

# 复合硅藻基质微生态制剂在青虾养殖的应用

谢钦铭<sup>1,2\*</sup>, 苏世杰<sup>1</sup>, 辜光磊<sup>1</sup>, 杨贵妃<sup>1</sup>, 岳紫薇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>集美大学水产学院, 厦门 福建

<sup>2</sup>农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 厦门 福建

收稿日期: 2022年8月10日; 录用日期: 2022年8月20日; 发布日期: 2022年9月2日

## 摘要

为探究复合型的益生菌对青虾养殖中水质生态调节的使用效果, 本文以硅藻精土与益生菌群如枯草芽孢杆菌等组合制作成“复合硅藻基质微生态制剂”, 试验以不添加“复合硅藻基质微生态制剂”的2口池塘为对照组, 添加“复合硅藻基质微生态制剂”的2口池塘为处理组, 青虾放养密度均为45 ind./m<sup>2</sup>, 试验期间定时检测养殖池塘的营养盐指标, 也抽样测量青虾的生长指标。结果表明: 1) “复合硅藻基质微生态制剂”能有效降低虾池水体中氨氮、亚硝氮和总氮的累积速率, 处理池组的三氮含量和磷酸盐含量均显著低于对照池组(P < 0.05); 养殖周期终末时, “复合硅藻基质微生态制剂”对总氨氮、亚硝氮、总氮、无机磷和总磷的清除率分别为53.55%、32.09%、27.37%、34.48%和57.58%。2) 添加“复合硅藻基质微生态制剂”的试验处理池组青虾增重率和增长率均显著高于对照池组, 说明“复合硅藻基质微生态制剂”明显促进青虾的生长, 青虾增长率提高了14.20%, 青虾增重率提高了402.63%, 从而有效地提高了青虾商品规格。

## 关键词

硅藻精土, 微生态制剂, 营养盐, 青虾, 增长率, 增重率

## Study on Application of Complex Diatomite-Based Microecologics in *Macrobrachium nipponense* Farming Pond

Qinming Xie<sup>1,2\*</sup>, Shijie Su<sup>1</sup>, Guanglei Gu<sup>1</sup>, Guifei Yang<sup>1</sup>, Ziwei Yue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fishery College, Jimei University, Xiamen Fujian

<sup>2</sup>Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen Fujian

Received: Aug. 10<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2022

\*通讯作者。

文章引用: 谢钦铭, 苏世杰, 辜光磊, 杨贵妃, 岳紫薇. 复合硅藻基质微生态制剂在青虾养殖的应用[J]. 水产研究, 2022, 9(3): 105-113. DOI: 10.12677/ojfr.2022.93012

## Abstract

To explore the effect of compound probiotics on the ecological regulation of water quality in *Macrobrachium nipponense* farming pond, In this paper, diatomite and probiotics such as *Bacillus subtilis* are combined into “complex diatomite-based microecologics”, two ponds which did not add “complex diatomite-based microecologics” as check group, two ponds which added “complex diatomite-based microecologics” as treatment group, the stocking density of *Macrobrachium nipponense* was 45 ind./m<sup>2</sup> in each pond, during the experiment, the nutrient index of pond water were timing measured, the growth index of *Macrobrachium nipponense* was also sampling measured. Results showed that, 1) the cumulative rate of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen and total nitrogen had been reduced effectively by “complex diatomite-based microecologics”, three nitrogen content and phosphate content of treatment pond group was Significantly lower than those of check pond group (P < 0.05). At the end of the breeding cycle, the cleaning rate of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, total nitrogen, inorganic phosphorus and total phosphorus respectively were 53.55%, 32.09%, 27.37%, 34.48% and 57.58% by “complex diatomite-based microecologics”. 2) The weight gain rate (WGR) and length gain rate (LGR) of *Macrobrachium nipponense* in “complex diatomite-based microecologics” treat pond group were significantly higher than those of the control pond group, “complex diatomite-based microecologics” was showed obviously promote the growth of *Macrobrachium nipponense*, the length gain rate of *Macrobrachium nipponense* had been increased more 14.20% than check group, the weight gain rate of *Macrobrachium nipponense* had been increased more 402.63% than check group, thus effectively improve the commodity specifications of *Macrobrachium nipponense*.

