

应用矿物盐改良池塘水质的研究

江兴龙¹ 关瑞章¹ Claude E. Boyd²

(1. 集美大学, 厦门 361021; 2. Auburn University Alabama 36849 USA)

摘要: 为了研究矿物盐对淡水养殖池塘水质的改良效果及应用前景, 在 12 口土质池塘中对淡水养殖斑点叉尾鲴 (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818) 施用三组矿物盐: NaNO_3 、 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 、 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的对照实验, 对照组池塘不施用任何矿物盐类; 在 182 d 的养殖期间, 对所有处理组和对照组池塘的 17 项水质和 5 项底质因子进行了定期监测。结果表明, 各处理组均显著降低了池塘水中的蓝藻相对密度; $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的施用可促进水中硝化作用的进行; $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的施用, 显著提高了养殖池塘底泥表层的氧化还原电位; $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的池塘鱼产量比对照组显著提高 6.6%, 而饲料系数显著降低 6.2%; NaNO_3 与 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的共同施用起到了协同改良池塘水质和底质的作用。因此, $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的应用可为淡水池塘水质的改良开辟一个新的途径, 具有一定的应用前景。

关键词: 硝酸钠; 矿物盐; 斑点叉尾鲴; 池塘水质改良; 蓝藻

中图分类号: S949 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)06-1059-09

应用矿物盐作为改良调控水质的一个新途径, 而并非出于施肥以培养浮游生物的目的, 在我国池塘养殖中的应用和研究还很少。但在美国, 许多斑点叉尾鲴 (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818) 养殖者, 普遍于淡水池塘中施用 NaCl 使水中氯离子浓度超过硝酸根离子浓度 10—20 倍而防止鱼类高铁血红蛋白症“褐血病”的发生^[1]。在内陆池塘养殖凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) 时, 施用氯化钾和硫酸钾、硫酸镁等增加钾和镁离子浓度以促进虾的成活率和生长速度的提高^[2-3]。南美洲和中美洲的海水虾养殖中把硝酸钠当成一种底泥氧化剂施用^[4]。与其他氧化剂如高锰酸钾相比, 硝酸盐有个优点, 是当氧化还原电位降低到 0.34 V 时, 只起氧化剂的作用, 避免与底部和水中的有机物质起反应^[5]。由于蓝藻会引起养殖鱼虾的不良味道^[6-7], 且其中的一些种类还会分泌毒素^[8-9], 高浓度的钾离子 (50—100 mg/L) 降低了池塘中蓝藻的丰度^[10]。

为研究矿物盐对淡水养殖池塘水质的改良效果

及应用前景, 本实验研究了施用 NaNO_3 、 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 、 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 等矿物盐对斑点叉尾鲴淡水养殖池塘水质改良的效果。

1 材料与方法

1.1 池塘概况 实验的 12 口土质池塘位于北纬 32° 的美国阿拉巴马州奥本大学渔业研究试验场。池塘建在酸性淡红褐色老成土上^[11], 池塘水源于水库, 每口池塘水面积 400 m², 平均水深约 1 m。水库水总硬度较低, 总碱度 (以 CaCO_3 计) 8—12 mg/L, 溶解性总固体浓度 50—75 mg/L, 总磷低于 0.1 mg/L, 总氮低于 0.5 mg/L。

1.2 养殖管理 按 1 尾 / m² 水面的密度投放斑点叉尾鲴鱼种, 规格为尾重 25—35 g 投喂含 28% 粗蛋白的斑点叉尾鲴浮性颗粒饲料, 每星期投饵 6 d 当池塘水中溶解氧低于 2 mg/L 时使用机械增氧; 投饵量随鱼体生长每星期调节一次, 按估计鱼重的 3% 投饵, 每天各池塘投饵量均一样; 实验结束时干塘起捕鱼, 并计数和称重。养殖周期为 4—10 月

收稿日期: 2009-04-22 修订日期: 2009-06-29

基金项目: 福建富闽基金 (200372 号); 美国奥本大学国际水产养殖与生态环境合作专项资金 (200403); 国家公益性 (农业) 行业科研专项 (鲤鱼 3-51) 资助

作者简介: 江兴龙 (1968—), 男, 汉族, 福建连城人; 副教授, 博士, 博士后; 主要从事水质管理与水产养殖研究。Tel 0592-6180517

E-mail xinlongjiang@hotmail.com

通讯作者: 关瑞章 (1953—), 男, 汉族, 福建莆田人; 教授, 博导; 主要从事渔业水体生态与病害研究。Tel 0592-6188973 E-mail rzguar@jnu.edu.cn

