

珠江三角洲基塘水产养殖对水环境的影响^{*}

周劲风, 温琰茂

(中山大学环境科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 为了解珠江三角洲基塘水产养殖对水环境的影响, 选择 4 个典型基塘进行了一个养殖周期的跟踪调查并进行养殖池塘的营养物质平衡概算。结果表明: 养殖池塘中的 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD、Chla 等指标均有明显的升高, 而 NO_3^- 、TP、SRP、BOD 等指标无明显升高, DO 没有明显下降。密养池塘无机氮的组成发生了明显的变化: NH_4^+ 比例上升, 占了 50% 以上, NO_3^- 比例下降, 降到 40% 以下。养殖池塘 NH_4^+ 的主要影响因子是养殖密度和藻类浓度。P 是养殖池塘浮游植物生长的限制性因子。塘泥的吸附和释放可能是影响池塘 TP、SRP 的主要因素。营养物质平衡计算结果表明, 研究池塘中营养物质 N 的输入饲料占 90% ~ 98%, N 的输出鱼类仅占总输出的 20% ~ 27%, 沉积的 N 占 54% ~ 77%。营养物质 P 的输入饲料占 97% ~ 98%, 鱼类 P 仅占总输出的 8% ~ 24%, 沉积的 P 占 72% ~ 89%。珠江三角洲的养殖池塘由于其封闭性, 养殖产生的废物不易外排, 只能依靠池塘的自净作用消解废物。

关键词: 水质; 基塘系统; 水产养殖; 营养物质; 收支平衡; 珠江三角洲

中图分类号: X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 05-0103-04

珠江三角洲的基塘系统 (以桑基鱼塘为代表) 已有 400 多年历史, 从 20 世纪 80 年代开始, 钟功甫等^[1] 从生态学观点出发, 把桑基鱼塘作为一个生态系统来研究, 对基塘系统的结构和功能, 能量交换和物质循环进行了深入的研究, 认为桑基鱼塘是一个具有良好的生态、经济、社会效益的综合体。在近十几年来, 随着商品经济的发展, 桑基鱼塘不论从养殖类型还是从养殖方法手段上都发生了较大的变化。传统的基塘系统是水面养殖、基面种植并重, 通过合理的基水比例和养殖比例, 使得外源输入最小, 现在的基塘系统由于片面追求养殖的经济效益, 基面种植已不受重视, 系统内部的物质循环也受阻, 外源 (饲料) 输入的猛增使得养殖水体的生态环境发生了深刻的变化。随着基塘系统的日益演变, 其带来的水环境问题就不容忽视了。本文旨在探讨在现今的管理和运行模式下基塘水质变化特点和存在的环境问题。

1 材料和方法

1.1 基塘养殖情况

选择了珠江三角洲顺德市两个基塘密集区的 4 个基塘进行了一个养殖周期的跟踪调查。2 个位于勒流镇的生态农业示范区 (A 区), 另 2 个位于杏

坛镇南华村 (B 区)。A 区基塘都是新开垦的新基塘, 基面水面有适当的比例, 塘水养殖时间只有 2 ~ 3 a; B 区基塘都是老基塘, 基面严重退化, 养殖年限已有十几年。在研究期内 (2002 年 3 月—2003 年 1 月), A 区的基塘 (A1, A2) 主养加州鲈, B 区 1 个基塘 (B1) 在前 4 个月是主养草鱼, 后 5 个月主养桂鱼, 另一基塘 (B2) 一直是家鱼混养。加州鲈的主要饵料是冷冻鲮鱼, 桂鱼的主要饵料是活鲮鱼。草鱼的主要饲料是象草和精饲料。每个基塘的水面面积约为 $0.3 \sim 0.5 \text{ hm}^2$, 水深为 $1 \sim 2 \text{ m}$, 养殖生物量为 $1.5 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^4 \text{ kg hm}^2$, 属密养池塘。研究区的基塘基本是封闭的, 除在干塘时将塘水抽到临近的沟渠和基塘外, 基本无水交换; 基塘都装有曝气设备, 从傍晚到次日清晨持续开机。

