

# 硝酸钠改良半咸水凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)池塘底质和水质的研究\*

江兴龙<sup>1</sup> 关瑞章<sup>1</sup> Claude E. Boyd<sup>2</sup>

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

**提要** 采用在 8 口土池开展半咸水养殖凡纳滨对虾施用  $\text{NaNO}_3$  对比实验的方法, 进行了硝酸钠对半咸水对虾养殖池塘底质和水质的改良效果、机理及应用前景的研究。结果表明,  $\text{NaNO}_3$  处理组显著提高了池塘底泥表层的氧化还原电位, 显著降低了底泥的  $\text{BOD}_5$  和可利用磷的浓度; 显著降低了池塘水中的蓝藻相对密度; 处理组的养殖成活率、产量和饲料系数分别比对照组显著提高 8.2%、10.1% 和降低 9.2% ( $P < 0.05$ ); 处理组养殖效益明显高于对照组, 每公顷池塘养虾净增加收入人民币 9765 元;  $\text{NaNO}_3$  的施用起到了有效改良池塘底质和水质的作用。因此,  $\text{NaNO}_3$  的应用可为半咸水对虾养殖池塘底质和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, 半咸水, 凡纳滨对虾, 池塘底质改良, 池塘水质改良

**中图分类号** S949

在虾的池塘养殖中, 池塘注水后的底泥环境状况是一个很重要的水质影响因子。通过营养盐的交换及物质再循环过程, 底泥成为生长在池底的水生动物所需营养盐的来源之一(Boyd, 1990; Matida, 1966)。底泥也对池塘水质起到一个缓冲的作用, 就如同一个生物过滤器可将水质净化(Ray *et al.*, 1992)。不论是半精养池还是精养池, 差的底泥质量都会对虾的养殖产生很大的负作用(Ray *et al.*, 1992; Boyd, 1992)。并且随着池塘中虾的密度和生物量的增加, 问题会更加严重。当有机物质积累更多或 C/N 比值更高时, 有机物质的分解效果更差(Boyd, 1995)。5—10 年的老池塘的底泥 C/N 比值可能会超过 30, 必须施用氮肥使该比值降低到 20 以下。可施用任何一种氮肥, 按每隔 2—4 周、10kgN/ha 的施肥量来施。但施用  $\text{NaNO}_3$  将取得最好的效果(Boyd, 1990)。在半精养池塘中, 虾的产量与藻类质量有关(Dall *et al.*, 1990)。硅藻和绿藻是理想的藻类, 因为它们的营养价值更高, 有利于虾的生长及产量的增加(Shigueno, 1985), 而

蓝藻、甲藻、裸藻常会引起养虾的水质问题。硅藻的丰度达到 20%—30% 较为适当(Boyd *et al.*, 1993)。在大多数的养虾场池塘中, 蓝藻占优势, 接下来依次为硅藻、绿藻、裸藻、甲藻(Rungsupha *et al.*, 1999)。本实验旨在研究  $\text{NaNO}_3$  的施用对半咸水对虾养殖池塘底质和水质的改良效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

8 口土质池塘用于本实验, 池塘水为引于海湾的半咸水, 每口池塘水面积为 8000m<sup>2</sup>, 平均水深 1m, 4 口为对照组, 4 口用于  $\text{NaNO}_3$  处理组。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)仔虾苗(仔虾第 10—11 天)为购自美国佛罗里达州的无特定病原苗(SPF)。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 池塘准备** 养殖池塘在放养前均已清淤, 并曝晒 1—2 个月。对  $\text{NaNO}_3$  处理组池塘, 先用农业

\* 福建富闽基金资助项目, 200372 号; 美国奥本大学国际水产养殖与水环境合作专项资金资助, 200403 号。江兴龙, 博士, 博士后, 副教授, E-mail: xinlongjiang@hotmail.com

通讯作者: 关瑞章, 教授, 博导, E-mail: rzguan@jmu.edu.cn

收稿日期: 2008-10-20, 收修改稿日期: 2008-12-30

石灰石粉( $\text{CaCO}_3$ ) (375—625kg/ha)(根据底泥的 pH 调整)遍洒池塘底部。注水入池塘到水深 0.7m, 用 8mg/L 的活性氯杀死病原微生物。施用  $\text{NaNO}_3$  (200kg/ha) 一次, 然后再连续四周每周一次施用  $\text{NaNO}_3$  (20kg/ha) 和三倍过磷酸盐  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  (6.7kg/ha)以培养水质。