计 182d

1.3 实验方法

1.3.1 实验分组和矿物盐施用 随机地把 12口池塘分成 4组, 每组 3口池塘。(1)对照组: 不施用矿物盐类。(2) NaNO_3 处理组: 养殖期间共施 NaNO_3 21次, 基本每周 1次, 用量为 2 g/m^3 水体。(3) $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 处理组: 于养殖起始及养殖 90d时各施用一次, KCl 用量为 100 g/m^3 水体; MgCl_2 的用量为 20 g/m^3 水体。(4) $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 处理组: NaNO_3 的施用量和次数同 NaNO_3 处理组, $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的施用量和次数同 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 处理组。 NaNO_3 、 KCl 和 MgCl_2 等矿物盐均为智利 SQM 公司产品。矿物盐施用方法: 称重后放入塑料桶中, 加入池水用一木棒搅拌使其溶解后, 均匀泼洒至池塘表面。

1.3.2 泥样采集和相关因子的测定方法 用一根空心硬质塑料圆管采集池塘底泥表层 5 cm 的泥样^[12], 分别在池塘鱼种投放前 1天和成鱼起捕的前 1天在每口池塘选 3个点采泥样。泥样经空气干燥后粉碎过 60目筛, 用 Walkley-Black 法进行有机碳含量分析^[13], 并进行总氮 (Leco Carbon-Hydrogen-Nitrogen Analyzer CHN 600)、总磷 (Jarrel-Ash CAP 9000 Plasma Spectrophotometer)、呼吸率 (以 7d 的每克泥微生物呼吸作用所产 CO_2 的量表示)^[14]及五日生化需氧量^[15]的测定, 每隔 2—4周在每口池塘水最深处采集泥样, 然后用氧化还原电位仪 (铂电极) (ORP, Orion Model 97-98-00)测定氧化还原电位。

1.3.3 水样采集和相关因子测定法 每天上午 7时在每口池塘水面下约 25 cm 处及水底面上约 25 cm 处用溶解氧 (玻璃电极) 测定仪 (Yellow Springs Instrument Company)测定水中溶解氧, 每周测池塘水温一次。

每周于上午 7至 8时采集每口池塘表层水水样, 测定水的氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、溶解性正磷酸盐等浓度。每隔 2—3个星期, 分析水样的浊度、叶绿素 a ^[13]、五日生化需氧量 (BOD_5)^[16]、总碱度、氯化物和钾、钠、镁、钙等阳离子。使用 CAP 9000分光光度计 (Jarrel-Ash Corporation, Franklin, Massachusetts)测定阳离子浓度, 其余因子分析均使用标准方法^[17]。在处理组矿物盐施用的前 3天, 采集各池塘水样测定水质因子的本底值。

每周测定一次藻类丰度。使用一种水柱采水器^[13]采集自水面至 50 cm 深处水柱的水样, 50 mL 水样滴入 0.15 mL 鲁哥氏液固定保存, 藻类静置聚集浓缩后, 用反转显微镜藻类计数、蓝藻计数^[13]。

1.4 数据统计分析 各组的各水质因子的每次数据是各组内 3口池塘相应测定值的平均值; 各组的各因子数据的平均值和标准差则是各组相应数据的平均值和标准差; 养殖始末各组池塘底泥的各项因子的含量变化的平均值和标准差是指用各组内成鱼起捕前的各池塘的测定值减去相应投苗前测定值的差值的平均值和标准差。

使用 SigmaStat version 2.03 (SPSS Inc., Chicago IL, USA)软件进行统计分析, 用单因素方差分析法 (Tukey Test 多重比较) 检验各组数据平均值间的差异显著性, 取 $P < 0.05$ 为显著差异。用 SigmaPlot 2002 for Windows Version 8.0 (SPSS Inc., Chicago IL, USA)进行相关图形制作。

2 结果

2.1 水质各因子的浓度

各实验组池塘水质因子的本底浓度 (表 1), 各组池塘水质因子的本底浓度间均无显著差异 ($P > 0.05$)。实验期间, 各实验组池塘水质因子的浓度 (表 2)。各组的表层和底层水的溶解氧都高于 4 mg/L , 但对照组池塘的表层和底层水的溶解氧都高于各处理。在处理组中, $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的溶解氧又高于其他组; NaNO_3 处理组的总碱度显著高于其他组, 而 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的浓度又高于 NaNO_3 组; NaNO_3 处理组的 pH 显著高于对照组, $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的 pH 显著高于 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组, 但与 NaNO_3 组无显著差异; 各组总氨氮的浓度都较低, NaNO_3 处理组的浓度显著高于其他组; 各组硝酸盐氮的浓度都不高, NaNO_3 处理组的浓度显著高于对照组和 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组; 所有组的亚硝酸盐氮浓度都很低, 但各处理组的浓度都显著高于对照组; 各组的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度之间无显著差异; $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的钾离子浓度 (高于 40 mg/L)、镁离子浓度 (高于 10 mg/L) 和氯离子的浓度 (高于 50 mg/L) 均显著高于对照组和 NaNO_3 处理组; 各处理组的蓝藻相对密度均显著低于对照组 (图 1)。