1.2 水质样品采集与分析

在研究期内, 水质采样频率为: 养殖前期和中期 (3—9 月) 每月 1 次 (每月 20 号), 养殖后期 (10 月—1 月) 共采两次样, 分别为 10 月 31 号和 1 月 15 号, 采样时间为 9:00—11:00, 每个池塘采集一个混合样, 同时在各区附近水体中采集一个混合样作为对照。A 区的对照点 (A3) 位于 A1、A2 附近的沟渠, 与 A1、A2 有着不定期的水交换; B

* 收稿日期: 2003—09—22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40071074)

作者简介: 周劲风 (1970 年生), 女, 讲师/博士生; E-mail: jeeslyc@zsu.edu.cn

区的对照点 (B3) 位于 B1、B2 附近的西江, 与 B1、B2 基本无水交换。样品在采集后 2 h 内送到实验室进行分析, 分析项目包括 PH 值, 溶解氧, 总氮, 总磷, 无机氮的 3 种形态, 活性磷酸盐, 有机碳, 生化需氧量, 化学需氧量, 叶绿素 a, 按文献 [2] 中方法进行分析。在 A 区和 B 区采集基面堆叠土, 用自制的柱状采样器采集 A1 和 B1 底质, 进行有机碳, 总磷、总氮的测定, 分析方法采用文献 [3] 中方法。

1.3 数据的统计分析

各采样点水质变化差异分析采用一个变量的方差分析, 两个采样点的差异比较用 LSD 检验, 显著性差异水平为 0.05。数据的统计分析软件采用 SPSS 11。

2 结果与讨论

2.1 无机氮变化特点

2.1.1 均值变化特点 A 区的 2 个池塘是养殖优质鱼的新塘, A1、A2 点 NH_4^+ 均值分别为 2.03、1.89 mg/L , 对照点 A3 的 NH_4^+ 均值为 1.18 mg/L ; B 区是养殖历史较长的旧塘, B1、B2 点 NH_4^+ 均值分别为 1.58、1.96 mg/L , 对照点 B3 (西江水) 的 NH_4^+ 均值为 0.25 mg/L 。方差分析结果表明, 各养殖池塘的 NH_4^+ 没有显著差异, 但比对照点有了明显的升高。

A1、A2、A3 点 NO_2^- 均值分别为 0.42、0.30、0.24 mg/L , B1、B2、B3 点 NO_2^- 均值分别 0.20、0.33、0.04 mg/L , 各养殖池塘的 NO_2^- 没有显著差异, 但比对照点有了明显的升高。

A1、A2、A3 点 NO_3^- 的平均浓度分别为 1.47、1.18、0.89 mg/L , B1、B2、B3 点 NO_3^- 均值分别 0.52、0.66、1.15 mg/L , 各养殖池塘的 NO_3^- 具有显著差异, A 区两个池塘的 NO_3^- 大于 B 区的 2 个池塘, 估计与池塘中 DO 的含量有关。A1、A2 点 DO 总体水平较高 (有 80% 的时间都在 4 mg/L 以上), B1、B2 尽管平均值不低, 但变幅较大 (有 50% 的时间都在 4 mg/L 以下), 因此, A1、A2 点的硝化作用较强, 因此硝化作用的产物 NO_3^- 浓度也比 B1、B2 为高。值得注意的是, 对照点 B3 (西江) NO_3^- 的达 1.15 mg/L , 这同它较高的 DO 应是有关的。

从以上数据可以分析养殖池塘中无机氮的组成特点, 养殖池塘中无机氮的组成是: NH_4^+ 52% ~ 69%, NO_3^- 22% ~ 37%, NO_2^- 9% ~ 11%, 对照点 B3 (西江) 无机氮的组成是: NH_4^+ 17%, NO_3^-

