

The Current Situation of the Water Quality and Its Assessment on Lianhuadang River System, Yixing

Wen Sun, Li Feng, Dezhi Sun, Liqiu Zhang*

Beijing Key Lab for Source Control Technology of Water Pollution, Beijing Forestry University, Beijing
Email: sunwen_bifu@163.com, [*zhangliqiu@163.com](mailto:zhangliqiu@163.com)

Received: September 2014

Abstract

Lianhuadang River System, flowing down with the Wuxi Harbor River, is one of the most important inflow rivers of the West Taihu. Based on the standards of the water environment functional zoning, its water quality should meet the requirement of the Class-III surface water. In April 2014 (average season) and July (abundant season), the field investigation and sampling monitoring have been performed twice respectively in the Lianhuadang River System. The results show that: the contamination indexes in the water exceeding the standard of the Class-III surface water mainly are the permanganate index, the total phosphorus, the total nitrogen, the ammonia nitrogen and the chlorophyll A, of which the contamination of the nitrogen and phosphorus exceed the standard seriously. Due to the influence of the increasing stream flow in abundant season, the water quality in July is slightly better than that in April. According to the survey, the main pollution sources in the water are the waste water of the concentrating livestock and poultry breeding, the coastwise rural domestic sewage, and part of the Agricultural Area Source Pollution. Adopting the single factor contamination index method, the WQI method (the comprehensive water quality identification index method) and the water self-purification ability evaluation method, the results of the current situation evaluation for the water environmental quality of the Lianhuadang Water System show that: most rivers of the Lianhuadang Water System are polluted seriously; the comprehensive water quality identification category is ranged from Class V to inferior class V-stinking sewage; the water body has a certain self-purification ability, and the capacity of self-purification varies in different periods.

Keywords

Water Quality Monitoring, Water Quality Evaluation, Pollution Sources, Lianhuadang Water System

*通讯作者。

宜兴市莲花荡水系水环境质量现状及其水质评价

孙 雯, 封 莉, 孙德智, 张立秋*

北京市水体污染源控制技术重点实验室, 北京林业大学, 北京
Email: sunwen_bifu@163.com, zhangliqiu@163.com

收稿日期: 2014年9月

摘 要

莲花荡水系下接乌溪港,是西太湖主要入湖河流之一,水环境功能区划要求其水质达到地表水Ⅲ类。2014年4月(平水期)和7月(丰水期),对莲花荡水系进行了两次现场调研和采样监测,结果表明:水体中超过Ⅲ类地表水的污染指标主要有高锰酸盐指数、总磷、总氮、氨氮和叶绿素a等,其中氮、磷污染超标严重;受丰水期河水量增加影响,7月份河水水质略优于4月;调研发现,水体主要的污染源为集中畜禽养殖废水、沿岸农村散排生活污水和部分农业面源污染。采用单因子污染指数法、综合水质标识指数法和水体自净能力评价等方法,对莲花荡水系的水环境质量进行了现状评价,结果为:莲花荡水系在平水期和丰水期分别为严重污染和重度污染;综合水质标识类别介于V类~劣V类黑臭水质之间;水体具有一定的自净能力,且不同时期各河段的自净能力有所不同。

关键词

水质监测, 水质评价, 污染源, 莲花荡

1. 引言

太湖流域的水网河道密布纵横,受人类活动影响巨大[1],有研究表明环太湖河流的入湖污染物是导致太湖水质恶化的主要原因[2],掌握入湖水质对太湖的水体污染治理具有重要的意义[3]。位于太湖西部的宜兴地区入太湖水量和入湖污染物通量月占总入湖量的50% [4],其所临的西太湖也是太湖水质最差的区域之一。本研究对宜兴市流入太湖的莲花荡水系进行了水质监测及评价,为太湖的入湖负荷减排、水体污染治理提供重要的参考和依据。

2. 研究区域与研究方法

2.1. 研究区域概况

莲花荡位于宜兴市丁蜀镇东部,水域面积约2 km²;莲花荡下接乌溪港,东入太湖,主河总长5.1 km,是太湖西部主要入湖河流之一。莲花荡、乌溪港合称为莲花荡水系,其水功能区划近期、远期要求均为地表水Ⅲ类。

