

## 淮河流域瓦埠湖流域水体污染研究与现状评价(2011—2015年)\*

李 凯, 汪家权\*\*, 李 堃, 胡淑恒, 黄芸梦

(合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009)

**摘 要:** 瓦埠湖位于淮河中游南岸, 属于淮河流域最大的湖泊。根据 2011 年 8 月—2015 年 12 月对瓦埠湖湖区 3 个监测点位、入(出)湖河流 4 个监测断面的水质监测数据, 选用内梅罗水污染指数法和单因子指数法, 以总氮、总磷、铵态氮和高锰酸盐指数为评价指标对瓦埠湖湖区水体和主要入(出)湖河流水质现状进行评价, 结果表明: 瓦埠湖湖区总体水质状况为轻度污染、IV 类水质, 其主要污染源为农业面源污染和生活污染; 部分入湖河流受农业氮、磷污染的影响水质较差, 其中庄墓河污染情况最为严重。因此, 必须加强流域的水环境综合整治工作, 控制农业面源污染对流域水环境的影响。

**关键词:** 瓦埠湖流域; 总磷; 总氮; 面源污染; 淮河流域

## Research and evaluation of water pollution in Lake Wabu Basin, Huaihe Catchment

LI Kai, WANG Jiaquan \*\*, LI Kun, HU Shuheng & HUANG Yunmeng

(College of Engineering Resources and the Environment, Hefei University of Technology, Hefei 230009, P.R. China)

**Abstract:** Lake Wabu, as the largest lake in the Huaihe Catchment, is located on south bank of the middle-reach Huaihe River and serves as a flood storage area in this basin. To eliminate influence of countryside domestic sewage, this paper is to evaluate the water quality based on data at three monitoring sites and four monitoring sections in the Lake Wabu, which data were obtained during a period from October in 2011 to December in 2015. The pollution factors were analyzed by utilizing methods of the single factor pollution evaluation and the Nemerow pollution index with evaluation indicators of permanganate index, total nitrogen, total phosphorus and ammonium nitrogen. The conclusions are as follows. Water in the Lake Wabu is slightly polluted with the Grade IV, and its main pollution comes from the sources of agriculture and daily life in the basin. Some inflow rivers already are of bad water quality with abundant nitrogen and phosphorus, in which Zhuangmu River is the worst. It is necessary to renovate the basin environment comprehensively and control the effect of the agricultural non-point pollution.

**Keywords:** Lake Wabu Basin; total phosphorus; total nitrogen; non-point pollution; Huaihe Catchment

湖泊是陆地生态系统的重要组成部分, 是内陆流域的重要发源地<sup>[1]</sup>。湖泊的生态安全是流域经济发展的重要保障, 对流域的生态环境以及周围居民的生产、生活有着重要意义<sup>[2]</sup>。我国湖泊的特点是数量众多、类型多样、资源丰富、生态环境脆弱<sup>[3]</sup>。瓦埠湖水质优良, 属于生态良好湖泊, 是淮南市和寿县集中饮用水水源地, 目前已被列入环境保护部第 2 批“良好湖泊生态环境保护专项”湖泊行列, 在保障饮用水源地安全和湖泊流域生态环境安全方面发挥着重要作用, 对支撑湖泊流域内甚至流域外的经济社会发展及区域生态平衡具有重要意义。目前, 我国一些生态良好湖泊正面临着入湖污染负荷逐年增加、面积萎缩和生态退化等威胁, 迫切需要按照保护优先、自然恢复为主的原则, 实行“一湖一策”的战略, 建立健全水质良好型湖泊的长效保护机制。瓦埠湖流域内主要的大型河流是庄墓河、陡涧河、东淝河和新河, 同时瓦埠湖是“引江济淮”(长江-巢湖-瓦埠湖-淮河)工程的重要水体<sup>[4]</sup>、淮河流域重要的蓄滞洪区, 而且又是周围居民的饮用水源, 具有灌溉、养殖、供水及旅游等多种功能。流域内主要河流和湖区水体的水环境现状直接反映流域水环境的整

\* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07103-004)和财政部、环境保护部项目《17 个良好湖泊的生态环境保护工作》联合资助。2015-06-04 收稿; 2016-05-16 收修改稿。李凯(1992~), 男, 硕士研究生; E-mail: 1010538985@qq.com.

\*\* 通信作者; E-mail: jiaquan.wang@163.com.

体情况,目前全国还没有学者调查和研究瓦埠湖流域水质污染状况,瓦埠湖整体水质污染状况还没有任何资料,仅有部分文献对瓦埠湖的湖滨带<sup>[5]</sup>、沉积物<sup>[6-7]</sup>做了相关的研究.所以对瓦埠湖的水质污染研究对于瓦埠湖环境保护工作有着十分重要的意义<sup>[8]</sup>.