80%, NO_2^- 3%, 说明珠江三角洲养殖池塘无机氮的组成发生了明显的变化, NH_4^+ 比例上升, NO_3^- 比例下降。

2.1.2 季节变化特点 养殖池塘无机氮的季节变化特点见图 1。

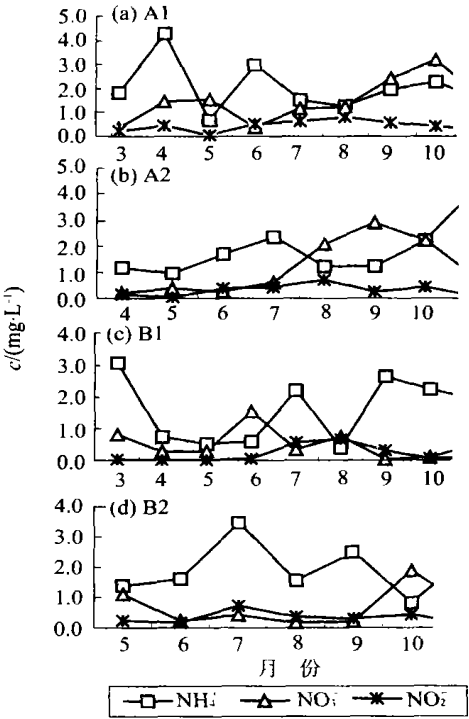


图 1 研究期各池塘 NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- 的浓度波动图

Fig. 1 Fluctuations of NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- in ponds over study period

养殖池塘 NH_4^+ 的浓度受到许多因素的影响, 如水体体积、藻类浓度、养殖密度、塘泥释放、溶氧水平、管理水平等, 因此其季节变化趋势不如一般自然水体 (湖库、河流) 那样具有明显的规律, 春夏季高, 夏秋低, 而呈现出更加复杂的变化特点。

A1 和 A2 从 5 月开始养殖鲈鱼, 一直到次年 1 月分养殖结束, 池塘水位随着自然的降雨和蒸发而升降, 水体体积变化平稳, 幅度不大。两个池塘的 NH_4^+ 变动相似: 5 月因养殖刚开始, NH_4^+ 最低, 随着鱼的生长, 排泄量的增大, NH_4^+ 逐渐升高, 到了生长旺季 (7—9 月), NH_4^+ 没有继续升高, 反而下降, 这可能是藻类的繁殖导致大量的 NH_4^+ 被吸收所致, 随后的月份, NH_4^+ 又呈增长的趋势。B1 在前 4 个月养殖家鱼, 第一个月 NH_4^+ 较高, 随后的 3 个月维持在较低的水平 (小于 1 mg/L), 而同期观测的藻类水平较高 (大于 200 $\mu\text{g/L}$); 7 月份由于放水捕鱼, 同时又养殖桂鱼, NH_4^+ 出现大幅

波动，明显升高，随后，随着生态系统的重新稳定， NH_4^+ 又表现出与 A 区 2 塘同样的趋势。B2 塘一直养殖家鱼，生态系统较稳定，在 7—10 月的养殖期， NH_4^+ 在 2 mg/L 上下波动。上述 4 个养殖池塘 NH_4^+ 季节变化特点说明：鱼类排泄和藻类吸收是调控养殖池塘 NH_4^+ 的 2 控制因子。

从 4 个池塘的 NO_3^- 和 NO_2^- 季节变化图可以发现：在 NH_4^+ 呈现出最低浓度的月份（7—9 月）， NO_2^- 往往出现最大值；而 DO 较充分的 A1、A2， NO_3^- 呈现与 NH_4^+ 此消彼长的趋势，DO 变幅较大的 B1、B2 点 NO_3^- 浓度大都小于 NH_4^+ 浓度，说明在养殖池塘 NO_3^- 和 NO_2^- 的浓度主要受到 NH_4^+ 和 DO 影响。

2.2 活性磷酸盐（SRP）和总磷（TP）变化特点

A1、A2、A3 点 SRP 均值分别为 0.14、0.08、0.05 mg/L，B1、B2、B3 点 SRP 均值分别 0.09、0.05、0.06 mg/L，与对照点相比，密养池塘的 SRP 没有明显升高。A1、A2、A3 点 TP 均值分别为 0.39、0.26、0.14 mg/L，B1、B2、B3 点 SRP 均值分别 0.34、0.30、0.24 mg/L，与对照点相比，养殖池塘的 TP 没有明显升高。

养殖池塘 SRP 和 TP 的季节变化见图 2。养殖池塘 SRP 和 TP 的波动较小，A1 和 B1 点的 SRP 大部分时间都在 0.1 mg/L 上下波动，A2 和 B2 大部分时间都在 0.05 mg/L 上下波动。A1 和 A2 的 TP 大部分时间都在 0.25 mg/L 上下波动，B1 和 B2 的 TP 在 0.30 mg/L 上下波动。

