

嘉兴南湖水系水污染特征分析及治理策略*

季宏康^{1,2,3} 范帆^{3,4} 王宝印⁵ 陈辉⁵ 柯凡³ 钱涌^{1,2,3} 潘继征^{3#}

(1.苏州科技大学环境科学与工程学院,江苏 苏州 215011;2.江苏省环境科学与工程重点实验室,江苏 苏州 215011;

3.中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室,江苏 南京 210008;

4.中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049;5.嘉兴市环境保护监测站,浙江 嘉兴 314000)

摘要 对过水性湖泊南湖及其水系7条主干河道水质进行调查,结合该水系2012—2015年相关历史数据,阐述南湖水系水污染特征并提出相应的治理策略。结果表明,根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),南湖属于V类水,7条主干河道中有4条为IV类水,2条为V类水,1条为劣V类水,其中TP和高锰酸盐指数分别是影响南湖和河道水质的关键性指标。南湖水系水质自2012年以来持续改善,氨氮和TP浓度总体呈下降趋势,且入湖河道主要污染物指标变化趋势与南湖基本一致。城乡生活污水、畜禽养殖废水、农田径流是造成南湖水系水污染的主要原因,建议采用控源截污、生态修复等治理措施实现南湖水系改善和生态系统健康发展。

关键词 南湖水系 过水性湖泊 水污染特征 关键性指标 治理策略

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2018.05.018

Analysis and countermeasures of water pollution characteristics in South Lake water system of Jiaxing JI Hongkang^{1,2,3}, FAN Fan^{3,4}, WANG Baoyin⁵, CHEN Hui⁵, KE Fan³, QIAN Yong^{1,2,3}, PAN Jizheng³. (1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215011; 2. Key Laboratory of Environmental Science and Engineering of Jiangsu Province, Suzhou Jiangsu 215011; 3. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu 210008; 4. College of Resource and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 5. Jiaxing Environmental Monitoring Station, Jiaxing Zhejiang 314000)

Abstract: The water quality of South Lake, a water-carrying lake, and its seven main rivers in the basin was investigated. With the relevant historical data during 2012–2015, the characteristics of water pollution in South Lake were elucidated and the corresponding treatment strategies were put forwarded. The results showed that according to the “Surface water environmental quality standard” (GB 3838–2002), the water quality in South Lake was Grade V, four rivers were Grade IV, two rivers were Grade V and one worse than Grade V. The TP and permanganate indices were the key indicators affecting the water quality of South Lake and main rivers, respectively. Since 2012, the water quality of South Lake had been improved continuously, and the concentration of ammonia nitrogen and TP decreased significantly. The variation trend of main pollutant indexes of inflowing rivers was basically same as that of South Lake. Urban and rural domestic sewage, livestock and poultry breeding wastewater and farmland runoff were the main causes of water pollution in the water system of South Lake. The treatment measures such as controlling source and ecological restoration should be adopted to realize the improvement of water quality and the healthy development of the ecosystem in the water system of South Lake.

Keywords: South Lake water systems; water-carrying lake; water pollution characteristics; key indicators; countermeasures

城市水系作为城市的水源地、污染物质的净化场所、生态调节器及景观旅游绿色廊道,具有调蓄雨水、防洪排涝、调污治污、维持生态平衡等重要作用,是城市空间的重要组成部分^[1]。同时,城市水系也是城市中自然要素最为密集、自然过程最为丰富的

地域,与人类活动物质流、信息流、能量流等交换过程十分复杂^[2]。人类经济社会活动高度依赖区域水系功能,同时又对水系、水环境等产生显著影响^[3],因此,城市水系逐渐成为人们关注的焦点、研究的热点。

第一作者:季宏康,男,1993年生,硕士研究生,主要从事水污染治理研究。# 通讯作者。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2017ZX07204-5);江苏高校水处理技术与材料协同创新中心资助项目。

南湖位于嘉兴市中心城区,其市域水系中京杭运河北段、长纤塘、平湖塘、海盐塘、长水塘、京杭运河西段、新塍塘 7 条主干河道以南湖为中心呈辐射状分布,主河道间又由环状河道、支流、湖荡连接贯通。南湖水系纵横交错、河网密布,属于江南平原河网水系,水景特色自古闻名。然而,随着嘉兴工业化、城市化进程的加快,大量未经处理的生产生活污水直接排入南湖河网^[4],水体自净能力降低,水环境质量不断下降,水质型缺水已经成为嘉兴市面临的主要水问题之一^[5],也逐渐成为制约嘉兴市社会经济发展的重要因素之一。为进一步掌握南湖水系水污染状况,本研究通过对嘉兴南湖水系水质现状进行大范围调查和相关历史数据比较分析,阐述了南湖及其水系水污染特征,且针对现状提出了若干治理对策,为南湖及周边水体的综合治理提供依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

