

文章编号: 1674-5566(2016)03-0415-07

DOI:10.12024/jsou.20150501428

枯草芽孢杆菌和空心菜对鳢虾稻共作池塘水质的影响

邵乃麟¹, 郭 印², 沈 竑³, 陈金民³, 魏 华²

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海农林职业技术学院, 上海 201600; 3. 上海春润水产养殖专业合作社, 上海 202170)

摘 要: 在黄鳢-克氏原螯虾-水稻共作塘中, 进行了枯草芽孢杆菌和空心菜改善水质的对比实验。结果表明: 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳢虾稻共作水体均有较好的净化作用, 能提升溶解氧、降低 pH。其中, 枯草芽孢杆菌处理对氨氮、亚硝酸氮、总氮、总磷的去除效果强于 3 种密度的空心菜, 最高去除率分别达到 68.06%、86.49%、49.96% 和 58.82%; 单一投放空心菜时, 以 20% 的密度处理对氨氮、亚硝酸氮、总氮、总磷的去除作用最强, 最高去除率分别达到 63.00%、88.39%、53.12% 和 49.02%。综上, 鳢虾稻共作池塘搭配枯草芽孢杆菌和 20% 密度的空心菜为宜。

关键词: 枯草芽孢杆菌; 空心菜; 黄鳢-克氏原螯虾-水稻共作; 水质

中图分类号: S 912 **文献标志码:** A

黄鳢 (*Monopterus albus*)^[1-2] 和克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*)^[3] 属淡水名优产品, 具有较高的营养价值, 国内市场对其需求较大, 全国各地逐渐兴起鳢虾养殖; 同时, 鳢虾常见于水流不急的水稻 (*Oryza sativa*) 田^[4-5]、河流等水域, 此类水域更符合鳢虾自然习性, 黄鳢-克氏原螯虾-水稻共作生态养殖模式 (简称鳢虾稻共作, 下同) 成为养殖新热点。但是, 鳢虾稻共作池塘主要以静水养殖为主, 鳢虾的残饵、粪便等物质源源不断地进入水体中, 易导致氨氮、亚硝酸氮等有害物质含量增加, 溶解氧含量下降, 引起水体富营养化, 对鳢虾的生存以及外界水体造成较高的负面影响。

现有研究表明, 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)^[6] 对家畜养殖污水以及水产养殖水体中的亚硝酸氮、氨氮等有害物质有很好的去除效果^[7-8]。空心菜 (*Ipomoea aquatica* Forsskal)^[9] 水培对餐饮泔水、养猪污水、丝厂污水或各类湖泊池塘污染水均有很好的净化效果^[10-11]。同时, 空心菜的水上茎叶能为鳢虾遮荫; 其发达的水下根系除能吸收分解有害物质净化水体外, 还能提

供庇护, 满足鳢虾穴居的自然习性。因此, 我们在 2014 年的夏秋季在鳢虾稻共作池塘中进行了枯草芽孢杆菌和空心菜改善水质的对比试验, 以期提高产品品质, 降低水体污染。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验用水稻选用崇明国家级优质品种“寒优湘晴”; 试验用黄鳢由当地自然水域捕捉; 克氏原螯虾、空心菜由上海春润水产养殖专业合作社提供; 试验用枯草芽孢杆菌由崇明县农业局提供; 试验用肥料选用水稻常规化肥 (尿素、碳酸氢铵、复合肥等)。

1.2 试验设计

试验分为 5 个组, 其中试验 1 组为对照组, 具体如表 1 所示。

1.3 试验田工程和管理

试验在合作社的标准化试验田 (1 334 m²/块) 中开展, 田中间种水稻, 周围开挖约占整体面积 30% 的“L”型养殖环沟 (深 60 cm, 宽 400 cm), 田埂处用高 50 cm 厚质塑料膜围网防逃, 试验田

收稿日期: 2015-05-02 修回日期: 2015-06-08

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目 [沪农科攻字(2012)第 4-2 号]

作者简介: 邵乃麟 (1990—), 男, 硕士, 研究方向为生态渔业。E-mail: 846926507@qq.com

通信作者: 魏 华, E-mail: weih@shafc.edu.cn

周边无明显污染源^[12]。5月25日-30日的稻田翻耕期间,投放常规稻一季施肥量的60%(常规稻一季施肥量66 kg/667 m²)作为基肥^[13];6月10日进行水稻(间距20 cm×30 cm)机插秧;6月20日前完成克氏原螯虾(5~10 g/尾)的投放工作;6月25日前完成黄鳝(25~50 g/尾)的投放工作;7月1日完成3种密度(附着于普通塑料浮

