

抚仙湖水体中磷的分布特征及其影响因素

姚波¹, 刘青泉², 胡春明³, 席北斗³, 吴献花⁴

1. 中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室, 北京 100190
2. 北京理工大学宇航学院力学系, 北京 100081
3. 中国环境科学研究院水环境系统工程研究室, 北京 100012
4. 玉溪师范学院高原湖泊生态环境研究中心, 玉溪 653100

摘要 深水湖泊通常具有水体交换周期长、污染物滞留率高、垂向水温分层等特征, 水质参数的分布具有明显的时空变异性。以 2009 年 5 月和 7 月的两次现场水质调查数据为基础, 结合入湖污染源和湖泊自身的水动力条件, 深入探讨了抚仙湖水体中磷的水平、垂直分布特征以及入湖污染源和水动力条件的影响, 结果表明: 表层水体中总磷(TP)的空间分布及其变化与抚仙湖风生流场和入湖污染源的分布特征具有较好的一致性; 雨季降雨径流携带了大量的污染物和泥沙入湖, 导致 7 月表层水体中 TP 质量浓度较 5 月明显增加; 降雨径流污染主要影响浅层水体, 对 100 m 以下深层水体的影响较小; 水体中 TP 质量浓度有沿水深逐渐增高的趋势, 深层水体中磷的蓄积较重, 并有加剧趋势。底部“磷库”的存在对湖泊水质存在较大的潜在威胁, 需引起高度重视。

关键词 抚仙湖; 磷; 蓄积污染; 水动力

研究湖泊水质参数的时空变化特征是获取有效水环境信息的重要手段, 也是评价水环境质量、解析污染来源、修复和治理湖泊污染的基础^[1]。深水湖泊通常具有换水周期长、污染物滞留率高、垂向水温分层等特征, 加之入湖污染物的分布具有时空不均匀性, 导致湖泊水体中各水质参数的分布也具有明显的时空变异性, 且在空间分布上具有结构性和随机性的特征, 是典型的区域化变量^[2]。通过研究这种客观的时空变异性, 可以掌握湖泊水体中污染物浓度的分布和变化特征, 为研究污染物在水体中的迁移转化规律及污染物对水生生态系统的影响提供基础^[3]。

抚仙湖地处云南省玉溪市境内南盘江上游的澄江盆地中, 居于滇中 5 个较大湖泊的中心区域, 是中国的第 2 深水湖泊。当湖面高程为 1722.5 m 时, 平均水深 95 m, 最大水深为 158.9 m^[4], 仅次于长白山天池; 相应容水量约为 206.2 亿 m³, 仅次于江西鄱阳湖, 居全国第 2 位, 蕴藏着十分丰富的水资源, 中国工程院提出将其列入国家水资源战略储备库。但近年来随着流域社会经济的发展, 抚仙湖的水质呈现快速恶化的趋势, 水体的营养盐水平持续增高^[5], 导致水生生态系统结构和功能变化^[6], 例如, 浮游植物生物量剧增^[7]、局部水域出现早期警示性水华^[8], 引起了当地政府与社会各界的高度重视, 保护抚仙湖的工作迫在眉睫。湖泊水体中污染物的浓度及其分布主要取决于入湖污染特征及湖泊自身的水动力条件。

前者决定了进入湖泊水体中的污染物的量及其时空分布特点, 后者决定着污染物在水体中的迁移扩散过程。磷是水生物生长的必须元素, 也是引起抚仙湖各种生态环境问题的重要因素之一。因此, 科学认识抚仙湖水体中磷的分布和变化特征, 揭示其与入湖污染源、水动力条件等因素的关系, 对于遏制抚仙湖水体下降趋势和富营养化、协调流域经济社会活动、从传统的水质管理模式过渡到更为科学的水生态管理模式, 具有重要意义。

本研究在大量现场调研的基础上, 对 2009 年 5 月和 7 月间 2 次全湖现场采样分析所获得的数据进行了分析, 并结合入湖污染源和湖泊自身的水动力条件, 深入探讨了抚仙湖水体中磷的水平、垂直分布特征, 分析了入湖污染源的分布以及水动力条件对水体中磷迁移扩散的影响, 初步揭示了抚仙湖水体中磷的三维分布特征以及雨季降雨径流对水体中磷分布的影响。