表 1 对照组和各处理组的池塘水质因子本底浓度

Tab. 1 Water quality parameters background concentration in the control and treatments ponds

水质因子 Water quality parameters	对照组 The control	NaNO ₃	KCl+MgCl ₂	NaNO ₃ +KCl+MgCl ₂
表层水溶解氧 Surface dissolved oxygen (mg/L)	5.8±0.9	5.7±0.8	5.9±0.8	5.6±0.7
底层水溶解氧 Bottom dissolved oxygen(mg/L)	5.6±0.9	5.5±0.8	5.7±0.8	5.4±0.7
pH	7.12±0.32	7.16±0.35	7.22±0.22	7.12±0.35
总碱度 Total alkalinity (mg/L)	45.3±3.3	45.0±7.4	42.6±6.1	46.1±9.4
总氨氮 Total ammonia nitrogen (mg/L)	0.16±0.09	0.13±0.08	0.15±0.07	0.14±0.09
硝酸盐氮 Nitrate nitrogen (mg/L)	0.03±0.03	0.02±0.03	0.03±0.03	0.02±0.02
亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen (mg/L)	0.002±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001
可溶性正磷酸盐 Soluble reactive phosphorus (mg/L)	0.04±0.02	0.05±0.02	0.06±0.01	0.05±0.02
钠离子 Sodium (mg/L)	4.0±0.3	4.2±0.3	4.2±0.2	4.0±0.2
钾离子 Potassium (mg/L)	4.1±0.3	4.0±0.3	4.4±0.3	4.1±0.4
镁离子 Magnesium (mg/L)	5.6±0.3	5.4±0.3	5.8±0.3	5.9±0.3
钙离子 Calcium (mg/L)	6.8±0.6	6.5±0.5	7.0±0.7	6.6±0.6
氯化物 Chloride (mg/L)	5.1±0.8	4.8±0.7	5.3±0.8	5.1±0.8
浊度 (NTU) Turbidity	98±16	85±18	83±15	96±21
5日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	2.3±0.32	2.6±0.40	2.4±0.30	2.7±0.35
叶绿素 <i>a</i> Chlorophylla (μg/L)	58±15	59±16	56±16	56±18
藻类密度 Algal abundance (10 ³ /mL)	24±6	25±8	23±7	23±8
蓝藻相对密度 Blue-green algae relative density (%)	5.3±6.1	4.5±4.3	4.3±4.3	4.8±5.0

注: 各处理组与对照组的浓度平均值间均无显著差异 ($P > 0.05$)
Note There is not any significant difference in concentration means among the treatments and control($P > 0.05$)

表 2 实验期间对照组和各处理组的水质因子浓度

Tab. 2 Water quality parameters concentration in the control and treatments ponds during the experimental period

水质因子 Water quality parameters	对照组 The control	NaNO ₃	KCl + MgCl ₂	NaNO ₃ + KCl+ MgCl ₂
表层水溶解氧 Surface dissolved oxygen (mg/L)	6.3±1.2 ^a	5.4±1.7 ^b	5.7±1.5 ^c	5.3±1.3 ^b
底层水溶解氧 Bottom dissolved oxygen (mg/L)	6.1±1.2 ^a	5.2±1.7 ^b	5.5±1.5 ^c	5.1±1.3 ^b
pH	7.42±0.19 ^a	7.99±0.31 ^{bc}	7.48±0.20 ^{ab}	8.08±0.32 ^c
总碱度 Total alkalinity (mg/L)	46.3±5.1 ^a	61.2±9.8 ^b	51.0±7.2 ^a	72.5±12.1 ^c
总氨氮 Total ammonia nitrogen (mg/L)	0.30±0.31 ^a	0.58±0.49 ^b	0.27±0.20 ^a	0.38±0.36 ^a
硝酸盐氮 Nitrate nitrogen (mg/L)	0.02±0.05 ^a	0.12±0.12 ^b	0.05±0.08 ^a	0.11±0.15 ^b
亚硝酸盐氮 Nitrite nitrogen (mg/L)	0.01±0.01 ^a	0.04±0.04 ^b	0.03±0.03 ^b	0.04±0.03 ^b
可溶性正磷酸盐 Soluble reactive phosphorus (mg/L)	0.004±0.005 ^a	0.005±0.011 ^a	0.004±0.007 ^a	0.004±0.005 ^a
钠离子 Sodium (mg/L)	4.2±0.4 ^a	9.4±1.0 ^b	6.5±0.5 ^c	12.8±1.8 ^d
钾离子 Potassium (mg/L)	4.3±0.9 ^a	5.6±1.2 ^a	48.1±10.3 ^b	51.3±10.8 ^b
镁离子 Magnesium (mg/L)	5.9±0.6 ^a	7.8±0.3 ^b	11.5±0.9 ^c	13.1±1.0 ^d
钙离子 Calcium (mg/L)	7.5±1.4 ^a	10.5±0.8 ^b	12.3±1.6 ^c	17.1±1.3 ^d
氯化物 Chloride (mg/L)	5.6±1.2 ^a	6.9±1.8 ^a	56.3±28.4 ^b	60.8±30.7 ^b
浊度 (NTU) Turbidity	76±28 ^{ac}	99±24 ^b	62±18 ^c	89±32 ^{ab}
5日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	8.8±3.69 ^a	7.8±3.46 ^a	7.37±3.41 ^a	7.88±3.78 ^a
叶绿素 <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i> (μg/L)	134±67 ^a	89±100 ^{ab}	75±73 ^b	96±111 ^{ab}
藻类密度 Algal abundance (10 ³ /mL)	37±11 ^a	31±18 ^{ab}	26±14 ^b	33±11 ^a
蓝藻相对密度 Blue-green algae relative density (%)	7.2±9.2 ^a	2.0±2.7 ^b	1.7±2.1 ^b	2.1±3.0 ^b