## Keywords

Diatomite, Microecologics, Nutrients, *Macrobrachium nipponense*, Length Gain Rate, Weight Gain Rate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

青虾(*Macrobrachium nipponense*)即日本沼虾、别名河虾,是我国和日本特有的虾种,由于其肉质相当细嫩、味道鲜美、营养丰富,已深受消费者喜爱,又由于其耐低温环境适应性强,生长速度较快,且饲料和苗种容易解决,病害较少,投资较少,并且青虾市场的需求旺盛,养殖经济效益好,有稳定的市场基础,因此青虾是我国养殖户普遍青睐的养殖品种。青虾从我国自上世纪 60 年代即开始人工养殖,在长江流域等地区青虾养殖业已经成为实现农民增收、农业增效,促进渔业发展的重要支柱产业,现已成为一个年产量 12 吨以上的养殖品种[1]。然而,与其他水产养殖品种一样,高密度青虾集约化养殖也会带来养殖水域的水质污染,水产养殖自身污染也是青虾养殖业面临的主要环境问题[2]。

水产养殖的效果是与水体环境条件密切相关,近年来,为了改良水产养殖环境,造就了微生态制剂的兴起[3] [4], 益生菌团作为微生态调节剂核心组成,主要利用微生物群落分解转化养殖中的残余饵料、鱼虾排泄物以及其他有毒、有害物质,以达到对水产养殖水体环境和底质环境进行生物净化作用;益生菌还能拮抗病原体,从而对养殖动物产生有益的影响,因此,微生态制剂逐渐广泛应用于水产养殖水体

[5]-[14]。然而, 微生物制剂在实际应用中也存在缺陷, 虽然微生物制剂不仅不会形成二次污染、费用较省, 但由于微生物极易受外界环境因子影响, 因而其使用效果不稳定, 为了提高菌群在不同环境中的适应性和提高繁殖数量, 需要添加载体基质以稳定益生菌的微环境, 因此, 需要研究固附基质材料可稳定改善微生物制剂的微环境, 这些基质大多作为吸附和悬浮载体, 且能加工成固体粉剂, 故可以与益生菌粉剂混合, 加入载体基质形成的复合载体有较强的耐受性、漂浮性、悬浮性, 近年人工基质与益生菌组合形成的复合微生物制剂在水产养殖也得到应用[15], 尤其是在虾类养殖方面已得到推广应用[16] [17] [18] [19]。在生产中应用的基质有硅藻精土、沸石、海泡石等[20] [21] [22], 但由于硅藻土的纳米级多孔特性, 在吸附处理重金属、有机染料等污染物方面得到更广泛的应用[23]-[28]。改性了的硅藻土在污染处理中除磷和除藻的效果也得到应用[29] [30], 因此利用硅藻土与益生菌组合成复合微生物制剂产品, 对解决当前利用微生物制剂对水产养殖业提高生物净化效率具有重要意义。

本研究以谢钦铭 2010 年的发明专利[31]纳米微生物制剂的制备方法为参考, 采用硅藻精土为附着基质自制产品 - “复合硅藻基微生物制剂” 在青虾养殖生产实践中进行应用试验, 为指导微生物制剂在水产养殖业的健康生产提供参考依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 种苗

青虾种苗来源于当地选育亲本繁育的子一代良种, 青虾苗放养规格的个体全长为  $3.52 \text{ cm} \pm 0.46 \text{ cm}$ , 个体平均体重为  $0.38 \text{ g} \pm 0.06 \text{ g}$ 。

### 2.2. 复合硅藻基质微生物制剂

自制复合硅藻基质微生物制剂主要成分为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)、地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)和沼泽假单胞菌(*Rhodopseudomonas palustris*)、硝化菌群(*Nitrifying bacteria*)、蛭弧菌(*Bdellovibrio bacteriovorus*)和光合细菌群(*Photosynthetic bacteria*, 简称 PSB)。固定附着基质的材料为硅藻精土(200 目), 粘合剂为褐藻胶和壳聚糖。

### 2.3. 试验设计

#### 2.3.1. 池塘选择

本试验于 2019 年 07 月 02 日~11 月 10 日池塘进行。选择养殖条件相近的 4 口池塘, 每个池塘面积均约为 2 亩, 其中 1 号池和 2 号池为试验池, 3 号池和 4 号池为对照池。

