

鄱阳湖平原区农村门塘形态特征及底泥营养状况分析

刘方平^{1,2}, 汪怀建^{3*}, 苏甜^{1,2}, 姜成名^{1,2}, 时红^{1,2}, 廖伟^{1,2}, 才硕^{1,2}

(1. 江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330201; 2. 江西省农业高效节水与面源污染防治重点实验室, 江西 南昌 330201; 3. 江西农业大学, 江西 南昌 330045)

摘要: 通过在鄱阳湖平原选取典型农村门塘, 对其形状、进出口布置、水下地形、水深、淤塞、水质和底泥营养盐含量等指标进行调查测定分析。结果表明, 鄱阳湖平原农村门塘多呈长条形; 进水口设置随意, 多且分散; 淤塞较为严重, 淤积物主要以外源输入为主; 水体总氮和总磷一定程度超标, 污染程度总氮总体表现为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季, 总磷总体表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季; 底泥营养盐和有机质含量相对较高, 呈现一定的污染状态; 底泥中有机质、有机碳和总氮的同源性较高, 主要以内源污染物为主; 底泥中磷以陆源输入为主。

关键词: 农村门塘; 形态分析; 底泥; 营养盐; 鄱阳湖平原

中图分类号: X524

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)06-0035-05

Analysis on Morphological Characteristics of Rural Ponds and Nutrient Status of Pond Sediment in Poyang Lake Plain

LIU Fang-ping^{1,2}, WANG Huai-jian^{3*}, SU Tian^{1,2}, JIANG Cheng-ming^{1,2}, SHI Hong^{1,2}, LIAO Wei^{1,2}, CAI Shuo^{1,2}
(1. Jiangxi Centre Station of Irrigation Experiment, Nanchang, Jiangxi 330201, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Agriculture High-efficiency Water-saving and Non-point Source Pollution Preventing and Controlling, Nanchang, Jiangxi 330201, China; 3. Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

Abstract: By selecting typical rural ponds in Poyang Lake plain, their shape, inlet and outlet settings, underwater topography, water depth, siltation, water quality and nutrient content of sediment were investigated and analyzed. The results showed that most rural ponds in Poyang Lake plain were in strip shape. There were many water inlets which were set randomly and scattered. The siltation was serious and the sediment was mainly imported by external sources. Total nitrogen and total phosphorus in water exceeded the standard to a certain extent. The overall pollution degree of total nitrogen was winter > autumn > summer > spring, and total phosphorus was summer > spring > autumn > winter. The contents of nutrients and organic matter in sediment were relatively high, presenting a certain pollution state. Organic matter, organic carbon and total nitrogen in sediment had high homology. They were mainly endogenous pollutants. Phosphorus in sediment was mainly imported by terrestrial sources.

Key words: Rural ponds; Morphological analysis; Sediment; Nutrient; Poyang Lake plain

农村门塘广泛分布于我国东部和南部地区, 是一种特殊的湿地, 是我国存在 3 000 多年的典型农业水利工程^[1-3], 长期承担着排水防涝、蓄水灌溉、生活用水、渔业养殖等功能, 在我国农村农业发展过程中具有不可替代的作用和价值^[4-10]。以往, 对自然水体研究主要集中于湖泊和城市水体, 对农村门塘的研究较少, 特别是对农村门塘在水环境过程与功能维持方面缺乏系统深入研究。今以鄱阳

湖平原区农村门塘水环境为研究对象, 针对农村经济状况、生活水平、生活习惯等的不同, 选取有代表

收稿日期: 2020-11-16; 修订日期: 2021-09-29

基金项目: 江西省重点研发计划基金资助项目(No. 20171BBH80018); 江西省水利科技基金资助项目(No. KT201737)

作者简介: 刘方平(1977—), 男, 江西南昌人, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事农田节水灌溉与农业面源污染防治研究。

* 通信作者: 汪怀建 E-mail: shong62@163.com

性的农村门塘,开展农村门塘形状、进出口布置、水下地形、水深、淤塞、水质和底泥营养盐含量等调查测定分析,以探明农村门塘水力、水环境要素季节性变化特征、污染来源和淤塞成因,从而为农村门塘水环境整治提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