注: 在同一行内, 若上标字母有一个相同的, 表示相应组的浓度平均值间无显著差异 ($P > 0.05$), 否则为有显著差异 ($P < 0.05$)
Note: Within rows, concentration means with the same letter are not significantly different ($P > 0.05$), otherwise there are significant differences ($P < 0.05$)

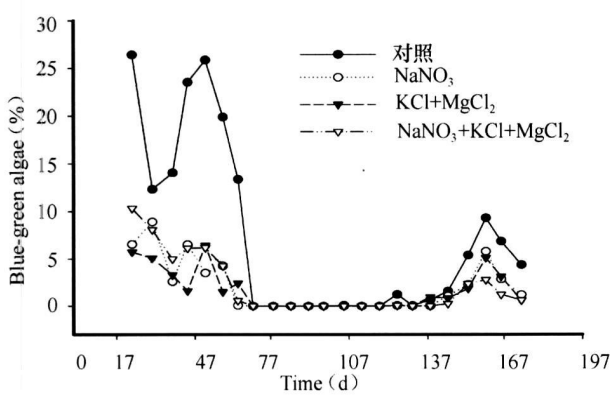


图 1 养殖期间对照组和各处理组池塘水中蓝藻相对密度(%)的平均值
Fig 1 Mean blue-green algae relative density (%) in control ponds and treatment ponds during the whole culture period
各处理组均显著低于对照组 ($P < 0.05$)
Each of the treatments was significant lower than the control ($P < 0.05$)

2.2 池塘底泥各因子的浓度

仅 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的氧化还原电位增量显著高于对照组 ($P < 0.05$), 其他组之间无显著差异。 NaNO_3 组的底泥表层氧化还原电位的变化, 表现为养殖结束时的电位要高于开始时的电位, 变化量是正值, 而对照组和 $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的却降低, 变化量是负值 (表 3)。从图 2 可看出, 在养殖 108d 内, 各组的电位都是下降的, 未施 NaNO_3 组的电位降速更快, NaNO_3 组的电位降速慢。此后各处理组的电位开始上升, 而对照组的直到养殖 138d 后才开始回升, NaNO_3 组比未施 NaNO_3 组的上升速度更快, 增

量更大。养殖始末池塘底泥的总氮增量、总磷增量、有机碳增量、 BOD_5 增量和微生物呼吸产 CO_2 量的增量, 在对照组和处理组之间均无显著差异 ($P > 0.05$) (表 3)。

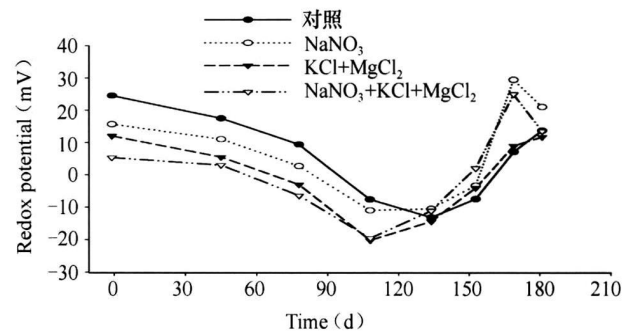


图 2 养殖期间对照组和各处理组池塘底泥氧化还原电位 (E_h mV) 的平均值
Fig. 2 Mean redox potential (E_h mV) of soil in the control ponds and treatment ponds during the whole culture period