#### 2.3.2. 池塘准备

首先排干池塘原水, 清除约 15 厘米厚淤泥, 并在青虾苗放养前 7 天亩用生石灰 100 kg 进行清塘, 彻底杀灭病原体及敌害生物, 清塘后 2~3 天, 加注水 60~80 厘米, 加施有机肥  $200 \text{ kg}/667 \text{ m}^2$ , 以培育天然饵料生物。

#### 2.3.3. 适时放苗

2019 年 7 月 10 日亩放以上规格的青虾良种苗 3.0 万尾, 即  $45 \text{ 尾}/\text{m}^2$ 。

#### 2.3.4. 饲料投喂

试验期间全程投喂人工配合饲料(粗蛋白含量 35%), 每天投喂 2 次, 投喂时间分别为 6:30~8:30, 17:30~18:30。

### 2.3.5. 水质管理

本试验采用的微生物制剂及施用剂量和方法为：1号池和2号池为对照池，不施用任何微生物制剂；3号池和4号池施用“复合硅藻基质微生态制剂”，整个养殖期间施加3次，每次的施用量为5 Kg/亩，第1次、第2次和第3次施加“复合硅藻基质微生态制剂”时间分别为7月27日、8月25日和9月22日。实验期间不换水，只补充蒸发和渗漏水，保持水深在1 m (120 cm ± 20 cm)左右。每天投饵2次，分别为06:30和18:30。

### 2.4. 水质测定方法

本实验主要监测水体中的氨氮、亚硝氮、总氮、磷酸盐和总磷，采样后立即带回实验室测定水质，测定方法均按《水和废水监测分析方法》[32]。每月采水样1次，采样时间均于上午08:30~10:30采集。

### 2.5. 数据处理与统计分析

1) 对营养盐的清除率按下式计算：

$$\text{清除率} CR(\%) = (V_0 - V_i) / V_0 \times 100\%$$

式中， $CR$ 为营养盐清除率， $V_0$ 为对照组的营养盐质量浓度(mg/L)， $V_i$ 为试验组的营养盐质量浓度(mg/L)。

2) 养殖青虾的生长指标按下式进行计算：

$$\text{增长率} LGR(\%) = (\text{末期全长} - \text{初始全长}) / \text{初始全长} \times 100\%;$$

$$\text{增重率} WGR(\%) = (\text{末期体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重} \times 100\%.$$

数据取平均值 ± 标准差( $X \pm SD$ )，使用SPSS (17.0)分析软件对数据进行单因素方差分析，当差异显著时，用Duncan检验法进行多重比较，处理间 $P < 0.05$ 则认为差异显著。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 养殖水质营养盐指标的变化

#### 3.1.1. 养殖水体中氨氮、亚硝氮、和总氮的月变化

1) 养殖水体中氨氮的月变化

青虾养殖试验的池塘水体中氨氮的月变化测定结果见表1。

**Table 1.** The change of ammonia nitrogen in aquaculture pond waterbody (unit: mg/L)

**表 1.** 养殖池塘水体中总氨氮的变化(单位: mg/L)

处理 Treatment	采样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7月27日	8月25日	9月22日	10月17日	11月10日
对照池组 CK	0.119 ± 0.051a	0.126 ± 0.004a	0.177 ± 0.021a	0.187 ± 0.012a	0.211 ± 0.036a
试验池组 TR	0.077 ± 0.008b	0.078 ± 0.008b	0.082 ± 0.005b	0.085 ± 0.002b	0.098 ± 0.013b

注：表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表1中可以看出，总氨氮在养殖的过程中有明显的积累趋势，处理组与对照池塘间差异显著，处理组总氨氮积累速率均显著低于对照组( $P < 0.05$ )，养殖终末期(11月)处理组的总氨氮含量仅是对照组的46.45%，即总氨氮的清除率为53.55%。

## 2) 养殖水体中亚硝氮的月变化

青虾养殖试验的池塘水体中亚硝氮的月变化测定结果见表 2。

**Table 2.** The change of nitrite nitrogen in aquaculture pond waterbody (unit:  $\mu\text{g/L}$ )

**表 2.** 养殖池塘水体中亚硝氮的变化(单位:  $\text{mg/L}$ )

处理 Treatment	采样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7 月 27 日	8 月 25 日	9 月 22 日	10 月 17 日	11 月 10 日
对照池组 CK	$4.305 \pm 0.305\text{a}$	$4.510 \pm 0.495\text{a}$	$4.590 \pm 0.509\text{a}$	$4.660 \pm 0.375\text{a}$	$5.110 \pm 0.361\text{a}$
试验池组 TR	$3.850 \pm 0.199\text{a}$	$3.510 \pm 0.792\text{a}$	$3.620 \pm 0.834\text{a}$	$3.450 \pm 0.962\text{a}$	$3.470 \pm 0.905\text{b}$