鄱阳湖平原是长江和鄱阳湖支流水系赣江、抚河、信江、修河、饶河等水冲积而成的湖滨平原,是

长江中下游平原的一部分,该平原位于 E115°01' ~ E117°34', N27°32' ~ N30°06' 之间,属于亚热带湿润气候,面积约 3.88 万 km²。

2018 年 6 月—2019 年 5 月,分别在鄱阳湖平原区的南昌市进贤县、南昌县、新建区和九江市星子县等 4 个县(区),每个县(区)至少选择 2 个乡镇 4 个村 落 门 塘,共 选 取 21 个 门 塘 作 为 研 究 对 象,对农村门塘形态特征、淤塞状况、水质和底泥营养状况等进行调查测定。所选门塘具体分布见表 1。

表 1 典型门塘分布情况

Table 1 Distribution of typical rural ponds

市、县(区)	乡(镇)、村	门塘编号	地理位置	门塘面积 A/m ²
南昌市进贤县	南台乡舒宋家	门塘 1	E116°23'43", N28°29'34"	1 156
	南台乡杨家	门塘 2	E116°23'55", N28°29'19"	775
	南台乡石坑村	门塘 3	E116°25'07", N28°29'09"	1 479
	池溪乡车家	门塘 4	E116°26'00", N28°23'49"	648
	池溪乡下艾村	门塘 5	E116°24'02", N28°24'05"	3 936
	罗溪乡三房周家	门塘 6	E116°09'27", N28°25'39"	1 056
	罗溪乡曹坊周家	门塘 7	E116°10'37", N28°25'46"	462
九江市星子县	苏家垵乡炉下李村	门塘 8	E115°52'12", N29°16'44"	1 000
	苏家垵乡牛田垄	门塘 9	E115°51'19", N29°18'07"	1 040
	泽泉乡长塘村	门塘 10	E115°51'46", N29°18'18"	2 440
	泽泉乡赵子亦洼	门塘 11	E115°52'51", N29°19'20"	1 500
南昌市新建区	大塘坪乡双塘胡家	门塘 12	E115°56'38", N29°01'40"	2 088
	铁河乡新拓下胡村	门塘 13	E115°56'59", N29°02'12"	897
	铁河乡塘北雷村	门塘 14	E115°57'19", N29°03'43"	3 055
	联圩乡大洲村	门塘 15	E116°04'03", N28°58'13"	4 646
南昌市南昌县	幽兰镇庙边陈家	门塘 16	E116°03'57", N28°33'25"	1 287
	武阳镇雷坊村	门塘 17	E116°03'51", N28°29'37"	546
	向塘镇草门魏家村	门塘 18	E115°54'15", N28°27'28"	1 932
	向塘镇辜坊村楼下王家村	门塘 19	E115°54'24", N28°26'10"	2 754
	武阳镇下钱村	门塘 20	E116°01'44", N28°31'26"	1 216
	武阳镇潭林村	门塘 21	E116°03'18", N28°32'15"	2 072

1.2 研究方法

(1)门塘形态指标测定。门塘形态主要是基于 GPS-RTK 和 HiMAX 数字化测深仪实时测量,包括测点的位置坐标、水面高程、水下高程、门塘形状、进出水口位置等。根据每个门塘面积大小设置 150 ~ 760 个不等的测深点,布满门塘水面,测完后将数据导出,利用 Cass 成图软件展点、成图。

(2)门塘淤塞量测定计算。门塘淤塞情况使用花杆尺探测,测算淤泥深度;再根据门塘面积大小,设置 10 ~ 25 个不等的测点,采用断面法计算。即根据相邻两个断面之间的距离算出相邻两断面间的体积,再将各相邻断面的体积相加,求出总体

积。具体计算见公式(1)。

$$V_i = \frac{1}{3}d_{i,i+1}(A_i + \sqrt{A_i A_{i+1}} + A_{i+1}) \quad (1)$$

式中: V_i 为两个断面间的容积, m³; $d_{i,i+1}$ 为两个断面间的距离, m; A_i 、 A_{i+1} 分别为两断面面积, m²。

(3)门塘底泥营养盐测定。门塘底泥样品采集,通过彼得森采泥器(1/32 m²)采集表面 5 cm ~ 10 cm 的样品,并做好标记,储存于塑封袋中,用干冰覆盖低温密闭保存运回实验室,经过简单筛选,除去动植物残体、石子等较大杂质后冷藏,供下一步分析。底泥经过处理后,对其氮磷等营养盐含量进行测量。氮指标包括总氮(TN)、氨氮(NH₃-