嘉兴市位于北纬 $30^{\circ}20'$ ~ $31^{\circ}02'$,东经 $120^{\circ}17'$ ~ $121^{\circ}16'$,市境地势低平。气候属亚热带季风区,气候温和湿润,年平均气温 15.9°C ,嘉兴站年平均雨量 $1\,179\text{ mm}$,降水大部分集中在 3—9 月。南湖是杭嘉湖水网的重要组成部分,根据《嘉兴南湖进出水量平衡分析计算报告》,实测南湖换水周期仅为 1.99 d ,是典型的过水性湖泊。湖泊水域面积 58 hm^2 ,水深 $3\sim 5\text{ m}$ 。南湖与周围众多河道连通,且在河网水系中的水域面积与蓄水量较小,分别仅占 0.3% 水域面积和 0.6% 区域水量。

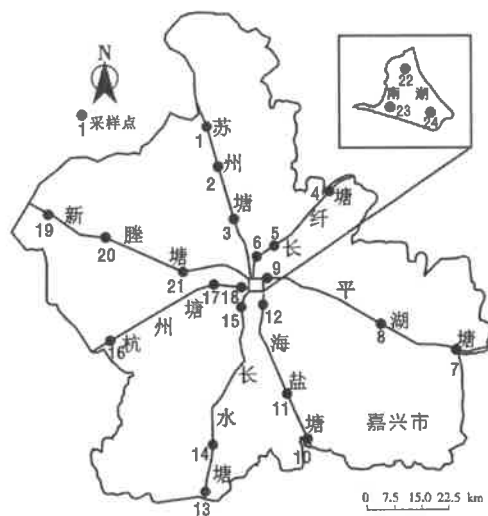
1.2 采样点设置

水质调查的对象是南湖和流经或流入南湖的 7 条主干河道,分别为京杭运河嘉兴北段(苏州塘)、长纤塘、平湖塘、海盐塘、长水塘、京杭运河嘉兴西段(杭州塘)以及新塍塘。在南湖及 7 条河道各设置 3 个采样点,共计 24 个。每条河道的 3 个采样点分别代表该河道在嘉兴境内的上、中、下游断面,采样断面如图 1 所示。调查时间为 2015 年 9 月 23—24 日。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 水质分析

采集各断面水下 0.5 m 处水样,用 U-50 多参数水质分析仪(日本 Horiba)现场测定 pH、水温、浊度、溶解氧(DO)和氧化还原电位(ORP),用赛式透明度盘测定透明度(SD),用水深测度仪测定水深。实验室内,测定高锰酸盐指数、总氮(TN)、氨氮、总



1—北虹大桥;2—南虹桥;3—北运桥;4—杨庙大桥;5—长线桥;6—秀水桥;7—白马水泥厂;8—焦山门大桥;9—长征桥;10—尤角村;11—余北大桥;12—倪家汇;13—二县渔坝;14—百乐桥;15—嘉兴大桥;16—新运桥;17—龙凤桥;18—神龙桥;19—洛东大桥;20—新塍大桥;21—义庄河口;22—南湖北;23—南湖西南;24—南湖东南

图 1 嘉兴南湖水系及采样断面

Fig.1 Sampling sections in the South Lake water system of Jiaxing

磷(TP)以及叶绿素 a,保存及测定方法均参考文献[6]。

1.3.2 浮游植物分析

浮游植物定量分析:用采水器采集表层(水下 0.5 m)水样 1 L ,加入 15 mL 鲁哥试剂固定,经沉淀、浓缩、定容后,采用目镜视野计数法进行细胞计数与鉴定^[7]。

1.3.3 评价方法

生态指数计算包括多样性指数和均匀度指数。本研究中,多样性指数选用 Shannon-Weiner 指数^[8],均匀度指数采用皮诺公式^[9]计算,地表水环境质量评价采用单因子指数法,选取对水质污染影响较大的 3 个指标(高锰酸盐指数、氨氮、TP),以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中湖泊、水库水质Ⅲ类水标准进行水质评价。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013、SPSS 23 对实验数据进行分析,采用 Origin 9.0 制图。

2 结果与分析

2.1 水体理化指标

南湖及 7 条主干河道的各项理化指标如表 1 所示。可见,南湖水系 DO 平均值为 6.86 mg/L ,最小值出现在苏州塘的北虹大桥断面,为 0.60 mg/L ,最大值位于长纤塘的洛东大桥断面,达 11.00 mg/L ,除最小值断面外,水系其余断面水体均处于富氧状态。