2.3 养殖结果

除 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的池塘鱼产量显著高于对照组、饲料系数显著低于对照组 ($P < 0.05$) 外, 其余组间的养殖结果间均无显著差异 ($P > 0.05$) (表 4)。若不考虑对照组可能需要处理不良味道鱼体的成本, 则各处理组因施用矿物盐致生产成本增大, 每公顷池塘 NaNO_3 组的养殖收入减少了 1000 元人民币, $\text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组减少了 3237 元人民币, $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组减少了 2052 元人民币。

表 3 养殖始末对照组和处理组池塘底泥因子的浓度增量					
Tab. 3 Soil variables concentration changed between initial and end in the culture period in the control and the treatment ponds					
因子 (浓度增量) Parameters (amount between concentration changed)		对照组 The control	NaNO ₃	KCl+ MgCl ₂	NaNO ₃ + KCl+ MgCl ₂
氧化还原电位	Redox potential (E _h mV)	- 10. 8±4. 6	5. 3±3	- 0. 3±11. 4	8. 2±4. 1
总氮	Total nitrogen(%)	- 0. 08±0. 07	0. 02±0. 02	- 0. 01±0. 05	- 0. 03±0. 08
总磷	Total phosphorous(%)	- 0. 01±0. 04	0. 03±0. 01	- 0. 02±0. 03	0. 02±0. 02
呼吸率	Potential soil respiration(mg CO ₂ /g soil)	1. 39±0. 83	0. 91±2. 84	- 0. 15±0. 53	- 0. 04±0. 68
有机碳	Organic carbon (%)	0. 31±0. 18	0. 2±0. 63	- 0. 03±0. 12	- 0. 01±0. 15

表 4 对照组和处理组池塘养殖结果					
Tab 4 Production results in the control and the treatment ponds					
养殖结果		对照	NaNO ₃	KCl+ MgCl ₂	NaNO ₃ + KCl+ MgCl ₂
Production results		The control			
成活率	Survival rate (%)	91±5.0	91.4±2.7	85.7±4.3	91.0±6.7
鱼产量	Yield (kg/ha)	3171±63	3176±73	3172±50	3360±22
饲料系数	Feed conversion ratio	1.13±0.02	1.13±0.04	1.13±0.02	1.06±0.01

3 讨论

3.1 KCl+MgCl₂对硝化作用的影响

施用氮肥后池塘中总氮氮和硝酸盐浓度很快提高^[18]。因此, NaNO₃+KCl+MgCl₂组与NaNO₃组的总氮氮浓度均应显著高于对照组,但NaNO₃+KCl+MgCl₂组的浓度并不显著高出。KCl+MgCl₂的施用,使水体保持一定的钾离子浓度(约40—60 mg/L)能显著地促进硝化作用的进行,从而使大量的氮氮转化为硝酸盐氮,硝酸盐氮除了可供藻类等利用外,还可通过水—底泥界面间存在的营养盐扩散作用而进入和渗透入底泥,使水中的硝酸盐氮浓度并不高于NaNO₃组。钾肥可影响土壤中硝化作用^[19],土壤的硝化率与土壤速效钾(钾离子)含量的二项式($Y = -0.0044X^2 + 1.31X + 5.31$, $R^2 = 0.95$)呈极显著相关^[20],据此可推算出当土壤钾离子的浓度大于40 mg/kg时开始显著促进硝化作用的进行,本实验的结果与推测基本吻合。而当土壤中K⁺浓度为332 mg/kg时,则抑制硝化作用的进行和抑制土壤中固定态铵的释放,使土壤中硝态氮的含量显著下降^[21]。虽然KCl+MgCl₂组的藻类密度显著低于对照组,总氮氮中被藻类吸收利用的量减少,但由于促进了硝化作用的进行,结果总氮氮浓度仍略低于对照组。

反硝化作用过程出现于富营养水体的均温层或当氧化的氮化合物扩散到厌氧的泥层中^[22, 23]。在底泥中大量的无机氮进行着反硝化作用^[23]。在池塘养殖中,氮可通过氨的散发和反硝化作用散失^[24]。由于NaNO₃的施用,进行反硝化作用的硝酸盐氮增加。反硝化作用属于碱性反应,每消耗1 mol的硝酸盐就会产生1 mol的碱度^[4]。因而NaNO₃组的总碱度均显著高于对照组,同时NaNO₃+KCl+MgCl₂组的总碱度又显著高于NaNO₃组,表明KCl和MgCl₂的施用促进了硝化作用的进行,产生了更多的硝酸盐氮,并且也使在池塘水体均温层或扩散到底泥厌氧泥层中进行反硝化作用的底物—硝酸盐氮浓度提高,进行更多的反硝化作用,从而使碱度进一步增大。