N)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)。其中,TN采用过硫酸钾-氢氧化钠消解,紫外分光光度计比色法测定; $\text{NH}_3 - \text{N}$ 采用纳氏试剂比色法测定; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 采用紫外分光光度法测定; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 采用N-(1-萘基)-乙二胺光度法测定。磷指标主要为总磷(TP),采用盐酸提取法测定。另外,有机质(ORG)和总有机碳(TOC)分别采用称重法和TOC仪测定。底泥中除了 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 3项指标在湿泥条件下测得外,其余指标均在干泥条件下测得(即在 65°C 下烘2d至干后用研钵研磨过100目筛网,取筛下部分作为干泥备用)。为确保化验分析数据准确可靠,定期使用标准物质同步检测、空白检测、重复检测和留样复测,做到每批样品测试均校准标准曲线。

2 结果与讨论

2.1 门塘形态特征分析

2.1.1 门塘形状及长宽比分析

选取的21个农村门塘主要形状有长条形、弧形、方形和“S”形,61.9%呈长条形(见表2)。以门塘的长边作为长,门塘的中间部位作为宽,计算其长宽比。在21个门塘中,有66.7%的门塘长宽比在1.0~2.0之间,14.3%长宽比在2.0~3.0之间,19.0%长宽比>3,其中仅有4.8%的门塘长宽比达到4.0。门塘长宽比总体较小,表明水的过流行程短,相应的停留时间较短,不利于门塘水体自净能力的提高^[11-14]。因此,在门塘整治过程中,应加大其长宽比(约达到4),归并进水口,在门塘的长边方向两端分别布置进出水口,增加过水路径,延长水力停留时间,从而达到较好的污染物去除效果。如基于该方式对南昌县向塘镇礼坊村门塘的改造,使其水质从劣V类上升到了Ⅲ、Ⅳ类。

2.1.2 门塘进出水口布置及形式分析

在选取的21个农村门塘中80%以上有2个及以上进水口(见表2)。其中,33.3%的门塘有3个进水口,14.3%的门塘甚至有5~7个进水口,表现出进水口多且分散,这主要是由于农村排水系统缺乏科学规划且缺少相应的改造经费支持,排水口设置比较随意所致。85.7%的农村门塘为1个出水口,14.3%为2个出水口,这主要依据地势和水的走向设置。进水口多为农村生活和农田排水汇入口,出水口多连接农田排水沟,通过排水沟排入地势较低的水塘,然后进入骨干排水沟,最后汇入

河湖。农村门塘进出水口采用不同衬砌形式,如砖砌、预制涵管、砼箱涵等,也有少数为土质形式,进出水口处杂草丛生,淤塞较普遍,缺乏管理和修缮。

2.1.3 门塘水下地形和淤塞状况及成因分析

通过对21个农村门塘水下地形测量发现,其总体呈现中间略低于四周,进水口往出水口方向由高到低的大致走向(如门塘1—门塘4)占47.6%,从门塘一边到另一边由高到低分布(如门塘6、门塘9)占19.0%,个别门塘水下地形地势较平坦(如门塘5),这主要是由于近年来组织过清淤所致。通过对门塘淤泥深度测量发现,21个门塘均有一定程度的淤塞,各门塘最大淤塞深度为0.65m~1.95m,平均淤塞深度为0.20m~0.65m,淤塞面积占门塘面积的比例在41%~79%之间,淤塞体积在 63.0 m^3 ~ 966.2 m^3 之间(见表2)。

据调查,农村门塘淤塞主要是由人们日常生活垃圾和农业生产废弃物随风吹入或经雨水冲刷进入门塘、农田排水及降雨径流含有泥沙流入、畜禽排泄物流入等造成。在调查的门塘中65%无活水流入;虽有超过70%的村庄进行了改水改厕,但均无污水处理设施;有65%的村庄将生活污水直接排入门塘;有约61%的村庄农田灌溉排水通过地表径流进入门塘;有50%的村庄附近建有养猪场(以小型养猪场为主),并且有25%的养猪场养殖污水通过地表径流流入排水沟,最后流入门塘,造成严重污染。另外,一些村庄在门塘中养鱼、养鸭,也对水环境造成了污染。由于农村大部分劳动力外出务工,管理主体缺位,清淤组织难度加大,原由集体组织的“挑塘泥、修塘基”的冬修水利逐步弱化,致使农村门塘未能及时有效地清淤。

