

# 农村多水塘系统中污染物来源评价 ——以陈集镇为例

李玉凤, 刘红玉, 朱丽娟, 郝敬峰

(江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

[摘要] 由于南方多水塘系统的农村景观结构分布广泛, 合理利用这样的系统对农村面源污染的控制具有重要的意义, 那么定量分析水塘污染物的来源及其分布特征是完善和管理多水塘系统的基础. 本文从经济和环境协调发展的角度出发, 选择经济正在迅速发展的陈集镇作为研究对象, 采用 GIS 技术进行空间分析, 运用样点试验采集点状数据研究区域内水塘污染物来源及分布特征. 结果表明: 水塘中的污染物来源主要包括乡镇企业、水田、居民地和其他用地, 其中受水田影响的水塘占总水塘数的 60%; 受工业污染和农业污染影响的水塘的水质污染指数已经超出了农业用水的警戒水平. 因此, 对多水塘系统的管理和完善要有针对性.

[关键词] 多水塘系统, 农村景观, 养分来源, 水质评价

[中图分类号] X21; S181 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2009)01-0136-05

## Assessment of the Pollutants in Multi-Ponds System of Rural Areas

### ——A Case Study of Chenji Town

Li Yufeng, Liu Hongyu, Zhu Lijuan, Hao Jingfeng

(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract** The multiple ponds system is widely distributed in South China. The appropriate use of the system is very important to the non-point source pollution controlled in rural areas. Therefore, the quantitative analysis for the sources and distribution characteristics of the ponds pollutant is the foundation to improve and manage the multiple ponds system. This article is written from the point of view that the development of economy should be in harmony with the environment. So Chenji Town, whose economy is developed quickly, is chosen as the study area. The methods of spatial analysis of GIS and sample collecting were used to analyze the sources and distribution characteristics of the ponds pollutant in study area. The results show that the main sources of the pollutant are township-enterprises, paddy fields, residential areas, and other landuse. The ponds affected by paddy fields takes up 60%. It also found that the water quality assessment index of the ponds which affected by industry and agriculture go beyond the precaution of irrigation. As a result, the management and perfection of the multiple ponds system should be pointed.

**Key words** multiple ponds system, country landscape, nutrient source, assessment of water

长江下游地区是我国浅水湖泊的主要分布区域之一, 区域内河流沟渠纵横交错, 形成错综复杂的湖河网络系统. 研究表明, 该区的湖泊水库大多数已经或正在进入富营养化状态<sup>[1, 2]</sup>, 造成富营养化的污染物约有一半以上来自农村, 包括农业污染、乡镇企业污染、村镇污染等, 它们通过降雨径流进入水体<sup>[3]</sup>. 污染负荷随着农民生产和生活水平的提高正在迅速加大, 而能截留污染的湿地和岸边植被等在迅速退化<sup>[4]</sup>. 我国在湖泊富营养化治理方面进行了大量试验、实践与探索, 但效果并不明显<sup>[2]</sup>. 一方面, 主要集中在污染物的来源研究<sup>[5, 6]</sup>和沟渠在降低农业污染中的作用研究<sup>[7]</sup>; 另一方面, 模拟一定流域不同景观格局变化对流域水量平衡

收稿日期: 2008-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(40871084)、高等学校博士学科点专项科研基金(20070319001)资助项目.

通讯联系人: 李玉凤, 博士研究生, 研究方向: 湿地生态评价和景观规划. E-mail: pandalee\_0826@163.com

的影响,结合一定的水质模拟模型分析水体质量的变化特征,如 HSPF和 SWAT 模型,近年来这些模型在国内得到了较广泛的应用<sup>[8,9]</sup>。然而往往忽略复杂景观结构对污染物产生、运移过程的影响,特别是对不同景观类型污染物输出的评价。遍布仪征市的灌溉系统——多水塘系统,在流域内形成一个巨大的物质循环流动体系,形成面积巨大的水陆交错带。所以研究污染物在复杂景观结构——多水塘系统中的形成、运移,确定不同景观(居民地、工业用地、水田、沟渠、水塘等)在污染物产生、运移过程中的作用与功能,寻求一种有利于养分滞留的景观格局,对控制农村水污染具有重要意义<sup>[10]</sup>。随着 3S 技术的飞速发展,在数据收集上的技术问题迎刃而解,本文通过融合 GIS 空间分析和样点监测的方法,主要从多水塘系统中污染物的来源着手,分析不同景观格局下水塘的污染物特征,为探求合理农业景观格局奠定基础。