表 1 南湖及 7 条主干河道各断面理化参数
Table 1 Physical and chemical parameters of each sampling section in South Lake and the 7 main rivers

水体	断面	高锰酸盐指数 /(mg·L ⁻¹)	氨氮 /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)	TN /(mg·L ⁻¹)	浊度 /NTU	DO /(mg·L ⁻¹)	SD /cm	pH
南湖	南湖北	3.46	0.45	0.13	2.28	44.8	6.46	30	6.99
	南湖西南	5.84	0.49	0.12	2.32	45.0	7.70	30	7.10
	南湖东南	3.64	0.46	0.11	2.16	118.0	7.80	30	7.11
新塍塘	洛东大桥	10.06	0.33	0.07	2.37	121.0	11.00	28	6.90
	新塍大桥	7.09	0.50	0.10	2.42	55.3	6.00	35	7.19
	义庄河口	34.59	0.60	0.11	2.63	46.2	9.35	30	6.90
杭州塘	新运桥	5.53	0.36	0.12	2.66	93.0	8.45	30	7.12
	龙凤桥	10.16	0.50	0.16	2.41	82.3	8.10	25	7.15
	神龙桥	5.16	0.72	0.15	2.37	99.8	5.65	25	6.98
长水塘	二县渔坝	16.69	0.34	0.15	2.89	79.0	8.30	30	7.09
	百乐桥	17.30	1.10	0.14	2.54	91.0	4.60	30	7.06
	嘉兴大桥	5.46	0.37	0.09	1.81	93.9	7.15	40	7.04
海盐塘	尤角村	2.90	0.40	0.14	1.78	61.9	9.40	30	6.87
	余北大桥	13.15	0.78	0.11	2.56	55.3	8.60	30	7.05
	倪家汇	5.63	0.51	0.12	3.26	47.9	5.60	40	7.10
苏州塘	北虹大桥	10.53	1.06	0.10	2.06	28.9	0.60	35	6.48
	南虹桥	13.21	0.79	0.07	2.60	42.6	4.50	30	6.73
	北运桥	7.21	0.35	0.13	2.00	46.6	7.45	30	6.82
长纤塘	杨庙大桥	7.72	0.30	0.14	2.64	85.7	8.40	25	7.24
	长线桥	6.59	0.91	0.15	3.39	103.0	5.10	35	6.48
	秀水桥	7.11	0.84	0.13	3.05	40.8	5.84	35	7.25
平湖塘	白马水泥厂	10.89	0.58	0.12	2.61	45.5	5.50	30	7.17
	焦山门大桥	4.82	0.65	0.14	2.93	67.6	6.30	25	7.01
	长征桥	5.24	0.56	0.13	0.17	50.1	6.80	30	7.02

pH 变化幅度较小,在 6.48~7.25 浮动,大部分断面 pH 在 7.0 左右,水体基本呈中性。各断面 SD 较差,浊度最大值 121.0 NTU 出现在新塍塘的洛东大桥断面,最小值 28.9 NTU 出现在苏州塘的北虹大桥断面,浊度变化幅度较大说明各断面水体中颗粒物性状可能存在较大差异。从 SD 和浊度数据可知,整个嘉兴市境内水体都比较浑浊。各监测断面高锰酸盐指数平均值为 9.16 mg/L,最大值出现在新塍塘义庄河口断面,达 34.59 mg/L,最小值为海盐塘尤角村断面,为 2.90 mg/L。南湖高锰酸盐指数最低,3 个断面平均值为 4.31 mg/L。各断面 TN 平均值为 2.53 mg/L,不同断面间 TN 浓度变化幅度较小,最大值出现在长纤塘长线桥断面,为 3.39 mg/L,最小值为平湖塘长征桥断面,为 0.17 mg/L。各断面氨氮平均值为 0.58 mg/L,最大值出现在长水塘百乐桥断面,为 1.10 mg/L,最小值出现在为长纤塘杨庙大桥断面,为 0.30 mg/L。

2.2 生物指标

南湖水系各监测断面的叶绿素 a 质量浓度如图 2 所示。各监测断面的叶绿素 a 均值为 13.67

μg/L,最大值出现在苏州塘南虹桥断面,为 38.64 μg/L,最小值出现在杭州塘新运桥断面,为 4.40 μg/L。在 7 条主干河道中,苏州塘叶绿素 a 均值最大,达到 27.25 μg/L,其次是新塍塘,为 18.13 μg/L。太湖浮游植物密度相对较高^[10],苏州塘受太湖来水影响较大可能是其浮游植物生物量较高的原因之一。总体而言,南湖水体叶绿素 a 主要受新塍塘和苏州塘影响。