1 资料和方法

1.1 采样点布设方案

结合抚仙湖沿岸污染源的分布情况和湖泊自身的水动力特征, 以综合反映全湖水水质分布规律为基本原则, 优化采样垂线的布设, 全湖共设置 28 个水平采样点(图 1), 垂向共分为 7 个采样层, 各层的采样深度从上至下依次为: 0.5、5、10、

收稿日期: 2016-11-11; 修回日期: 2016-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(11202217); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-001)

作者简介: 姚波, 助理研究员, 研究方向为湖泊水动力、水环境和水生态, 电子信箱: yaob327@163.com

引用格式: 姚波, 刘青泉, 胡春明, 等. 抚仙湖水体中磷的分布特征及其影响因素[J]. 科技导报, 2017, 35(3): 66-71. doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.03.007

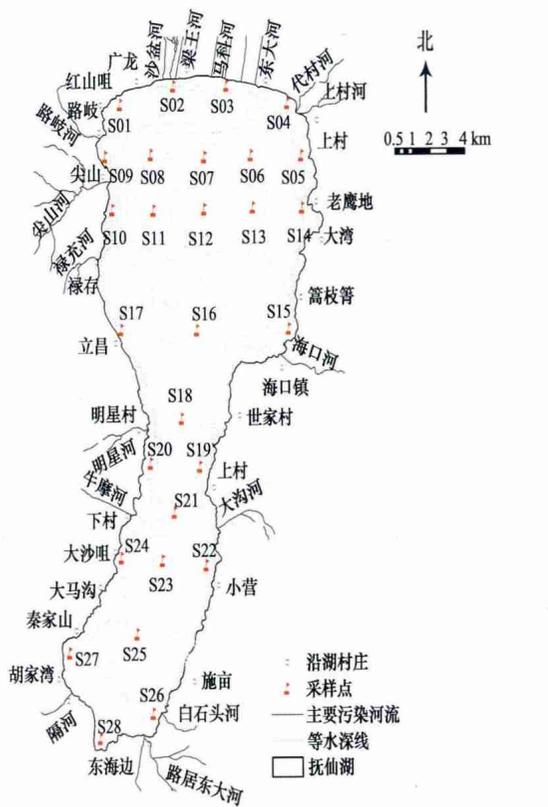


图1 现场采样点平面分布及主要污染河流分布
Fig. 1 Locations of sampling sites and distribution of main polluting rivers

20、50、100和150 m。现场采集时,根据各点的实际水深进行分层采样,浅水区采集1~3层,深水区采集4~7层,全湖共采集135个分层水样。

1.2 采样时间

2009年4月30日—5月1日和2009年7月11日—12日分别进行了一次全湖现场采样,两次采集的水样可以分别反映抚仙湖在雨季前、后的水质特征。

1.3 样品采集和保存方法

现场采样、水样保存和预处理等过程均严格按照《水和废水监测分析方法(第四版)》^[9]中的相关要求进行。水样采集后立即用1 mol/L浓硫酸酸化至pH<1,然后储存于清洁的塑料水瓶中。样品采集完成后,当日立即运回实验室内进行预处理,然后将水样4℃恒温保存。

1.4 主要分析指标与方法

主要分析指标包括总磷(TP)、溶解性正磷酸盐(DIP)、叶绿素a(Chla)和透明度(SD)。各项指标的分析采用国家或行业标准方法,具体操作按照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002)和《水和废水监测分析方法(第四版)》^[9]中的方法进行。