## 1 研究区概况

陈集镇位于苏皖两省交界处,地处江苏省仪征市北部中后山区,属亚热带季风气候,年平均气温 15℃;雨量充沛,年降水量 1 042.5 mm,降水主要集中在 6~9 月,占全年降雨量的 59.2%;相对高程为 20~50 m。区内地貌主要是岗地,地势较低缓,且顶部相对平坦,土壤类型以黄褐土和水稻土为主。气候及土壤条件适合多种农作物生长,且是南北方植物理想的引种过渡地带<sup>[11]</sup>。

本文选取陈集镇中心人口、乡镇企业以及农业最为密集的区域作为样地,面积为 9.61 km<sup>2</sup>。区内分布有 185 块水塘,面积从 238~42 934 m<sup>2</sup> 之间不等,各个水塘之间通过沟渠相连,形成了错综复杂的灌溉系统——多水塘系统,它具有拦截地表径流、泥沙以及养分的重要生态功能,是流域水陆交错带的重要组成部分。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 建立 GIS 数据库

Google Earth(GE)集成了遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)三种高新技术的功能,向用户展示全球范围的不同地物分辨率的遥感图像<sup>[12]</sup>。陈集镇在 GE 中属于高清晰影像部分,故可以参考部分文献获得陈集镇地面信息<sup>[13]</sup>。利用 Arcgis9.2 软件对其进行配准,同时通过实地调查对数据进行目视解译,得到对应的矢量数据,判读精度达 90% 以上。经过详细的调查把该区土地利用类型划分为水田、旱地、荒地、林地、水塘、草地、工业用地、道路和居民用地等 9 类(图 1)。为了揭示地貌、地形影响,建立小流域 DEM 数据,利用 Arcgis9.2 中创建渔网功能,逐点采集 GE 上的高程,通过内插生成 DEM。沟渠系统的构建也是通过目视解译的方法,并结合大量的实际调查得到(图 2)。



图 1 研究区土地利用类型

Fig.1 The classify of land use of study site

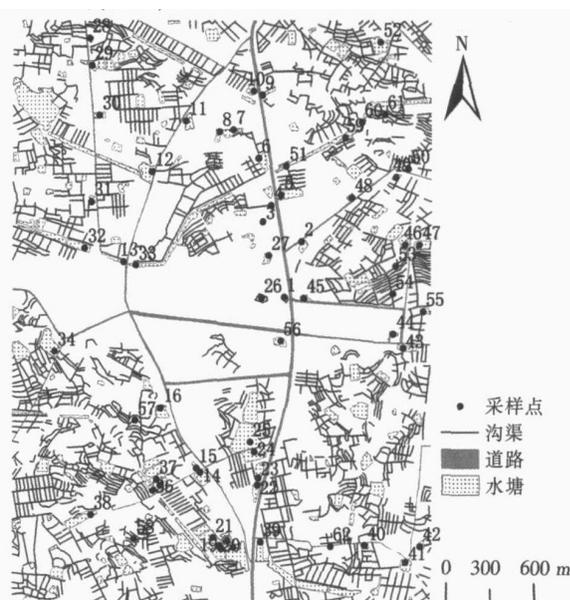


图 2 采样点及水渠分布

Fig.2 The distribution of simple sites and ditch

## 2.2 水质监测数据

由于该区降雨量及水稻灌溉排水期都集中在夏季,所以选择 2008 年 6~9 月为监测时间,每隔 1 个月监测 1 次,而且都选择降雨后 2 d 内进行采样,尽可能在同一地点采样.为了方便采样,选择 4 m 以上道路附近的水塘作为取样点,共采集 62 个水塘的水样(图 2),占该区鱼塘总数的 33.5%.每个水塘设两个采样点,选取每个样点并当场测定水中 pH、温度(TEMP)、溶解氧(DO);然后用 100 mL 塑料瓶采集水样,于水下 30 cm 处采水,盖严.水样于 24 h 内运回实验室,分析总氮(TN)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、总磷(TP).