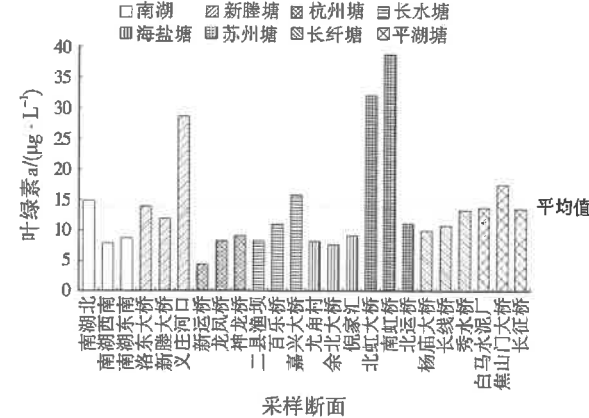


图 2 各断面叶绿素 a 浓度
Fig.2 The concentration of chlorophyll-a in each monitoring section

表 2 各断面多样性指数与均匀度指数
Table 2 Diversity index and uniformity index of monitoring sections

生态指数	南湖	北运桥	义庄河口	神龙桥	嘉兴大桥	倪家汇	长征桥	秀水桥
多样性指数	3.59	3.11	3.02	2.21	3.41	3.01	3.34	3.29
均匀度指数	0.77	0.66	0.72	0.49	0.71	0.70	0.77	0.79

表 3 南湖水系水质评价结果
Table 3 Results of water quality evaluation in South Lake water system

水体	高锰酸盐指数		氨氮		TP		水质类别
	平均值 /(mg·L ⁻¹)	单因子 指数	平均值 /(mg·L ⁻¹)	单因子 指数	平均值 /(mg·L ⁻¹)	单因子 指数	
南湖	4.31	0.72	0.47	0.47	0.12	1.67	V类
新塍塘	17.25	2.88	0.48	0.48	0.09	0.45	劣V类
杭州塘	6.89	1.15	0.53	0.53	0.14	0.70	IV类
长水塘	13.15	2.19	0.60	0.60	0.13	0.65	V类
海盐塘	7.23	1.21	0.56	0.56	0.12	0.60	IV类
苏州塘	10.32	1.72	0.74	0.74	0.10	0.50	V类
长纤塘	7.14	1.19	0.69	0.69	0.14	0.70	IV类
平湖塘	6.98	1.16	0.60	0.60	0.13	0.65	IV类

湖区有浮游植物 6 门 42 属 95 种,其中绿藻门出现的种类最多(19 属 45 种),其次为蓝藻门(8 属 20 种)和硅藻门(8 属 15 种),裸藻门(3 属 7 种)、隐藻门(2 属 5 种)以及甲藻门(2 属 3 种)种类较少。南湖与主干河道水体中浮游植物种类组成丰富,其中优势种主要有:栅列藻、十字藻、席藻、裂面藻、小环藻以及隐藻。硅藻生物量比重最大,占藻类总体生物量的 24.13%,其次分别为绿藻(22.96%)、裸藻(22.48%)和隐藻(21.50%),而蓝藻(2.99%)占比最小。嘉兴中心城区监测断面的藻类生物量均值为 15.37 mg/L,其中南湖蓝藻生物量比重最低,仅占南湖藻类生物量的 0.6%,而北运桥蓝藻生物量比重最高,为 11.5%。

7 条主干河道近南湖断面以及南湖断面(3 个断面平均值)浮游植物多样性指数与均匀度指数如表 2 所示。由表 2 可见,8 个断面多样性指数在 2.21~3.59,说明各断面生物多样性较好,其中南湖多样性指数最高,反映出南湖的水生态系统优于河道,南湖水质也相对更好。从均匀度指数上看,除神龙桥断面较低(为 0.49)外,其他 7 个断面指数差异不大,浮游植物分布较均匀。

2.3 南湖水系水质评价

依据 GB 3838—2002,对南湖水系 24 个监测断面的水质进行评价,结果见表 3。由表 3 可见,南湖主要受 TP 影响较大(TP 单因子指数 1.67),南湖 3 个断面均属于 V 类水,TP 是影响南湖水质的关键性指标。7 条主干河道中有 4 条为 IV 类水,2 条为 V 类水,1 条为劣 V 类水,氨氮和 TP 的单因

