

# 太湖五里湖非点源污染物的来源与控制对策

年跃刚<sup>1</sup>, 李英杰<sup>2</sup>, 宋英伟<sup>3,4</sup>, 聂志丹<sup>1</sup>, 孙艳妮<sup>1</sup>

1. 中国环境科学研究院 湖泊生态环境创新基地,北京 100012
2. 中国矿业大学 资源与安全工程学院,北京 100083
3. 华东师范大学 环境科学系,上海 200062
4. 北京市环境保护科学研究院,北京 100037

**摘要:** 现场调查显示,五里湖非点源污染物来源于城区道路、居民区、农业和绿化施肥等方面,在降雨时通过河道、湖周散流和大气沉降方式入湖。根据流域环境特点,将五里湖流域划分为西南山地风景旅游管理区、北部新城污染控制区和东南农业、渔业综合整治区 3 个区域类型,并对各区提出了如下的非点源污染控制对策:西南山地风景旅游管理区需采取陆上植被保护和滨水植被恢复工程;北部新城污染控制区需采取滨水区、河口区、河道区植被恢复工程以及人工湿地工程;东南农业、渔业综合整治区需采取有机农业工程、污水处理工程、植物塘净化工程和河道生态净化工程。

**关键词:** 五里湖; 非点源; 流域; 滨水区

**中图分类号:** X524      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001 - 6929(2006)06 - 0040 - 05

## Pollution Sources and Control Countermeasures of Non-Point Sources of Wuli Lake ,Lake Taihu

NIAN Yue-gang<sup>1</sup>, LI Ying-Jie<sup>2</sup>, SONG Ying-wei<sup>3,4</sup>, NIE Zhi-dan<sup>1</sup>, SUN Yan-ni<sup>1</sup>

1. Research Center for Lake Eco-environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China
2. College of Resources and Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China
3. Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China
4. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China

**Abstract:** Based on field survey, it is identified that the nonpoint sources of Wuli Lake are from urban roads, residential areas, agriculture, and fertilization of greensward. The pollutants flow into lake through rivers, lakeshore and atmosphere precipitation during raining. According to characteristics of environment, the watershed is divided into 3 pollution control zones: landscape tourism management zone of southwest mountain (A), pollution control zone of north New City Zone (B) and comprehensive improvement zone of southeast agriculture and fishery (C). The pollution control strategies of nonpoint sources was suggested that the protection of terricolous vegetation and restoration of riparian vegetation was suitable for zone A, the reconstruction of riparian, estuarine and riverway vegetation and the applying of constructed wetlands was suitable for zone B, and the engineering of organic agriculture, sewage treatment, stabilization lagoon and riverway ecological purification was suitable for zone C.

**Key words:** Wuli Lake; non-point sources; watershed; riparian areas

近年来,中国许多城市和城郊浅水湖泊富营养化状况不断加剧,随之造成严重的经济和生态环境

问题<sup>[1]</sup>。控制湖泊富营养化必须把控制污染源和生态修复有机结合起来<sup>[2]</sup>,控制污染源是生态恢复的前提条件。随着对点源污染的有效控制,非点源污染所占比重逐渐增大,目前在某些水域已经成为水质恶化的主要原因<sup>[3-4]</sup>。丹麦、荷兰、美国等的非点源污染量已经占污染总量的 50% 以上<sup>[5-6]</sup>,中国太湖、巢湖、滇池等湖泊与河流 50% 以上的氮、磷污染负

收稿日期: 2006 - 03 - 27

基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2002AA601013)

作者简介: 年跃刚(1963 - ),男,内蒙古赤峰人,研究员,博士。

荷来自农业非点源污染<sup>[7-9]</sup>。在点源得到基本控制以后,非点源的污染将成为主要问题。但是目前对入湖污染的研究多集中在易于识别的点源排放,对流域内非点源的来源和迁移途径研究不够<sup>[10]</sup>。笔者在现场调查的基础上,采用分区污染控制的原则,分析了五里湖非点源的来源和入湖途径,提出了相应的生态工程控制措施。