## 2.3 分析方法

采用野外采样和室内分析相结合,点(水塘采样点)和面(所选整个区域)相结合,在 GIS 的支持下,对不同景观组合下水塘污染物的来源进行空间定量分析.水塘污染物的来源包括直接来源和间接来源,直接来源是指与水塘相邻的区域通过沟渠直接排入,间接来源是指非相邻区域的用地通过沟渠排入水塘.本文选择对水塘污染物的直接来源进行研究,分析水塘污染物的来源时,选择了 3 方面的影响因素:高程、入塘沟渠、邻接水塘的土地利用类型.通过 ArcEngine 编程计算沟渠和水塘之间的节点,并统计水塘邻接的土地利用类型,同时通过 DEM 分析水流的方向,结合以上 3 个因素判断水塘的污染物来源.同时利用 Spass 软件来统计分析数据.

水质监测方法: T 和 DO 采用美国 YSI-55 型溶解氧仪于水下 20 cm 测定; pH 采用 HANNA 防水型 pH 测试笔测定; TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 TP 均取表层 30 cm 的水样由 Skalar 流动水质分析仪(荷兰)测得.

## 2.4 评价方法的选择及等级划分

水质评价采用单项污染指数法和综合污染指数法(内梅罗水质指数法)<sup>[14]</sup>进行评价,根据综合污染指数的计算方法得到评价结果.

(1) 单项污染指数计算公式:  $F_i = C_i / S_{ij}$

式中:  $F_i$  是污染物的水质污染指数;  $C_i$  指  $i$  种污染物的实测浓度;  $S_{ij}$  表示  $i$  种污染物在水中的用途为  $j$  类时的评价标准.其中 DO 污染指数和 pH 污染指数公式如下:

$$F_{DO} = \frac{C_{DOmax} - C_{DO}}{C_{DOmax} - S_{DO}}, \quad F_{pH} = \frac{C_{pH} - S_{pHave}}{S_{pHmax} - S_{pHave}}$$

式中:  $C_{DOmax}$  表示在某一温度时 DO 的饱和浓度;  $S_{pHave}$  表示 pH 允许范围的平均值;  $S_{pHmax}$  表示 pH 允许范围的最大值.由于评价区域以农业为主,农药、化肥以及生活污水等物质,导致地表水有机污染和富营养化,故选择 DO、pH、TN、TP 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 作为评价因子.根据 GB3838—2002 地表水环境质量标准<sup>[15]</sup>,选取农业用水(V)作为评价标准.各个指标的评价标准值如下:  $S_{DO} = 2 \text{ mg/L}$ ,  $S_{pHave} = 7.5$ ,  $S_{pHmax} = 9$ ,  $S_{TN} = 2 \text{ mg/L}$ ,  $S_{TP} = 0.2 \text{ mg/L}$ ,  $S_{NH_4^+-N} = 2 \text{ mg/L}$ .

(2) 综合水质污染指数计算公式:

$$P_j = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (F_{imax})^2 + \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \right)^2 \right]}$$

式中:  $P_j$  表示水作为第  $j$  类用途时的水质综合指数.本文选择了 5 个评价指标,故式中  $n = 5$ .

按照 NY/T 396—2000《农用水源环境质量监测技术规范》<sup>[16]</sup>中水质分级标准进行划分,见表 1.