床的空心菜面积占环沟水面面积的百分比)的空心菜投放工作。从7月1日开始,每667 m²按照100 g 枯草芽孢杆菌兑水10 kg的比例,于上午10点左右进行全池泼洒(水体浓度1×10⁻⁶),14天一次,泼洒池塘5次合计1 000 g/1 334 m²。试验期间,每天下午5点投喂海产小杂鱼,占鳝虾投放总重的3%~5%,视天气状况增减投饵量。

表1 试验组的放养配比
Tab.1 The stocking ratio of test group

试验组 the test group	黄鳝 /(尾/667 m ²) <i>Monopterus albus</i>	克氏原螯虾 /(尾/667 m ²) <i>Procambarus clarkii</i>	空心菜密度/ the density of <i>Ipomoea aquatica</i>	枯草芽孢杆菌 /(kg/1 334 m ²) <i>Bacillus subtilis</i>
1	1200	3000	0	-
2	1200	3000	-	投
3	1200	3000	10	-
4	1200	3000	20	-
5	1200	3000	30	-

1.4 试验方法

1.4.1 水质采集、测定

试验期间,每个试验组池塘水样采3个点,各点离岸200 cm且处于沟长的平均分布点,各点采集上中下3层水样混匀后取1 L待测。从6月30日开始测定水质,每14天一次,共计5次。每次水样采集时间为早上7点,水样处理参照HJ493—2009标准执行。水质指标检测时,用B4型pH计和YSI溶氧仪分别测定pH、溶解氧;用纳式试剂比色法和N-(1-萘基)-乙二胺光度法分别测定氨氮、亚硝酸氮;用奈式比色法、钼酸铵分光光度法分别测定总氮、总磷。

1.4.2 数据处理与分析

数据进行标准化处理,使用Excel 2010和

SPSS 19.0($P < 0.05$)进行数据分析。

2 结果

2.1 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳝虾稻共作池塘水体pH的影响

pH为水质检测常规指标之一。从表2可知,各组pH均值如下:试验1组>试验2组>试验3组>试验4组>试验5组。经SPSS 19.0检测可知,试验1组的pH显著高于其余试验组($P < 0.05$);试验2、3、4、5组的pH无显著性差异($P > 0.05$)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对pH有相近的降低作用,效果显著。

表2 不同试验组的pH
Tab.2 The pH of different test groups

时间/d time	各组测量值 values of each group				
	1	2	3	4	5
0	7.20 ± 0.02	7.02 ± 0.02	6.98 ± 0.11	7.08 ± 0.14	7.30 ± 0.04
14	7.13 ± 0.04	7.09 ± 0.05	7.09 ± 0.10	7.12 ± 0.06	7.12 ± 0.06
28	7.42 ± 0.06	7.13 ± 0.08	7.24 ± 0.01	7.17 ± 0.08	7.20 ± 0.01
52	7.17 ± 0.07	7.02 ± 0.06	7.15 ± 0.02	7.02 ± 0.08	7.05 ± 0.02
66	7.59 ± 0.04	7.04 ± 0.03	7.13 ± 0.03	7.10 ± 0.12	7.07 ± 0.09
均值/mean	7.30 ± 0.19 ^a	7.14 ± 0.10 ^b	7.12 ± 0.09 ^b	7.10 ± 0.05 ^b	7.06 ± 0.05 ^b

2.2 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳝虾稻共作池塘水体溶解氧的影响

溶解氧与植物光合作用、密度以及水体污染

物等多种因素相关联,对鳝虾的生存至关重要。从表3可知,溶解氧均值如下:试验2组>试验5组>试验4组>试验3组>试验1组;各组溶解

氧含量较试验 1 组均有所提升,最高提升率:试验 2 组 > 试验 5 组 > 试验 4 组 > 试验 3 组,分别为 396.47%、311.76%、305.88%、138.82%。经 SPSS 19.0 检测可知:试验 2 组的溶解氧含量显著高于试验 1、3 组 ($P < 0.05$);试验 1、3 组和试验 4、5 组的溶解氧含量无显著性差异 ($P >$