活性磷酸盐和总磷的季节变化不明显，而且浓度没有显著升高，这可能是塘泥的净化机制在起作用。

2.3 其他水质参数变化特点

养殖池塘 COD 浓度（10 ~ 12 mg/L）高于对照点浓度（3 mg/L），且差异显著；BOD 浓度（2.3 ~ 3.6 mg/L）也略高于对照点浓度（1.5 mg/L），但差别不显著。

养殖池塘 DO 浓度无显著差异（4.63 ~ 6.11 mg/L），虽略低于对照点 B3（6.66 mg/L），但差别不显著。珠江三角洲密养池塘中有机物虽明显升高，但由于增氧机的频繁使用，使得池塘中的 DO 没有明显降低，而没有增氧设施的沟渠 A3 点的 DO 浓度就较低（3.49 mg/L）。

养殖池塘 Chla 浓度高于对照点（B3）浓度，且差异显著，以 B1 点浓度最高，达 193.51 $\mu\text{g/L}$ 。各采样点 N/P 质量比为，A1（18:1），A2（22:1），A3（27:1），B1（13:1），B2（18:1），B3（11:1），说明珠江三

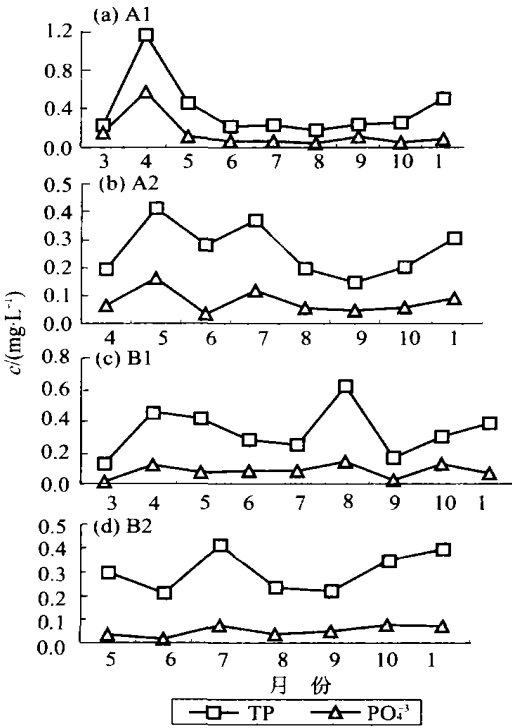


图 2 研究期各池塘 TP， PO_4^{3-} 的浓度波动图
Fig. 2 Fluctuations of TP, PO_4^{3-} in ponds over study period

角洲密养池塘是以 P 为浮游植物生长的限制性因子^[7]。

2.4 池塘底泥 N、P 含量

密养池塘底质和基面土的营养成分含量分析结果见表 1。

表 1 养殖池塘底质营养成分含量分析			
Tab. 1 Nutrient components of sediment in aquaculture ponds			
采样地点	总 N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总 P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质 %
A1	2124	970.5	3.12
B1	1206.5	536.5	2.42

密养池塘底泥中的 TN、TP 和有机质含量都明显高出基面堆叠土，底泥 TP 的含量为基面土的 2.6 ~ 3.6 倍，TN 的含量为基面土的 1.15 ~ 1.30 倍，有机质的含量为基面土的 1.2 ~ 1.6 倍，说明底泥中 P 的富集较为强烈。这也从一个侧面解释了养殖池塘中 TP、SRP 没有显著升高的原因。

2.5 池塘营养物质的收支平衡估算

封闭养殖池塘营养物质的主要源包括鱼类排泄物和未食饵料中的营养成分以及池塘底泥中释放出营养物质，汇主要是鱼类对营养物质的消化吸收，浮游植物对水中营养物质的吸收以及一些自净作用（包括颗粒物的沉降，底泥吸附等），从物质平衡角度

出发,可建立如下的池塘营养物质收支平衡模型:

饵料中营养物质含量+养殖初期水中营养物质+养殖期底泥释放的营养物质=

净养殖产量中营养物质含量+养殖末期水中营养物质+养殖期底泥中增加的营养物质+其他

各养殖池塘营养物质收支平衡(N/P 质量比) 计算结果见表 2。

表 2 养殖池塘营养物质 N、P 收支平衡¹⁾

Tab. 2 Nitrogen and phosphorus budget for aquaculture ponds

样品	输入		输出		
	水体	饲料	水体	鱼类	沉积
鲈鱼(A1)	22.1	1125.76	69.44	282.13	796.29
	3.13	88.58	3.46	22.2	66.06
鲈鱼(A2)	23.46	1125.76	52.26	282.13	814.83
	2.89	88.58	2.14	22.2	67.13
家鱼(B1)	18.08	130.93	28.52	39.65	80.83
	0.59	27.32	1.14	3.12	23.65
桂花鱼(B1)	28.52	610	18.34	130.89	489.29
	1.14	48	1.76	10.3	37.08
家鱼(B2)	40.65	370.96	36.32	88.45	286.84
	2.48	81.54	2.1	6.96	74.96

1) N、P 收支平衡为 N/P 的质量比

营养物质平衡计算结果表明, 研究池塘中营养物质 N 的输入饲料占 90%~98%, N 的输出鱼类仅占总输出的 20%~27%, 沉积的 N 占到 54%~77%。营养物质 P 的输入饲料占 97%~98%, 鱼类 P 仅占总输出的 8%~24%, 沉积的 P 占到 72%~89%。在 N 的平衡中, 本研究没有计算反硝化作用和氨的挥发作用, 在养殖池塘中, 持续的曝气使得 DO 的水平在 4.0 mg/L 以上, 使得反硝化作用受到抑制, 氨的挥发作用在 pH<7.5 时是不重要的^[4], 本研究中各池塘的 pH 值在 7.5 附近。因此

氨的挥发作用可能不强。

在其它的养殖池塘研究中, Dhirendra Prasad Thakur 的研究表明^[5] 养殖生物仅吸收了 23%~31% 的 N 和 10%~13% 的 P, 14%~53% 的 N 和 39%~67% 的 P 累积在底泥中, Abdul 的研究表明^[6], 约 21.4% 的 N 和 18.8% 的 P 被养殖生物吸收, Christopher 的研究表明^[7], 约 22% 的 N 被养殖生物吸收, 14% 沉积在底泥中, 57% 的 N 被排放到环境当中, 可见养殖池塘释放到环境中的营养物质是相当可观的。珠江三角洲的养殖池塘, 由于其封闭性, 养殖产生的废物不易外排, 只能依靠池塘的自净作用消解产生的废物, 因此有必要对池塘的自净作用机制和能力进行进一步的研究。

参考文献:

[1] 钟功甫, 邓汉增, 王增骥, 等. 珠江三角洲基塘系统研究[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 3—5.

[2] 国家环境保护局编委会. 水和废水的监测分析方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 246—280, 354—366.

[3] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 农业土壤化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 69—97.

[4] HARGREAVES J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166: 181—212.

[5] DHIRENDRA P T. Water quality and nutrient budget in closed shrimp culture systems[J]. Aquacultural Engineering, 2003, 27: 159—176.

[6] ABDUL Q S. Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia[J]. Aquaculture, 1999, 170: 245—252.

[7] CHRISTOPHER J. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm[J]. Aquaculture, 2003, 218: 397—411.

Effects of Fish Aquaculture on Water Environment in the Zhujiang River Delta

ZHOU Jing feng, WEN Yan mao

(Department of Environment Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: An investigation was carried out for several aquaculture ponds in the Zhujiang River Delta for a culturing period to determine the effects of dense aquaculture on water quality and nutrient budget. NH_4^+ , NO_2^- , COD and Chla increased remarkably during the study period, while NO_3^- , TP, SRP, BOD and DO remained as those of the contrast points, the components of inorganic nitrogen changed in aquaculture pond, with NH_4^+ increased and NO_3^- decreased remarkably. Nutrient budget revealed that fish could only assimilate 20%~27% nitrogen and 8%~24% phosphorus of the total inputs. The major source of nutrient input was feed, fish feed accounted for 90%~98% nitrogen and 97%~98% phosphorus of the total inputs. The major nutrients sank into the sediment, which accounted for 54%~77% nitrogen and 72%~89% phosphorus of the total inputs. The study also revealed that fish excretion, phytoplankton and sediments were the main factors which exert influence on water quality in aquaculture ponds.

Key words: water quality; the Dike pond system; fish aquaculture; nutrient; budget; Zhujing River Delta