## 1 五里湖概况

五里湖位于无锡市市郊,是太湖伸入无锡陆地的一片水域。周围以平原为主,仅西南一侧为山地,把五里湖与太湖分隔开来。五里湖中间被宝界桥分为东、西 2 个部分,西面建有犊山防洪枢纽工程和梅梁湖泵站枢纽工程,通过节制闸和太湖连通,西南濒临无锡市著名的国家级风景旅游区鼋头渚,北面的骂蠡港河穿过无锡市区连通京杭大运河,东面曹王泾河也与京杭大运河连通,南面长广溪河和贡湖连通,沿湖还有 20 多条小河浜与周边城镇和农村相连接,形成一个既相对独立又相互联系的水系。湖周植被覆盖率较高,生态环境较好。由于相对封闭,水体流动缓慢,流向不定,换水周期约为 400 d。在 2002 年开展退渔还湖工程之前,该湖东西长 6 km,南北宽 0.3 ~ 1.5 km,面积约 4.27 km<sup>2</sup>,常年水位约 3.07 m,年内水位变幅约 0.7 m,平均水深 1.6 m,容积 824 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,属典型的浅水城郊湖泊。开展退渔还湖工程以后,该湖面积扩大至 8.6 km<sup>2</sup>,平均水深在 2.0 m 左右。

## 2 五里湖非点源污染物调查

### 2.1 非点源污染及其特点

美国环境保护局(USEPA)将非点源(NPS)污染定义为来自许多分散源,由降雨和雪融水流经地表引起的径流,在流动过程中挟带的各种污染物进入河、湖等地表水体<sup>[11]</sup>。USEPA 根据污染物的组成将非点源污染物分为 4 类:泥沙、营养物质、有毒物质和病菌。从污染来源看,非点源污染物主要包括:来自农田的化肥、农药;来自城市的雨水径流,灌溉后的退水;来自家畜、宠物以及未适当管理的化粪池等卫生系统的细菌和营养盐等。

侵蚀过程、降雨径流过程和污染物迁移转化过程是决定非点源污染特征的 3 个主要方面<sup>[12]</sup>。土壤侵蚀主要指降雨侵蚀,侵蚀过程可分为雨滴溅蚀、径流冲蚀。降雨径流为污染物提供了迁移的介质和能量。污染物的迁移过程不仅与侵蚀条件和水文条件有关,还与污染物在土壤中的分布、物理化学形态及

生物化学转化等密切相关。

流域内社会经济状况、工农业发展水平和各区域土地利用方式等决定着污染源的类型和区域分布。流域内自然环境特征(如植被覆盖状况、土壤类型、地形等)决定了下垫面的耐侵蚀力。植被和土壤状况影响污染物的截留和转化,土壤基质与营养物质的相互作用具有空间变异性<sup>[13]</sup>。

可见,非点源污染由自然因素和人为活动引起,与整个流域内自然环境特征、土地利用方式、气象条件、地表径流、人为活动强度和社会经济状况等密切相关,具有突发性、滞后性、复杂性、难控制性等特点。

### 2.2 五里湖非点源污染物的来源及入湖方式

采用现场调查、踏勘与走访当地居民相结合的方法研究非点源污染物来源及其入湖方式。结果表明,五里湖非点源污染物主要为氮、磷,其来源主要有城区非点源污染物、湖周居民生活污水、果园菜地流失的农药和化肥、公路交通污染、景观绿化带的肥料流失。污染物入湖方式可分为河道入湖,湖周散流入湖和大气干、湿沉降入湖 3 类。

a. 湖周河道入湖方式:五里湖为城郊湖泊,位于经济发达的长江三角洲地区,湖周居民密集,村庄生活污水在五里湖流域非点源污染中占有相当大的比重,河流两岸经常可见生活污水排放口。河道内水流平缓、流向不定,污染物集中在河道内,多雨季节径流挟带污染物流入湖中。污染物通过河道入湖是一种主要的非点源污染物入湖方式,五里湖的非点源污染主要通过散流、沟渠、暗沟、河流、湖泊的途径或其中的部分环节流入湖中。

b. 湖周散流入湖方式:五里湖湖周绿化带内建设了许多雨水排水系统,收集的雨水散流直接排入湖内。在散流入湖方面,由于植被较好,未发现较大的冲沟,说明湖周土壤年侵蚀量较小。五里湖湖周散流入湖以公路为界,湖滨绿化带内非点源污染物通过雨水排水系统及岸边散流形式入湖。

c. 污染物大气沉降入湖:指工农业生产、交通运输等过程产生的污染物弥散在空气中,在重力沉降或降雨淋洗作用下的入湖方式。无锡市 2004—2005 年大气环境质量数据显示,绝大部分天数空气质量级别为 Ⅱ 级,干沉降造成入湖负荷影响相对较小。但在降水期间,交通运输会在低矮空间造成比较明显的负荷影响。