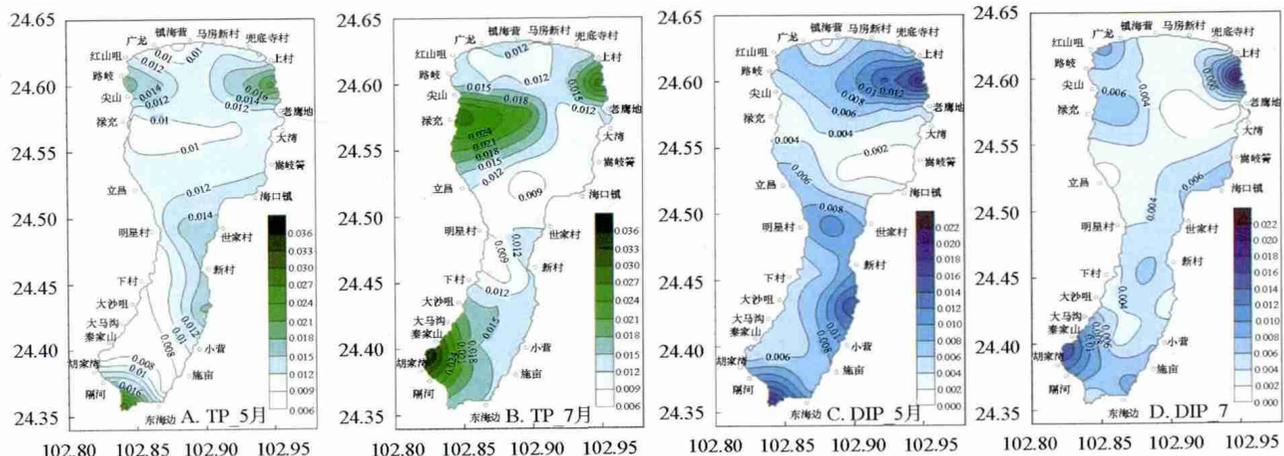
1.5 数据处理与分析

以ArcGIS 9.3和Golden Surfer 9.0为平台,采用基于地统计学的Kriging插值方法,对2次观测结果进行空间插值,绘制水质空间分布图,分析表层水体中磷的水平分布及变化规律;并结合水动力条件和污染源分布情况,初步阐明了抚仙湖水体中磷含量变化的主要原因,揭示了不同水域磷的污染特征和驱动力。

2 结果与讨论

2.1 表层水体中磷的分布特征

2009年5月和7月表层水体中TP和DIP的空间分布和变化特征分别见图2和表1。总体上,北岸和西岸的磷浓度要高于东岸和南岸,且受到雨季的影响明显。在2009年5月,表层水体中TP的高浓度区主要分布在东北部的代村河入湖口附近的上村—老鹰地一带和湖体南端水域。东北部的TP高浓度水域主要是受到流域东北部磷矿山开采区污染的影响。入湖河流(代村河、东大河)受上游磷矿山开采和磷化工业企业生产过程中流失的磷污染较为严重,河水中TP浓度高;而湖体南端水域则主要是受路居镇排放生活污水的影响,入湖河流中TP浓度也较高。而在2009年7月,表层水体



注:图中横坐标为经度,纵坐标为纬度

图2 2009年5月和7月表层水体中不同形态磷的分布

Fig. 2 Contour maps for phosphorus in surface water in May and June, 2009

表 1 不同区域表层水体中磷的分布特征

Table 1 Distribution of phosphorus in surface water from different lake areas

区域	样本数	TP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		DIP 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	
		2009年5月	2009年7月	2009年5月	2009年7月
东岸	5	0.012	0.015	0.007	0.005
南岸	3	0.009	0.015	0.005	0.005
西岸	5	0.009	0.017	0.006	0.006
北岸	7	0.013	0.014	0.008	0.005
湖心	8	0.011	0.012	0.007	0.005
全湖	28	0.012	0.015	0.007	0.005

中的TP高浓度区主要分布在东北部的代村河入湖口附近、西北岸的路岐—禄充一带以及西南部的秦家山—胡家湾一带,这与2009年5月的水平分布大致相似,但是西北岸的路岐—禄充一带水体中TP浓度明显增加,这主要是由于禄充是抚仙湖的重要旅游景区之一,而5—7月间正是当地的旅游旺季之一,旅游人数的大量增加导致旅游污染加重;同时,尖山河流域内水土流失较严重,雨季会携带大量污染物入湖,也导致局部水域污染加重。对照图2中的C与A以及D与B可知,2009年5月和7月表层水体中DIP的空间分布特征与TP的分布特征也基本一致,高浓度区域主要分布于东北部和南端沿岸水域。

