 Table 6 The diversity index and evenness of zooplankton in the test ponds				
日期 Date	试验组 Experimental group		对照组 Control group	
	$H'$	$J$	$H'$	$J$
7-23	1.59	0.61	1.14	0.49
8-13	1.19	0.76	2.21	0.74
9-11	2.34	0.93	0.81	0.31
9-19	1.56	0.75	1.41	0.89

表 7 池塘浮游动物密度分布  
Table 7 The density distribution of zooplankton in the test ponds

池号 Pool number	密度 Density (×10 <sup>4</sup> cells/m <sup>3</sup> )		
	7 月 July	8 月 August	9 月 September
试验组 Experimental group	69.37	11.39	4.53
对照组 Control group	63.90	9.30	1.65

3 讨论

3.1 微生态制剂对池塘生物的影响

3.1.1 微生态制剂对池塘水体及沉积物中微生物的影响：从实验结果分析，泼洒益生菌制剂在一定程度上使养殖环境中的微生物组成得到优化，促使水体和底泥沉积物中总异养菌数的增殖，其密度在整个养殖期较对照组提高 50% 以上，而水中致病菌——弧菌的数量在整个养殖期较对照组降低了 40%。微生态制剂抑制弧菌的结论与王彦波等<sup>[7]</sup>相同。

3.1.2 微生态制剂对养殖生物的影响：该微生态制剂能够显著提高南美白对虾和三疣梭子蟹的存活率和生长速度，试验组南美白对虾的存活率和体重增长率较对照组分别提高了 11.3% 和 1 400%，试验组三疣梭子蟹的存活率和体重增长率较对照组分别提高了 1.2% 和 37.5%。证明了微生态制剂在水产养殖中的作用机理<sup>[8-9]</sup>，主要表现在以下 3 个方面：(1) 有益菌在肠道内大量繁殖，抑制有害生物的生长，提高养殖品种的健康水平<sup>[10-12]</sup>。(2) 益生菌刺激免疫系统，提高免疫能力<sup>[13]</sup>；(3) 有益菌能分解水体中的有害物质变为无害物质，改善了养殖水体的环境条件<sup>[14-16]</sup>。

3.1.3 微生态制剂对浮游生物的影响：试验池和对照池浮游植物种类组成基本相似，但各门藻类密度相差很大。试验池和对照池相比，试验池硅藻的平均密度高出对照池 2 倍多，蓝藻和甲藻的平均密度比对照池低 3 倍和 5 倍。说明益生菌对蓝藻、甲藻生长繁殖有抑制作用。有益微生物能

降解养殖水体中的废物和有毒物质，为以单胞藻类为主的浮游植物提供营养物质，促进浮游植物的繁殖。浮游植物的光和作用，又为底栖动物、养殖动物和有机物的分解提供氧气，从而在养殖池塘内形成一个良性的生态循环。

总之，微生态制剂的投放改变了养殖池塘的生物组成，优化了群落结构，使池塘的生态环境向着有利于养殖生物的方向发展，从而提高了养殖生物的生长速度。

3.2 微生态制剂的应用前景

随着水产养殖业的发展，水环境的保护与日趋严重的养殖污染之间的矛盾也日益突出。如何保证水产养殖业健康发展，满足人们对水产品的需求，降低养殖污染，成为当前急需解决的问题。

益生菌的作用愈来愈被人们所重视，在鱼、虾、贝养殖中均报道有益生菌的使用。在美国、日本、欧洲、东南亚等发达国家的水产养殖业已显示出良好的经济效益。在水质净化方面，益生菌已成为今后解决养殖污染的一个重要方法。

从目前来看，益生菌有较好的发展前景，但也存在一些亟待解决的问题：如益生菌大量培养技术有待进一步提高；益生菌在养殖动物体内或在养殖水体中的存活和生物膜稳定性有待增强；益生菌的大量使用引起的生态安全问题有待进一步研究；益生菌的合理搭配、优化组合是制造复合菌剂产品的关键所在。

在我国，益生菌的开发与应用起步较晚，但随着水产养殖集约化程度的提高以及养殖规模



的扩大, 养殖动物的疾病暴发日益频繁。由于用药缺乏科学的指导, 导致抗生素滥用的现象十分普遍, 从而引起细菌抗药性的增加以及药物残留严重。因此, 如何控制病害的发生已经成为水产养殖业发展急需解决的问题。微生态制剂可有效削减自身污染, 保持养殖生物在一个良好、稳定的养殖环境下生长, 利于减少使用药物, 提高养殖生物的规格与品质, 降低养殖成本, 提高养殖成功率。微生态制剂的使用是当前实现健康、环保、绿色、无公害养殖的有效措施之一, 符合环保、友好的水产养殖业的发展要求。

## 参 考 文 献

- [1] Gowen RJ, Bradbury NB. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review[J]. *Oceanography Marine Biology an Annual Review*, 1987, 25: 563–575.
- [2] Ackefors H, Enell M. Discharge of nutrients from Swedish fishfarming to adjacent sea areas[J]. *Ambio*, 1990, 19(1): 28–35.
- [3] Robertson AI, Phillips MJ. Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs[J]. *Hydrobiologia*, 1995, 295(1/3): 311–321.
- [4] Ronald M Atlas. Handbook of Microbiological Media, Fourth Edition[M]. Washington, D. C.: CRC Press, 2010: 381–392.
- [5] Shannon CE, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963: 107–115.
- [6] Pielou EC. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 10(2): 370–383.
- [7] 王彦波, 查龙应, 许梓荣. 微生态制剂改善对虾养殖池塘底质的效果[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1765–1767.
- [8] 王彦波, 许梓荣, 邓岳松. 微生态制剂在水产养殖中的作用机理研究[J]. *中国饲料*, 2004, (12): 31–32.
- [9] 贺艳辉, 张红燕, 袁永明, 等. 净水微生物对水产养殖环境的修复作用[J]. *金陵科技学院学报*, 2005, 21(3): 96–100.
- [10] 杜震宇, 刘永刚, 何建国, 等. 水产动物益生菌研究进展[J]. *中国微生态学*, 2002, 14(1): 56–60.
- [11] 王华, 陈有容. 益生菌和水产动物饲料添加剂[J]. *中国微生态学杂志*, 2001, 13(3): 181–182.
- [12] 石军, 陈安国, 邵明丽. 益生菌在水产养殖中应用的研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2002(4): 29–31.
- [13] Rengpipat S, Rukpratanpom S, Piyatirativorakul S, et al. Immunity enhancement in black tiger shrimp by a probiotic bacterium[J]. *Aquaculture*, 2000, 191(4): 271–281.
- [14] 张庆, 李卓佳, 陈康德. 复合微生物对养殖水体生态因子的影响[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(1): 43–47.
- [15] 李卓佳, 张庆. 有益微生物改善养殖生态研究: 复合微生物分解有机底泥及对鱼类的促生长效应[J]. *湛江海洋大学学报*, 1998, 3(1): 5–8.
- [16] 周波, 陈先均. 复合微生物制剂对水质因此降解效果初探[J]. *水利渔业*, 2006, 26(3): 68–69.