### 2.3 五里湖非点源污染物的浓度

2005 年 4—6 月对湖周以散流形式入湖的非点源污染进行了取样监测,主要针对道路排水和绿化区林草带排水,降雨期取初期雨水,期间共有 3 次降雨.监测显示,初期雨水后道路中各污染物含量远高于绿化区,且 2005 年的第 1 次降雨道路污染最大,各项污染物含量高出现平均值 2~5 倍.绿化区的污染物含量的最大值出现在化肥施用期.初期雨水后道路与绿化区的污染物质量浓度见表 1.由表 1 可见,道路污染是非常严重的,第 1 场初雨后道路污染物含量高可能与旱季积存的污染物首次冲刷有关,绿化区在施肥期的污染也较为严重,所以非点源污染需要采取相应的对策,否则,将会对湖泊水体产生较大的影响.

表 1 初期雨水后道路与绿化区的污染物质量浓度

Table 1 Pollutants concentration of earlier rain water in roadway and greensward mg/L

监测点	监测期	TN	TP	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>
道路	第 1 次降雨	10.00	2.46	5.10	242.30
	3 次降雨平均值	4.64	0.55	1.48	49.30
绿化区	第 1 次降雨	0.76	0.09	0.60	2.70
	3 次降雨平均值	2.20	0.25	0.38	8.60

表 2 五里湖流域非点源污染控制区的特征与问题

Table 2 The outline of districts to control nonpoint pollution

区域	岸线长度/km	范围	生态特征	土地利用现状	主要环境问题
西南山地风景旅游管理区	5.5	渤公岛至长广溪段	全部为山地和山脚道路,人口密度小,植被覆盖度高	风景旅游区	主要污染为公路交通污染,滨水区生态状况较差
北部新城污染控制区	10	渤公岛至曹王泾河段	基本上全部为平原,地势起伏平缓,位于城郊,人口密度较大.随着绿化工作的大力开展,湖滨带绿化状况较好,雨水排水系统健全	风景旅游、新城、农业及工业	主要为城郊居民生活污水、果园菜地径流、道路雨水、绿化肥料流失
东南农业、渔业综合整治区	4.5	曹王泾河至长广溪段	全部为平原,以渔业、农业、小城镇为主,土地利用率高,植被状况较差	渔业、农业、工业、村镇居住区	水产养殖、农业、居民区生活污水散流入河

## 4 非点源污染控制区的技术对策

### 4.1 非点源污染控制技术简介

非点源污染控制技术包括源头控制技术与向接纳水体迁移的过程消减技术两大类: 源头控制技术随非点源类型的不同而各异.具体包括: 源头削减技术,例如化肥、农药的合理使用;防止污染物离开源头的稳定化技术,如建设农业生态工程,保护耕地,防止水土流失.向接纳水体迁移过程中的削减技术,指离开源头的污染物在到达接纳水体之前被净化的各种技术.这些技术包括生态过滤带技术、前

## 3 五里湖非点源污染分区控制

湖泊流域是一个复杂的生态系统,五里湖非点源污染物的产生源、入湖途径等具有明显的区域特点,因地制宜地分区规划并选取合理的控制技术是湖泊非点源污染控制的关键.

### 3.1 非点源污染控制区划分原则

从非点源的来源、入湖途径、迁移过程入手,按以下原则进行污染控制区划分: 生态结构相似性原则.土地利用的类型、利用强度、植被状况是影响非点源类型、数量和入湖方式的重要因素.地貌类型一致性原则.地貌因素影响水系的分布,决定着人类对自然环境的利用方式和利用强度,与径流的形成过程和迁移途径密切相关.控制目标相近性原则.相近来源、相近入湖方式的污染物,采用相近的控制方式.

### 3.2 五里湖非点源污染分区控制规划

根据五里湖流域生态结构特征、非点源污染来源、地貌类型和污染控制的目的,按非点源污染控制区划分的原则和控制重点,将流域划分为西南山地风景旅游管理区,北部新城污染控制区和东南农业、渔业综合整治区 3 个非点源污染控制区.各区的分布范围、面积、生态特征、社会经济发展及非点源污染的主要问题见表 2.

置库技术及各种湿地技术等.由于非点源污染具有突发性、复杂性、难控制性等特点,其中的生态工程技术在处理非点源污染方面具有显著的优点.

在五里湖非点源控制方面,湖泊滨水区生态工程技术与河道生态工程技术是 2 个非常有效的措施.