2.2. 样品采集及监测指标

为监测莲花荡水系在平水期、丰水期的水质情况,2014年4月初和7月初分别对莲花荡进行了水质

监测。4 月份监测共设置 9 个采样点，主要包括莲花荡湖区的出入湖口处、乌溪港各支流的入河口处以及个别点源附近等；7 月份设 10 个采样点，增设了河水流经的农村居民区的上游点(9 号点)，并将原入太湖口点(10'号点)移至居民区下游点(10 号点)。因为 10'号点处于流量较大的太湖出入口处，该点 4 月份的水质监测结果与水系整体差别明显，对监测莲花荡水系贡献甚微，故将其移至处于居民区下游的 10 号点，进而更准确地监测分析出居民生活污水对莲花荡水系的污染贡献量。各采样点位置的具体空间分布见图 1。

主要监测指标包括：pH、温度、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、生化需氧量(BOD₅)、总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、亚硝氮(NO₂⁻-N)、总磷(TP)、叶绿素 a、粪大肠菌群、重金属等。

3. 水质监测结果与分析

3.1. 污染物浓度特征及原因分析

两次监测结果见表 1。从 4 月份(平水期)监测结果来看，超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) [5]中Ⅲ类地表水的污染指标主要有 COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 和叶绿素 a，其余指标均达地表水Ⅲ类标准。7 月份(丰水期)监测结果中，超过地表水Ⅲ类的指标主要有 DO、COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP。

整体看来，莲花荡水系的氮、磷污染较为严重，其中 TN 超过地表Ⅲ类水标准(1 mg/L)约 4~8 倍。TN、NH₃-N、TP 基本都在 1 号点浓度达到最高，原因是 1 点附近有养猪厂，其向周围水体超标排放养殖废水；平水期时，TP 浓度在 10 号点(居民区下游)比 9 号点(居民区上游)明显增高。调研发现，沿河而居的农村居民日常生活依靠乌溪港河水，零散排放生活污水现象严重。平水期时，农村居民生活污水是造成 10 号点 TP 浓度超标的主要原因；7 月份叶绿素 a 浓度降低，主要受水量增加影响，此外，第二次采样正处于蓝藻爆发结束后，相关部门进行了藻类打捞作业。

沿河排放的农田退水含有化肥和农药，造成莲花荡水系整体的氮、磷污染物超标严重。综上所述，莲花荡水系的主要污染物来源为集中畜禽养殖废水、沿岸农村散排生活污水和部分农业面源污染。

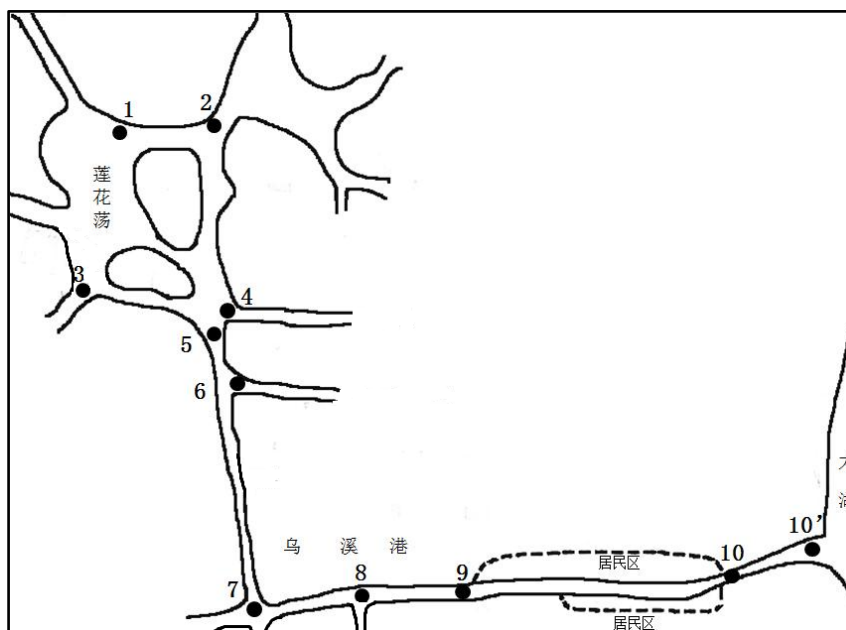


Figure 1. The sampling schematic of Lianhuadang River System
图 1. 莲花荡水系采样点布设图

Table 1. Water quality monitoring results of Lianhuadang River System in April and July, 2014
表 1. 2014 年 4 月份和 7 月份莲花荡水系的部分水质监测结果

