

单养模式下罗非鱼亲本培育塘的沉积物产污系数初探

孟顺龙, 胡庚东, 瞿建宏, 吴 伟, 范立民, 陈家长

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 中国水产科学研究院内陆渔业生态环境和资源重点开放实验室, 农业部长江下游渔业生态环境监测中心, 江苏 无锡 214081)

摘 要:采用试验塘养殖方法研究了单养模式下罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)亲本培育塘的沉积物污染物含量及沉积物产污系数。结果表明,单养模式下罗非鱼亲本培育塘的沉积物含水率、总有机质、TN、TP 和有效磷的含量以及表层沉积物的氮磷比分别在 61.07%~68.87%、5.42%~6.82%、2.12~3.18 mg·g⁻¹、0.34~0.45 mg·g⁻¹、15.39~24.92 μg·g⁻¹ 和 5.74~7.85 之间,上述指标在池塘水平分布上没有表现出变化的规律性。面积法和产量法计算得到的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 5.60~15.13 kg·m⁻²、1.81~5.08 kg·m⁻²、7.24~23.86 g·m⁻²、1.13~3.08 g·m⁻²、0.06~0.18 g·m⁻²、161.76~526.85 g·m⁻² 和 7.89~30.35 kg·kg⁻¹、2.55~10.19 kg·kg⁻¹、10.43~47.86 g·kg⁻¹、1.59~6.18 g·kg⁻¹、0.08~0.36 g·kg⁻¹、256.37~1 004.69 g·kg⁻¹。同时,面积法计算显示,两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数均差异不显著($P>0.05$);而产量法计算显示,除底泥有效磷的产污系数差异不显著外($P>0.05$),两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有机质的产污系数均差异显著($P<0.05$)。这表明,当养殖模式、养殖技术、放养密度、投喂饲料等要素基本一致时,用面积法测定的沉积物产污系数比用产量法测定的稳定。

关键词:罗非鱼;亲本培育塘;沉积物;污染物含量;产污系数

中图分类号:X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)09-1795-06

Preliminary Study on the Pollutants Producing Coefficient of Sediment in Tilapia Broodstock Rearing Pond with Monoculture Mode

MENG Shun-long, HU Geng-dong, QU Jian-hong, WU Wei, FAN Li-min, CHEN Jia-zhang

(Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Open Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Fishery Eco-Environment Monitoring Center of Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuxi 214081, China)

Abstract: The pollutants concentration and pollutants producing coefficient of sediment in tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock rearing ponds with monoculture mode were researched. The results showed that the water containing, total organic matter, total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus and the ratio of nitrogen and phosphorus of sediment in the tilapia broodstock rearing pond ranged 61.07%~68.87%, 5.42%~6.82%, 2.12~3.18 mg·g⁻¹, 0.34~0.45 mg·g⁻¹, 15.39~24.92 μg·g⁻¹ and 5.74~7.85 respectively. And the water containing, total organic matter, total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus and the ratio of nitrogen and phosphorus of sediment in tilapia broodstock rearing pond had not changed regularly at horizontal distribute. The pollutants producing coefficient of wet mud, dry mud, total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus and total organic matter ranged from 5.60 kg·m⁻² to 15.13 kg·m⁻², 1.81~5.08 kg·m⁻², 7.24~23.86 g·m⁻², 1.13~3.08 g·m⁻², 0.06~0.18 g·m⁻², 161.76~526.85 g·m⁻² respectively when the pollutants producing coefficient were calculated according to the area method, and ranged 7.89~30.35 kg·kg⁻¹, 2.55~10.19 kg·kg⁻¹, 10.43~47.86 g·kg⁻¹, 1.59~6.18 g·kg⁻¹, 0.08~0.36 g·kg⁻¹, 256.37~1 004.69 g·kg⁻¹ respectively when the pollutants producing coefficient were calculated according to the fish yield method. The pollutants producing coefficient of wet mud, dry mud, total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus and total organic matter between pond