0.05)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对溶解氧均有提升作用;枯草芽孢杆菌处理能显著提升溶解氧,且提升效果最强;而单一投放空心菜时,随着密度的增加,对溶解氧的提升效果逐渐增强。

表 3 不同试验组的溶解氧
Tab.3 The DO of different test groups

时间/d time	各组测量值/(mg/L) measurement values of each group					各组提升率/% increasing rate of each group				
	1	2	3	4	5	2	3	4	5	
0	5.10 ± 0.46	4.35 ± 0.15	3.51 ± 0.75	5.40 ± 0.35	4.10 ± 0.32	-14.71	-31.18	5.88	-19.61	
14	2.55 ± 0.45	3.67 ± 0.26	3.14 ± 0.12	3.75 ± 0.25	3.70 ± 0.21	43.92	23.14	47.06	45.10	
28	1.70 ± 0.38	8.44 ± 1.07	4.06 ± 1.75	7.00 ± 0.49	6.90 ± 0.26	396.47	138.82	311.76	305.88	
52	2.75 ± 0.58	7.83 ± 0.46	4.59 ± 0.15	4.60 ± 0.61	5.10 ± 0.55	184.73	66.91	67.27	85.45	
66	4.80 ± 0.40	4.70 ± 0.10	2.82 ± 0.29	3.50 ± 0.12	5.40 ± 0.62	-2.08	-41.25	-27.08	12.50	
均值 mean	3.38 ± 1.49 ^b	5.80 ± 2.18 ^a	3.62 ± 0.71 ^b	4.85 ± 1.42 ^{ab}	5.04 ± 1.25 ^{ab}	121.67 ± 172.81	31.29 ± 74.27	80.98 ± 134.08	85.86 ± 129.01	

2.3 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳝虾稻共作池塘水体氨氮的影响

氨氮包含离子氨和非离子氨两种形态,非离子氨形态的氨氮能直接穿透细胞膜毒害组织或降低动物体内与抗病力有关的酶活力,导致鳝虾得病减产。从表 4 可知,氨氮均值如下:试验 1 组 > 试验 3 组 > 试验 5 组 > 试验 4 组 > 试验 2 组;各组氨氮含量较试验 1 组均有降低,最高去

除率:试验 2 组 > 试验 5 组 > 试验 4 组 > 试验 3 组,分别为 68.06%、64.24%、63.00%、57.60%。经 SPSS 19.0 检测可知:各试验组间的氨氮含量无显著性差异 ($P > 0.05$)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对氨氮均有去除作用,但效果不显著;枯草芽孢杆菌处理对氨氮的去除作用最强;而单一投放空心菜时,随着密度的增加,对氨氮的去除作用逐渐增强。

表 4 不同试验组的氨氮
Tab.4 The $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of different test groups

时间/d time	各组测量值/(mg/L) measurement values of each group					各组去除率/% removal rate of each group				
	1	2	3	4	5	2	3	4	5	
0	1.023 ± 0.153	0.819 ± 0.224	0.883 ± 0.078	0.725 ± 0.056	0.902 ± 0.055	19.94	13.69	29.08	11.85	
14	0.560 ± 0.100	0.326 ± 0.145	0.439 ± 0.102	0.395 ± 0.072	0.301 ± 0.080	41.81	21.63	29.51	46.23	
28	2.599 ± 0.081	0.830 ± 0.067	1.354 ± 0.070	1.017 ± 0.028	0.929 ± 0.123	68.06	47.90	60.85	64.24	
52	0.568 ± 0.069	0.208 ± 0.062	0.241 ± 0.045	0.210 ± 0.065	0.254 ± 0.058	63.41	57.60	63.00	55.25	
66	0.395 ± 0.068	0.208 ± 0.070	0.428 ± 0.082	0.279 ± 0.041	0.246 ± 0.042	47.33	-8.38	29.30	37.67	
均值 mean	1.029 ± 0.908	0.478 ± 0.320	0.669 ± 0.450	0.525 ± 0.339	0.527 ± 0.356	48.11 ± 19.14	26.49 ± 26.60	42.35 ± 17.89	43.05 ± 20.06	