对照组池塘, 不施用  $\text{NaNO}_3$ , 其它池塘处理同处理组池塘。此外, 在开始的 2 周每周一次施用其它氮肥(含氮量为 15%) (10kg/ha)以培养水质。

**1.2.2 养殖管理** 仔虾苗投苗密度均为 60 尾/ $\text{m}^2$  水面。养殖期间, 处理组池塘每周施用一次  $\text{NaNO}_3$  (20kg/ha), 如果水质的透明度小于 30cm, 则暂停施用。共施 10 次, 从第 11 周开始, 由于透明度一直小于 30cm, 故没有施用。对照组池塘则不施用  $\text{NaNO}_3$  及任何其它肥料。

使用水车式增氧机增氧, 保证池塘水中溶解氧浓度不低于 3.5mg/L; 投喂含 35%粗蛋白的商业性凡纳滨对虾颗粒饲料, 每周投饵 7 天, 每天 2 次。日投饵率随虾的生长基本每周调节一次, 第 1 周的日投饵量按 6kg/ha, 第 2—3 周按 11kg/ha, 第 4 周按 16kg/ha, 第 5 周起按虾重的 2.5%—5.0%, 每天各池的投饵量都一样; 实验结束时进行干塘起捕, 并计数和称重。养殖周期为 6—10 月, 计 125 天。

**1.2.3 底泥的泥样采集和相关因子的测定方法** 使用一个空心的硬质塑料圆管采集池塘底泥表层 5cm 的泥样(Munsiri *et al.*, 1995), 分别在池塘  $\text{NaNO}_3$  施用前一天和虾起捕收获的前一天在每口池塘选取 5 个点进行泥样的采集。测定底泥的颗粒结构(Boyd *et al.*, 1992); 泥样经空气干燥后粉碎, 过 40 目筛, 用 Walkley-Black 硫酸-重铬酸钾氧化法进行有机碳的含量分析(Boyd *et al.*, 1992); 总氮(LECO Carbon-Hydrogen-Nitrogen Analyzer CHN 600); 总细菌数、弧菌数(菌落计数法, 每月采泥样测定一次), 可利用磷(稀盐酸和硫酸法)(Page *et al.*, 1982)及五日生化需氧量(Jiang *et al.*, 2006)的测定。使用 pH 计(玻璃电极)测定 pH 值(Thunjai *et al.*, 2001)。每月采泥样用氧化还原电位仪(铂电极)(ORP, Orion Model 97-98-00)测定底泥的氧化还原电位一次。

**1.2.4 水样采集和相关因子的测定法** 每周于上午 7—8 时采集每口池塘表层水水样(水面下约 20cm 处)一次。用溶解氧(玻璃电极)测定仪(Yellow Springs Instrument Company)进行溶解氧浓度的测定和水温的测定; 用盐度计测定盐度; 用 pH 计(玻璃电极)测

定 pH 值; 用萨氏盘测透明度; 总氨氮采用苯酚盐法, 可溶性正磷酸盐采用过硫酸钾氧化法, 总磷采用过硫酸钾消化法, 总细菌数和弧菌数采用菌落计数法(Clesceri *et al.*, 1998); 硝酸盐氮采用 NAS 试剂二苯胺磺酸生色法(Gross *et al.*, 1998); 总碱度采用硫酸滴定法, 亚硝酸盐氮采用重氮化过程法(Boyd *et al.*, 1992), 叶绿素 *a* 采用丙酮-甲醇提取法(Pechar, 1987)。

每周测定一次藻类的丰度。使用一种水柱采水器(Boyd *et al.*, 1992)采集自水面至 50cm 深处水柱的水样, 50ml 水样滴入 0.15ml 鲁哥氏液固定保存, 藻类可经离心机低速离心(2500r/min)聚集浓缩静置后, 使用反转显微镜进行藻类计数、蓝藻计数(Boyd *et al.*, 1992)。