2.1.4 门塘水深状况分析

农村门塘水深测量在2018年10月—11月进行。通过测量发现,21个门塘最深水深为1.17m~2.84m,最浅水深为0.75m~1.18m,平均水深为1.00m~1.97m(见表2)。水深是影响门塘中水生动植物生长繁殖的重要参数之一。有研究表明,农村门塘的最佳日常水深为1.5m~2.0m。若水深过小($<1\text{ m}$),则易造成夏季水体温度过高、冬季水体温度过低,从而影响动植物的生长^[15]。由于当地秋冬季降雨较少,而门塘无外来引水补给,仅靠零星降雨产生的地表径流和农村生活排水进行补充蓄积,故秋冬季门塘总体水量不是特别丰富。

表2 门塘形状、长宽比、水深及淤塞情况统计

Table 2 Statistics of pond shape, length-width ratio, water depth and siltation

门塘编号	形状	长宽比	进水口数量 n/个	出水口数量 n/个	最大淤塞深度 h/m	平均淤塞深度 h/m	淤塞面积 A/m ²	淤塞面积占比/%	淤塞体积 V/m ³	最深水深 h/m	最浅水深 h/m	平均水深 h/m
门塘1	长条形	4.00	5	1	1.20	0.31	650.5	56	201.7	1.83	0.92	1.46
门塘2	长条形	1.24	2	1	1.37	0.20	395.3	51	79.1	2.08	0.89	1.40
门塘3	弧形	1.76	2	1	1.53	0.35	640.2	43	224.1	1.33	0.75	1.00
门塘4	弧形	1.13	3	1	1.47	0.38	315.6	49	119.9	1.80	0.91	1.51
门塘5	长条形	3.84	3	1	0.90	0.34	2 463.2	63	837.5	2.68	1.12	1.88
门塘6	“S”形	2.18	4	1	1.06	0.23	514.5	49	118.3	2.15	0.91	1.47
门塘7	方形	1.05	3	2	1.13	0.20	315.0	68	63.0	2.21	0.86	1.72
门塘8	长条形	1.60	3	1	1.14	0.28	738.3	74	206.7	1.79	0.82	1.47
门塘9	长条形	2.60	1	1	1.46	0.33	653.0	63	215.5	1.58	1.18	1.40
门塘10	弧形	1.53	2	1	1.95	0.50	1 682.3	69	841.2	1.73	1.07	1.42
门塘11	长条形	1.67	3	1	1.66	0.32	1 151.0	77	368.3	2.54	0.86	1.78
门塘12	长条形	3.63	2	1	0.97	0.36	1 218.2	58	438.6	1.80	0.88	1.48
门塘13	长条形	1.70	2	1	1.32	0.54	367.3	41	198.3	1.17	0.89	1.06
门塘14	长条形	1.38	1	1	0.76	0.27	1 675.1	55	452.3	1.62	1.08	1.42
门塘15	长条形	2.20	2	1	0.65	0.44	2 195.9	47	966.2	1.52	0.85	1.18
门塘16	长条形	1.18	1	2	1.43	0.20	955.4	74	191.1	2.18	1.06	1.81
门塘17	长条形	1.24	3	1	1.28	0.48	324.2	59	155.6	2.09	1.05	1.82
门塘18	“S”形	1.10	7	1	1.23	0.20	1 218.0	63	243.6	2.70	1.05	1.97
门塘19	方形	1.06	5	2	1.48	0.29	1 440.2	52	417.7	1.64	0.89	1.35
门塘20	长条形	3.37	1	1	1.18	0.65	966.0	79	627.9	1.60	0.88	1.20
门塘21	弧形	1.51	3	1	1.23	0.46	1 364.3	66	627.6	2.84	1.02	1.66