子指数均小于 1,而高锰酸盐指数的单因子指数均大于 1,其中新塍塘和长水塘的单因子指数在 2 以上,受高锰酸盐指数影响较为严重,因此在本次调查中影响南湖水系 7 条主干河道水质的关键指标为高锰酸盐指数。从表 3 各指标单因子指数总和得出 7 条河流水质排序为海盐塘>杭州塘>平湖塘>长纤塘>苏州塘>长水塘>新塍塘,新塍塘水质最差,为劣 V 类水。

3 南湖水系水质变化特征

3.1 南湖水质年变化趋势

根据嘉兴市环境监测站提供的南湖水质历史数据,可以得到南湖 2012—2015 年(截至 2015 年 9 月)主要水质指标的年变化趋势,如图 3 所示。

从图 3 可以看出,南湖高锰酸盐指数年变化幅度较小,基本稳定在 6 mg/L 左右,没有明显的月变化趋势。南湖氨氮有明显的季节性变化规律:在春季(2—3 月)氨氮浓度达到峰值,之后整个夏季都呈现下降趋势,进入秋冬季后又开始缓慢上升。南湖 TN 的年变化趋势与氨氮基本一致,这种趋势反映了水体中氮的季节性变化规律,即夏秋季水体中水生植物吸收利用氮营养元素,导致水体中溶解的无机氮浓度降低,冬季植物死亡腐烂后,在微生物作用下又向水体释放无机氮,使其浓度升高,不断积累后在初春达到最大值。除此之外,水温较高时有利于水体微生物活动,反硝化强度加大,消耗了迁移到水体的无机氮^[11]。南湖 TP 除 2012 年夏季以及 2013 年上半年有较大波动外,总体变化幅度较小。南湖