湖泊湖滨带滨水区生态工程是拦截非点源入湖前的最后一道屏障.滨水区生态工程技术是在湖滨带滨水区创造湿生和水生植物的生境,恢复滨水区生态系统,发挥植物和微生物对非点源污染物的净

化作用。滨水区的生态功能的发挥是土壤、水、植物、微生物之间相互作用的结果,与水力学、生态学、景观学、环境学相联系。滨水区生态工程技术具有以下特点:良好的消能护岸作用,良好的过滤、净化作用,一定的美学价值,较高的生物多样性。

城市湖泊或城郊湖泊的雨水一部分散流直接入湖,另一部分通过雨水管网排入河道或散流入河再间接入湖。河道生态工程技术是在非点源污染物迁移过程中对其进行拦截、净化的技术,该技术强调对河流生态系统的恢复,并建设生态型岸带。生态型岸带的建设注重发挥岸带的水利稳定、环境净化、景观美学等功能。从植物拦截与吸收净化污染物来说,河岸带分为岸顶植被过滤带、边坡植被过滤带、水边植被净化带。同时,河岸带的基底对水质净化也起到重要作用,特别要发挥水边的基底净化作用,以砾石、块石等营造的滨水岸带可为附着微生物创造条件,这将强化河流的自净功能。

#### 4.2 五里湖非点源污染控制区的技术对策

五里湖是城郊湖泊,按照五里湖非点源污染物的入湖特点,将五里湖非点源污染的控制主要划分为 3 个区,分别采取不同的技术对策。

##### 4.2.1 西南山地风景旅游管理区

该区主要包括山体与山下道路,山上植被较好,植被覆盖率接近 100%,山脚与岸边临近,平原面积少,土地资源紧张,湖岸多为直立岸带,不利于湿生植物与挺水植物的恢复。该区由于山体植被较好,污染较轻,主要污染来源于山下道路交通产生的污染,雨水通过明渠或散流入湖。该区技术对策是保护现有的高覆盖度天然植被;因地制宜建设滨水区生态工程。在直立岸带上建设草地过滤带,直立岸带下营造浅滩,恢复湿生植物和挺水植物,通过草地过滤、挺水植物拦截与净化,可以有效地降低道路交通产生的污染。

##### 4.2.2 北部新城污染控制区

该区域是五里湖新城开发建设重点,在新城建设中完成了雨水管网建设和湖滨带的绿化,湖滨带内植被覆盖率高,新建道路雨水排水管道健全。该区非点源污染来自 2 个方面:湖滨带绿化区域的直接散流入湖或雨水排水管网入湖,该部分污染物浓度不高;城市道路下的雨水管网收集的雨水排入河道,再由河道排入湖体,这部分污染物浓度较高,水量较大,是非点源污染控制的重点。所以该区域非点源污染控制策略主要从 4 个方面考虑:因地制宜

地恢复湖滨带滨水区的挺水植物,过滤与净化湖滨带散流入湖的污染物;建设入湖河口区的湿地,以挺水植物为主的河口区湿地可以截流、净化由入湖河流进入湖内的污染物;强化河道净化措施,采用砾石河床的微生物净化,以及采用水中陆生植物浮床或水生植物浮床吸收、净化,使污染物在河道中得到一定的降解;因地制宜地建设人工湿地工程,将雨水管网收集的初期雨水引入人工湿地进行处理,可以有效地降低初期雨水中的营养盐浓度。

##### 4.2.3 东南农业、渔业综合整治区

该区域目前城市化水平不高,雨水管网及排水管网不健全,植被覆盖率低,主要污染源来自农业、水产养殖、居民生活等方面。针对该区的污染特点,采取以下主要技术对策:在农业种植区提倡增加农家肥的使用,减少化肥用量,用生物方法防治农作物病虫害,建立生态农业;在水产养殖区,应以高效益、少污染的特种水产品(如河蟹、虾类等)为主,倡导环保养殖方式,减少饵料的投放,禁止清塘水的直接排放;在有条件的村庄区应建立污水排水系统,将污水收集后集中处理,较分散的农户采用净化槽处理设施,避免村庄污水以非点源污染的形式入河;建立人工湿地或水生植物塘,将养殖排水、农田退水、村庄以及道路的初期雨水引入湿地,经净化后再入河流或湖泊;利用该区域小型河道多、水流缓慢的特点,实施河道生态工程,利用砾石生物膜和水生植物将河道内的水进一步净化。