3.2 施用矿物盐对蓝藻相对密度的影响

虽然大多数浮游植物都能够吸收利用氨、亚硝酸盐及硝酸盐这三种氮源,但通常倾向吸收氨^[25]。然而通过NaNO₃的施用,由于提高了池塘水中的氮、磷比值,有利于提高绿藻对蓝藻的比例^[26],且有可能削弱了蓝藻在种间竞争上的优势。因为蓝藻占优

势主要是在营养盐浓度高,尤其是相对于磷的氮被限制时发生,大多数蓝藻大量生长的养殖池塘都是氨氮的浓度高而硝酸盐氮的浓度低^[4]。NaNO₃组的蓝藻相对密度显著低于对照组,而KCl+MgCl₂的施用促进硝化作用的进行,降低了氨氮浓度,间接增大了硝酸盐氮的浓度,从而也使蓝藻的相对密度显著下降。因此,所有施用矿物盐的处理组均显著地降低了水中蓝藻的相对密度。

3.3 NaNO₃+KCl+MgCl₂对池塘底泥氧化还原电位的影响

为了在底泥的表面维持一层薄的氧化层,可施用NaNO₃于池塘、湖泊中^[27]。在实验室的微生态系统中所做的实验表明NaNO₃的施用能防止在泥水界面产生低的氧化还原电位,并能降低水中磷的浓度^[28]。NaNO₃组的底泥表层氧化还原电位,在养殖始末的变化量是正值。这表明通过施用NaNO₃,有助于对底泥—水界面氧化层的维持,使底泥表层的还原性物质(通常是有毒性的物质)的比例被降低;在养殖108d内,由于水温高,水中生物的代谢旺盛,相应的底泥中积聚的还原性物质多,而处理组底泥中硝酸根离子的浓度相对小,因而氧化还原电位与对照组一样均为下降;108d后,因为水温开始显著下降,相应地处理组底泥中硝酸根离子的浓度相比还原性物质浓度可能渐渐增大,从而表现为处理组电位开始上升,而对照组电位依然下降直到养殖138d后水温更低,底泥表层氧化条件相对较好,电位才开始回升。此外,只有NaNO₃+KCl+MgCl₂组的氧化还原电位的变化量显著高于对照组,表明除了NaNO₃的效力外,KCl+MgCl₂通过对硝化作用的促进,增加了起氧化剂作用的硝酸盐浓度,有助于最终电位的显著提高。

此外,底泥总氮含量变化在对照组和处理组间均无显著差异,表明本实验适度的施用NaNO₃不会造成水质的再次富营养化污染问题。由于在底泥中大量的无机氮在进行着反硝化作用^[23]。池塘养殖中,氮可通过氨的散发和反硝化作用散失^[24]。因此加入池塘中的NaNO₃可以经反硝化作用转变成气态的分子氮或氨从水中散失。

3.4 NaNO₃+KCl+MgCl₂对水质及养殖效益的综合影响

NaNO₃+KCl+MgCl₂组的池塘养殖斑点叉尾鲴产量比对照组显著提高6.6%,饲料系数显著降低6.2% ($P < 0.05$)。由于NaNO₃与KCl+MgCl₂的共同施用,起到了协同改良池塘水质和底质的作用,它

们通过降低水中蓝藻相对密度,维持底泥表层的氧化层,减少还原性有毒物质向水中扩散,减少鱼体应激反应,使鱼体需用于抵御应激反应的能量消耗减少,从而使鱼体生长速度加快,饲料系数降低,鱼的产量得到提高。

蓝藻能分泌一些有气味的化合物,它们被鱼体吸收后而使鱼肉组织产生不良味道,尽管鱼的不良味道经处理后最终可能去除,但鱼不能按期出售影响了生产资金的流转和效益^[5]。因此,虽然施用矿物盐导致生产成本增加,使每公顷池塘 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 组的养殖收入减少了人民币 2052 元,但显著降低了池塘水中的蓝藻相对密度,可降低养殖鱼类产生不良味道风险,提高鱼肉的品质;使养殖者不必在出售前对鱼进行长时间暂养处理以消除异味,节省了生产费用支出。因而,在水产品质量问题倍受关注的今天, $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 在池塘养殖中的应用具有重要推广价值。此外,由于本实验的养殖密度按美国的一般商业化养殖密度,密度较低,养殖过程水质较好,有可能不能突显出处理组的水质改良效果。如果在高密度养殖条件下,预计会有更好的水质改良效果。斑点叉尾鲴于 1984 年引进我国,目前已成为我国内地尤其湖北养殖的主要淡水品种之一^[29],因此 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 的应用推广将促进我国斑点叉尾鲴品质的提高。若将 $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ 施用于高经济价值的水产品如对虾、河鳗等的养殖,则产量增产的产值及饲料节约的成本将会大于施用矿物盐的成本,预计将有较高的经济效益。