为了解瓦埠湖水质的现状及其主要污染物,根据2011年8月—2015年12月瓦埠湖主体湖区水体和主要入(出)湖河流的监测数据,参考相关文献的数据处理和评价方法<sup>[9-10]</sup>,对瓦埠湖流域水质现状进行分析、评价,为下一步各级政府部门在生态环境保护、饮用水水源地环境管理、污染治理、“引江济淮”、水体修复等方面工作的开展提供切实可行的依据,为保障流域城镇的饮用水安全、保护瓦埠湖生态环境和流域经济建设的可持续发展提供技术支持.

## 1 材料与方法

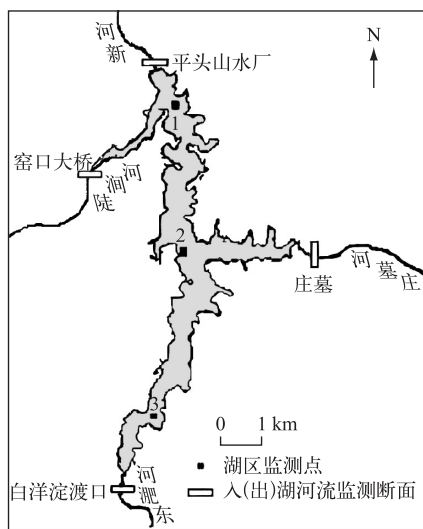


图1 瓦埠湖监测断面(点位)布设

Fig.1 Monitoring sections(sites) placement of Lake Wabu

### 1.1 研究区域概况

瓦埠湖,位于安徽省中部,淮河中游南岸,属于淮河流域最大的湖泊,地处寿县城东南,是受黄泛影响,河道淤积,河床抬高,淮水不断上涨,东淝河出口排水不畅,在其中部低洼处形成的狭长湖泊.湖南北长约52 km,湖宽最宽处约6 km,平均水深3.0~5.0 m,水位保持在18.0 m时,湖区水面达156 km<sup>2</sup>.主要入湖河流为徒涧河、庄墓河和东淝河,主要出湖河流为新河.流域汇水区面积4200 km<sup>2</sup>,属丘陵平原地带,涉六安、合肥、淮南三市<sup>[11]</sup>.

### 1.2 样品采集与分析

于2011年8月—2015年12月对瓦埠湖湖区、主要出入湖河流进行了监测.瓦埠湖属于狭长型湖泊,北部属于淮南市,中部贯穿寿县和长丰县,南部属于寿县,按照地理因素把瓦埠湖分为北部湖区、中部湖区和南部湖区,分别布置监测断面;另外在瓦埠湖的4条主要河流:陡涧河(入湖口)、庄墓河(入湖口)、东淝河(入湖口)和新河(出湖口)布设3个入湖断面和1个出湖断面.断面(点位)布设情况见图1和表1.地表水的分析方法采用国家《地表水环境质量标准》基本项目分析方法<sup>[12-13]</sup>.

表1 瓦埠湖监测断面(点位)布设

Tab.1 Monitoring sections(sites) placement of Lake Wabu

河流(水体)	断面名称	断面所在地区	汇入水体	断面属性
瓦埠湖	1#	淮南市	—	湖北部
瓦埠湖	2#	寿县	—	湖中部
瓦埠湖	3#	寿县	—	湖南部
东淝河	白洋淀渡口	寿县	瓦埠湖	入湖口
庄墓河	庄墓	长丰县	瓦埠湖	入湖口
陡涧河	窑口大桥	寿县	瓦埠湖	入湖口
新河	平头山水厂	淮南市	淮河	出湖口

### 1.3 评价方法

因水质样品的采集和监测过程中可能存在误差,某一年的水质监测数据不能代表该流域的水质现状.因此,数据源为2011年8月—2015年12月瓦埠湖各湖区监测点位的平均水质数据和各监测断面的数据.采用单因子指数法和内梅罗综合水污染指数法<sup>[14]</sup>进行评价.其计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

$$P_j = \sqrt{\frac{\left[ \frac{1}{n} \sum \left( \frac{C_i}{S_i} \right)^2 + \left[ \max \left( \frac{C_i}{S_i} \right) \right]^2}{2}} \quad (2)$$

式中, $P_i$ 为*i*污染物的污染指数, $C_i$ 为*i*污染物的实测浓度, $S_i$ 为*i*污染物评价的标准浓度, $P_j$ 为内梅罗综合污染指数, $n$ 为指标个数。

选取《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中对应各断面的水质类别标准限值作为标准值。参考《内梅罗水质指数污染等级划分标准》对瓦埠湖流域水质现状进行评价。即 $P_j < 1$ 时,水质清洁; $P_j$ 属于1~2时,水质为轻度污染; $P_j$ 属于2~3时,水质为中度污染; $P_j$ 属于3~5时,水质为重度污染; $P_j > 5$ 时,为严重污染。