2.4 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳝虾稻共作池塘水体亚硝酸氮的影响

亚硝酸氮能将鳝虾血液血红蛋白带有的二价铁氧化成三价铁,使血红蛋白无法运输氧,导致鳝虾缺氧浮头甚至死亡。从表 5 可知,亚硝酸氮均值如下:试验 1 组 > 试验 3 组 > 试验 2 组/试验 5 组 > 试验 4 组;各组亚硝酸氮含量较试验 1 组均有所降低,最高去除率:试验 4 组 > 试验 2 组 > 试验 5 组 > 试验 3 组,分别为 88.39%、86.49%、75.76%、49.65%。经 SPSS 19.0 检测

可知:试验 1 组的亚硝酸氮含量显著高于其余试验组 ($P < 0.05$);试验 2、3、4、5 组间的亚硝酸氮含量无显著性差异 ($P > 0.05$)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对亚硝酸氮均有去除作用,效果显著;20% 密度的空心菜密度处理对亚硝酸氮的去除作用最高,枯草芽孢杆菌处理次之;而单一投放空心菜时,20%、30% 的高密度处理对亚硝酸氮的去除作用显著高于 10% 的低密度处理。

表 5 不同试验组的亚硝酸氮
Tab. 5 The NO_2^- -N of different test groups

时间/d time	各组测量值/(mg/L) measurement values of each group					各组去除率/% removal rate of each group				
	1	2	3	4	5	2	3	4	5	
0	0.067 ± 0.012	0.009 ± 0.002	0.038 ± 0.005	0.008 ± 0.005	0.016 ± 0.003	86.49	42.94	88.39	75.76	
14	0.017 ± 0.03	0.006 ± 0.003	0.012 ± 0.004	0.007 ± 0.001	0.011 ± 0.004	64.64	29.27	59.29	34.99	
28	0.012 ± 0.05	0.014 ± 0.002	0.018 ± 0.002	0.015 ± 0.002	0.015 ± 0.002	-14.90	-47.73	-23.01	-25.71	
52	0.040 ± 0.004	0.006 ± 0.001	0.020 ± 0.004	0.009 ± 0.004	0.012 ± 0.002	84.90	49.65	78.04	69.08	
66	0.028 ± 0.006	0.036 ± 0.009	0.044 ± 0.013	0.014 ± 0.001	0.014 ± 0.001	-30.81	-59.88	50.33	50.33	
均值 mean	0.033 ± 0.022 ^a	0.014 ± 0.013 ^b	0.026 ± 0.014 ^{ab}	0.010 ± 0.004 ^b	0.014 ± 0.002 ^b	38.06 ± 56.55	2.85 ± 52.41	50.61 ± 43.80	40.89 ± 40.53	

2.5 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳊虾稻共作池塘水体总氮的影响

总氮是水体中各种氮元素的总量,当氮元素含量高时,浮游生物生长旺盛,养殖水体呈现富营养化状态。从表 6 可知,总氮均值如下:试验 1 组 > 试验 3 组 > 试验 5 组 > 试验 4 组 > 试验 2 组;各组总氮含量较试验 1 组均有所降低,最高去除率:试验 4 组 > 试验 2 组 > 试验 5 组 > 试验 3 组,分别为 53.12%、49.96%、44.29%、

35.16%。经 SPSS 19.0 检测可知:试验 1 组的总氮含量显著高于其余试验组($P < 0.05$);试验 2、3、4、5 组间的总氮含量无显著性差异($P > 0.05$)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对总氮均有去除作用,效果显著;20% 密度的空心菜处理和枯草芽孢杆菌处理对总氮的去除作用最强,且效果相近;而单一投放空心菜时,20%、30% 的高密度处理对总氮的去除作用显著高于 10% 的低密度处理。