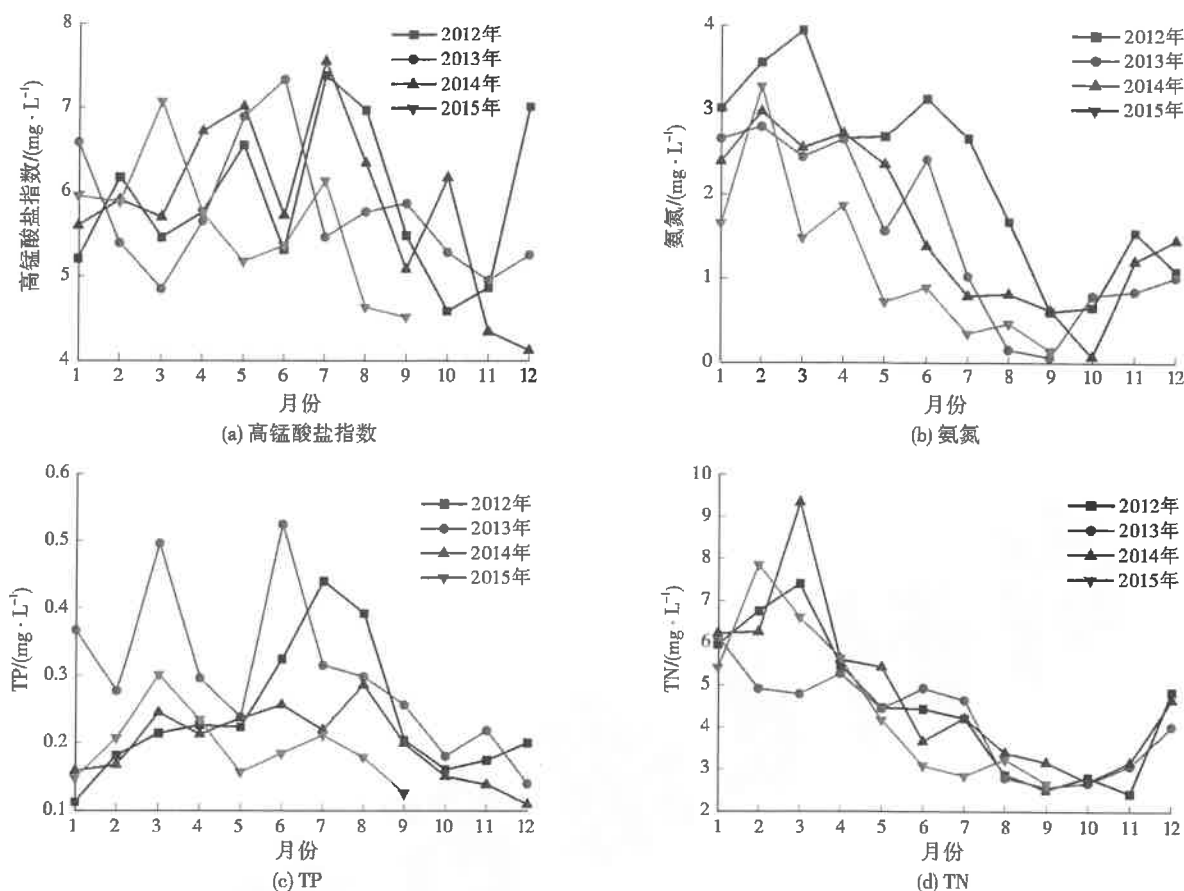


图3 南湖主要水质指标年变化趋势

Fig.3 The annual variation trend of the main water quality indexes of South Lake

自2012年开始,清淤工程持续进行,从历史资料以及本次的水质调查结果来看,清淤取得了良好的成效,南湖水质近几年来有持续改善的趋势,氨氮和TP浓度下降趋势明显。

3.2 入湖河道断面水质年变化趋势

选取3个有代表性的上游河道监测断面:杭州塘龙凤桥断面、新塍塘义庄河口断面及苏州塘北运桥断面,将入湖河道监测断面水质年变化趋势与南湖水质年变化趋势进行对比,结果如图4所示。

由图4可见,3个河道断面与南湖高锰酸盐指数、氨氮、TN、TP的月变化趋势总体基本一致,高锰酸盐指数仅在7月份义庄河口断面出现较大值,其他月份3个监测断面与南湖相差本不大,3个河道断面与南湖高锰酸盐指数均呈现出夏季高于其他季节,同时又都在7月达到最大值的趋势;3个河道断面氨氮在1—3月相对较高,3月后开始下降,10月又开始缓慢升高,南湖氨氮在2—10月一直处于下降状态,而河道断面氨氮在此期间有小幅波动,4个断面1月氨氮差异最大;TN变化趋势与氨氮相比具有更高的一致性,4个断面TN在3月后都表现为下降趋势,但同时又都在7月有小幅回升,1月

断面间的TN差异最大,氨氮和TN在1月不同断面差异性较大可能与部分河道清淤有关;与氨氮和TN相同,4个断面TP也在3月、7月出现峰值,说明在降雨集中的月份,氮磷浓度主要受农业面源污染影响^[12],大量易溶解性氮和磷随地表径流进入水体。

3.3 南湖水系水质差异性分析

采用SPSS 23软件对本次调查所得南湖以及7条主干河道的DO、高锰酸盐指数、TN、氨氮、TP、叶绿素a进行差异性分析,结果如表4所示。由表4可见,南湖与7条主干河道之间DO、高锰酸盐指数、氨氮以及TP无显著性差异($P>0.05$),而TN、叶绿素a存在显著性差异($P<0.05$)。因此,7条主干河道对南湖TN、叶绿素a的影响最为严重。

南湖处于嘉兴河道水网的中心区域,多条河道汇集于此,作为一个开放式的水体,其水质受到周围水系水质的严重影响。从本次南湖水系水质调查结果来看,相比南湖周边水体的水质,南湖水质要稍好一些,几项主要的水质指标也均低于水系平均值,王中根等^[13]研究表明,过水性湖泊骆马湖具有一定的自净能力,而不全是稀释等简单的物理作用。可以推断出过水性湖泊南湖对污染物的稀释和降解能力