## 2 结果与分析

### 2.1 瓦埠湖湖区水体监测数据统计分析

瓦埠湖不同湖区水体水质指标的差异较为明显(图2)。湖区水体的总氮(TN)浓度为0.244~3.440 mg/L,平均浓度为0.943 mg/L。南部湖区不仅浓度高而且年内变化大,平均浓度达到1.153 mg/L;中部湖区次之,平均浓度为0.854 mg/L;北部湖区平均浓度为0.824 mg/L。除了南部湖区外,其他湖区TN浓度均达到《地表水环境质量标准》中Ⅲ类标准。全湖总磷(TP)平均浓度为0.070 mg/L,中部湖区平均值最高,达到0.084 mg/L,为Ⅳ类标准;南部湖区次之,平均浓度为0.079 mg/L,为Ⅳ类标准;北部湖区平均浓度为0.046 mg/L,为Ⅲ类标准。全湖铵态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )平均浓度为0.288 mg/L,北部湖区、中部湖区和南部湖区平均值分别为0.374、0.237和0.253 mg/L,均达到地表水环境质量标准中Ⅲ类标准。北部湖区、中部湖区、南部湖区高锰酸盐指数( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )平均浓度分别为3.93、4.52和4.37 mg/L,3个湖区平均浓度为4.27 mg/L,均达到《地表水环境质量标准》中Ⅲ类标准。

依据湖区2011年8月—2015年12月水质监测数据的均值对瓦埠湖主体湖区水体进行水质评价。根据单因子指数和内梅罗指数不仅可以确定流域水体的污染程度,而且可以确定水体的主要污染物。各单因子指数和内梅罗指数的评价结果显示:湖区水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 均达到《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类标准,TN、TP浓度处于Ⅲ~Ⅳ类水状态。瓦埠湖主体湖区水质总体较差,属于轻度污染,为Ⅳ类水。其中北部湖区水质总体达标,属于Ⅲ类水;中部湖区和南部湖区为轻度污染,属于Ⅳ类水。湖区水质状况排序为:北部湖区>南部湖区>中部湖区(表2)。

表2 瓦埠湖湖区水体评价结果

Tab.2 Evaluation results of water body in Lake Wabu

指标		北部湖区	中部湖区	南部湖区	全湖平均
$P_i$	TN	0.824	0.854	1.153	0.943
	TP	0.920	1.680	1.580	1.400
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.374	0.237	0.253	0.288
	$\text{COD}_{\text{Mn}}$	0.655	0.753	0.728	0.712
$P_j$		0.815	1.341	1.296	1.152
水质级别		清洁	轻度污染	轻度污染	轻度污染
		Ⅲ类水	Ⅳ类水	Ⅳ类水	Ⅳ类水
污染因子		无	TP	TN、TP	TP

### 2.2 瓦埠湖主要入(出)湖河流水质现状

入湖河流是连接湖区与陆地的通道,是流域污染物迁移的主要渠道。瓦埠湖的主要入湖河流为东淝河、庄墓河、陡涧河,主要出湖河流为新河。2011年8月—2015年12月在东淝河、庄墓河、陡涧河入湖口分别设