采样点	DO (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	TP (mg/L)	叶绿素 a (mg/m ³)	
1	8.21	7.14	8.17	4.189	2.559	0.521	1.937	25.20	
2	8.90	8.12	6.77	2.445	2.948	0.355	0.792	23.19	
4 月 份 / 平 水 期	3	8.67	7.82	6.53	2.075	3.033	0.626	28.05	
	4	8.97	8.02	6.24	1.755	3.129	0.295	29.61	
	5	8.42	8.12	6.41	1.881	3.107	0.369	25.46	
	6	8.46	7.53	5.95	1.465	3.229	0.305	28.06	
	7	8.29	7.33	6.43	1.784	3.140	0.298	21.75	
	8	8.17	7.53	6.23	1.790	3.118	0.326	31.54	
10'	8.94	6.35	5.24	0.900	3.240	0.224	1.038	21.58	
7 月 份 / 丰 水 期	1	5.09	4.51	4.95	1.755	2.748	0.176	0.219	6.05
	2	4.30	5.31	4.46	1.288	2.630	0.269	0.238	4.95
	3	5.42	4.50	4.92	1.436	3.059	0.175	0.205	2.42
	4	4.33	4.32	4.54	1.356	2.700	0.252	0.243	7.75
	5	4.61	4.81	4.50	1.299	2.485	0.257	0.236	6.74
	6	4.38	6.15	4.60	1.516	2.489	0.226	0.202	5.55
	7	4.18	4.52	4.74	1.545	2.400	0.230	0.276	5.39
	8	4.12	5.41	4.78	1.448	2.537	0.234	0.263	3.67
	9	4.05	5.88	4.74	1.539	2.803	0.233	0.289	7.31
	10	4.01	5.97	4.91	1.277	2.626	0.244	0.290	7.21

3.2. 平水期与丰水期的污染物浓度对比

对比平水期和丰水期部分污染物指标浓度(图 2)可知: 莲花荡水系的丰水期水质略优于平水期水质, COD_{Mn} 在丰水期总体偏低, 均达到地表Ⅲ类水, 两次浓度变化趋势基本一致; TN、NH₃-N 都在 1 点(养猪厂附近)达到最高, 整体受沿路农田退水影响, 其他各点浓度变化幅度不大。尤其在丰水期, 经充沛的水量调节, 污染物浓度随路径变化的趋势明显减少。但 TN 污染还是很严重, 超过 V 类地表水限值(2.0 mg/L)两倍以上; TP 浓度丰水期比平水期时总体偏低, 且在个别点源污染附近也无明显上升体现, 较平水期的浓度变化趋势基本消失, 丰水期的水量对其浓度降低影响很大。

4. 莲花荡水系的综合水质评价

根据平水期和丰水期两次对莲花荡水系的水质监测结果对其进行了三种水质评价工作, 包括综合分类算术平均指数评价法、综合水质标识指数评价法和水体自净能力评价。

4.1. 综合分类算术平均指数

基于单因子污染指数值, 采用算术平均值(即平均污染指数 P)对水质现状进行评价。水质污染程度按以下标准分类: $P \geq 2.0$, 严重污染; $1.0 \leq P < 2.0$, 重度污染; $0.7 \leq P < 1.0$, 中度污染; $0.4 \leq P < 0.7$, 轻度污染; $0.2 \leq P < 0.4$, 尚属清洁; $P < 0.2$, 清洁[6] [7]。

以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)III类水体标准为评价依据,选取 DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 作为参评因子,计算出单因子污染指数,加和平均计算得出平均污染指数 P,并进行水质分类,具体评价结果见表 2。评价结果显示:平水期莲花荡平均污染指数 P 值均大于 2,水质污染程度为严重污染;丰水期水质有所好转,P 值为 1 到 2,为重度污染。

4.2. 综合水质标识指数评价

综合水质标识指数法是在单项水质标识指数法基础上建立起来的水质评价方法,不仅体现了水质类别、水质综合污染情况,还弥补了单因子污染指数评价法评价指标单一的不足,更有意义的是综合水质标识指数法还可对劣 V 类水质进行评价,判断其黑臭情况[8]-[11]。

综合水质标识指数法是基于单项水质标识指数加和平均而来[12],即:

$$I_{wq} = 1/n \sum_{i=1}^n (X_1, X_2)_i \quad (1)$$

式中: $(X_1, X_2)_i$ 为第 i 项单因子水质标识指数。综合水质类别分类标准见表 3。

综合水质类别按以下标准分类: $1.0 \leq X_1, X_2 \leq 2.0$, I 类; $2.0 < X_1, X_2 \leq 3.0$, II 类; $3.0 < X_1, X_2 \leq 4.0$, III 类; $4.0 < X_1, X_2 \leq 5.0$, IV 类; $5.0 < X_1, X_2 \leq 6.0$, V 类; $6.0 < X_1, X_2 \leq 7.0$, 劣 V 类但不黑臭; $X_1, X_2 > 7.0$, 劣 V 类并黑臭。