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

由表 2 可以看出, 亚硝氮在养殖的过程中有明显的积累, 试验期间的 7~10 月虽然各试验处理池组亚硝氮含量均低于对照组, 但与对照组间差异不显著( $P > 0.05$ ), 但在 11 月的处理池组亚硝氮含量显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 养殖终末期(11 月)处理组的亚硝氮含量仅是对照组的 67.91%, 即亚硝氮的清除率为 32.09%。

## 3) 养殖水体中总氮的月变化

青虾养殖试验的池塘水体中总氮的月变化测定结果见表 3。

**Table 3.** The change of total nitrogen (TN) in aquaculture pond waterbody (unit:  $\text{mg/L}$ )

**表 3.** 养殖池塘水体中总氮的变化(单位:  $\text{mg/L}$ )

处理 Treatment	采样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7 月 27 日	8 月 25 日	9 月 22 日	10 月 17 日	11 月 10 日
对照池组 CK	$1.111 \pm 0.130\text{a}$	$1.302 \pm 0.151\text{a}$	$1.606 \pm 0.117\text{a}$	$2.109 \pm 0.064\text{a}$	$2.298 \pm 0.086\text{a}$
试验池组 TR	$0.965 \pm 0.018\text{a}$	$1.083 \pm 0.092\text{a}$	$1.427 \pm 0.139\text{a}$	$1.595 \pm 0.503\text{a}$	$1.669 \pm 0.492\text{b}$

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 3 的结果显示出, 水体中的总氮积累是明显的, 试验期间的 7~10 月虽然各试验处理池组总氮含量均低于对照组, 但与对照组间差异不显著( $P > 0.05$ ), 但在 11 月的处理池组总氮含量显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 养殖终末期(11 月)处理组的总氮含量仅是对照组的 72.63%, 即总氮的清除率为 27.37%。

### 3.1.2. 水体中无机磷和总磷的变化

#### 1) 养殖水体中无机磷和总磷的月变化

青虾养殖试验的池塘水体中无机磷的月变化测定结果见表 4。

**Table 4.** The change of inorganic phosphate in aquaculture pond waterbody (unit:  $\text{mg/L}$ )

**表 4.** 养殖池塘水体中无机磷的变化(单位:  $\text{mg/L}$ )

处理 Treatment	采样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7 月 27 日	8 月 25 日	9 月 22 日	10 月 17 日	11 月 10 日
对照池组 CK	$0.026 \pm 0.003\text{a}$	$0.022 \pm 0.005\text{a}$	$0.028 \pm 0.004\text{a}$	$0.025 \pm 0.007\text{a}$	$0.029 \pm 0.006\text{a}$
试验池组 TR	$0.017 \pm 0.002\text{b}$	$0.012 \pm 0.004\text{b}$	$0.013 \pm 0.005\text{b}$	$0.014 \pm 0.002\text{b}$	$0.019 \pm 0.004\text{b}$

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

结果如表 4 所示, 在养殖水体中的无机磷无明显的积累趋势, 但试验处理池的无机磷含量显著均低

于对照池( $P < 0.05$ ), 养殖终末期(11月)处理组的无机磷含量仅是对照组的 65.52%, 即无机磷的清除率为 34.48%。

## 2) 养殖水体中总磷的月变化

青虾养殖试验的池塘水体中总磷的月变化测定结果见表 5。

**Table 5.** The change of total phosphate (TP) in aquaculture pond waterbody (unit: mg/L)

**表 5.** 养殖池塘水体中总磷的变化(单位: mg/L)

处理 Treatment	采样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7月27日	8月25日	9月22日	10月17日	11月10日
对照池组 CK	0.084 ± 0.004a	0.104 ± 0.012a	0.113 ± 0.015a	0.092 ± 0.006a	0.099 ± 0.011a
试验池组 TR	0.065 ± 0.011b	0.087 ± 0.018b	0.067 ± 0.006b	0.050 ± 0.006b	0.042 ± 0.009b