2.2 农村门塘水体和底泥营养状况分析

通过对选取的21个门塘四季水质采样分析,并依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)进行评价,结果表明,TN和TP有一定程度的超标。其中,TN质量浓度春季变化范围为1.23 mg/L~3.82 mg/L,平均值为2.37 mg/L,58.3%的门塘超过V类水质标准;夏季变化范围为0.81 mg/L~16.1 mg/L,平均值为3.60 mg/L,60.9%的门塘超过V类水质标准;秋季变化范围为1.54 mg/L~5.43 mg/L,平均值为3.17 mg/L,80%的门塘超过V类水质标准;冬季变化范围为1.36 mg/L~6.15 mg/L,平均值为3.03 mg/L,83.3%的门塘超过V类水质标准;门塘TN污染程度总体表现为冬季>秋季>夏季>春季。TP质量浓度春季变化范围为0.07 mg/L~1.25 mg/L,平均值为0.25 mg/L,41.7%的门塘超过V类水质标准;夏季变化范围为未检出~1.07 mg/L,平均值为0.32 mg/L,52.2%的门塘超过V类水质标准;秋季变化范围为0.03 mg/L~2.81 mg/L,平均值为0.50 mg/L,30.0%的门塘超过V类水质标准;冬季变化范围为0.03 mg/L~0.27 mg/L,平均值为0.10 mg/L,8.3%的门塘超过V类水质标准;门塘TP污染程度总体表现为夏季>春季>秋季>冬季。个别门塘冬季COD超过V类水质标准。因此,为保持农

村门塘一池清水,有必要加强农村生活垃圾和农业生产垃圾收集与集中处理,全面推进农村改水改厕工程建设,收集农村生活污水、养殖污水,通过建立人工湿地、小型污水处理厂等设施进行集中处理,加强养殖污水偷排乱排的查处力度。同时,定期对农村门塘清淤,构建底泥营养控制、水系连通和生物修复综合调控体系,使门塘水体实现自我净化^[16-17]。

通过对农村门塘底泥中营养盐和ORG等指标测定发现,各门塘底泥中ORG最低值为2.20%,最高值达11.0%,平均值为5.81%,表明底泥中ORG含量处于中等水平。TOC变化趋势与ORG相同,最大值和最小值分别为4.96%和0.65%,平均值为2.46%。底泥中TN最高值达11.2 mg/g,最低值仅为1.59 mg/g,平均值为6.48 mg/g。在3种无机氮成分中NH₃-N最高值和最低值分别为211 μg/g和8.75 μg/g,平均值为130 μg/g;NO₂⁻-N最高值和最低值分别为0.57 μg/g和0.008 μg/g,平均值为0.18 μg/g;NO₃⁻-N最高值和最低值分别为16.9 μg/g和0.28 μg/g,平均值为5.33 μg/g;3种无机形态的氮质量比从高到低为NH₃-N>NO₃⁻-N>NO₂⁻-N。由TN的质量比可知,3种无机氮在TN中仅占很少的一部分,表明大部分的氮为有机氮。因此,ORG、TOC和TN的

同源性较高^[18-20]。底泥中 TP 最高值达 3.28 mg/g, 最低值仅为 0.76 mg/g, 平均值为 1.89 mg/g。

碳氮比 (C/N) 可以在一定程度上判断出营养盐的类型和来源, 可通过其比值区分有机质为内源还是外源输入。当 C/N < 10 时, 以内源有机质为主; 当 C/N = 10 时, 内源与外源有机质基本达到平衡状态; 当 C/N > 10 时, 以外源有机质输入为主。碳磷比 (C/P) 可反映 TOC 和 TP 变化的快慢, 而底泥氮磷比 (N/P) 与水质 N/P 密切相关, 可在一定程度上反映底泥的富营养状态。由各门塘底泥中 TC、TN、TP 值计算得出上述 3 个比值。其中, C/N 最大值和最小值分别为 4.66 和 2.54, 平均值为 3.77, 表明其以内源污染物为主。C/P 最大值和最小值分别为 28.51 和 4.89, 平均值为 14.08; N/P 最大值和最小值分别为 6.74 和 1.43, 平均值为 3.74; C/P 和 N/P 均 < Redfield 比值 (C : N : P = 106 : 16 : 1), 表明门塘底泥中磷主要由陆源输入^[20-22]。