选取 DO、COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 作为参评因子,对莲花荡水系进行综合水质标识指数评价,结果为:莲花荡水系水质整体较差,丰水期略好于平水期,整体为 V 类;平水期大部分水质为劣 V 类但不黑臭,但在 1 点、2 点水质为劣 V 类并黑臭,主要是受养猪厂点源污染影响。评价结果与实际情况基本相符,具体评价结果可见表 3。

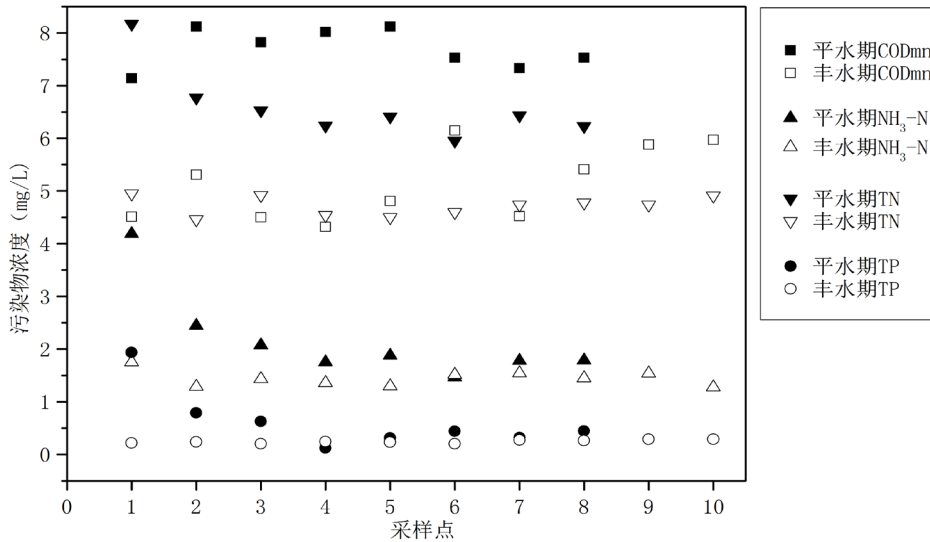


Figure 2. The comparison of the contaminant concentration in the average and abundant season
图 2. 平水期和丰水期部分污染物浓度对比

Table 2. Part of average contamination index of Lianhuadang River System
表 2. 莲花荡水系部分指标的平均污染指数

采样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平水期 P	4.84	3.06	2.86	2.14	2.42	2.30	2.37	2.49	-	-
丰水期 P	1.83	1.74	1.80	1.59	1.67	1.65	1.73	1.70	1.81	1.85

4.3. 水体自净能力评价

水体的自净能力是指水体受到污染后，经物理、化学、生物等因素作用，污染物的浓度和毒性逐渐降低，一段时间后，恢复到受污染前状态的自然过程[13] [14]。水体中的氮的形式主要为有机氮和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 时，水体的自净作用开始；当 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 相对含量较高， $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 少时，则水体的自净作用将要完成；水体中的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量都较高时，说明有污染物进入，因此可根据水中“三氮”的相对含量判断其自净状态[15]。评价水体自净能力时，引入氧化态氮与还原态氮的比值 K 作为评价参数(以 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 作为氧化态的氮， $\text{NH}_3\text{-N}$ 为还原态的氮)。 K 值越大，则自净能力越强。具体为：

$$K = N_1/N_2 \quad (2)$$

式中： N_1 ——氧化态无机氮(mg/L)； N_2 ——还原态无机氮(mg/L)。

莲花荡水系水域较小、流速较慢，同一时期各空间水量变化较小，氮的总含量的变化也不大。根据平水期和丰水期两次对莲花荡水体的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的监测结果，进行水体自净能力评价，具体结果见表 4。

1 号点 K 值均最小，自净能力最差，可见受养猪厂点源污染影响较大，水质较为恶劣；平水期时，乌溪港河段 K 值相对较高，体现水体自净能力较强，水质较好；丰水期时，莲花荡湖区 K 值升高，湖区的自净能力优于平水期，从乌溪港上游(6 号点)开始至乌溪港下游，水体自净能力相对减弱。经综合分析，产生该现象的可能原因为：乌溪港河流两岸有大量农田，降雨充沛时，农田退水经沟渠、管道直排入河，另外还有一部分污染物随降雨径流也汇入水体，使得乌溪港下游的水体自净能力降低。