收稿日期:2010-04-25

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(nycytx-48);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2007JBFA03)

作者简介:孟顺龙(1982—),男,安徽颍上县人,硕士,助理研究员,研究方向为渔业环境保护。E-mail:mengsl@ffrc.cn

通讯作者:陈家长 E-mail:chenjz@ffrc.cn

I and pond II were all not significant different($P>0.05$) when the pollutants producing coefficient were calculated according to the area method, but the pollutants producing coefficient of all that above, excepting available phosphorus, were all significant different($P<0.05$)when the pollutants producing coefficient were calculated according to the fish yield method, which meant that the pollutants producing coefficient calculated according to the area method was more useful than that calculated according to the fish yield method when the pond culture mode, pond culture technology, fish density, fish feed were all nearly the same to each other.

Keywords: tilapia; broodstock rearing pond; sediment; pollutant concentration; pollutants producing coefficient

改革开放以来,我国池塘养殖业得到迅猛发展,不仅为解决城乡居民“吃鱼难”问题做出了巨大贡献,而且池塘养殖业本身已经成为改善农村经济结构,解决农民就业和脱贫致富的强势产业。据《2005 中国渔业年鉴》,占内陆水产养殖面积 42.9%的池塘提供了占 70.3%的淡水养殖产量。池塘养殖,以其面积、产量在总量中的重要地位成为我国水产养殖的主体。

当前,随着渔业生产水平的不断进步,池塘单位水体的鱼载力大大提高,投饲量也随之大幅度增加。高密度放养、大量施肥投饵的养殖模式,导致水质恶化,污染日趋严重^[1]。有研究表明,在池塘养殖投喂的湿饲料中,有 5%~10%未被鱼类食用^[2];而被鱼类食用消化的饲料中又有 25%~30%以粪便的形式排出^[3];自然和人为输入的氮、磷除一部分以养殖品种输出外,至少有 50%富集到池塘沉积物中^[4-5]。池塘沉积物直接与水体接触,从多方面影响水质,是池塘水体的营养盐库,在受到扰动或环境条件变化时,将会对养殖水体环境产生重要影响。因此,研究池塘沉积物的产污系数对于科学调控池塘水质和评估池塘养殖对自身的污染程度等都具有重要意义。然而,有关池塘沉积物产污系数的研究目前国内外尚未见报道。本试验研究了单养模式下罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)亲鱼培育塘的沉积物产污系数,以期为相关部门评估罗非鱼养殖对环境的污染负荷提供基础性资料,同时也为其他鱼类养殖模式的沉积物产污系数研究提供可资借鉴的新方法。

1 材料与方法

1.1 沉积物收集器设计

试验用特制的沉积物收集器收集沉积物。收集器

为中空圆台形玻璃容器,容器上底面内径为 24 cm,下底面内径为 46 cm,高 20 cm。将收集器设计为圆台形可防止沉入收集器中的沉积物因水流搅动等因素的影响而向水体散失。在放养鱼类的时候将沉积物收集器放入池底,收获鱼类的时候将沉积物收集器取出,则收集器内的沉积物即为养殖期间该面积(以上底面积计)下的沉积物产生量。据此可计算出单位面积的沉积物产生量,进而根据池塘面积计算出整个池塘的沉积物产生量。

1.2 试验塘及水体

以中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉试验基地的罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)亲鱼培育塘为试验塘。沉积物收集试验在两口池塘中进行,分别标记为塘 I 和塘 II,每个池塘的面积均为 0.067 hm²(29 m×23 m),水深 2 m。在池塘的中心(1#点)和 3 个拐角处(2#、3#、4#点)分别放置一个沉积物收集器(池塘的 4 个拐角中有一个为进水口,故而仅在其他 3 个拐角放置收集器),每个池塘中共计放入 4 个沉积物收集器。收集器放置及捞起时间分别与罗非鱼放养及收获时间一致,分别为 5 月 2 日和 11 月 2 日,共 185 d。试验期间,两池塘的饵料投喂量、水源水来源和处理方法以及其他日常养殖管理措施完全一致。试验期间的饵料投喂量随罗非鱼体重的增加而增加,平均为 5 kg·d⁻¹。除因蒸发、渗漏而对池塘进行少量补水以使池塘水体保持不变外,试验期间不换水,不使用增氧设备。各试验塘的罗非鱼放养时间、放养量、放养规格及收获时间、收获量、收获规格如表 1 所示。