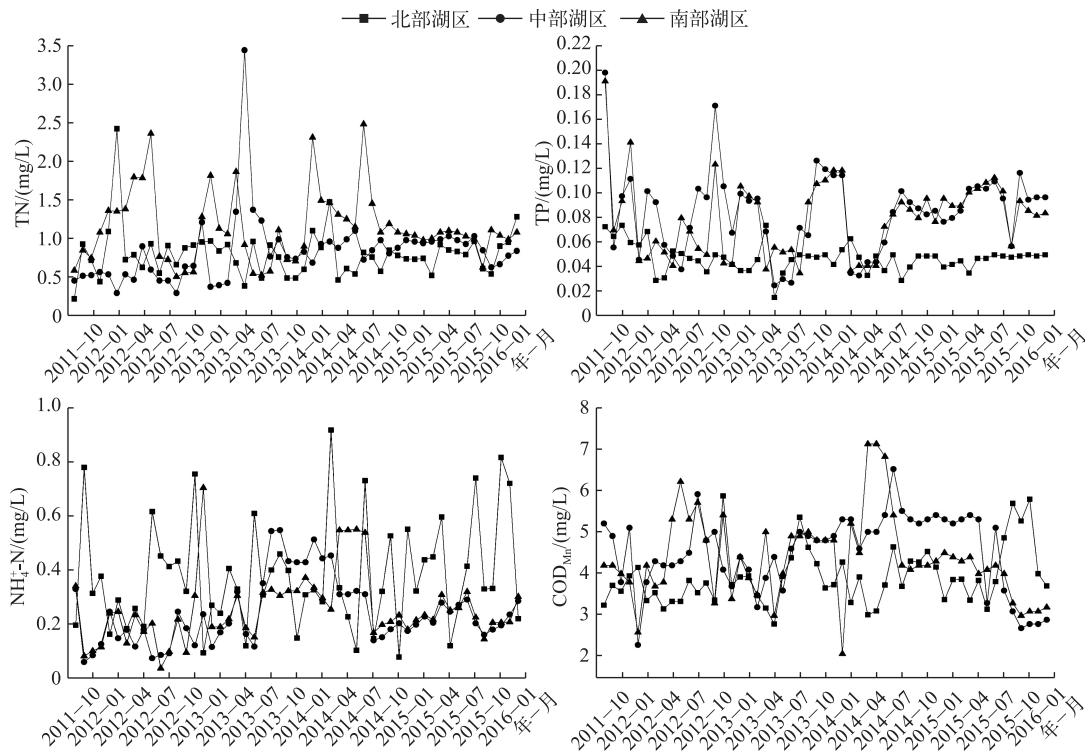


图2 瓦埠湖湖区水体各指标监测结果

Fig.2 Monitoring results of water body in Lake Wabu

置白洋淀渡口、庄墓、窑口大桥 3 个监测断面,为入湖河流监测断面;在新河出湖口设置平头山水厂监测断面,为出湖河流监测断面。就 TN 的监测结果来看,庄墓断面 TN 浓度最高而且变化最大,平均浓度为 2.088 mg/L,最高超标 5.62 倍,47 次监测结果中超过《地表水环境质量标准》中Ⅲ类标准,超标率为 88.7%;白洋淀渡口断面次之,平均浓度为 1.165 mg/L,36 次监测结果超标,超标率为 67.9%;窑口大桥断面和平头山水厂断面浓度较低,平均浓度分别为 0.897 和 0.882 mg/L,分别有 19 次和 8 次监测结果超过Ⅲ类标准,超标率分别为 35.8% 和 15.1%。就 TP 的监测结果来看,庄墓断面 TP 浓度最高而且变化最大,平均浓度为 0.122 mg/L,50 次监测结果超标,超标率为 94.3%;窑口大桥断面和白洋淀渡口断面次之,平均浓度分别为 0.098 和 0.096 mg/L,分别有 50 次和 46 次超标,超标率分别为 94.3% 和 82.9%;平头山水厂断面浓度最低,平均浓度为 0.069 mg/L,36 次监测结果超标,超标率为 67.9%。就 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的监测结果来看,庄墓断面平均浓度为 0.621 mg/L,4 次监测结果超标,其余断面监测结果均满足Ⅲ类标准。就 COD<sub>Mn</sub> 的监测结果来看,窑口大桥、庄墓和白洋淀渡口断面部分月份 COD<sub>Mn</sub> 超标,各监测断面的平均值均小于 6.0 mg/L,均达到《地表水环境质量标准》中Ⅲ类标准(图 3)。

瓦埠湖主要入(出)湖河流监测断面的污染程度排序为:庄墓>白洋淀渡口>窑口大桥>平头山水厂。其中平头山水厂断面的 TN 指标超过《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水标准,水质属于Ⅳ类水标准,因此,瓦埠湖出湖河流新河处于轻度污染状态。白洋淀渡口断面 TN、TP 指标超过标准,水质属于Ⅳ类水标准,因此,瓦埠湖入湖河流东淝河水水质较差,处于轻度污染状态。窑口大桥断面的 TN 指标超过标准,水质属于Ⅳ类水标准,因此,瓦埠湖入湖河流陡涧河属于轻度污染状态。庄墓断面 TN、TP 指标均超过标准,水质污染比较严重,属于Ⅴ类水标准,因此,瓦埠湖入湖河流庄墓河水水质差,处于中度污染状态。综合得知,瓦埠湖主要入(出)湖流水质状况排序为:新河>陡涧河>东淝河>庄墓河(表 3)。