5. 结论

1) 2014 年 4 月(平水期)和 7 月(丰水期)对莲花荡水系的两次监测结果表明：水体中超过 III 类地表水的污染指标主要为 COD_{Mn} 、TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和叶绿素 a 等，其中氮、磷污染超标严重。主要受水系水量增加影响，丰水期水质略优于平水期。

2) 莲花荡水系主要的污染源为集中畜禽养殖废水、沿岸农村散排生活污水和部分农业面源污染。

Table 3. System resulting data of Comprehensive Water Quality Identification Index in the Lianhuadang River System
表 3. 莲花荡水系的综合水质标识指数评价结果

采样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平水期 $X_1 \cdot X_2$	10.6	7.5	7.1	5.8	6.4	6.3	6.4	6.5	-	-
水质类别	劣 V 类 黑臭	劣 V 类 黑臭	劣 V 类 黑臭	V 类	劣 V 类但 不黑臭	劣 V 类但 不黑臭	劣 V 类但 不黑臭	劣 V 类但 不黑臭	-	-
丰水期 $X_1 \cdot X_2$	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4	5.7	5.7	5.7	5.9	5.8
水质类别	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类	V 类
平均值	8	6.45	6.2	5.6	5.9	6	6.05	6.1	-	-

Table 4. The comparison of K in abundant and common water period
表 4. 平水期与丰水期的 K 值对照表

平水期	采样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10'
	K 值	0.74	1.35	1.80	1.95	1.85	2.41	1.93	1.92	-	3.85
丰水期	采样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	K 值	1.67	2.25	2.25	2.18	2.11	1.79	1.70	1.91	1.97	2.25

3) 水质评价结果：在平水期和丰水期时，综合分类算术平均指数评价水体整体分别为严重污染和重度污染；综合水质标识指数评价水质类别介于V类至劣V类黑臭水质之间；

4) 水体不同时期各河段的自净能力有所不同：1号点受养猪厂点源污染影响较大，自净能力最差；丰水期水体的自净能力优于平水期；丰水期时，受大量农田退水入河影响，乌溪港河段整体自净能力降低。

基金项目

国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2014ZX07305003)。

参考文献 (References)

- [1] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民 (2004) 太湖水环境演化过程与机理. 科学出版社, 北京.
- [2] 许朋柱, 秦伯强 (2005) 2001-2002 水文年环太湖河道的水量及污染物通量. *湖泊科学*, **3**, 213-218.
- [3] 翟淑华, 张红举 (2006) 环太湖河流进出湖水量及污染负荷(2000-2002年). *湖泊科学*, **3**, 225-230.
- [4] 燕姝雯, 余辉, 张璐璐, 等 (2011) 2009年环太湖入出湖河流水量及污染负荷通量. *湖泊科学*, **6**, 855-862.
- [5] 国家环境保护总局 (2002) 地表水环境质量标准(GB 3838-2002). 中国环境科学出版社, 北京.
- [6] 朱灵峰, 王燕, 王阳阳, 等 (2012) 基于单因子指数法的海浪河水质评价. *江苏农业科学*, **3**, 326-327.
- [7] Liu, S., Zhu, J.P. and Jiang, H.H. (2003) Comparison of several methods of environment quality using complex indices. *Environmental Monitoring in China*, **15**, 33-37.
- [8] 徐祖信 (2005) 我国河流综合水质标识指数评价方法研究. *同济大学学报(自然科学版)*, **4**, 482-488.
- [9] 赖建平, 周文斌, 王毛兰 (2013) 综合水质标识指数法在鄱阳湖水质评价中的应用. *人民长江*, **9**, 84-87.
- [10] 徐祖信 (2005) 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究. *同济大学学报(自然科学版)*, **3**, 321-325.
- [11] 孙伟光, 刑佳, 马云, 等 (2010) 单因子水质标识指数评价方法在某流域水质评价中的应用. *环境科学与管理*, **11**, 181-184.
- [12] 郝英群, 张璘, 孙成, 等 (2013) 江苏省城市河流黑臭评价标准研究. *环境科技*, **6**, 46-50.
- [13] Tan, K., Chen, Q.W., Mao, J.Q., et al. (2007) The self purification capacity of the outlet of Daqing he experiment. *Acta Ecologica Sinica*, **11**, 4736-4742.
- [14] 杨丽蓉, 陈利顶, 孙然好 (2009) 河道生态系统特征及其自净化能力研究现状与发展. *生态学报*, **9**, 5066-5075.
- [15] 王余标, 贾海龙, 王红燕, 等 (2003) 以“三氮”为指标评价水体自净状态的探讨. *第六次全国环境监测学术交流会论文集*, 成都, 275-277.