水体中磷的这种分布特征首先跟入湖污染的特征密切相关。根据调查,抚仙湖的入湖磷污染负荷主要分布在北部的右所镇、西部的龙街镇和南部的路居镇。其中,右所镇50%以上的入湖磷都源自上游磷矿区流失磷的污染,这些污染物主要通过东大河、代村河等河流集中汇入湖泊中,造成东北部水域局部磷含量较高;位于抚仙湖西岸的龙街镇80%以上的入湖磷来自农村和农业非点源,造成西岸的TP质量浓度较高;南岸路居镇的入湖磷也主要来自农村和农业非点源,并通过路居东大河和大鲫鱼河进入抚仙湖,导致南端水体中的TP浓度也较高。

其次,磷的分布还受到湖泊自身水动力条件的影响。从抚仙湖的流场现场观测结果(图3)^[10]可以看出,主导偏南风条件下,抚仙湖北部开敞水域存在较为明显的逆时针风生环流,输入北部湖区的磷在环流的作用下迁移扩散,从而导致东北部(尤其是入湖口附近)水域的TP质量浓度较高,并形成大致沿入湖口向外的浓度梯度;湖体最南端的水域因湖盆外凸、水域狭窄、水动力混合作用弱于北部开敞水域,加之水深较浅,并且存在一个较小的非闭合逆时针环流,入湖污染物在南端局部水域混合而不容易扩散出去,从而造成TP质量浓度较高。这种特征在5月份外源性污染物输入量较少的情况下尤为明显。此外,在北偏东方向的主体湖流作用下,南部的污染物有向北部水域迁移的趋势。

此外,东北部水域的TP质量浓度在2009年5月和7月都较高,这表明东北部水体受到上游东北部磷矿区流失磷造成



图3 抚仙湖实测流场图

Fig. 3 Monitored surface flow field for Lake Fuxian

污染的特征明显。因此,加强对上游磷矿山开采过程中的污染治理对减少抚仙湖的磷负荷具有十分重要的意义。

对比两次调查结果(表1),2009年5月和7月抚仙湖表层水体中磷的全湖平均质量浓度变化较大,TP质量浓度由0.012 mg/L增加至0.015 mg/L,增加了约25%。这主要是由于入湖河道是污染物进入抚仙湖的主要通道,通过河道进入抚仙湖的总磷量约占全部入湖总磷量的56.4%。而抚仙湖是典型的半封闭式高原湖泊,大多数河流发源于山区,河道短小、坡度大,主要靠降雨补给,多为间歇性河流,河道径流量季节性变化显著。受亚热带季风气候大背景的控制,流域降水主要集中于6—8月,占全年降水总量的60%以上,因此污染物也主要集中这个期间输入湖泊内,从而导致水体中污染物含量明显增加。

但是,DIP的质量浓度却由2009年5月的0.007 mg/L降至2009年7月的0.005 mg/L,其占TP的比例则从61.1%显著下降至48.1%,表明水体中磷的主要赋存形态发生了较为明显的变化。产生这种现象可能有2个主要原因,一方面,入湖河流河道坡降大(例如,西岸8条主要河流的平均坡降达到103‰),冲刷现象较为严重,向下游流动时会携带大量的泥沙,其中也含有大量的颗粒态含磷污染物,导致水体中颗粒态磷的含量相对增加。这一点也可以从同期观测到的透明度指标(SD)的变化得到印证:2009年5月和7月全湖平均透明度分别为5.9 m和4.7 m,2009年7月下降了约20%。另一方面,由于磷等营养的大量输入,藻类的生长也更加旺盛,2009年5月和7月全湖表层水体中的平均叶绿素a含量分别为0.396 μg/L和0.761 μg/L,增加了约92%。而藻类的生长需要吸收大量的溶解性磷酸盐,并将其转换为颗粒态有机磷,从而也会导致水体中DIP的相对含量下降。