表 6 不同试验组的总氮
Tab. 6 The TN of different test groups

时间/d time	各组测量值/(mg/L) measurement values of each group					各组去除率/% removal rate of each group				
	1	2	3	4	5	2	3	4	5	
0	2.825 ± 0.149	2.198 ± 0.097	2.592 ± 0.079	2.131 ± 0.045	2.754 ± 0.154	22.18	8.23	24.58	2.52	
14	2.525 ± 0.118	1.669 ± 0.033	2.395 ± 0.053	1.988 ± 0.039	1.879 ± 0.099	33.90	5.12	21.24	25.59	
28	2.793 ± 0.271	1.397 ± 0.027	1.811 ± 0.097	1.439 ± 0.080	1.556 ± 0.060	49.96	35.16	48.46	44.29	
52	2.499 ± 0.128	1.433 ± 0.078	1.662 ± 0.065	1.171 ± 0.053	1.401 ± 0.043	42.65	33.48	53.12	43.94	
66	2.286 ± 0.067	1.762 ± 0.126	2.583 ± 0.056	1.866 ± 0.060	1.911 ± 0.086	22.89	-13.00	18.37	16.39	
均值 mean	2.585 ± 0.224 ^a	1.692 ± 0.322 ^b	2.209 ± 0.441 ^{ab}	1.719 ± 0.400 ^b	1.900 ± 0.524 ^b	34.32 ± 12.17	13.80 ± 20.42	33.15 ± 16.33	26.55 ± 18.02	

2.6 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳊虾稻共作池塘水体总磷的影响

总磷是水体中各种形态磷元素的总量,当磷元素含量达到较高水平时,相应地固氮微生物数量剧增,带动水体氮元素含量的增加,加重水体富营养化程度。从表 7 可知,总磷均值如下:试验 1 组 > 试验 5 组 > 试验 3 组 > 试验 4 组 > 试验 2 组;各组总磷含量较试验 1 组均有所降低,最高去除率:试验 2 组 > 试验 4 组 > 试验 3 组 > 试验 5 组,分别为 58.82%、49.02%、42.86%、41.18%。经 SPSS 19.0 检测可知:试验 1 组总磷含量显著高于其余试验组($P < 0.05$);试验 2、3、4、5 组间的总磷含量无显著性差异($P > 0.05$)。上述结果表明,枯草芽孢杆菌和空心菜对总磷均有去除作用,效果显著;枯草芽孢杆菌处理对总

磷的去除作用最强;而单一投放空心菜时,20% 的密度处理对总磷的去除作用最强。

3 讨论

3.1 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳊虾稻共作池塘水体 pH、溶解氧的影响

本试验对 pH 的检测结果表明,枯草芽孢杆菌处理和空心菜处理对 pH 有相近的影响,与汪开英等^[14]、明晶等^[15]的研究结果具有相似性。杭小英等^[16]研究发现枯草芽孢杆菌改善了池塘水体的微生物群结构,最终会促进溶解氧含量的稳定和提升,并对 pH 有一定的降低作用;而汪开英等^[14]和葛滢等^[17]研究发现植物可改善水质。本试验对溶解氧的检测结果表明,枯草芽孢杆菌处理能显著提高养殖水体溶解氧,30% 密度的空

心菜处理次之,20%密度的空心菜处理再次之。造成上述差异的可能原因如下:枯草芽孢杆菌能快速分解水体有机物以降低污染物耗氧,从而提升养殖水体的溶解氧含量;单一投放空心菜时,其根系面积随着投放密度的增加而扩大,对氮、磷等污染物的吸收能力逐渐增强,提升溶解氧含

量的能力逐渐增强。综上所述,枯草芽孢杆菌和空心菜维持了 pH 的稳定,有利于减轻鳢虾的应激反应,提高了黄鳢的存活率;两者促进了溶解氧含量的提升,减少了黄鳢因呼吸换气需要损耗的体能,降低了黄鳢缺氧浮头被水鸟捕食的损失,为鳢虾的育肥提供了基础保障。

表 7 不同试验组的总磷
Tab.7 The TP of different test groups

时间/d time	各组测量值/(mg/L) measurement values of each group					各组去除率/% removal rate of each group				
	1	2	3	4	5	2	3	4	5	
0	0.106 ± 0.026	0.078 ± 0.032	0.088 ± 0.034	0.097 ± 0.039	0.102 ± 0.010	26.35	17.02	8.51	3.69	
14	0.135 ± 0.035	0.099 ± 0.009	0.108 ± 0.021	0.101 ± 0.014	0.108 ± 0.027	26.67	20.00	25.00	20.00	
28	0.115 ± 0.043	0.047 ± 0.036	0.083 ± 0.032	0.059 ± 0.017	0.068 ± 0.013	58.82	27.45	49.02	41.18	
52	0.095 ± 0.025	0.054 ± 0.031	0.054 ± 0.014	0.050 ± 0.032	0.068 ± 0.021	42.86	42.86	47.62	28.57	
66	0.088 ± 0.028	0.045 ± 0.023	0.059 ± 0.023	0.079 ± 0.043	0.061 ± 0.010	48.72	33.33	10.26	30.77	
均值 mean	0.108 ± 0.019 ^a	0.065 ± 0.023 ^b	0.078 ± 0.022 ^{ab}	0.077 ± 0.023 ^{ab}	0.081 ± 0.022 ^{ab}	40.68 ± 14.14	28.13 ± 10.42	28.08 ± 19.56	24.84 ± 14.03	