1.3 样品采集及指标测试方法

收获罗非鱼时将沉积物收集器同时捞起。测定沉

表 1 试验塘的养殖生物放养及收获情况
Table 1 The devotion and produce of Tilapia in the test ponds

池塘编号	放养情况				收获情况			
	时间	数量/尾	规格/g·尾 ⁻¹	密度/尾·hm ⁻²	时间	数量/尾	规格/g·尾 ⁻¹	成活率/%
塘 I	5 月 2 日	1 151	80	17 179	11 月 2 日	772	550	67.1
塘 II	5 月 2 日	1 035	80	15 448	11 月 2 日	927	600	89.6

沉积物收集器中的沉积物含量、沉积物含水率以及沉积物中总氮、总磷、有效磷和有机质的含量。沉积物含水率和有机质的测定方法参照文献[6];沉积物总氮、总磷的测定方法参照文献[7];沉积物有效磷含量用钼锑抗比色法测定^[8]。

1.4 沉积物产污系数测算公式

本试验中,将养殖期间单位产量(产量法)或单位养殖面积(面积法)的沉积物污染物产生量称为该段时间的沉积物产污系数($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 或 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)。其中,产量法的沉积物产污系数测算按如下公式进行:

$$K_i = \frac{W_i}{\sum_{x=1}^n (\Delta W_{x \text{ 渔获}})} \quad (1)$$

$$W_i = W_{\text{沉积物}} \times C_i \quad (2)$$

式中: i 为污染指标; K_i 为沉积物中污染指标 i 的产污系数, $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; x 为渔获物种类数; $\Delta W_{x \text{ 渔获}}$ 为渔获物 x 的增重, 等于鱼类收获量减去投入量, kg ; n 为鱼类种类数; W_i 为养殖期间污染物 i 的产生量, g ; $W_{\text{沉积物}}$ 为养殖期间池塘沉积物的产生量, kg ; C_i 为沉积物中污染指标 i 的含量, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

由于本研究选用的是罗非鱼亲鱼单养池塘, 上述公式可简化为:

$$K_i = \frac{W_i}{\Delta W_{\text{罗非鱼}}} \quad (3)$$

式中: $\Delta W_{\text{罗非鱼}}$ 为罗非鱼的增重, 等于罗非鱼收获量减去放养量, kg 。

面积法的沉积物产污系数测算按如下公式进行:

$$K_i = \frac{W_i}{M} \quad (4)$$

式中: i 为污染指标; K_i 为沉积物中污染指标 i 的产污系数, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$; W_i 为养殖期间污染物 i 的产生量, g ; M 为养殖池塘面积, m^2 。

1.5 统计分析

将布设在两个池塘的相同方位的两个沉积物样

本视为一组配对样本, 应用 SPSS 11.5 软件进行配对试验的两个样本均数差异显著性检验。显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 沉积物中主要污染物含量

从罗非鱼亲本培育塘沉积物中主要污染物的含量看(表 2), 塘 I 中各监测点的含水率、总氮、总磷、有效磷、有机质含量和氮磷比分别变化在 61.24%~68.87%、2.52~3.18 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.39~0.45 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、15.39~24.92 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、6.13%~6.82% 和 5.98~7.85 之间, 平均值分别为 66.13%、2.89 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.43 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、20.54 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、6.53% 和 6.74; 塘 II 中各监测点的含水率、总氮、总磷、有效磷、有机质含量和氮磷比分别变化在 61.07%~68.22%、2.12~2.76 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.34~0.42 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、17.32~22.43 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、5.42%~6.82% 和 5.74~7.63 之间, 平均值分别为 65.16%、2.49 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、0.38 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、20.04 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、6.38% 和 6.51。将布设在两个池塘的相同方位的两个沉积物样本视为一组配对样本, 并应用 SPSS 11.5 软件进行配对试验的两个样本均数差异显著性检验, 结果表明两试验塘沉积物的含水率、总氮、总磷、有效磷、有机质含量和氮磷比均差异不显著($P>0.05$)。