2.2 水体中磷的垂向分布特征

2009年5月和7月抚仙湖表层水体中TP和DIP的垂向分布特征如图4所示。整体上,2009年5月水体中平均TP质量浓度随水深的增加而逐渐增加(深度50 m处TP质量浓度较低),表层(0.5 m)TP质量浓度为0.012 mg/L,而底层(深度150 m)则高达0.028 mg/L,为表层TP质量浓度的2.3倍。在2009年7月,平均TP浓度也随深度增加而逐渐增加,表层水体(深度0.5 m)中平均TP质量浓度由0.012 mg/L增加至0.015 mg/L,底层水体(深度150 m)平均TP质量浓度由0.028 mg/L增加至0.029 mg/L,为表层TP质量浓度的1.9倍。可见,受雨季降雨径流的影响,0~50 m水体中TP浓度随深度波动较大,而50 m以下TP质量浓度随深度波动明显减小。同时,无论是在5月还是在7月,在-150~-50 m水体间均存在较大的垂向浓度梯度,这表明深层水体的磷污染蓄积已经十分严重。

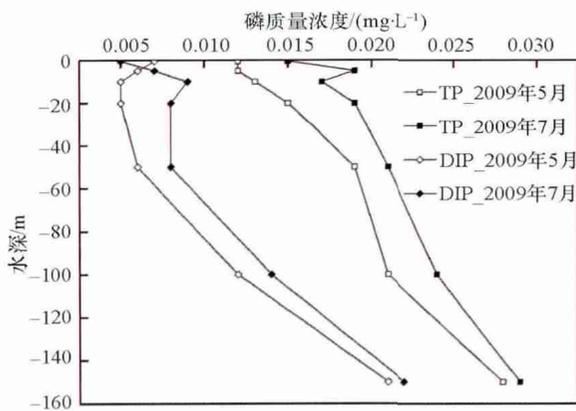


图4 水体中磷的垂直分布特征

Fig. 4 Vertical distribution of phosphorus in the water

事实上,早在20世纪90年代水下采矿项目的专家就发现了抚仙湖深层水体中磷的蓄积问题。玉溪市环境监测站于2001年对抚仙湖最深点的垂向水质分布进行了调查,发现磷的浓度在-150~-40 m水体间形成了较大的垂向梯度,底层TP质量浓度高达0.0136 mg/L,为II类水质;2005年7月再次调查发现,底层水体TP质量浓度已增加至0.026 mg/L,短短几年时间内增加了近1倍,已经成为III类水质。本研究的2次调查结果也表明,2009年底层水体TP质量浓度已高达0.028~0.029 mg/L,较2005年增加了近10%。由此可见,抚仙湖深层水体中TP的蓄积正在以较快的速度逐渐加重。

TP的这种垂向分布特征的形成,主要有以下2方面的原因:1) 表层水体受风生流的影响,混合作用要明显强于深层水体,因此表层水体对输入污染物的稀释作用较强;同时,外源性含磷污染物的长期输入和向下输送,导致深层水体和底质中的磷积累现象严重,下层水体水质恶化,加之底层水体常年处于相对静止状态,不利于污染的扩散,因此底层水体中磷含量较表层水体高。2) 抚仙湖底沉积物中分布有大量

的铁锰结核,其磷质量分数超过1%,是一个十分庞大的“磷库”^[11-12]。湖泊有机污染的加重,会导致底层水体中溶解氧含量的降低,从而改变底质的氧化还原条件,导致其对磷的吸附作用降低,并将原来吸附的部分磷释放出来,向上扩散形成浓度梯度。