参考文献:

[1] Sipaub-Tavares L H and C E Boyd. Possible effects of sodium chloride on quality of effluents from Alabama channel catfish ponds [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2003, **34**: 217—222

[2] Boyd C. E. and T. Thunjai. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2003, **34**: 524—532

[3] McNevin A, C E Boyd, O Silapajarn, et al. Ionic supplementation of pond waters for inland culture of marine shrimp [J]. *Journal of World Aquaculture Society*, 2004, **35**: 460—467

[4] Boyd C. E. and C. S. Tucker. Pond aquaculture water quality management [M]. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts 1998: 700

[5] Boyd C. E. Water quality in ponds for aquaculture [M]. Auburn, AL: Auburn University/Alabama Agricultural Experiment Sta-

tion, 1990

[6] Lovell R T. Off-flavors in pond-cultured channel catfish [J]. *Water Science Technology*, 1983, **15**: 67—73

[7] Lovell R T and D Broce. Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp [J]. *Aquaculture*, 1985, **50**: 169—174

[8] English W R, T E Schwedler and L A Dyck. *Aphanizomenon flos-aquae*, a toxic blue-green alga in commercial channel catfish, *Ictalurus punctatus* ponds: A case history [J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 1993, **3**: 195—209

[9] Zimba P V, L Khoq, P S Gaunt, et al. Carmichael. Confirmation of catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), mortality from *Microcystis* toxins [J]. *Journal of Fish Diseases*, 2001, **24**: 41—47

[10] Parker D L, H D Kumar, L C Rai, et al. Potassium salts inhibit growth of the Cyanobacteria *Microcystis* spp. in pond water and defined media: Implication for control of microcystin-producing aquatic blooms [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1997, **63**: 2324—2329

[11] McNutt R B. Soil survey of Lee County, Alabama [M]. Washington: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service; U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 1981

[12] Munsiri P, C E Boyd, and B J Hajek. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA, and a proposed method for describing pond soil horizons [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1995, **26**: 346—377

[13] Boyd C. E. and C. S. Tucker. Water quality and pond soil analyses for aquaculture [M]. Auburn, Alabama: Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama 1992: 183

[14] A L Page, R H Miller, and D R Keeney. Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties [M]. Second Edition. Madison: American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 1982

[15] Jiang X L, Claude E. Boyd. Relationship between organic carbon concentration and potential pond bottom soil respiration [J]. *Aquacultural Engineering*, 2006, **35**(2): 147—151

[16] Jiang X L, Claude E. Boyd. Measurement of 5-day biochemical oxygen demand without sample dilution or bacterial and nutrient enhancement [J]. *Aquacultural Engineering*, 2005, **33**(4): 250—257

[17] Clesceri L S, A E Greenberg, and A D Eaton. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [M], 20th edition. Washington: American Public Health Association, Washington, D. C. 1998

[18] Zeller H D. Nitrogen and phosphorus concentrations in fertilized and unfertilized farm ponds in central Missouri [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1952, **82**: 281—288

[19] Heimann P. Effect of added salts on nitrogen release and nitrate levels on forest soils of the Washington coastal area [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1975, **39**: 778—782

[20] He F Y, Yin R, Cai G X, et al. Comparison of nitrogen mineralization and nitrification in upland soils grown with vegetables and food crops [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, **36**(1): 41—44

- [贺发云, 尹斌, 蔡贵信, 等. 菜地和旱作粮地土壤氮素矿化和硝化作用的比较. 土壤通报, 2005, 36(1): 41—44]
- [21] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q, *et al.* Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils ⑤. transformation of ammonium sulfate in the paddy soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 70—77 [王火焰, 周健民, 陈小琴, 等. 氮磷钾肥料在土壤中转化过程的交互作用 ⑤. 硫酸铵在水稻土中的转化. 土壤学报, 2005, 42(1): 70—77]
- [22] Patrick W H Jr, Tusneem M E. Nitrogen Loss from Flooded Soil [J]. *Ecology*, 1972, 53: 735—737
- [23] Boulin D R, R L Johnson, C Burda, *et al.* Losses of inorganic nitrogen from aquatic systems [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1974, 3: 107—114
- [24] Schwartz F M, and C E Boyd. Channel catfish pond effluents [J]. *Progressive Fish-Culturist*, 1994, 56: 273—281
- [25] Liu J K. Senior Hydrobiology [M]. Beijing Academic Press, 1999 [刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999]
- [26] Hansell D A, Boyd C E. Uses of Hydrated Lime in Fish Ponds [A]. Proc Annual Conf S. E. Assoc. Fish and Wildl [C]. *Agencies*, 1980, 34: 49—58
- [27] Boyd C E. Potential of sodium nitrate to improve environmental conditions in aquaculture ponds [J]. *World Aquaculture*, 1995, 26(2): 38—40
- [28] Masuda K, and C E Boyd. Effects of aeration, alum treatment, liming and organic matter application on phosphorus exchange between pond soil and water in aquaculture ponds at Auburn, Alabama [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1994, 25: 405—416
- [29] Tan X Y, Luo Z, Wang W M, *et al.* Effects of starvation on body weight and body composition of small sized channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(1): 39—45 [谭肖英, 罗智, 王为民, 等. 饥饿对小规格斑点叉尾鲴体重及鱼体生化组成的影响. 水生生物学报, 2009, 33(1): 39—45]