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

结果如表 5 所示, 在青虾养殖过程中总磷波动较大, 没有积累; 但在各个时期处理池的总磷含量均显著低于对照池组( $P < 0.05$ ), 养殖终末期(11月)处理组的总磷含量仅是对照组的 42.42%, 即总磷的清除率为 57.58%。

## 3.2. 青虾养殖池塘的生长指标

在 9 月 22 日、10 月 27 日、11 月 10 日用地笼对 2 口对照池和 2 口试验处理池进行随机打样, 每池各抽取 15 只青虾测量全长和体重, 测定的结果见表 6 和表 7。

**Table 6.** Whole-length of *Macrobrachium nipponense* in treated ponds and check pond

**表 6.** 养殖试验处理池与对照池青虾体长

体长 (cm)	打样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7月8日(初长)	9月22日	10月17日	11月10日(末长)	增长率(%)
试验池组 TR	3.52 ± 0.46a	5.98 ± 0.15a	6.35 ± 0.35a	7.85 ± 0.23a	123.01
对照池组 CK	3.52 ± 0.46a	5.78 ± 0.18a	6.08 ± 0.32a	7.35 ± 0.22b	108.81

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

**Table 7.** Body-weight of *Macrobrachium nipponense* in treated ponds and check pond

**表 7.** 青虾养殖试验处理池与对照池青虾体重

体重(g)	打样时间 Sampling Time (2019 年)				
	7月8日(初重)	9月22日	10月17日	11月10日(末重)	增重率(%)
试验池组 TR	0.38 ± 0.06a	2.45 ± 0.23a	4.25 ± 0.32a	5.78 ± 0.53a	1421.05
对照池组 CK	0.38 ± 0.06a	2.10 ± 0.20a	3.86 ± 0.30a	4.25 ± 0.61b	1018.42

注: 表中同列标有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 6 和表 7 中所示, 试验前期(9 月和 10 月的抽样测量结果)试验处理池的青虾平均全长和平均体重均略高于对照池, 但差异不显著( $P > 0.05$ ), 但在 11 月份的收获时差异明显( $P < 0.05$ ), 说明了复合硅藻

基微生态制剂对青虾规格有明显促生长作用，增长率提高了 14.20%，而增重率提高了 402.63%。

## 4. 讨论

近年来，多个研究[33] [34] [35] [36]报道了添加复合微生物制剂能有效降低氨氮、亚硝氮和磷酸盐等营养盐的含量，并可保持水体中稳定的藻相。本实验的结果也表明，本试验所用的“复合硅藻基微生态制剂”具有较高的活性，是由于使用了硅藻精土为载体基质可使益生菌群在水体中迅速繁殖成为优势菌群，它们发挥固氮、氨化、硝化、反硝化等作用，能将青虾排泄物、残饵等迅速降解为无毒害的营养物质，故有效减少了青虾养殖池中氮积累速率，降低了水体中氨氮、亚硝氮和磷酸盐含量，具有快速消除青虾养殖池中的自身污染物，达到修复对虾养殖环境的潜力。另外，有文献报道[9]了复合微生态制剂能促进虾类生长，从本文试验的青虾生长结果来看，“复合硅藻基质微生物制剂”也能对青虾有明显促生长作用，其原因可能是“复合硅藻基质微生物制剂”能有效地改善养殖池塘中藻相[37]，即减少有害的蓝藻，增加有益的藻类和浮游动物的生物量，这个推论还需要进一步的试验研究来验证。

## 5. 结论

### 5.1. 复合硅藻基质微生态制剂对氮磷营养盐的降解清除效果

1) 复合硅藻基质微生态制剂可显著降低水体中总氨氮的积累速率，养殖周期终末时，复合硅藻基质微生态制剂对总氨氮的清除率为 53.55%；

2) 复合硅藻基质微生态制剂可显著降低水体中亚硝氮的积累速率，养殖周期终末时，复合硅藻基质微生态制剂对亚硝氮的清除率为 32.09%；

3) 复合硅藻基质微生态制剂可显著降低水体中总氮的积累速率，养殖周期终末时，复合硅藻基质微生态制剂对总氮的清除率为 27.37%；

4) 复合硅藻基质微生态制剂可显著降低水体中无机磷的积累速率，养殖周期终末时，复合硅藻基质微生态制剂对无机磷的清除率为 34.48%；

5) 复合硅藻基质微生态制剂可显著降低水体中总磷的积累速率，养殖周期终末时，复合硅藻基质微生态制剂对总磷的清除率为 57.58%。

### 5.2. 复合硅藻基质微生态制剂对青虾生长的影响

复合硅藻基微生态制剂对青虾有明显促生长作用，提高了 14.20%的青虾增长率，提高了 402.63%的青虾增重率。

## 致 谢

本文受到以下项目资助：福建省星火计划〈新型对虾生态饲料的研发及其推广应用〉[编号：2019S0026]；福建省星火计划〈纳米微生物制剂调节青虾水体技术应用示范与推广〉[编号：2019S0039]。