**1.2.5 数据分析** 各组的各水质因子的每次数据是各组内 4 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浓度增量的平均值和标准差是指用各组虾起捕前的各池塘的各项因子测定值减去  $\text{NaNO}_3$  施用前相应因子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)专业软件进行统计分析, 用 *t*-检验法分析处理组与对照组数据平均值间的差异显著性, 取  $P < 0.05$  为显著差异。

## 2 结果

### 2.1 池塘水质因子

处理组的总碱度显著高于对照组( $P < 0.05$ )(表 1), 但在养殖 76 天后, 处理组与对照组的总碱度无显著差异; 处理组的蓝藻相对密度显著地低于对照组( $P < 0.05$ ), 在养殖 62 天后, 无论对照组或处理组的蓝藻相对密度都明显增大直至养殖 97 天达峰值后开始下降; 池塘水的透明度、温度、盐度、pH、溶解氧、总氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、可溶性正磷酸盐、总磷、叶绿素 *a* 的浓度, 藻类密度、总细菌数和弧菌数在对照组和处理组之间均无显著差异( $P > 0.05$ )(表 1)。但在养殖 64 天内, 处理组的弧菌数显著低于对照组( $P < 0.05$ )。

### 2.2 池塘底泥因子

根据底泥质地的颗粒组成比例, 查土壤三角形图(Boyd *et al.*, 1992), 对照组和处理组的池塘底泥均属于壤土, 没有差异。处理组的底泥表层氧化还原电位的变化是养殖结束时的电位要高于池塘准备阶段

施用  $\text{NaNO}_3$  前的电位, 变化量是正值, 而对照组的却是降低, 变化量是负值, 有显著差异 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。此外, 处理组的电位从开始略为上升到投虾苗养殖后开始下降, 在养殖 60 天时电位降到最低点后又开始上升, 结束时的电位高于起始电位; 而对照组的电位从起始就持续下降到养殖 60 天时最低点, 然后开

表 1 对照组和处理组的水质因子浓度

Tab.1 The concentration of water quality indicators in the control and treatment ponds

因子	对照	$\text{NaNO}_3$
透明度(cm)	33.4±17.3	32.3±12.9
温度( )	29.5±2.9	29.6±3.0
盐度	22.0±1.4	22.05±1.4
溶解氧(mg/L)	6.12±0.98	6.32±0.99
pH	8.28±0.14	8.31±0.14
总碱度(mg/L)	115.8±23.8	139±18.2
总氮(mg/L)	0.62±0.69	0.65±0.80
硝酸盐氮(mg/L)	0.09±0.08	0.19±0.29
亚硝酸盐氮(mg/L)	0.19±0.28	0.14±0.21
可溶性正磷酸盐(mg/L)	0.007±0.007	0.009±0.008
总磷(mg/L)	0.07±0.05	0.08±0.05
总细菌数( $10^3$ CFU/ml)	12.2±6.8	14±5.3
弧菌数( $10^2$ CFU/ml)	10.2±6.3	8.3±9.6
叶绿素 <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	154±107	176±106
藻类密度( $10^3$ cells/ml)	59±41	70±42
蓝藻相对密度(%)	26.5±10.5	12±9.1

注: 蓝藻相对密度(%)指样品中蓝藻细胞数量占总藻类细胞数量的百分比值; 仅总碱度和蓝藻相对密度在对照组和处理组间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其余项均无显著差异

表 2 养殖始末对照组和处理组池塘底泥因子的浓度增量  
Tab.2 The concentration increment of soil indicator at the initial and end culture period in the control and treatment ponds

因子(浓度增量)	对照	$\text{NaNO}_3$
氧化还原电位 Eh(mV)	-16±9	7.2±5
总氮(%)	-0.005±0.003	-0.002±0.003
可利用磷(mg/kg)	3.3±1.6	-1±1.2
$\text{BOD}_5$ (mg/g soil)	1.16±0.32	0.62±0.26
有机碳(%)	0.26±0.17	0.17±0.12
pH	1.0±0.2	1.1±0.2
总细菌数( $10^6$ CFU/g soil)	0.21±0.15	0.41±0.25
弧菌数( $10^3$ CFU/g soil)	4.0±1.6	4.4±2.4