A STUDY ON MINERAL SUPPLEMENTATION IMPROVING WATER QUALITY IN AQUACULTURE PONDS

JIANG Xing-Long¹, GUAN Rui-Zhang¹ and Claude E. Boyd²

(1. Jin ei University, Xiamen 361021 China; 2. Auburn University, Alabama 36849 USA)

Abstract Catfish (*Ictalurus punctatus*) has been the main freshwater aquaculture economical species in both America and China mainland. To study the effect of NaNO_3 as a soil oxidant and possible decline against blue-green algae and potential extension prospect of mineral supplementation on water quality improvement in freshwater aquaculture ponds, the experiment including three treatments NaNO_3 , $\text{KC l} + \text{MgCl}_2$ and $\text{NaNO}_3 + \text{KC l} + \text{MgCl}_2$ as mineral supplementation and NaNO_3 as a soil oxidant and the control with not any mineral supplementation or fertilizers, was designed and applied to 12 freshwater earthen ponds stocked with catfish at the density of one individual per cubic meter water in Auburn University, Alabama, U.S.A. During the culture period of 182 days, the application dosage of NaNO_3 , KC l or MgCl_2 was 2g, 100g and 20g per cubic meter water per time, and the application times of NaNO_3 or $\text{KC l} + \text{MgCl}_2$ was 21 and 2 times in total, respectively, moreover, the application times of $\text{NaNO}_3 + \text{KC l} + \text{MgCl}_2$ included 21 times for NaNO_3 application and 2 times for $\text{KC l} + \text{MgCl}_2$ application in total. 17 water quality parameters including total ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, reactive phosphorus, turbidity, DO, pH, alkalinity, chloride, chlorophyll a, BOD₅, potassium, sodium, calcium, magnesium, total algae density and blue-green algae relative density, and 5 bottom soil parameters including redox potential, total nitrogen, total phosphorus, soil respiration rate and organic carbon, in the treatments and control ponds were monitored at interval. The results showed that all the treatments caused the blue-green algae relative density of ponds to decline significantly ($P < 0.05$), which would decline the possibility of catfish being off-flavor. The treatment of $\text{KC l} + \text{MgCl}_2$ promoted nitrification positively in pond water body, which would promote total ammonia nitrogen, whose high concentration would be harmful to aquaculture species growth, transferring to nitrite nitrogen and then continuing to be nitrate nitrogen, which would be not harmful to aquaculture species growth. The treatment of $\text{NaNO}_3 + \text{KC l} + \text{MgCl}_2$ increased bottom soil redox potential significantly ($P < 0.05$), which would reduce some harmful deoxidized compounds diffusing from soil surface to water. Only the treatment of $\text{NaNO}_3 + \text{KC l} + \text{MgCl}_2$ increased catfish production at 6.6% and declined feed conversion ratio at 6.2% significantly ($P < 0.05$); NaNO_3 cooperated with $\text{KC l} + \text{MgCl}_2$ took effect of improving water and bottom soil quality in aquaculture ponds, where the blue-green algae relative density of ponds being declined and

ponds bottom soil redox potential being increased in result which blocked and reduced some harmful deoxidized compounds diffusing from soil surface to water and reduced fish reaction against the bad water quality which saved energy consumption for fish, decreased feed conversion ratio and increased growth rate. Therefore, $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ treatment would develop a new path to improve water and bottom soil quality in aquaculture freshwater ponds and have a great extension prospect. Moreover, if $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ treatment apply to other higher value species aquaculture ponds for instance, shrimp or eel, those species aquaculture effect should be better than that of catfish, because $\text{NaNO}_3 + \text{KCl} + \text{MgCl}_2$ treatment would have similar effect on the improvement of water and bottom soil quality in the ponds as in catfish ponds. Furthermore, the value of production increased and the cost of feed saved would be more than the cost of all mineral supplementation to the ponds.

Key words Sodium nitrate; Mineral supplementation; Catfish; Ponds water quality improvement; Blue algae