3.2 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳢虾稻共作池塘水体氨氮、亚硝酸氮的影响

枯草芽孢杆菌对家畜、水产养殖污水中的氨氮、亚硝酸氮有很好的去除效果^[7-8];张克强等^[18]和刘慧玲等^[19]研究发现向罗非鱼池投放芽孢杆菌能显著降低亚硝酸氮浓度;陈家长等^[20]和于津^[21]研究发现 20%密度的空心菜覆盖率对亚硝酸氮的去除率最高。本试验对氨氮的检测结果表明,枯草芽孢杆菌处理对氨氮的去除作用最强,30%密度的空心菜处理次之,20%密度的空心菜处理再次之。造成上述差异的可能原因如下:鳢虾稻共作池塘中,占试验田面积达 70%的水稻在生长期对氨氮需求较高,氨氮处于供不应求的阶段,因而各试验组处理测得的氨氮含量普遍较低、无显著性差异。本试验对亚硝酸氮的检测结果表明,20%密度的空心菜处理对亚硝酸氮的去除作用最强,枯草芽孢杆菌处理次之。造成上述差异的可能原因如下:空心菜根系提供了适合多种微生物的生长环境^[17-19],能有效促进参与氮循环的有益菌群发展;较高密度的空心菜附着的微生物群体数量高于低密度的空心菜^[20-21],具有着种群优势,对亚硝酸氮去除作用相对较好。然而,枯草芽孢杆菌能产生强效抑制有害细菌的枯草杆菌素^[22],对水体微生物群落组成进行选择改善,相应地促进了参与氮循环的有益菌群的发展,但改善效果不及空心菜。综上所述,枯草芽孢杆菌和空心菜对鳢虾稻共作池塘水体氨氮、亚硝酸氮均有去除作用,以对亚硝酸

氮的去除效果较为明显,改善了氧气的运输能力,提升了鳢虾的抗病抗逆能力,促进了鳢虾的健康生长。

3.3 枯草芽孢杆菌和空心菜对鳢虾稻共作池塘水体总氮、总磷的影响

枯草芽孢杆菌对家畜、水产养殖污水中的氮磷污染物等有很好的去除效果^[7-8];陈家长等^[20]和于津^[21]研究发现,20%密度的空心菜处理对水体总氮、总磷的去除率最高。本试验对总氮、总磷的检测结果表明,20%密度的空心菜处理和枯草芽孢杆菌处理对总氮有相近的高效去除作用;枯草芽孢杆菌处理对总磷的去除作用最强,20%密度的空心菜处理次之。造成上述差异的可能原因如下:枯草芽孢杆菌能通过分泌胞外酶^[23-24]将养殖动物的残饵、粪便等污染物直接降解,而空心菜根系只能吸收养殖水体中的氮、磷等营养元素而不能直接分解利用污染物^[17],相比之下枯草芽孢杆菌更为高效直接。其次,10%低密度处理的空心菜受自身面积限制,净化水体氮、磷的能力也相对有限;而水稻和空心菜在生长期均需要大量吸收氮、磷等元素,导致可供空心菜吸收的氮、磷元素相对有限,一定程度上限制了 30%高密度处理的空心菜的生长和扩增,因而对氮、磷的去除作用相对不是很明显。综上所述,枯草芽孢杆菌和空心菜对总氮、总磷均有很好地去除作用,减轻了水体富营养化程度,降低了对外界水体的潜在污染,并尽可能地还原鳢虾自然生长状态下的水环境,以促进鳢虾稻共作

的后续发展。

参考文献:

- [1] 张燕萍, 赵春来, 谢宪兵. 黄鳝研究进展[J]. 江西饲料, 2007(4): 21-24.
ZHANG Y P, ZHAO C L, XIE X B, et al. Research progress on *Monopterus albus*[J]. Jiangxi Feed, 2007(4): 21-24.
- [2] 李明锋. 黄鳝生物学研究综述[J]. 现代渔业信息, 2009, 24(5): 13-18.
LI M F. Summary of biological research of *Monopterus albus* Zuiew[J]. Modern Fisheries Information, 2009, 24(5): 13-18.
- [3] 耿俊. 稻田淡水小龙虾养殖技术[J]. 现代农业科技, 2009(11): 224.
GENG J. Rice farming techniques of freshwater crayfish[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(11): 224.
- [4] 左健忠, 邹勇, 沈文武. 黄鳝稻田养殖技术[J]. 水产养殖, 2009, 30(9): 18-19.
ZUO J Z, ZOU Y, SHEN W W. Rice farming techniques of *Monopterus albus*[J]. Journal of Aquaculture, 2009, 30(9): 18-19.
- [5] 肖召旺. 稻田无公害养殖黄鳝技术[J]. 水产养殖, 2010, 31(6): 18-19.
XIAO Z W. Pollution-free rice farming techniques of *Monopterus albus*[J]. Journal of Aquaculture, 2010, 31(6): 18-19.
- [6] 杜青奎. 微生物制剂调节池塘水质的方法[J]. 农村养殖技术, 2011(24): 36.
DU Q K. Method of regulating pond water by Probiotics[J]. Rural Animal-Production Technology, 2011(24): 36.
- [7] 张文魁, 杨礼. 微生物制剂在池塘养殖中的应用[J]. 现代农业科技, 2010(4): 330-331, 333.
ZHANG W K, YANG L. The application of microbial preparation to pond cultivation[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010(4): 330-331, 333.
- [8] 陈静, 徐海燕, 谷巍. 枯草芽孢杆菌 B7 的分离和净化水质的初步研究[J]. 河北渔业, 2008(11): 10-11, 29.
CHEN J, XU H Y, GU W. *Bacillus subtilis* B7: Isolation and function in Water Purification[J]. Hebei Fisheries, 2008(11): 10-11, 29.
- [9] 林东教, 唐淑军, 何嘉文, 等. 漂浮栽培蔬菜和水葫芦净化猪场污水的研究[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 14-17.
LIN D J, TANG S J, HE J W, et al. Purification of piggery wastewater by *Ipomoea aquatica* and *Eichhornia crassipes* in a floating culture system[J]. Journal of South China Agricultural University, 2004, 25(3): 14-17.
- [10] 孟春, 石贤爱, 陈剑锋, 等. 陆生植物蔬菜用于有机废水的生态治理研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 160-162.
MENG C, SHI X A, CHEN J F, et al. Ecological treatment of organic wastewater by terraneous *Ipomoea aquatica* Forsk [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 160-162.
- [11] 黄婧, 林惠凤, 朱联东, 等. 浮床水培蔬菜的生物学特征及水质净化效果[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(12): 92-94.
HUANG J, LIN H F, ZHU L D, et al. Biological features and water purification efficiency of *Ipomoea aquatica* Forsskal planted on the floating-bed[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(12): 92-94.
- [12] 孙文通, 张庆阳, 马旭洲, 等. 不同河蟹放养密度对养蟹稻田水环境及水稻产量影响的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(3): 366-373.
SUN W T, ZHANG Q Y, MA X Z, et al. A study on effects of different crab stocking density on water environment and rice yield[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(3): 366-373.
- [13] 汪清, 王武, 马旭洲, 等. 稻蟹共作对土壤理化性质的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3948-3952.
WANG Q, WANG W, MA X Z, et al. The effects of integrated rice-crab production on soil physical and chemical properties[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(19): 3948-3952.
- [14] 汪开英, 郑水生, 郭宗楼, 等. 提高生态浮床系统脱氮除磷效率研究进展[J]. 湿地科学, 2012, 10(1): 116-120.
WANG K Y, ZHENG S S, GUO Z L, et al. Advance in improving the removal efficiency of nitrogen and phosphorus of ecological floating bed system[J]. Wetland Science, 2012, 10(1): 116-120.
- [15] 明晶. 芽孢杆菌在改良水体环境中的作用[J]. 科学养鱼, 2006(4): 76.
MING J. The effect of bacillus on the improvement in the water environment[J]. Scientific Fish Farming, 2006(4): 76.
- [16] 杭小英, 叶雪平, 施伟达, 等. 枯草芽孢杆菌制剂对罗氏沼虾养殖池塘水质的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2008, 27(2): 197-200.
HANG X Y, YE X P, SHI W D, et al. Effects of the biological preparation on the shrimp (*Macrobrachium rosenbergii*) Ponds' Water Quality[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2008, 27(2): 197-200.
- [17] 葛滢, 王晓月, 常杰. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6): 690-692.
GE Y, WANG X Y, CHANG J. Comparative studies on the purification ability of plants in different degree eutrophic water[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(6): 690-692.