注: 养殖始末各组池塘底泥因子的浓度增量是指各组内虾起捕前各池塘的因子测定值减去  $\text{NaNO}_3$  施用前相应因子测定值的差值的平均值; 仅氧化还原电位、总氮、可利用磷和  $\text{BOD}_5$  等的浓度增量在对照组和处理组间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其余项均无显著差异

始上升, 但结束时的电位仍低于起始电位; 在电位下降过程中, 对照组的电位下降速度更快, 而处理组的电位下降速度更慢些。但在养殖 60 天后的电位上升阶段, 处理组与对照组的电位增加速度没有明显差异。

养殖始末池塘底泥的总氮浓度增量、可利用磷浓度增量、五日生化需氧量( $\text{BOD}_5$ )浓度增量, 在对照组和处理组之间都有显著差异 ( $P < 0.05$ ); 但 pH 值、有机碳、总细菌数和弧菌数等浓度增量在对照组和处理组之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 2), 然而在养殖 64 天内, 处理组的弧菌数显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 养殖结果

处理组的养殖成活率、产量、饲料系数分别比对照组的显著提高 8.2%、10.1%、降低 9.2% ( $P < 0.05$ ), 而虾的平均起捕尾重、平均生长率则没有显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 3); 处理组每公顷池塘的养虾利润比对照组增加了人民币 9765 元, 其中, 每公顷池塘的  $\text{NaNO}_3$  总施用量为 480kg, 折算总施用成本为人民币 1142 元; 增产虾 573kg, 折算产值为人民币 10907 元; 扣除成本, 每公顷池塘净增加收入人民币 9765 元。

表 3 对照组和处理组池塘养殖结果

Tab.3 The production results of the control and treatment ponds

养殖结果	对照	$\text{NaNO}_3$
成活率(%)	51.86±4.01	60.02±4.63
虾产量(kg/ha)	5654±249	6227±283
饲料系数	1.52±0.08	1.38±0.05
平均起捕尾重(g)	18.17±1.23	17.3±1.01
平均生长率(g/d)	0.145±0.02	0.138±0.02

注: 仅成活率、虾产量和饲料系数在对照组和处理组之间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其余项均无显著差异

## 3 讨论

### 3.1 施用 $\text{NaNO}_3$ 对底泥表层氧化还原电位和 $\text{BOD}_5$ 的影响

在实验室的微生物生态系统所做的实验结果表明, 施用  $\text{NaNO}_3$  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 (Lin *et al*, 1988)。处理组的底泥表层氧化还原电位, 在养殖始末的变化量是正值, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。这表明, 施用  $\text{NaNO}_3$  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的比例被降低。因为, 池塘底泥可以看作是连续的层面, 而每一层都叠在比它的氧化还原电位 Eh (标准氢电极) 更低的层面上。当有溶解

氧时,氧作为终端电子受体,是氧化剂。当 Eh 变得越来越低时,氧化剂是按下列顺序被还原的:  $O_2 > NO_3^- > Mn^{4+} > Fe^{3+} > SO_4^{2-} > CO_2$ 。在底泥的有氧表层,氧参与有机物质的分解并被还原成水。在它的缺氧还原性下层,硝酸盐可作为硝酸盐层面有机物质分解时的终端电子受体,并被还原为氮气(Hargreaves, 1995)<sup>1)</sup>。

在池塘投苗前,由于施用  $NaNO_3$ ,使处理组底泥氧化还原电位略为增大,而对对照组的却是开始下降。投苗后至养殖 62 天前,由于水温高,水中生物如藻类、细菌等的新陈代谢旺盛,相应的底泥中积聚的还原性物质也多,而底泥中硝酸根离子的浓度相对小,因而表现为电位下降,但处理组由于施用了  $NaNO_3$  而表现出电位下降更缓慢、降低幅度更小;养殖 62 天后,水温开始下降,相应地使底泥中溶氧得到改善,硝酸根离子的浓度相对渐渐增大,从而表现为电位上升。由于在养殖 69 天后,处理组不施用  $NaNO_3$ ,故表现出处理组与对照组的电位增高速度没有明显差异。

此外,处理组底泥  $BOD_5$  在养殖始末的增加量显著低于对照组( $P < 0.05$ ),表明处理组池塘底泥的生化需氧量更低,底泥表层的氧环境得到了改善,有利于作为底栖生物的虾的生长。