2.2 沉积物产污系数

由面积法测算得出的罗非鱼亲本培育塘沉积物产污系数研究结果(表 3)表明, 试验期间(共 185 d), 塘 I 各监测点的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 5.84~15.13 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1.82~5.08 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、7.24~23.86 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1.19~3.08 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、0.06~0.18 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、161.76~500.87 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 平均值分别为 10.68 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、3.66 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、16.20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、2.37 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、0.12 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、369.87 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$; 塘 II 各监测点的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 5.60~13.58 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1.81~4.92 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、7.40~17.90 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1.13~2.85

表 2 罗非鱼亲本培育塘沉积物中主要污染物含量

Table 2 The pollutants concentration in sediment of tilapia broodstock rearing ponds

测定指标	塘 I					塘 II				
	1#	2#	3#	4#	平均	1#	2#	3#	4#	平均
含水率/%	66.42	67.99	68.87	61.24	66.13±3.41	63.74	68.22	67.61	61.07	65.16±3.37
总氮/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	3.12	3.18	2.74	2.52	2.89±0.31	2.12	2.46	2.76	2.63	2.49±0.28
总磷/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	0.39	0.45	0.45	0.42	0.43±0.03	0.37	0.40	0.42	0.34	0.38±0.03
有效磷/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	19.26	15.39	22.58	24.92	20.54±4.15	19.58	20.83	22.43	17.32	20.04±2.15
有机质/%	6.55	6.62	6.13	6.82	6.53±0.29	6.82	6.50	6.79	5.42	6.38±0.66
氮磷比	7.85	7.04	6.09	5.98	6.74±0.87	5.74	6.11	6.57	7.63	6.51±0.82

$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.06\sim 0.15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $181.96\sim 526.85\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 平均值分别为 $9.45\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $3.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $12.70\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $1.96\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $329.68\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。将布设在两个池塘的相同方位的两个沉积物样本视为一组配对样本进行配对试验的两个样本均数差异显著性检验, 结果表明两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数差异均不显著($P>0.05$)。从污染物的水平分布看, 除池塘中心监测点(1#)的湿泥、干泥产生量明显高于拐角处监测点(2#、3#、4#)的外, 其余指标在水平分布上没有表现出明显的规律性。

由产量法测算的罗非鱼亲本培育塘的沉积物产污系数研究结果(表3)可以看出, 试验期间(共185 d), 塘Ⅰ各监测点的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 $11.71\sim 30.35\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $3.65\sim 10.19\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $14.52\sim 47.86\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.39\sim 6.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.12\sim 0.36\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $324.47\sim 1\,004.69\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值分别为 $21.43\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $7.34\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $32.49\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $4.75\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.23\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $741.93\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 塘Ⅱ各监测点的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 $7.89\sim 19.13\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.55\sim 6.93\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $10.43\sim 25.22\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1.59\sim 4.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.08\sim 0.21\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $256.37\sim 742.31\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值分别为 $13.32\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $4.73\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $17.90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $464.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。可见, 塘Ⅰ的各项沉积物产污系数都明显高于塘Ⅱ的, 塘Ⅰ的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别比塘Ⅱ的高60.9%、55.1%、81.7%、72.1%、64.3%、59.7%。将布设在两个池塘的相同方位的两个

沉积物样本视为一组配对样本进行配对试验的两个样本均数差异显著性检验, 结果表明, 除有效磷产污系数差异不显著外($P>0.05$), 两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有机质的产污系数均差异显著($P<0.05$)。