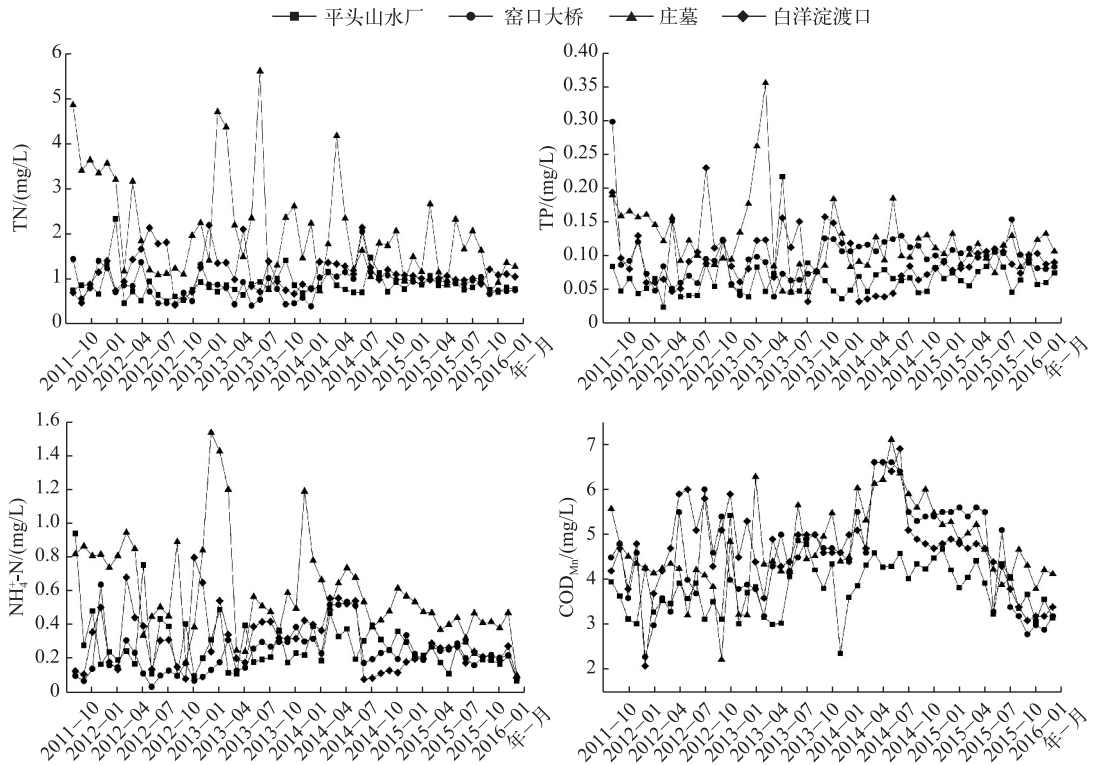


图3 入(出)湖河流各指标监测结果

Fig.3 Monitoring results of inflow(outflow) rivers

表3 入(出)湖河流评价结果

Tab.3 Evaluation results of the inflow(outflow) rivers

指标		平头山水厂	白洋淀渡口	窑口大桥	庄墓
$P_i$	TN	0.882	1.165	0.897	2.088
	TP	1.380	1.920	1.960	2.440
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.286	0.313	0.246	0.621
	$\text{COD}_{\text{Mn}}$	0.641	0.827	0.760	0.788
$P_j$		1.127	1.550	1.545	2.019
水质级别		轻度污染	轻度污染	轻度污染	中度污染
		IV类水	IV类水	IV类水	V类水
污染因子		TP	TN、TP	TP	TN、TP

### 3 讨论

#### 3.1 流域近年来水质变化情况

根据监测结果和评价结果,对比2002年水质状况,瓦埠湖的水质下降比较明显。其中TP的全湖平均浓度由0.065 mg/L上升到0.070 mg/L, TN的全湖平均浓度由0.310 mg/L上升到0.943 mg/L,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的全湖平均浓度由0.084 mg/L上升到0.288 mg/L。不难看出近年来湖区水体中N、P类污染加剧。近5年来,瓦埠湖流域中部湖区、南部湖区水质一直处于轻度污染状态,北部湖区处于清洁或尚清洁状态;主要入湖河流水质污染严重,其中庄墓河水质最差(图4)。2012年起淮南市环境保护局和六安市寿县环境保护局联合对瓦埠

湖流域进行整治和保护,因此流域水质较 2011 年明显改善.

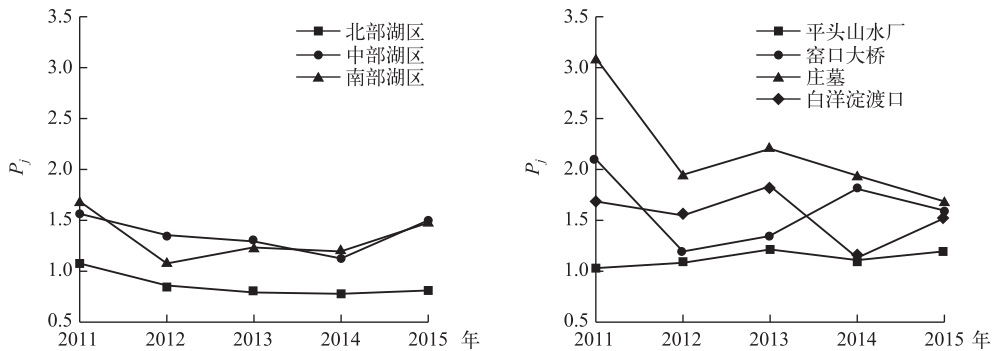


图 4 2011—2015 年瓦埠湖流域地表水内梅罗指数动态变化

Fig.4 Dynamic changes of Nemerow pollution indexes of surface waters in Lake Wabu Basin during 2011–2015