表 1 水质分级标准

Table 1 The standard of water quality range

等级划分	综合污染指数	污染程度	污染水平
I	≤ 0.5	清洁	清洁
II	0.5 ~ 1.0	尚清洁	标准限量内
III	≥ 1.0	污染	超出警戒水平

## 3 结果与分析

### 3.1 不同景观组合的水塘污染物来源分析

表 2 显示,该区水田所占面积达到 56.34%,位居所有土地利用类型之首;其次为居民地所占用地,这跟所选区域有关,主要是城镇中心所在地人口相对较集中;乡镇企业所占面积最小,主要分布在道路两侧,受到交通因素的影响明显.研究表明,养分在区域不同景观组合的水塘中的空间变化,是人为干扰景观异质性的综合结果<sup>[17]</sup>.总体看来水塘中污染物来源主要分为 4 类:乡镇企业,水田,居民地和其他用地(林地、草地、荒地和旱地).通过软件自动生成的结果表明,在 185 块水塘中,受乡镇企业排水污染的水塘共有 14 个,受生活污水影响的水塘有 35 个,受其他用地影响的有 59 个,剩余的都是受到水田排水污染的水

塘.由此可见,该区水塘中受水田排水污染的水塘数达到 60% 之多;近几年随着陈集镇乡镇企业的快速发展,其对水塘的污染量达到水塘总数的 7.3%,受到污染的水塘主要集中在道路两旁,这是因为乡镇企业也主要集中在道路两旁和人口相对密集的地区;受生活污水影响的水塘数占 17% 之多,主要是因为居住地附近几乎都有水塘分布,水塘的水主要用来满足村民自家菜地的用水,同时因收集菜地降雨径流而受到不同程度的污染.

表 2 该区土地利用类型面积统计

Table 2 The statistic of area about different land use

土地利用类型	荒地	工业用地	旱地	居民地	林地	水塘	水田	草地	合计
面积 /万 m <sup>2</sup>	89.30	23.16	36.59	116.28	62.26	64.37	505.83	52.82	950.61
比例 /%	9.39	2.44	3.85	12.23	6.55	6.77	53.21	5.56	100.00

### 3.2 不同污染物来源水塘的水质特征及综合评价

由于景观格局的不同,造成水塘污染物来源的各异,而不同污染物来源的水塘各自的水质特征也有差异.图 3 是各个采样点在 4 次采样中的平均值,表 3 列出不同时间采样的实测值,在不同时间段,水塘中污染物随着自然条件和人为施肥和排水的影响而存在不同程度的差异.从图 4 可以看出不同污染物来源的水塘中的 pH 值差异不明显,主要集中在 8.5 左右,受其他用地影响的水塘 pH 值略低. DO 在生活污水来源的水塘中的值最高,高于工业污染水塘的 25%,这与来自生活污水水塘中的水生植物生长茂盛有密切的关系,表明来自生活污水的水塘的自净能力要强于其他类型的水塘<sup>[18]</sup>.

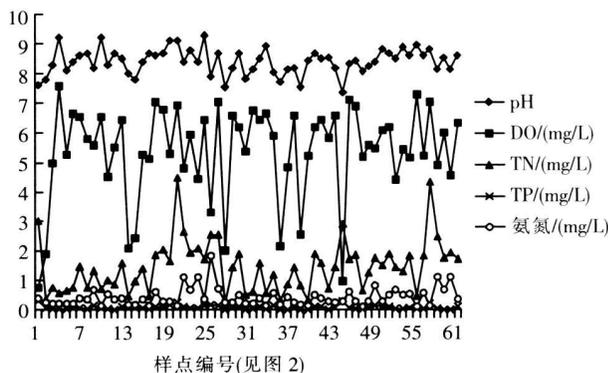


图 3 各采样点水质特征  
Fig.3 The water characteristics of sampling sites

表 3 不同污染物来源水塘的水质特征

Table 3 The water characteristics of ponds which effected by different polluted sources