## 参考文献

- [1] 宋迁红, 赵永锋. 我国青虾产业现状浅析[J]. 科学养鱼, 2018(6): 13-16.
- [2] 徐世泽. 池塘青虾养殖高产关键技术[J]. 中国水产, 2010(7): 38-39.
- [3] 杨先乐. 微生态系统与水产动物的健康养殖[J]. 内陆水产, 2000, 25(2): 23-24.
- [4] 李健, 孙修涛, 王群, 戴芳钰, 刘得月, 马向东. 微生态制剂在甲壳动物养殖中的应用研究[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(2): 26-31.
- [5] 熊伟, 梁运祥, 戴经元, 李学雄. 枯草芽胞杆菌对斑节对虾饲养池水净化作用的初步研究[J]. 华中农业大学学报,

- 2002, 22(3): 247-250.
- [6] 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.
- [7] 方波, 潘鲁青, 董双林, 王国峰, 张乐春, 王桓台. 微生态制剂在沿黄低洼盐碱地凡纳滨对虾养殖中的应用研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(1): 1-3+72.
- [8] 肖国华. 微生物在水产养殖环境生物修复中的作用机制[J]. 河北渔业, 2006(10): 1-3.
- [9] 李晓英, 董志国, 阎斌伦, 邵周泽, 郑倩, 李青. 复合微生态制剂对中国对虾养殖池塘水质和生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2007(19): 27-29.
- [10] Yang, Y., Xia, J., Liu, Y., et al. (2021) Safety Evaluation for the Use of *Bacillus amyloliquefaciens* in Freshwater Fish Cultures. *Aquaculture Reports*, **21**, Article ID: 100822. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100822>
- [11] Ding, Y., Chen, N., Ke, J., et al. (2021) Response of the Rearing Water Bacterial Community to the Beneficial Microalga *Nannochloropsis oculata* Cocultured with Pacific white Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, **542**, Article ID: 736895. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736895>
- [12] Zhang, Y., Ji, T., Jiang, Y., et al. (2022) Long-Term Effects of three Compound Probiotics on Water Quality, Growth Performances, Microbiota Distributions and Resistance to *Aeromonas veronii* in Crucian Carp *Carassius auratus gibelio*. *Fish & Shellfish Immunology*, **120**, 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.036>
- [13] Zhou, Q., Li, K., Jun, X. and Bo, L. (2009) Role and Functions of Beneficial Microorganisms in Sustainable Aquaculture. *Bioresource Technology*, **100**, 3780-3786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.037>
- [14] Qi, Z., Zhang, X.-H., Boon, N. and Bossier, P. (2009) Probiotics in Aquaculture of China—Current State, Problems and Prospect. *Aquaculture*, **290**, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.012>
- [15] Huchette, S.M.H., Beveridge, M.C.M., Baird, D.J., et al. (2000) The Impacts of Grazing by Tilapias (*Oreochromis niloticus* L.) on Periphyton Communities Growing on Artificial Substrate in Cages. *Aquaculture*, **186**, 45-60. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00365-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00365-8)
- [16] Arnold, S.J., Sellars, M.J., Crocos, P.J., et al. (2005) Response of Juvenile Brown Tiger Shrimp (*Penaeus esculentus*) to Intensive Culture Conditions in a Flow through Tank System with Three-Dimensional Artificial Substrate. *Aquaculture*, **246**, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.020>
- [17] Ballester, E.L.C., Wasielesky Jr., W., Olivera Cavalli, R., et al. (2007) Nursery of the Pink Shrimp *Fantepenaeus paulensis* in Cages with Artificial Substrates: Biofilm Composition and Shrimp Performance. *Aquaculture*, **269**, 355-362. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.003>
- [18] Arnold, S.J., Coman, F.E., Jackson, C.J., et al. (2009) High-Intensity, Zero Water-Exchange Production of Juvenile Tiger Shrimp, *Penaeus monodon*: An Evaluation of Artificial Substrates and Stocking Density. *Aquaculture*, **293**, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.049>
- [19] Schweitzer, R., Arantes, R., Baloi, M.F., et al. (2013) Use of Artificial Substrates in the Culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at Different Stocking Densities: Effects on Microbial Activity, Water Quality and Production Rates. *Aquaculture Engineering*, **54**, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.12.003>
- [20] Xu, K., Liu, Y., Wang, Y., et al. (2018) A Novel Wastewater Treating Material: Cationic Poly Acrylamide/ Diatomite Composite. *Flocculant Journal of Polymers and the Environment*, **26**, 3051-3059. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1176-9>
- [21] Roshanfekar, L. and Anbia, M. (2021) Zeolite-Based Composites for the Adsorption of Toxic Matters from Water: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **9**, Article ID: 106088. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106088>
- [22] Song, N., Hursthouse, A., McLellan, I. and Wang, Z. (2021) Treatment of Environmental Contamination Using Sepiolite: Current Approaches and Future Potential. *Environmental Geochemistry and Health*, **43**, 2679-2697. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00705-0>
- [23] Aguedal, H., Iddou, A., Aziz, A., et al. (2019) Effect of Thermal Regeneration of Diatomite Adsorbent on Its Efficacy for Removal of Dye from Water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **16**, 113-124. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1647-5>
- [24] Danil de Namor, A.F., El Gamouz, A., et al. (2012) Turning the Volume down on Heavy Metals Using Tuned Diatomite. A Review of Diatomite and Modified Diatomite for the Extraction of Heavy Metals from Water. *Journal of Hazardous Materials*, **241-242**, 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.09.030>
- [25] Li, Y., Wang, X., Xu, H., et al. (2018) High Zinc Removal from Water and Soil Using Struvite-Supported Diatomite Obtained by Nitrogen and Phosphate Recovery from Wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, **16**, 569-573. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.09.030>
- [26] Wang, Z., Yang, Y., Qu, X., et al. (2005) Decolouring Mechanism of Zhejiang Diatomite. Application to Printing and