### 3.2 流域污染因子分析

瓦埠湖流域人口密集,农业、养殖业、水产养殖业发达. 流域内主要存在农业面源污染和畜禽养殖、生活、工业方面的点源污染,农业化肥农药的大量施用,畜禽养殖废水、生活污水和工业废水的排放以及水产养殖业的饲料投放,都直接影响流域的水质<sup>[15]</sup>. 2014 年瓦埠湖流域各乡镇资料统计,根据《全国水环境容量核定指南》中污染源调查方法介绍,并结合流域具体情况,计算瓦埠湖流域 TP、TN 和 COD<sub>Mn</sub> 的年入湖量,计算结果显示:就流域内 TN 的年入湖量来看,农田化肥、生活污水、畜禽养殖、水产养殖和工业污染产生的入湖量分别为 1544.8、380.7、240.1、109.3 和 324.4 t/a,分别占总入湖量的 59.43%、14.65%、9.24%、4.2% 和 12.48%, TN 主要的排放贡献来自农田化肥,其次是生活污水和工业废水;就 TP 的年入湖量看,农田化肥、生活污水、畜禽养殖、水产养殖和工业污染产生的入湖量分别为 178.1、8.2、21.1、41.44 和 0.285 t/a,分别占总入湖量的 71.53%、3.28%、8.48%、16.64% 和 0.11%, TP 主要的排放贡献来自农田化肥,其次是水产养殖、畜禽养殖和生活污水;就 COD<sub>Mn</sub> 的年入湖量来看,农田化肥、生活污水、畜禽养殖和工业污染产生的入湖量分别为 14645.25、8156.35、5064.3 和 1057.4 t/a,分别占总入湖量的 50.63%、28.2%、17.51% 和 3.66%, COD<sub>Mn</sub> 的主要排放贡献来自农田化肥、生活污水和畜禽养殖. 就 TN、TP 和 COD<sub>Mn</sub> 综合来看,瓦埠湖流域污染物主要来自农业面源污染,其次是畜禽养殖和生活污染.

瓦埠湖流域共有耕地面积 130180.65 hm<sup>2</sup>,总施肥量达 14.71×10<sup>4</sup> t,每公顷施肥量为 1.13 t. 农药化肥的过量施用导致大量 N、P 流失. 流失的 N、P 通过雨水冲刷、地表径流、农业灌溉等方式进入湖区污染水体或进入河流,通过河流运输进入湖区<sup>[16-17]</sup>. 污染源分析结果表明,流域内农业面源污染是导致流域水体出现 N、P 量超标以及水体富营养化等一系列水体水质污染现象的主要原因;水产养殖主要由于养殖过程中的肥料、饲料和鱼药以及生物排泄物和底泥引发<sup>[18-19]</sup>. 瓦埠湖水产养殖业发达,据各乡镇资料统计,瓦埠湖内围网养殖总面积有 7346.71 hm<sup>2</sup>,每年向水体投放配合饲料 700 t,养殖鱼类所投放的饲料含有大量的 N、P,养殖过程人工投放的饵料只有一部分被鱼类摄食. 被鱼类摄食的饵料,部分以粪便的形式排出,或溶于水,或沉积于水底. 未被鱼类摄食的部分,或进入水中,或在水底产生沉积,污染水体;生活污染主要为人们在生活中产生的生活污水和粪便,弥艳等<sup>[20]</sup>的研究表明生活污染对水环境的污染主要是 TN 和 TP 的污染. 研究表明,瓦埠湖流域生活污染 COD<sub>Mn</sub> 排放总量为 16312.7 t/a, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 排放量为 2446.9 t/a, TN 排放量为 3806.3 t/a, TP 排放量为 163.1 t/a. 因此,流域内居民与湖区渔民生活污水的排放和流域生活污水处理设施缺乏也是瓦埠湖湖区和入湖河流水质污染的重要原因. 研究表明:入湖河流作为连接湖泊流域“源”与“汇”(湖体)的廊道,其水质对于整个湖泊的水生态系统健康显得尤为重要<sup>[21-22]</sup>. 评价结果显示,湖区水体水质为北部湖区>南部湖区>中部湖区;主要入湖河流水质为陡涧河>东淝河>庄墓河. 根据瓦埠湖监测断面、点位的布设(图 1)可以看出,陡涧河、庄墓河、东淝河作为瓦埠湖的入湖河流分别流入瓦埠湖北部湖区、中部湖区、南部湖区,流域内污染物主要通过入湖河流的输送进入湖区,同时污染入湖河流与湖区水体. 因

此,入湖河流的水质状况直接影响湖区水体的水质. 总之,从全流域的综合水质状况来看,水质较差,农业类面源污染与生活污染对流域水质影响较大. 由于流域以农业人口为主,新农村和新城镇化建设缺乏有效规划,农村生活污水尚未得到有效控制. 为消除农村生活污水对环境的影响,应推进流域内新农村和新城镇化建设,根据各小流域的布局、人口经济发展等特点,因地制宜地推广生活污水的生态化治理.