从两试验塘罗非鱼的放养情况看(表1), 塘Ⅰ和塘Ⅱ的放养密度分别为 $17\,179$ 、 $15\,448\text{ 尾}\cdot\text{hm}^{-2}$, 塘Ⅰ的放养密度比塘Ⅱ高11.2%; 从两试验塘的收获情况看(表1), 塘Ⅰ和塘Ⅱ的罗非鱼收获规格分别为 $550\text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$ 和 $600\text{ g}\cdot\text{尾}^{-1}$, 成活率分别为67.1%和89.6%; 塘Ⅰ的罗非鱼收获规格和成活率分别比塘Ⅱ的低8.3%和25.1%。

3 讨论

3.1 沉积物中主要污染物含量

沉积物是指在水体范围内发生的物理、化学及生物学过程所产生的沉降物。在养殖池塘中, 未被鱼类摄食的残饵、鱼类排泄物、老化死亡的动植物残体以及尘埃泥沙等沉积于池底形成池塘沉积物。池塘沉积物是池塘水体的营养盐库, 沉积物-水环境是各种微生物参与的物质频繁交换的有机系统^[9]。因此, 沉积物对养殖水环境能产生重要影响, 关于养殖池塘沉积物理化性状的研究已成为热点。从本试验数据看, 罗非鱼池塘沉积物的含水率变化在61.07%~68.87%之间, 与广州市郊主养罗非鱼和草鱼的池塘沉积物含水率53%~65%^[10]以及内蒙古鲢、鳙、鲤鱼种越冬池底泥含水率68.6%~72.5%^[11]相近。总有机质含量变化在5.42%

表3 罗非鱼亲本培育塘的沉积物产污系数

Table 3 The pollutants producing coefficient of sediment in tilapia broodstock rearing ponds

测算方法	测定指标	塘Ⅰ					塘Ⅱ				
		1#	2#	3#	4#	平均	1#	2#	3#	4#	平均
面积法	湿泥/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	15.13	10.20	5.84	11.57	10.68 ± 3.84	13.58	7.98	5.60	10.66	9.45 ± 3.44
	干泥/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	5.08	3.26	1.82	4.48	3.66 ± 1.44	4.92	2.54	1.81	4.15	3.36 ± 1.43
	总氮/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	23.86	15.27	7.24	18.41	16.20 ± 6.94	16.35	9.16	7.40	17.90	12.70 ± 5.19
	总磷/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	3.04	2.17	1.19	3.08	2.37 ± 0.89	2.85	1.50	1.13	2.35	1.96 ± 0.78
	有效磷/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	0.15	0.07	0.06	0.18	0.12 ± 0.06	0.15	0.08	0.06	0.12	0.10 ± 0.04
	有机质/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	500.87	317.87	161.76	498.99	369.87 ± 163.14	526.85	241.80	181.96	368.10	329.68 ± 152.64
产量法	湿泥/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	30.35	20.46	11.71	23.21	21.43 ± 7.71	19.13	11.24	7.89	15.02	$13.32\pm 4.84^*$
	干泥/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	10.19	6.54	3.65	8.99	7.34 ± 2.89	6.93	3.58	2.55	5.85	$4.73\pm 2.01^*$
	总氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	47.86	30.63	14.52	36.93	32.49 ± 13.93	23.04	12.91	10.43	25.22	$17.90\pm 7.32^*$
	总磷/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	6.10	4.35	2.39	6.18	4.75 ± 1.78	4.02	2.11	1.59	3.31	2.76 ± 1.11
	有效磷/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.30	0.14	0.12	0.36	0.23 ± 0.12	0.21	0.11	0.08	0.17	0.14 ± 0.06
	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	1 004.69	637.61	324.47	1 000.92	741.93 ± 327.25	742.31	340.69	256.37	518.64	464.50 ± 215.06