通过分析各县 (区) 农村门塘底泥营养盐和

ORG 等指标, 得到其空间分布特征 (见表 3)。

由表 3 可知, 各县 (区) 农村门塘底泥中营养盐和 ORG 含量不一致, 均具有其特异性。总体而言, 南昌县门塘底泥各指标中, ORG、TOC、TN、TP、NO₂⁻-N、NH₃-N、NO₃⁻-N 和 C/N 平均值分别为 6.88%、3.13%、7.49 mg/g、2.62 mg/g、0.24 μg/g、161 μg/g、11.7 μg/g 和 4.25, 均为 4 个县 (区) 中最高, 分别较 ORG、NO₃⁻-N、C/N 最低值所在的新建区, TOC、TN、TP 最低值所在的星子县, NO₂⁻-N、NH₃-N 最低值所在的进贤县相应高出 32.8%、55.7%、35.0%、94.1%、84.6%、49.1%、613.4% 和 19.7%。而 C/P 和 N/P 最高值均出现在星子县, 最低值均在南昌县; N/P 和 C/P 出现位置类似, 表明门塘这两个指标主要是由 TP 控制。

以上各指标间, 各县 (区) 门塘底泥仅 TP、NO₃⁻-N 分别呈显著和极显著差异, 这可能是由于底质颗粒过大, 不利于底泥的再悬浮和营养盐的释放, 导致其氮磷含量较高, 其余各指标差异不显著。

表 3 各县 (区) 农村门塘底泥营养盐和有机质平均值

Table 3 Average value of nutrients and organic matter in rural pond sediment in each county (district)

县 (区)	ORG/%	TOC/%	w(TN) /(mg·g ⁻¹)	w(TP) /(mg·g ⁻¹)	w(NO ₂ ⁻ -N) /(μg·g ⁻¹)	w(NH ₃ -N) /(μg·g ⁻¹)	w(NO ₃ ⁻ -N) /(μg·g ⁻¹)	C/N	C/P	N/P
进贤县	5.75 ± 2.50	2.18 ± 1.15	5.83 ± 2.57	1.42 ± 0.66	0.13 ± 0.11	108 ± 49.8	4.62 ± 3.34	3.67 ± 0.65	15.7 ± 7.63	4.21 ± 1.52
星子县	5.25 ± 1.12	2.01 ± 0.78	5.55 ± 1.65	1.35 ± 0.60	0.19 ± 0.13	141 ± 28.3	2.52 ± 2.02	3.56 ± 0.38	16.4 ± 8.17	4.50 ± 1.77
新建区	5.18 ± 0.88	2.40 ± 0.64	6.85 ± 1.98	2.07 ± 0.68	0.18 ± 0.20	117 ± 37.8	1.64 ± 2.05	3.55 ± 0.50	12.9 ± 5.36	3.63 ± 1.41
南昌县	6.88 ± 3.05	3.13 ± 1.18	7.49 ± 2.85	2.62 ± 0.65	0.24 ± 0.11	161 ± 49.7	11.7 ± 5.69	4.25 ± 0.47	11.9 ± 3.30	2.81 ± 0.74

3 结论

(1) 鄱阳湖平原区农村门塘主要形状有长条形、弧形、方形和“S”形, 多呈长条形, 长宽比在 1.0~2.0 之间, 长宽比较小; 进水口设置随意, 多且分散, 不利于门塘水体自净能力的提高。

(2) 农村门塘总体呈现出中间略低于四周, 从进水口到出水口呈由高到低大致走向, 平均水深在 1.00 m~1.97 m 之间; 门塘均有一定程度的淤塞, 平均淤塞深度在 0.20 m~0.65 m 之间, 淤塞面积占门塘面积的比例在 41%~79% 之间; 门塘水质表现为 TN 和 TP 呈现一定程度的超标, 其中, TN 污染程度总体表现为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季, TP 污染程度总体表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。

(3) 农村门塘底泥营养盐和 ORG 等含量相对

较高, 呈现一定的污染状态; 底泥中的 ORG、TOC 和 TN 的同源性较高, 以内源污染物为主; 门塘底泥中磷以陆源输入为主。底泥各营养盐和 ORG 指标中, TP、NO₃⁻-N 在各县域间分别呈显著和极显著差异。

[参考文献]

[1] YIN C Q, ZHAO M, JIN W G, et al. A multi-pond system as a protective zone for the management of lakes in China[J]. Hydrobiologia, 1993, 251(1/2/3): 321-329.
 [2] YAN W J, YIN C Q, TANG H X. Nutrient retention by multipond systems: mechanisms for the control of nonpoint source pollution [J]. Journal of Environmental Quality, 1998, 27(5): 1009-1017.

(下转第 47 页)