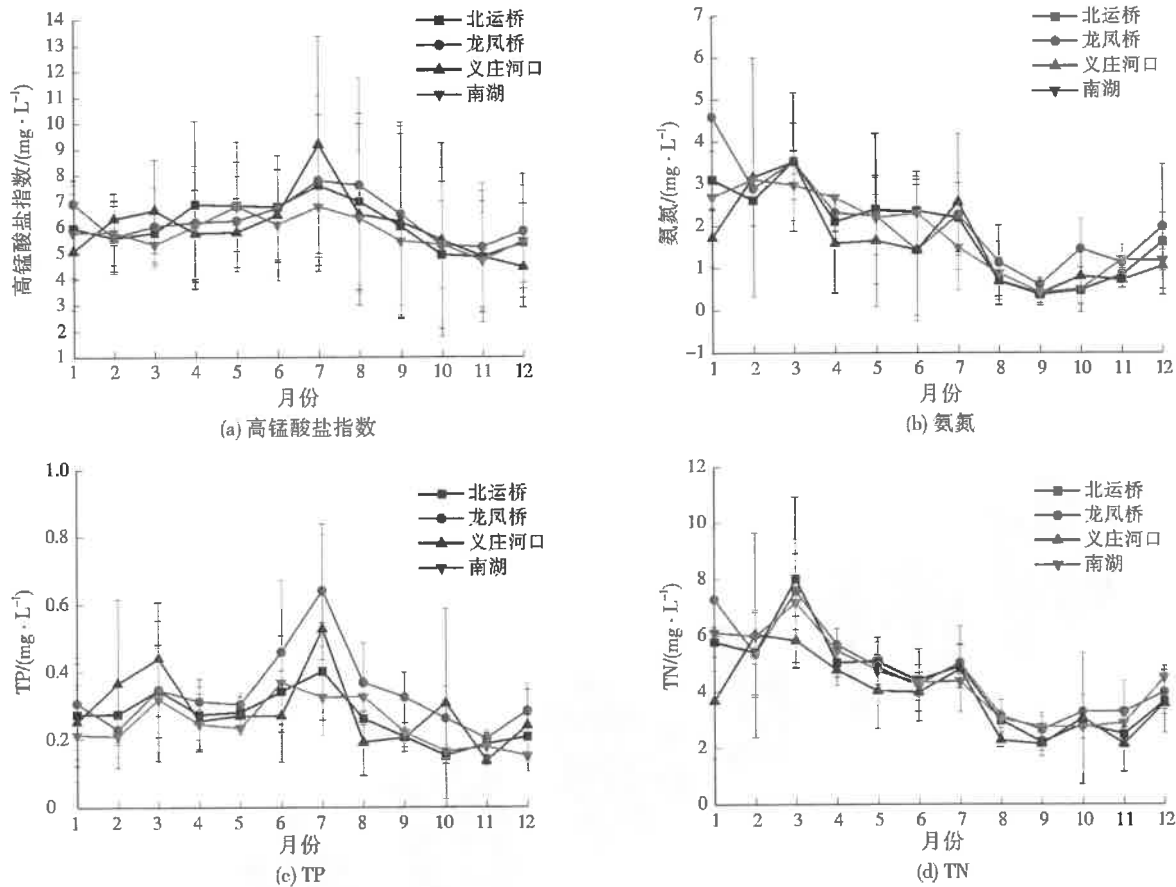


图 4 3 个河道断面与南湖水质指标月变化趋势对比
 Fig.4 The monthly variation trend of the main water quality indexes between three river sections and the South Lake

表 4 南湖水系水质差异性分析
 Table 4 Differences analysis of water quality parameters of South Lake water system

水质指标	χ^2	自由度	P
DO	7.400	7	0.388
高锰酸盐指数	9.333	7	0.230
TN	17.461	7	0.015
氨氮	2.738	7	0.908
TP	11.269	7	0.127
叶绿素 a	14.560	7	0.042

要高于周围河道水体,具有一定程度自净能力。但从差异性分析和变化趋势来看,南湖水质明显受到周围河道水体水质的影响,在水体发生交换均化后,使南湖水质与临近河道水网的水质趋同。

4 水污染原因及治理策略

4.1 水污染原因

基于本次调查分析并综合相关文献资料,南湖水系水污染原因主要有以下几个方面:(1)城市的快速发展导致用水量和排水量猛增,嘉兴城镇生活污水是点源污染的主要来源,生活污水富含氮、磷等营

养物质,其大量进入湖泊、河流会引起水体富营养化;(2)畜禽养殖历来是嘉兴的主要产业,畜禽养殖是嘉兴农业面源污染的主要来源,生猪养殖户在养殖过程中最大的污染源来自于生猪的粪便,养殖户出于成本的考虑直接将多余的粪便直接排放,粪便受雨水冲洗进入水体,将可能造成地表水或地下水水质的严重恶化;(3)农田径流污染是嘉兴农业面源污染的第二大来源,农业生产活动中的氮素和磷素等营养物、农药以及其他有机或无机污染物,通过农田地表径流和农田渗漏形成地表和地下水环境污染。因此,城乡居民生活污水、畜禽养殖废水、农田径流是造成南湖水系水污染的主要原因。

4.2 治理策略建议

在对南湖水系污染特征及主要问题调查分析的基础上,根据国家水环境治理的相关技术指南与规范,结合国内河湖治理的成功案例,提出南湖水系治理策略。

4.2.1 控源截污

控源截污是南湖水系水质改善与生态修复的基础和前提。控源包括两部分:(1)外源控制。加快新

建并扩建相关流域污水处理厂及配套管网收集措施,使城乡生活污水及养殖废水能够有效处理,是解决南湖水系河道污染治理的关键。(2)内源治理。目前普遍采用底泥疏浚的方法控制内源污染,底泥疏浚能有效去除沉积物中的营养物质,具有改善水质的效果。底泥疏浚在南湖已经得到了应用,并取得了良好的效果。截污强调过程削减,即在城镇河网区域建设乔木、灌木和草地高中低3个层次的绿地为主的河岸生态隔离带和缓冲区,提高截留、净化入河污染物的能力,减少地面径流污染入河。在乡村河网区域,特别是畜牧养殖区域、经济作物集中种植区域,可通过开挖生态渠、生态沟,将农业面源污水进行导流富集,集中处理后再排入河道水网。