- Dyeing Wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, **3**, 33-37. <https://doi.org/10.1007/s10311-005-0109-8>
- [27] Wang, J., Zhang, G., Qiao, S., *et al.* (2021) Magnetic Fe<sup>0</sup>/Iron Oxide-Coated Diatomite as a Highly Efficient Adsorbent, for Recovering Phosphorus from Water. *Chemical Engineering Journal*, **412**, Article ID: 128696. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128696>
- [28] Marín-Alzate, N., Tobón, J.I., Bertolotti, B., *et al.* (2021) Evaluation of the Properties of Diatomaceous Earth in Relation to Their Performance in the Removal of Heavy Metals from Contaminated Effluents. *Water, Air, & Soil Pollution*, **232**, Article No. 122. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05045-y>
- [29] Chao, J., Ding, W., Zhu, W., *et al.* (2021) Diatomite-Enhanced Coagulation for Algal Removal in Polluted Raw Water: Performance Optimization and Pilot-Scale Study. *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, 50204-50216. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14104-0>
- [30] Ye, J., Yang, M., Ding, X., *et al.* (2022) Fixed-Bed Column Dynamics of Ultrasound and Na-Functionalized Diatomite to Remove Phosphate from Water. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 12441-12449. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15126-4>
- [31] 谢钦铭. 纳米型水产微生态调节剂及其配制方法[P]. 中国专利, CN201010111004.9. 2010-07-21.
- [32] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水的检测分析方法[M]. 第3版. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [33] 李跃华, 葛家春, 彭刚, 王嘉俊, 傅洪拓, 陆全平. 二种微生物制剂对青虾池水质和生长的影响[J]. 水产养殖, 2009, 30(10): 65-67+70.
- [34] 李健, 孙修涛, 王群, 戴芳钰, 刘得月, 马向东. 微生态制剂在甲壳动物养殖中的应用研究[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(2): 26-31
- [35] 郑静芳. 复合菌制剂的研制及其在富营养化水中的初步应用[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [36] 刘娥. 藻菌固定及其净化水产养殖废水的效果研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [37] 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.