#### 4 结论

1)从监测结果和评价结果来看,瓦埠湖主体湖区水质总体较差,属于轻度污染,为Ⅳ类水. 其中北部湖区水质总体达标,属于Ⅲ类水;中部湖区和南部湖区污染严重,属于Ⅳ类水. 湖区水质状况排序为:北部湖区>南部湖区>中部湖区. 水质污染主要为 N、P 类污染, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  类污染次之. 其主要来源于农业污染、生活污染和畜禽养殖污染.

2)由监测结果和评价结果可知,流域内主要入(出)湖河流水质较差,其中新河、陡涧河和东淝河处于轻度污染状态,水质属于Ⅳ类水标准;庄墓河处于中度污染状态,水质属于Ⅳ类水标准. 瓦埠湖主要入(出)湖河流水质状况排序为:新河>陡涧河>东淝河>庄墓河.

3)在治理瓦埠湖水质污染过程中应重点防治农业类面源污染、生活污染和畜禽养殖污染,协调经济发展与环境保护的关系. 流域内人口密集,居民环保意识薄弱,缺乏相应的生活污水设备和措施,大量的生活污水和养殖废水直接排放到环境中,通过雨水冲刷进入水体造成点源污染. 因此加强流域污水处理设施建设是解决污染的重要途径.

#### 5 参考文献

- [ 1 ] Piao Dexiong, Wang Fengkun. Environmental conditions and the protection counter measures for waters of Lake Xingkai. *J Lake Sci*, 2011, **23**(2): 196-202. DOI:10.18307/2011.0206. [ 朴德雄, 王凤坤. 兴凯湖水环境状况及其保护对策. 湖泊科学, 2011, **23**(2): 196-202. ]
- [ 2 ] Wu Fengchang, Meng Wei, Song Yonghui *et al.* Research progress in lake water quality criteria in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **28**(12): 2385-2393. [ 吴丰昌, 孟伟, 宋永会等. 中国湖泊水环境基准的研究进展. 环境科学学报, 2008, **28**(12): 2385-2393. ]
- [ 3 ] Ma Ronghua, Yang Guishan, Duan Hongtao *et al.* China's lake at present: Number, area and spatial distribution. *Sci China Earth Sci*, 2011, **41**(3): 394-401. DOI: 10.1007/s11430-010-4052-6. [ 马荣华, 杨桂山, 段洪涛等. 中国湖泊的面积、数量与空间分布. 中国科学: 地球科学, 2011, **41**(3): 394-401. ]
- [ 4 ] Pan Chengrong, Yao Fengyun, Wang Xinmin. Study of the floating algae and water quality of the main line in the diversion of water from Changjiang River to Huaihe River. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 2003, **26**(4): 520-524. [ 潘成荣, 姚风云, 汪新民. “引江济淮”输水干线浮游藻类与水体质量研究. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2003, **26**(4): 520-524. ]
- [ 5 ] Wang Huili, Hu Chenxi, Ling Zhangjun *et al.* The Research of plant community structure of the Wabu lakeside in Anhui Province. *Anhui Agri Sci Bull*, 2015, **21**(3): 9-11. [ 王慧丽, 胡晨曦, 凌张军等. 安徽瓦埠湖湖滨带植物群落结构研究. 安徽农学通报, 2015, **21**(3): 9-11. ]
- [ 6 ] Pan Chengrong, Zheng Zhixia, Wang Jiaquan *et al.* Stability of endogenous phosphorus in sediments of Lake Wabuhu and its control measures. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 2010, **33**(8): 1226-1229. [ 潘成荣, 郑志侠, 汪家权等. 瓦埠湖沉积物内源磷的稳定性及其控制研究. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008, **28**(12): 2385-2393. ]
- [ 7 ] Ye Linlin, Zheng Zhixia, Zhang Zhiyuan *et al.* Characteristics of N forms in Wabu Lake sediments and effects of environmental factors on  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  release. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, **25**(5): 1333-1336. [ 叶琳琳, 郑志侠, 张之源等. 瓦埠湖沉积物氮的赋存特征以及环境因子对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  释放的影响. 农业环境科学学报, 2006, **25**(5): 1333-1336. ]
- [ 8 ] Chang Ke. Research and evaluation on heavy metals of soil and sediment in Lake Wabuhu [Dissertation]. Hefei: Hefei University of Technology, 2014. [ 常可. 瓦埠湖沉积物及周边土壤重金属污染研究及评价 [学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2014. ]