4.2.2 生态修复

鉴于南湖换水周期短且受周围河道严重影响,为了提升南湖水系水质,可重点对污染河流相关河段进行河流生态治理,恢复其生态功能。高锰酸盐指数是影响河道水质的关键性指标,针对已严重污染的部分河道高锰酸盐指数超标的情况,建议采用河道曝气、生态浮床等措施,削减河道中有机污染物含量,同时还能长期有效地减轻氮磷污染。曝气可以补充有机污染物降解所需要的氧气,并强化微生物硝化作用。另外,针对南湖水系调查中发现沉水植物规模较小、种类单一的情况,重建与恢复沉水植物是提高水系水体透明度、维系生态系统平衡、削减污染物的重要步骤。现有情况下,沉水植物自然恢复相对较缓慢,建议采取人工方法进行恢复,可大大提高植物恢复效率。研究表明沉水植被恢复后,水体SD提高,DO增加,各主要形式的氮、磷及浮游植物叶绿素a浓度均明显降低,原生动物多样性也显著增加。

4.2.3 其他治理措施

针对短期内无法实现截污纳管的污水排放口,选用适宜的污废水处理装置,对污废水进行就地分散处理,高效去除水体中的污染物,也可用于突发性水体污染的应急处理。无法实现全面截污的重污染养殖废水,可以沿河堤洼地、池塘及沟渠,开展河流旁路净化系统建设,利用天然湖荡湿地或建设人工湿地,引入污染河流水体对其进行净化处理,再回流至河道中。

5 结论

(1)南湖属于V类水,TP是影响南湖水质的关键性指标;7条主干河道中有4条为IV类水,2条

为V类水,1条为劣V类水,水质优劣顺序为海盐塘>杭州塘>平湖塘>长纤塘>苏州塘>长水塘>新塍塘,高锰酸盐指数是影响主干河道水质的关键性指标。

(2)2012—2015年,南湖水质持续好转,氨氮和TP浓度总体呈下降趋势。

(3)南湖水系具有较好的连通性,入湖河道断面水质总体变化趋势与南湖基本一致,南湖与7条主干河道之间DO、高锰酸盐指数、氨氮以及TP无显著性差异,而TN、叶绿素a差异显著。

(4)南湖水系的保护与治理方面,首先要加强源头控制与污染物过程削减,同时强化水系河流综合治理,改善周围河道水质,同时重建与修复南湖水系健康生态系统,包括污泥生态疏浚、湿地系统构建、沉水植被修复、生态植物浮床等。

参考文献:

- [1] 刘志龙,杨星.深圳城市水系建设探讨[J].中国农村水利水电,2013(8):81-83.
- [2] 曹新向,司艳宇.城市水系生态系统服务功能研究[J].国土与自然资源研究,2005(2):79-80.
- [3] 刘平.南通平原河网水系特征与保护研究[J].江苏水利,2014(4):17-19.
- [4] 陶岩英,蒋芳华.嘉兴市水污染问题及防治对策[J].嘉兴学院学报,2005,17(5):37-40.
- [5] 朱建军,蒋亚平.嘉兴市饮用水水源现状及其对策探讨[J].浙江水利科技,2009(2):14-17.
- [6] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [7] 胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类——系统、分类及生态[M].北京:科学出版社,2006.
- [8] SHANNON C E.A mathematical theory of communication[J].Bell System Technical Journal,1948,27(4):379-423.
- [9] PIELOUS E C.An introduction to mathematical ecology[M].Bioscience,1969,24(2):7-12.
- [10] 李娣,李旭文,牛志春,等.太湖浮游植物群落结构及其与水质指标间的关系[J].生态环境学报,2014,23(11):1814-1820.
- [11] 庆旭瑶,任玉芬,吕志强,等.重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价[J].环境科学,2015,36(7):2446-2452.
- [12] 张国明,高扬,李兆君,等.汾河上游岚河流域非点源输出动态研究[J].水土保持学报,2008,22(2):102-106.
- [13] 王中根,李宗礼,刘昌明,等.河湖水系连通的理论探讨[J].自然资源学报,2011,26(3):523-528.

编辑:丁 怀 (收稿日期:2017-09-01)