注: * 表示差异显著 $P<0.05$ 。

~6.82%之间,较广州市郊主养罗非鱼和草鱼的池塘沉积物有机质含量 8.3%~11.5%^[10]以及内蒙古鲢、鳙、鲤鱼种越冬池底泥有机物含量 4.6%~19.1%^[11]低,较武汉主养鲢、鳙鱼的池塘底泥有机质含量(2.65±0.58)%^[12]高。TN 含量变化在 2.12~3.18 mg·g⁻¹ 之间,与广州市郊主养罗非鱼和草鱼的池塘表层沉积物 TN 含量 1.89~2.91 mg·g⁻¹^[10]相近,较武汉主养鲢、鳙鱼的池塘底泥总氮含量 1.5~1.8 mg·g⁻¹^[12]高,较内蒙古鲢、鳙、鲤鱼种越冬池底泥总氮含量 2.5~12.9 g·kg⁻¹^[11]低。TP 含量变化在 0.34~0.45 mg·g⁻¹ 之间,较广州市郊主养罗非鱼和草鱼的池塘表层沉积物总磷含量 1.13~1.96 mg·g⁻¹^[10]以及武汉主养鲢、鳙鱼的池塘底泥总磷含量 (0.954±0.165)mg·g⁻¹^[12]低。有效磷含量变化在 15.39~24.92 μg·g⁻¹ 之间,较武汉主养鲢、鳙鱼的池塘底泥有效磷含量 49~82 mg·kg⁻¹^[12]以及通辽市郊主养鲤鱼的池塘底泥有效磷含量 49~67 mg·kg⁻¹ 低^[13]。表层沉积物的氮磷比变化在 5.74~7.85 之间,较广州市郊主养罗非鱼和草鱼的池塘表层沉积物氮磷比 0.82~1.97^[10]以及内蒙古主养鲢鳙鱼的池塘底泥氮磷比 4.6^[11]高。

有关底泥主要污染物含量与池龄关系的研究表明,养殖池塘沉积物的总磷含量与池龄成负线性相关性,总有机碳、总氮含量与池龄成正线性相关性^[14];而且,有关不同养殖品种对底泥污染物含量影响的研究表明,虾池底泥有机碳的适宜范围较养鱼池略低^[15]。笔者认为上述不同研究者之间的研究结果之所以会出现差异,可能主要是由研究对象所属区域、养殖生物种类以及池塘年龄的差异造成的。因此,在使用池塘沉积物产污系数时,应同时考虑池塘年龄、养殖品种以及养殖品种的规格。

从同一池塘污染物含量的空间分布看,申玉春研究认为鱼塘底泥中氮、磷的水平分布特点是中心处略高于四角处^[13],而本研究中除池塘中心监测点(1#点)的沉积物产生量明显高于拐角处监测点(2#、3#、4#)的外,其余指标在水平分布上没有表现出明显的规律性,与上述研究结果存在差异。

3.2 沉积物产污系数

池塘沉积物直接与水体接触,从多方面影响水质,是池塘水体的营养盐库,在受到扰动或环境条件变化时,将会对养殖水体环境产生重要影响。因此,研究池塘沉积物产污系数对科学开展养殖生产具有极其重要的意义。同时,从环境角度看,研究池塘沉积物产污系数能够为估算池塘养殖对内、外环境的污染贡献量提供基础性资料。

本研究分别根据面积法和产量法测算了罗非鱼亲本培育塘的沉积物产污系数。从试验结果看,面积法计算得到的两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数均差异不显著($P>0.05$);而产量法的测算结果显示,除底泥有效磷的产污系数差异不显著外($P>0.05$),两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有机质的产污系数均差异显著($P<0.05$),其中塘 I 的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别比塘 II 的高 60.9%、55.1%、81.7%、72.1%、64.3%、59.7%。这种现象表明,当养殖模式、养殖技术、放养密度、投喂饲料等要素基本一致时,用面积法测定的沉积物产污系数比用产量法测定的稳定。然而,由于养殖模式、养殖技术、放养密度、养殖周期以及投喂饲料的质量等均会影响养殖产量,同时也影响污染物的产生量,并最终影响到沉积物的产污系数。因此,产污系数的估算方法是面积法科学还是产量法科学,应视不同条件而定。有关研究尚待深入。