### 3.2 施用 $NaNO_3$ 对底泥的可利用磷和弧菌数的影响

被底泥吸收的磷以溶解度有限的特殊化合物的形式存在。在泥中的正磷酸浓度与在水中的正磷酸浓度存在一个平衡(Harter, 1968; Latterell *et al.*, 1971)。反硝化过程由细菌和真菌参与,它们在有葡萄糖和磷酸盐存在时可把硝酸盐作为氧源加以利用(孙儒泳等, 1993)。处理组的可利用磷浓度在养殖始末的变化是负值,而对对照组则是正值,具有显著差异( $P < 0.05$ )。表明处理组底泥中反硝化作用的进行比对照组的,大量细菌在进行反硝化作用的同时,吸收同化了更多的磷酸盐,提高了对底泥磷的利用能力,降低了底泥可利用磷的浓度,促进了池塘水生生态系统内磷的生物地化循环,有利于提高水体的生产力。

养殖期间,弧菌数在对照组和处理组之间没有显著差异,然而,在养殖前期(64 天内),处理组的弧菌数显著低于对照组( $P < 0.05$ )。可能是对照组的虾成活率更低,死亡的虾体易生长弧菌;也可能是  $NaNO_3$

的施用促进了池塘水体中一些自养细菌和其它属异养细菌的生长而抑制了弧菌的生长,因为有些自养细菌和海洋中的很多异养细菌虽然可以利用氨或铵盐来合成它们自己的原生质,但一般说来,这些含氮化合物难以被直接利用,而必须使它们在硝化作用中转化为硝酸盐(孙儒泳等, 1993)。此外,处理组仅在养殖前 10 周每周施用  $NaNO_3$  一次,此后由于池塘水透明度一直低于 30cm 而未能再施用  $NaNO_3$ ,因此,表现为仅在养殖前期,处理组的弧菌数显著低于对照组。弧菌属是革兰氏阴性菌,是栖息虾塘的天然水生微生物群的一部分,也是影响养殖虾的主要病原菌之一(Sung *et al.*, 2001)。因而降低弧菌数,意味着有可能降低养殖虾的被感染发病机率。

### 3.3 施用 $NaNO_3$ 对水中总碱度和蓝藻相对密度的影响

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(Patrick *et al.*, 1972; Bouldin *et al.*, 1974)。在底泥大量的无机氮进行着反硝化作用(Bouldin *et al.*, 1974)。由于  $NaNO_3$  的施用,使进行反硝化作用的硝酸盐氮增加。反硝化作用是属于碱性反应,每消耗 1 摩尔的硝酸盐就会产生 1 摩尔的碱度(Boyd *et al.*, 1998)。因而  $NaNO_3$  处理组的总碱度显著高于对照组。由于在养殖 69 天后,处理组停用  $NaNO_3$ ,导致随后的反硝化作用减弱,因此在养殖 76 天后,处理组与对照组的总碱度实际上无显著差异。

分子氨和氨离子可以被水生植物直接利用或经硝化作用形成硝酸盐后再被吸收(Boyd, 1990)。大多数的养虾场池塘,蓝藻是占优势的,接下来是硅藻、绿藻、裸藻、甲藻(Rungsupha *et al.*, 1999)。氮磷比高于 15 : 1 被认为是能促进硅藻相对于蓝藻的生长(Boyd *et al.*, 1993)。Villalon(1991)推荐池塘水的营养盐浓度中氮 1.3mg/L 和磷 0.15mg/L(氮磷比为 19 : 1)有助于保持高的硅藻丰度优势。通过  $NaNO_3$  的施用,提高了池塘水中的氮磷比值,有利于提高硅藻对蓝藻的比例,且有可能削弱了蓝藻在种间竞争上的优势,增强了其它藻类的生长竞争优势,而使蓝藻的生长受抑制,表现为  $NaNO_3$  处理组的蓝藻相对密度显著低于对照组( $P < 0.05$ )。另一方面,由于在养殖 69 天后,总氨氮浓度明显增大,同时,可溶性正磷酸盐浓度达最大,藻类可利用的磷增加。因而无论对照组还

1) Hargreaves J A, 1995. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture pond sediments. Ph.D. dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana

是处理组, 蓝藻的相对密度都开始明显增大。到了养殖 104 天后, 由于可溶性正磷酸盐浓度降到很低, 磷成为限制因子, 蓝藻及其它藻类的生长受到不同程度的限制, 因此它们的密度在达到峰值后开始下降。

### 3.4 施用 $\text{NaNO}_3$ 对池塘底质、水质和养殖效益的综合影响

处理组的养殖成活率、产量和饲料系数分别比对照组的显著提高 8.2%、10.1% 和降低 9.2%。表明  $\text{NaNO}_3$  的施用起到了改良池塘水质和底质的作用。通过施用的  $\text{NaNO}_3$  在池塘水生生态系统内的物质良性循环, 维持底泥表层的氧化层, 改善底泥-水界面氧环境, 减少有毒还原性物质向水中的扩散; 促进底泥表层可利用磷在池塘水生生态系统内的生物地化循环, 有利于提高水体的生产力; 降低水中蓝藻相对密度, 优化了浮游植物群落结构; 由于改良了池塘水体的底质和水质, 使虾体所受的应激反应减少, 需要用于抵御应激反应的能量消耗少。从而使虾的养殖成活率显著提高, 饲料系数降低, 产量提高, 增产收益明显。此外, 由于蓝藻会引起养殖鱼虾的不良味道从而成为养殖池塘中的一个普遍性问题(Lovell, 1983; Lovell *et al*, 1985),  $\text{NaNO}_3$  的施用降低了水中蓝藻的相对密度, 有助于减少虾的土臭味, 改善养殖虾的风味品质。

## 4 结论

$\text{NaNO}_3$  的施用显著提高了半咸水养殖凡纳滨对虾池塘底泥表层的氧化还原电位; 显著降低了底泥的五日生化需氧量, 改善了底泥表层的氧环境; 显著降低了底泥可利用磷的浓度, 促进了池塘水生生态系统内磷的生物地化循环, 有利于提高水体的生产力。

$\text{NaNO}_3$  的施用显著降低了池塘水中的蓝藻相对密度, 有助于减少虾的土臭味, 改善养殖虾的风味品质。

$\text{NaNO}_3$  处理组的对虾养殖成活率、产量和饲料系数分别比对照组显著提高 8.2%、10.1% 和降低 9.2%; 处理组养殖效益明显高于对照组, 每公顷池塘养虾净增加收入人民币 9765 元。

$\text{NaNO}_3$  的施用起到了有效改良池塘底质和水质的作用。因此,  $\text{NaNO}_3$  的应用可为半咸水养虾池塘底质和水质的改良开辟一个新的途径, 具有一定的应用前景。

## 参 考 文 献

孙儒泳, 李 博, 诸葛阳等, 1993. 普通生态学. 北京: 高等教

育出版社, 1—324

- Page A L, Miller R H, Keeney D R, 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA, 1—7004
- Bouldin D R, Johnson R L, Burda C *et al*, 1974. Losses of inorganic nitrogen from aquatic systems. Journal of Environmental Quality, 3: 107—114
- Boyd C E, 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn, AL: Auburn University / Alabama Agricultural Experiment Station, 1—482
- Boyd C E, 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management, In: Wyban J, Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, U.S.A., 161—181
- Boyd C E, 1995. Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. Chapman and Hall, New York. 1—347
- Boyd C E, Tucker C S, 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, 1—183
- Boyd C E, Tucker C S, 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, 1—700
- Boyd C E, Daniels H V, 1993. Liming and fertilization of brackishwater shrimp ponds. Journal of Applied Aquaculture, 2(3): 221—234
- Clesceri L S, Greenberg A E, Eaton A D, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, Washington, D.C., 1—1467
- Dall W, Hill B J, Rothlisberg P C *et al*, 1990. Food and feeding. In: Blaxter J H S, Southward A J ed. The Biology of the Penaeidae, Advances in Marine Biology, Vol.27. Academic Press, New York, 1—536
- Gross A, Boyd C E, 1998. A digestion procedure for the simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in pond water. Journal of the World Aquaculture Society, 29(3): 300—303
- Harter R D, 1968. Adsorption of Phosphorus by Lake Sediment. Soil Sci Soc Amer Proc, 32: 514—518
- Jiang Xinglong, Claude E Boyd, 2006. Relationship between organic carbon concentration and potential pond bottom soil respiration. Aquacultural Engineering, 35(2): 147—151
- Latterell J J, Holt R F, Timmons D R, 1971. Phosphate Availability in Lake Sediments. J Soil Water Conserv, 26: 21—24
- Lin C K, Tansakul V, Apinpath C, 1988. Biological nitrogen fixation as a source of nitrogen input in fish ponds. In: Maclean J L, Dizon L B, Hosillos L V ed. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Proceeding 15, Department of Fisheries, Bangkok, Thailand,