污染物来源	样品数	月份	DO / (mg/L)	pH	TN / (mg/L)	TP / (mg/L)	氨氮 / (mg/L)
a 工业用地	10	6/7月	5.12(0.71-7.58)	8.48(7.63-9.30)	1.80(0.59-3.29)	0.12(0.03-0.33)	0.62(0.2-1.89)
		8/9月	5.17(0.96-7.39)	8.38(7.37-8.97)	1.50(0.47-2.89)	0.10(0.02-0.30)	0.54(0.10-1.71)
b 水田	29	6/7月	5.82(1.69-6.30)	8.61(7.80-9.40)	1.56(0.35-4.58)	0.10(0.04-0.26)	0.42(0.14-1.15)
		8/9月	6.02(1.99-6.81)	8.51(7.54-9.04)	1.46(0.20-4.33)	0.09(0.01-0.20)	0.37(0.13-1.09)
c 居民地	10	6/7月	6.32(1.78-6.78)	8.60(7.91-9.53)	1.73(0.51-2.81)	0.10(0.02-0.29)	0.44(0.21-1.53)
		8/9月	6.55(2.51-6.96)	8.40(7.60-9.30)	1.41(0.61-3.68)	0.08(0.04-0.19)	0.34(0.19-1.38)
d 其他用地	13	6/7月	5.18(4.42-5.59)	8.50(8.20-8.90)	1.35(0.85-1.81)	0.07(0.02-0.15)	0.56(0.36-0.82)
		8/9月	5.28(4.83-5.90)	8.30(8.04-8.54)	0.92(0.71-1.24)	0.06(0.01-0.13)	0.41(0.27-0.58)

注:表中数据为两次采样平均值(最小值-最大值)

同时图 4 还显示了 TN、TP 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 在不同污染源水塘中的分布特征.三者浓度在工业污染的水塘中都高于其他类型污染的水塘. TN、TP 在受其他用地影响的水塘中含量较低,TP 含量只有 0.06 mg/L 这说明水塘周围的土地利用类型对水塘水质的影响非常大,其他用地类型在降雨条件下,所产生的径流对水塘影响很小,同时沟渠对水质具有很强的净化功能,所以接纳其他用地径流的水塘的污染相对会更小<sup>[19]</sup>.其他用地中主要包括林地、荒地和旱地,这些土地利用类型由于经过若干时间的休耕,土壤中累积的养分被植被所消耗,所以由这些土地利用类型产生的径流汇集到水塘中的 TN、TP 也自然较低. TN 和 TP 在

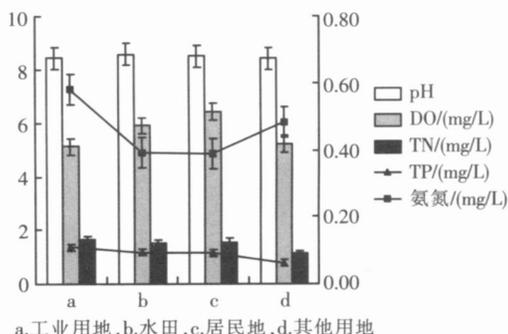


图 4 不同污染源的水塘水质指标特征  
Fig.4 Water quality indices of ponds of different polluted sources

受水田影响的水塘和受居民用地影响的水塘中的浓度分别是 1.51 mg/L、0.09 mg/L 和 1.57 mg/L、0.09 mg/L。两者浓度差异较小,主要是因为水塘在收集农业排水和生活污水的过程中,受到沟渠的密度和沟渠类型的影响。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  在工业污染源水塘的含量较高,这和每天企业用水的排放有直接的关系,在农业用地和生活污水影响的水塘中含量较小,这是因为这两类水塘中的 DO 含量较高的缘故,足够的溶解氧促进  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的硝化反应,降低了  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的浓度。