- [18] 张克强,李野,李军幸. 芽孢杆菌菌剂在水产养殖中的应用初探[J]. 海洋科学, 2006, 30(9): 88-91.
ZHANG K Q, LI Y, LI J X. Application of the compound microbiological preparation in fish pond [J]. Marine Sciences, 2006, 30(9): 88-91.
- [19] 刘慧玲,黄翔鹤,李长玲,等. 不同浓度的枯草芽孢杆菌对罗非鱼鱼苗的养殖水体水质及其抗病力的影响[J]. 水产养殖, 2009, 30(10): 5-9.
LIU H L, HUANG X W, LI C L, et al. Effect of different concentrations of *Bacillus subtilis* on water quality and disease resistance of tilapia fry [J]. Journal of Aquaculture, 2009, 30(10): 5-9.
- [20] 陈家长,孟顺龙,胡庚东,等. 空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 155-159.
CHEN J Z, MENG S L, HU G D, et al. Effect of *Ipomoea aquatica* cultivation on artificial floating rafts on water quality of intensive aquaculture ponds[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(2): 155-159.
- [21] 于津. 乌鳢池水体氮、磷污染及水蕹菜等水生植物消污作用的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
YU J. Studies on nitrogen and phosphorus pollution in *Ophiocephalus argus* pond and decontamination effects of *Ipomoea aquatica* etc [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2011.
- [22] 邢华. “益水宝(高效芽孢杆菌)”改良虾池养殖环境[J]. 中国水产, 2004(10): 83-84.
XING H. Using “Yi Shui Bao (Efficient bacillus)” to improve the environment of shrimp pond [J]. China Fisheries, 2004(10): 83-84.
- [23] 雷爱莹,彭敏,曾地刚,等. 枯草芽孢杆菌的分离和净化水质的研究[J]. 广西农业科学, 2005, 36(3): 248-250.
LEI A Y, PENG M, ZENG D G, et al. Isolation of *Bacillus subtilis* and its role in purifying mariculture water [J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2005, 36(3): 248-250.
- [24] 刘颖,丁桂珍,胡传红,等. 枯草芽孢杆菌对养殖水体水质影响研究[J]. 淡水渔业, 2004, 34(5): 12-14.
LIU Y, DING G Z, HU C H, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on water quality of cultural ponds[J]. Fresh Water Fisheries, 2004, 34(5): 12-14.

The effects of *Bacillus subtilis* and *Ipomoea aquatica* Forsk on water quality in the pond for co-farming of rice-crayfish-finless eel

SHAO Nailin¹, GUO Yin², SHEN Hong³, CHEN Jinmin³, WEI Hua²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Vocational College of Agriculture and Forestry, Shanghai 201600, China; 3. Shanghai ChunRun Aquaculture Cooperatives, Shanghai 202170, China)

Abstract: The contrast experiment was carried out about the effects of *Bacillus subtilis* and spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) on the water quality improvement in the pond during the co-farming of rice-crayfish-finless eel. The results showed that *Bacillus subtilis* and spinach both improved water quality, increased DO and decreased pH of water. *Bacillus subtilis* had better effects in the decreasing of the $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, TN, TP than spinach of three density groups with the highest level of degradation rate by 68.06%, 86.49%, 49.96%, and 58.82% respectively. Generally, the spinach with 20% of density degraded the level of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, TN, TP by 63.00%, 88.39%, 53.12 and 49.02% most efficiently. In sum, the combination of *Bacillus subtilis* and spinach with the 20% density in the pond during the co-farming of the rice-crayfish-finless eel was better.

Key words: *Bacillus subtilis*; *Ipomoea aquatica* Forsk; rice-crayfish-finless eel; water quality