- and International Center for Living Resources Management, Manila, Phillipines, 71—74
- Lovell R T, 1983. Off-flavors in pond-cultured channel catfish. *Water Science Technology*, 15: 67—73
- Lovell R T, Broce D, 1985. Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp. *Aquaculture*, 50: 169—174
- Matida Y, 1966. The Role of Soil in Fish Pond Productivity in Asia and the Far East. In: *Proceedings of the World Symposium on Warm-water Pond Fish Culture*, FAO, United Nation Fish Rep, 1—10
- Munsiri P, Boyd C E, Hajek B J, 1995. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA, and a proposed method for describing pond soil horizons. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26: 346—377
- Patrick W H Jr, Tusneem M E, 1972. Nitrogen loss from flooded soil. *Ecology*, 53: 735—737
- Pechar L, 1987. Use of an acetone: methanol mixture for the extraction and spectrophotometric determination of chlorophyll *a* in phytoplankton. *Arch Hydrobiol Suppl*, 78(1): 99—117
- Ray W M, Chien Y H, 1992. Effects of stocking density and aged sediment on tiger prawn, *Penaeus monodon*, nursery system. *Aquaculture*, 104: 231—248
- Rungsupha S, Poonsuk K, Niyomthamm V, 1999. Zooplankton and phytoplankton in marine shrimp pond between rearing. *Proceedings of 37<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference*. Text and Journal Publication, Kasetsart, Thailand, 246—251
- Shigueno K, 1985. Intensive culture and feed development in *Penaeus japonicus*. In: *Proceedings of the first international conference on the culture of penaeid prawns / shrimps*. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo City, Philippines, 1—550
- Sung H H, Hsu S F, Chen C K *et al*, 2001. Relationships between diseases outbreak in cultured tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and the composition of *Vibrio* communities in pond water and shrimp hepatopancreas during cultivation. *Aquaculture*, 192: 101—110
- Thunjai T, Boyd C E, 2001. Pond soil pH measurement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32: 141—152
- Villalon J R, 1991. *Practical manual for semi-intensive commercial production of marine shrimp*. TAMU-SG-91-501. TAMU Sea Grant College Program, College Station, Texas, U.S.A., 1—104

## USING SODIUM NITRATE IMPROVES THE QUALITY OF BOTTOM SOIL AND WATER IN BRACKISHWATER SHRIMP PONDS

JIANG Xing-Long<sup>1</sup>, GUAN Rui-Zhang<sup>1</sup>, Claude E. Boyd<sup>2</sup>

(1. Jimei University, Xiamen, 361021; 2. Auburn University, Alabama 36849 U.S.A.)

**Abstract** To study the effect, mechanism and potential application of adding sodium nitrate (NaNO<sub>3</sub>) for improving bottom soil and water quality in brackishwater shrimp ponds. The experiment included the treatment of NaNO<sub>3</sub> as a soil oxidant, and compared with the blank control, was designed and applied in eight brackishwater earthen ponds of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). In 125 days, 16 water quality indicators and eight bottom soil indicators were set and measured periodically. The results show that the treatment increased significantly the bottom soil redox potential, declined soil BOD<sub>5</sub> and available soil phosphor concentration, reduced the blue-green algae relative density, and increased fish production and average survival rate at 10.1% and 8.2% respectively. The feed conversion ratio dropped by 9.2% ( $P < 0.05$ ), adding extra profit for about US\$1400 per hectare. Therefore, NaNO<sub>3</sub> treatment can improve bottom soil and water quality in brackishwater shrimp ponds, and will have a great prospect.

**Key words** Sodium nitrate, Brackishwater, *Litopenaeus vannamei*, Ponds bottom soil quality improvement, Ponds water quality improvement