通过内梅罗综合污染水质指数计算得到:工业用地污染指数为 1.62 属于 II 级污染水平,已近超出农业用水警戒水平;受农业排水污染的水塘的污染指数为 1.15 也属于 II 级污染等级;受生活污水影响的水塘的综合污染指数为 0.64 属于尚清洁(II)的水质等级;受其他用地影响的水塘的水质综合指数为 0.63 略低于受生活污水影响的水塘,都处于农业用水标准限量内。

## 4 讨论和结论

(1) 各个水质指标在不同污染物来源的水塘中的分布具有一定的随机性,但是也呈现出一定的规律:在不同污染源影响的水塘中,受其他用地影响的水塘,除了氨氮之外的其他水质指标值都最低,受工业污染的水塘中,除了 DO 值最低,其他水质指标的值都最高。

(2) 本文选取流域中典型部分作为研究区,选择流域内部进行研究,结合流域特征,重在揭示污染物转移的方式和过程,运用 GIS 软件自动识别水塘的污染物来源,并分析不同污染物来源的水塘的水质特征。

(3) 针对工业污染水塘的特征,利用环境的自净能力,参考水塘植被的耐受限,适当地增加水塘的容量和水塘植被的种类,对于乡镇企业生产过程中产生的污水进行生态降解处理。为了流域内的养分不对流域外产生影响,可以人为增加水塘的密度,改善水塘的蓄水能力,截留降雨径流,通过沉降、氧化还原、植物吸收等改变养分形态,使养分在农田系统中循环利用,减少非点源污染物的输出。

### [参考文献]

- [1] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探 [J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 193-202
- [2] 王国祥, 成小英, 濮培民. 湖泊藻型富营养化控制——技术、理论及应用 [J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 273-282
- [3] 陈磊山, 姜冬梅, 陆根法. 农村面源污染与建设环境管理体系问题研究——以太湖地区为例 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11170-11171.
- [4] 邢关熹. 遏制氮磷: 农村污染源是难点 [J]. 环境保护, 2007, 7B: 49-50
- [5] 夏立忠, 杨林章. 太湖流域非点源污染研究与控制 [J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 45-49.
- [6] 谢迎新, 邢光熹, 熊正琴, 等. 常熟地区河湖水体的氮污染源研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 766-771.
- [7] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1371-137.
- [8] 胡连伍, 王学军, 罗定贵. 基于 SWAT 2000 模型的流域氮 营 养 素 环 境 自 净 效 率 模 拟 —— 以 杭 埠 —— 丰 乐 河 流 域 为 例 [J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(2): 35-38
- [9] 邢可霞, 郭怀成, 孙廷枫, 等. 基于 HSPF 模型的滇池流域非点源污染模拟 [J]. 中国环境科学, 2004, 24(2): 229-232
- [10] 毛战坡, 尹澄清, 单保庆, 等. 农业非点源污染物在水塘景观系统中的空间变异性研究 [J]. 水利学报, 2006, 37(6): 727-733
- [11] 宋歌, 孙波. 县域尺度稻麦轮作农田土壤无机氮的时空变化——以江苏省仪征市为例 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 28(2): 636-642
- [12] 文东新. GOOGLE EARTH 在森林消防管理中的应用 [J]. 林业使用技术, 2006(7): 26-27
- [13] 莫平浩, 胡茂林. 利用 Google Earth 制作卫星影像图 [J]. 岩土工程勘测, 2008(2): 30-31
- [14] 石强, 李科林, 廖科. 景区环境影响评价 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005 57-65
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T396—2000 农用水源环境质量监测技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000
- [16] 国家环境保护总局. GB3838—2002 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [17] 章明奎, 王丽平, 张慧敏. 利用农田系统中源汇型景观组合控制面源磷污染 [J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(3): 46-50
- [18] 韩小勇, 孙璞. 多水塘湿地系统中水生植被恢复及其对面源污染的截留作用 [J]. 合肥学院学报, 2007, 17(1): 71-74
- [19] 陆琦, 马克明, 卢涛, 等. 三江平原农田渠系中氮素的时空变化 [J]. 环境科学, 2007, 28(7): 1560-1566

[责任编辑: 陆炳新]