## 5 结论

- 五里湖非点源污染物的入湖方式可分为河道入湖,湖周散流入湖和大气干、湿沉降入湖 3 类,其中前 2 类为主要入湖方式。
- 初期雨水后道路中各污染物含量远高于绿化区,第 1 次降雨道路污染最大,绿化区的污染物含量最大值出现在化肥施用期。
- 可以将五里湖流域划分为西南山地风景旅游管理区,北部新城污染控制区和东南农业、渔业综合整治区,进行非点源污染物分区控制。
- 五里湖流域各非点源污染控制区需采取不同的污染防治对策:西南山地风景旅游管理区需采取陆上植被保护和滨水植被恢复工程;北部新城污染控制区需采取滨水区、河口区、河道区植被恢复工程以及人工湿地工程;东南农业、渔业综合整治区需采取有机农业工程、污水处理工程、植物塘净化工程和河道生态净化工程。

## 参考文献:

- [ 1 ] Qiu D R, Wu Z B, Liu B Y, et al. The restoration of aquatic macrophytes for improving water quality in a hypertrophic shallow lake in Hubei Province, China [J]. *Ecological Engineering*, 2001, 18: 147—156.
- [ 2 ] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.  
Jin Xiangcan. Control and management technology of lake eutrophication[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [ 3 ] Wang XJ, Zhang W, Huang YN, et al. Modeling and simulation of point nonpoint source effluent trading in Taihu Lake area: perspective of non-point sources control in China [J]. *Sci Total Environ*, 2004, 325: 39—50.
- [ 4 ] 杨爱玲, 朱颜明. 地表水环境非点源污染研究[J]. *环境科学进展*, 1998, 7(5): 60—67.  
Yang Ailing, Zhu Yanming. The study of nonpoint source pollution of surface water environment[J]. *Advances in Environmental Sciences*, 1998, 7(5): 60—67.
- [ 5 ] Bohn B A, Kershner J L. Establishing aquatic restoration priorities using a watershed approach [J]. *Environ Manag*, 2002, 64: 355—363.
- [ 6 ] 阎伍玖, 鲍祥. 巢湖流域农业活动与非点源污染的初步研究[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(4): 129—132.  
Yan Wujiu, Bao Xiang. Study on agricultural movement of Chaohu Lake basin and nonpoint source pollution [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(4): 129—132.
- [ 7 ] 晏维金, 尹澄清, 孙濮, 等. 氮磷在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(3): 312—316.  
Yan Weijing, Yin Chengqing, Sun Pu, et al. Phosphorus and nitrogen transfers and runoff losses from rice field wetlands of Chaohu Lake [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3): 312—316.
- [ 8 ] 陈友媛, 惠二青, 金春姬, 等. 非点源污染负荷的水文估算方法[J]. *环境科学研究*, 2003, 16(1): 10—13.  
Chen Youyuan, Hui Erqing, Jin Chunji, et al. A hydrological method for estimation of nonpoint source pollution loads and its application [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(1): 10—13.
- [ 9 ] 王少平, 俞立中, 许世远, 等. 苏州河非点源污染负荷研究[J]. *环境科学研究*, 2002, 15(6): 20—27.  
Wang Shaoping, Yu Lizhong, Xu Shiyuan, et al. Research of nonpoint sources pollution loading in Suzhou creek [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15(6): 20—27.
- [ 10 ] Johnes P J. Understanding lake and catchment history as a tool for integrated lake management [J]. *Hydrobiologia*, 1999, 395/396: 41—60.
- [ 11 ] U S Environmental Protection Agency. What is nonpoint source (NPS) pollution? questions and answers [EB/OL]. <http://www.epa.gov/owow/nps/whatis.html>, 2005 - 11 - 01.
- [ 12 ] 胡雪涛, 陈吉宁, 张天柱. 非点源污染模型研究[J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 124—128.  
Hu Xuetao, Chen Jining, Zhang Tianzhu. A study on non-point source pollution models [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2002, 23(3): 124—128.
- [ 13 ] 王夏晖, 尹澄清, 颜晓, 等. 流域土壤基质与非点源磷污染物作用的 3 种模式及其环境意义[J]. *环境科学*, 2004, 25(4): 123—128.  
Wang Xiahui, Yin Chengqing, Yan Xiao, et al. Three patterns of interaction between soil and nonpoint source pollutants in agricultural watershed [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2004, 25(4): 123—128.

(编辑: 孔 欣)