2.3 抚仙湖的磷污染特征探讨

从前面的分析结果可以看出,抚仙湖水体中磷含量的年内分布存在较大的时空差异性。在时间上,雨季大量污染物随河道径流进入湖泊,造成2009年7月水体中的平均磷含量明显高于2009年5月;在水平分布上,表层水体的磷含量主要受入湖污染物分布的影响,TP含量较高的区域主要分布于污染较重河流的入湖口及其临近水域;而在垂向分布上,存在明显的自上而下的TP逆向浓度梯度,底层磷的蓄积现象严重。尽管近几十年来玉溪市环境监测站对抚仙湖表层水体的监测数据表明,20世纪以后由于当地政府加强了对抚仙湖的保护和流域污染源的治理,抚仙湖表层水体中的磷含量较20世纪以前有所降低,基本维持在I类水质,但是深层水体的磷污染蓄积却在不断地加重,而这种情况的发生可以归结为以下3个主要因素。

1) 水资源系统脆弱,换水周期长。抚仙湖的容水量为206.2亿m³,在淡水湖泊中仅次于江西的鄱阳湖(水位21.0 m时,容水量为260.0亿m³),相当于太湖容水量(水位4.0 m时,容水量为73.0亿m³)的2.8倍、滇池容水量(湖面高程1885.0 m时,容水量为16.5亿m³)的12.5倍^[13]。但是,抚仙湖主要靠降雨径流补给,其补给系数为3.12,仅约为鄱阳湖的1/10、太湖的1/5、滇池的1/3。多年平均结余水量为0.05亿m³,仅占其最大容水量的0.25%,换水周期则长达100多年,这些都不利于污染物的稀释和输出。

2) 入湖污染源的分布和水动力条件决定了“多入少出”的污染模式。抚仙湖流域的主要污染河流分布在北部、西部和南部,而主要出水口则位于东部中端的海口河(图1)。进入北半部开敞水域的磷在大逆时针环流的作用下得到了充分混合而滞留于湖中;进入湖泊南端的磷则在小的非闭合逆时针环流作用下不容易向湖中心扩散,加之南部湖区水深较浅,造成近岸水体中的磷质量浓度较高。总体上,入湖的磷在这种迁移扩散模式下很难通过海口河向湖外输出,导致截留率高,蓄积严重。

3) 垂向水动力条件和水体理化特性决定了磷在深层水体的蓄积。抚仙湖地处中亚热带半湿润季风气候区,其水温常年高于12℃,全年除1月和2月水温垂直分布比较均匀外,其余各月均具有比较稳定的水温垂向分层,水体在垂向上比较稳定,垂向混合作用较弱。进入表层水体的颗粒态磷通过沉降向下输送,而溶解态的磷也可被藻类吸收利用后转化为颗粒态,待藻类消亡后也会通过沉降作用向深层水体输送。同时,深层水体中的溶解氧质量浓度较低,100 m以上水体中溶解氧DO质量浓度仅为3 mg/L左右。低溶解氧含量有利于沉积物中吸附的磷向上覆水体中释放,导致深层水体中含磷

量增加,而弱的垂向混合作用又不利于磷从深层水体向上扩散,从而在深层形成了一个巨大的“磷库”。这种垂向迁移模式在一定程度上减轻了表层水体的磷污染,然而底部“磷库”的存在也为日后埋下了巨大的安全隐患。一旦在极端气候条件下稳定的垂向水温结构遭到破坏,深层水体在垂向混合作用下可能扩散到表层,造成表层水体的污染。

3 结论

本研究在现场采样和分析的基础上,对抚仙湖水体中磷的时空分布特征及其影响因素进行了探讨,主要结论如下。

1) 表层水体中TP的空间分布及其变化与抚仙湖风生流场和入湖污染源分布特征具有较好的一致性,而DIP的含量和分布除与流场和污染源分布有关外,还受藻类生物量变化等因素的影响。

2) 对比5月和7月的调查结果可知,由于雨季降雨径流携带了大量的污染物和泥沙入湖,7月表层水体平均TP质量浓度比5月增加约25%;同时,受藻类生长等因素影响,表层水体平均DIP含量有所下降,磷的主要赋存形态也从5月的溶解态变化为7月的颗粒态。