试验期间(共 185 d),塘 I 各监测点的湿泥、干泥的产污系数分别变化在 5.84~15.13 kg·m⁻²、1.82~5.08 kg·m⁻²,塘 II 各监测点的湿泥、干泥的产污系数分别变化在 5.60~13.58 kg·m⁻²、1.81~4.92 kg·m⁻²,与申玉春等^[13]研究的池塘湿泥产生量变化在 6.72~13.38 kg·m⁻²,干泥产生量变化在 1.85~4.20 kg·m⁻²。申玉春等^[13]的研究是在内蒙古通辽市鲢、鳙、鲤鱼鱼种越冬池进行的,本试验是在江苏无锡市罗非鱼成鱼养殖池塘进行的;两研究对象所处的气候类型、试验鱼种类以及养殖对象的规格都不同,但池塘干、湿泥产生量却非常接近,这是否说明养殖池塘的干、湿泥产生量受气候类型、鱼类种类、养殖对象的规格影响较小?由于当前尚无其他文献资料和试验数据佐证,答案尚不确定。建议进行同种类鱼在不同地区的沉积物产污系数研究。

4 结论

(1)试验期间(共 185 d),两试验塘的沉积物含水率、总有机质、TN、TP 和有效磷含量差异均不显著($P>0.05$);且上述指标在水平分布上没有表现出明显的规律性。总体认为,罗非鱼池塘沉积物的含水率、总有机质、TN、TP 和有效磷含量分别变化在 61.07%~68.87%、5.42%~6.82%、2.12~3.18 mg·g⁻¹、0.34~0.45 mg·g⁻¹ 和 15.39~24.92 μg·g⁻¹ 之间,表层沉积物的氮磷比变化在 5.74~7.85 之间。

(2)分别用面积法和产量法计算沉积物产污系,

结果表明,罗非鱼亲本培育塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别变化在 $5.60 \sim 15.13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1.81 \sim 5.08 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $7.24 \sim 23.86 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1.13 \sim 3.08 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $0.06 \sim 0.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $161.76 \sim 526.85 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $7.89 \sim 30.35 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.55 \sim 10.19 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $10.43 \sim 47.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.59 \sim 6.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.08 \sim 0.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $256.37 \sim 1\,004.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(3)面积法计算得到的两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数均差异不显著($P>0.05$);而产量法测算结果显示,除底泥有效磷的产污系数差异不显著外($P>0.05$),两试验塘的湿泥、干泥、总氮、总磷、有机质的产污系数均差异显著($P<0.05$)。其中塘 I 的湿泥、干泥、总氮、总磷、有效磷、有机质的产污系数分别比塘 II 的高 60.9%、55.1%、81.7%、72.1%、64.3%、59.7%。这种现象表明,当养殖模式、养殖技术、放养密度、投喂饲料等要素基本一致时,用面积法测定的沉积物产污系数比用产量法测定的稳定。

参考文献:

- [1] 房英春,刘广纯,田 春,等. 养殖水体污染对养殖生物的影响及水体的修复[J]. 中国水产, 2005(4): 78-80.
FANG Chun-ying, LIU Guang-chun, TIAN Chun, et al. Effect of aquaculture water body pollution on breed living beings and the recovery of water body[J]. *China Fisheries*, 2005(4): 78-80.
- [2] 刘长发, 蔡志仁, 何 洁, 等. 环境友好的水产养殖业-零污水排放循环水产养殖系统[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 220-226.
LIU Chang-fa, QI Zhi-ren, HE Jie, et al. Environmental friendship aquaculture - zero discharge integrated recirculating aquaculture systems[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2002, 17(3): 220-226.
- [3] 温志良, 张爱军, 温琰茂. 集约化淡水养殖对水环境的影响[J]. 水利渔业, 2000(4): 19-20.
WEN Zhi-liang, ZHANG Ai-jun, WEN Yan-mao. Effects of intensive freshwater aquaculture on the water environment[J]. *Reservoir Fisheries*, 2000(4): 19-20.
- [4] 周劲风, 温琰茂. 珠江三角洲基塘水产养殖对水环境的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(5): 103-106.
ZHOU Jing-feng, WEN Yan-mao. Effects of fish aquaculture on water environment in the Zhujiang River delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(5): 103-106.
- [5] Daniels H V, Boyd C E. Chemical budgets for polyethylene lined blackish waterponds[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1989, 20(2): 53-60.
- [6] 朱广伟, 高 光, 秦伯强, 等. 浅水湖泊沉积物中磷的地球化学特征[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 714-719.
ZHU Guang-wei, GAO Guang, QIN Bo-qiang, et al. Geochemical characteristics of phosphorus in sediments of a large shallow lake[J]. *Advances in Water Science*, 2003, 14(6): 714-719.
- [7] 杨柳燕, 赵兴青, 肖 琳, 等. 沉积物总氮、总磷联合测定分析方法[P]. 中国专利: CN1869656A, 2006-11-29.
YANG Liu-yan, ZHAO Xing-qing, XIAO Lin, et al. The analysis method of determining total nitrogen and total phosphorus in sediment simultaneously[P]. China Patent, CN1869656A, 2006-11-29.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
LU Ru-kun. Analysis method of soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [9] 汪福顺, 刘从强, 梁小兵. 湖泊沉积物-水界面铁的微生物地球化学循环及其与微量元素的关系[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 63-69.
WANG Fu-shun, LIU Cong-qiang, LIANG Xiao-bing. Biogeochemical cycling of iron at lake water-sediment interface and its influence on trace metals[J]. *Geology-Geochemistry*, 2003, 31(3): 63-69.
- [10] 李小伟, 乔永民, 杨宇峰. 广州市郊养殖池塘表层沉积物中氮磷的初步研究[J]. 水利渔业, 2008, 28(1): 74-77.
LI Xiao-wei, QIAO Yong-min, YANG Yu-feng. Preliminary study on the nitrogen and phosphorus concentration of the surface layer sediment in aquaculture pond in Guangzhou suburb[J]. *Reservoir Fisheries*, 2008, 28(1): 74-77.
- [11] 申玉春, 王明学. 越冬池冰下水体沉积物理化性质的初步研究[J]. 水产科技情报, 1995, 22(4): 173-176.
SHEN Yu-chun, WANG Ming-xue. Studies on the physical and chemical conditions from sediments of overwintering fishponds[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1995, 22(4): 173-176.
- [12] 潘黔生, 方之平, 刘雄德. 鱼池底泥理化特性的研究[J]. 江西水产科技, 1996(2): 26-30.
PAN Qian-sheng, FANG Zhi-ping, LIU Xiong-de. Physical and chemical conditions of sediment in fishpond[J]. *Jiangxi Fishery Sciences and Technology*, 1996(2): 26-30.
- [13] 申玉春. 鱼塘底泥中氮磷含量及其分布[J]. 河北渔业, 1997(4): 17-18.
SHEN Yu-chun. The contents and distribution of nitrogen and phosphorus in fishpond sediment[J]. *Hebei Fisheries*, 1997(4): 17-18.
- [14] 袁有宪, 幸福言, 孙 耀, 等. 对虾养殖池沉积环境中 TOC、TP、TN 和 pH 及质量评价模型[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 247-253.
YUAN You-xian, XIN Fu-yan, SUN Yao, et al. TOC, TP, TN and pH in sediment environment of shrimp culture and quality assessment model[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(3): 247-253.
- [15] 王 岩, 齐振雄. 不同养殖方式对海水实验围隔底泥中氮、磷和有机碳含量的影响[J]. 海洋科学, 1999(4): 1-3.
WANG Yan, QI Zhen-xiong. Effects of culture models on concentration of nitrogen, phosphorus and organic carbon in bottom soil from seawater experimental enclosures[J]. *Marine Sciences*, 1999(4): 1-3.