- [ 9 ] Zhe Meng, Zhang Xueqin, Sun Rui *et al.* Assessment of water quality and the pollution factors of waters in Yamzhog Yumco Basin, Tibet. *J Lake Sci*, 2016, **28**(2): 287-294. DOI:10.18307/2016.0207. [ 者萌, 张雪芹, 孙瑞等. 西藏羊卓雍错流域水体水质评价及主要污染因子. 湖泊科学, 2016, **28**(2): 287-294. ]
- [ 10 ] Lin Yanhe. Investigation and analysis of pollution and the current situation of water environment of Daxia River Basin. *Yellow River*, 2015, **37**(1): 74-78. [ 林彦和. 大夏河流域水环境现状及污染原因调查分析. 人民黄河, 2015, **37**(1): 74-78. ]
- [ 11 ] Li Ruzhong, Zou Yang, Xu Jingjing *et al.* Distribution characteristics and erosion risk of nitrogen and phosphorus in soils of Zhuangmu Town in Lake Wabuhu Basin. *Environmental Science*, 2014, **35**(3): 1051-1059. [ 李如忠, 邹阳, 徐晶晶等. 瓦埠湖流域庄集镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估. 环境科学学报, 2014, **35**(3): 1051-1059. ]
- [ 12 ] "Monitoring and analysis method of water and wastewater" editorial board of State Environmental Protection Administration of China ed. Monitoring and analysis method of water and wastewater; Fourth Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. [ 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: 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. ]
- [ 13 ] Xi Danli, Sun Yusheng, Liu Xiuying eds. Environmental monitoring (Third Edition). Beijing: Higher Education Press, 2004. [ 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测(第三版). 北京: 高等教育出版社, 2004: 1-603. ]
- [ 14 ] Nemerow NL ed. Scientific stream pollution analysis. New York: Mc Graw-Hill, 1974: 1-358.
- [ 15 ] Xie Wenjing, Wang Song, Lou Shanchong *et al.* Evaluation of temporal water quality change(2008-2014) and the cause analysis in the upper-reach lakes of Lake Nansi, Shandong Province. *J Lake Sci*, 2016, **28**(3): 513-519. DOI:10.18307/2016.0306. [ 解文静, 王松, 娄山崇等. 山东南四湖上级湖水水质变化评价(2008-2014年)及成因分析. 湖泊科学, 2016, **28**(3): 513-519. ]
- [ 16 ] Yang Linzhang, Feng Yanfang, Shi Weiming *et al.* Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, **21**(1): 96-101. [ 杨林章, 冯彦房, 施卫明等. 我国农业面源污染治理技术研究进展. 中国生态农业学报, 2013, **21**(1): 96-101. ]
- [ 17 ] Pu Biwen. Agricultural non-point source pollution in Shangdong Province and its prevention countemeasures [Dissertation]. Jinan: Shandong University, 2013. [ 浦碧雯. 山东省农业面源污染现状与防治对策 [学位论文]. 济南: 山东大学, 2013. ]
- [ 18 ] Wu Wei, Fan Limin. Pollution and control measures of aquaculture environment. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, **16**(2): 26-34. [ 吴伟, 范立民. 水产养殖环境的污染及其控制对策. 中国农业科技导报, 2014, **16**(2): 26-34. ]
- [ 19 ] Niu Tianxin, Zhou Yifei, Wu Genliang *et al.* The present situation and countermeasures of Hangzhou aquaculture pollution. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, **43**(33): 336-339. [ 牛天新, 周毅飞, 吴根良等. 杭州水产养殖污染的现状和对策. 安徽农业科学, 2015, **43**(33): 336-339. ]
- [ 20 ] Mi Yan, Chang Shunli, Shi Qingdong *et al.* Aquatic environmental quality assessment in Ebinur Lake Catchment during high flow period, 2008. *J Lake Sci*, 2009, **21**(6): 891-896. DOI: 10.18307/2009.0621. [ 弥艳, 常顺利, 师庆东等. 艾比湖流域2008年丰水期水环境质量现状评价. 湖泊科学, 2009, **21**(6): 891-894. ]
- [ 21 ] Wen Hang, Cai Jialiang, Su Yu *et al.* Identification of water pollution factors and their spatial distribution with aquatic bioindicators instreams of Lake Dianchi watershed. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **31**(1): 69-80. [ 文航, 蔡佳亮, 苏玉等. 利用水生生物指标识别滇池流域入湖河流水质污染因子及其空间分布特征. 环境科学学报, 2011, **31**(1): 69-80. ]
- [ 22 ] Wang Bian, Chen Piao xue, Wei Xuhao *et al.* Spatio-temporal variations and impact parameters of water quality in Lake Jiaogang, Huaihe Basin. *J Lake Sci*, 2016, **28**(3): 520-527. DOI: 10.18307/2016.0307. [ 王变, 陈飘雪, 韦绪好等. 淮河流域焦岗湖水水质参数时空变化及影响因素. 湖泊科学, 2016, **28**(3): 520-527. ]