3) 与表层水体相比,降雨径流污染对100 m以下的深层水体的影响较小;TP的质量浓度有沿水深逐渐增高的趋势,在-150~ -50 m水体间形成了较大的浓度梯度,底层水体已经退化为III类水质,磷的蓄积较重。这是一个危险的信号,一旦水文气象不利,水温结构的变化可能导致蓄积在底层的磷在较短时间内大量迁移扩散至表层水体而造成严重后果,因此需要引起高度重视。

致谢:现场采样得到了玉溪市抚仙湖管理局及其下属的执法支队提供的船只和人员等支持,样品的实验室分析得到了玉溪师范学院高原湖泊生态环境研究中心郭红、赵斌和王泉、吴斌、龚江欢、国文姬、陈崇蕊等的大力帮助!

参考文献(References)

[1] Lindim C, Pinho J L, Vieira J M P. Analysis of spatial and temporal patterns in a large reservoir using water quality and hydrodynamic modeling [J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(14): 2485-2494.

[2] 刘瑞民, 王学军. 湖泊水质参数空间优化估算的原理与方法[J]. *中国环境科学*, 2001, 21(2): 177-179.

Liu Ruimin, Wang Xuejun. The theory and method of the spatial optimal estimation on the water quality parameters of lake[J]. *Environmental Science*, 2001, 21(2): 177-179.

[3] 李兴, 杨乔媚, 勾芒芒. 内蒙古乌梁素海水质时空分布特征[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(8-9): 1301-1306.

Li Xing, Yang Qiaomei, Gou Mangmang. Temporal and spatial distribution of water quality in Lake Wuliangsu, Inner Mongolia[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(8-9): 1301-1306.

[4] Zhao L, Zhang X L, Liu Y, et al. Three-dimensional hydrodynamic and water quality model for TMDL development of Lake Fuxian, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24(8): 1355-1363.

[5] Zeng H A, Wu J L. Sedimentary records of heavy metal pollution in Fuxian Lake, Yunnan province, China: Intensity, history, and sources[J]. *Pe-dosphere*, 2009, 19(5): 562-569.

[6] 李荫玺, 刘红, 陆娅, 等. 抚仙湖富营养化初探[J]. *湖泊科学*, 2003, 15(3): 285-288.

Li Yinxi, Liu Hong, Lu Ya, et al. Preliminary studies on eutrophication in Fuxian Lake[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15(3): 285-288.

[7] 李荫玺, 王林, 祁云宽, 等. 抚仙湖浮游植物发展趋势分析[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(2): 223-226.

Li Yinxi, Wang Lin, Qi Yunquan, et al. Studies on the phytoplankton development in Lake Fuxian, China[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(2): 223-226.

[8] Cui Y D, Liu X Q, Wang H Z. Macrozoobenthic community of Fuxian Lake, the deepest lake of southwest China[J]. *Limnologica*, 2008, 38(2): 116-125.

[9] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编辑委员会. 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: 1-784.

Ministry of Environmental Protection of PRC. Methods for the monitoring of water and wastewater[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Publishing Company, 2002: 1-784.

[10] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 抚仙湖[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 116-118.

Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences. Lake Fuxian[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 116-118.

[11] 张秀敏, 戴丽, 王志芸, 等. 抚仙湖流域主要生态安全问题识别[J]. *环境科学导刊*, 2008, 27(1): 40-43.

Zhang Xiumin, Dai Li, Wang Zhiyun, et al. Identifying the main ecological safety problems in Fuxianhu Lake[J]. *Environmental Science Survey*, 2008, 27(1): 40-43.

[12] 董云仙, 洪雪花, 谭志卫, 等. 高原深水湖泊程海氮磷形态分布特征及其与叶绿素a的相关性[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(2): 333-337.

Dong Yunxian, Hong Xuehua, Tan Zhiwei, et al. Distribution of nitrogen and phosphorus and their relationships with chlorophyll-a in Lake Chenghai on plateau[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(2): 333-337.

[13] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 194.

Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences. Introduction to China's lakes[M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 1989: 194.

Distribution characteristics of phosphorus in the water of Lake Fuxian and its influencing factors

YAO Bo¹, LIU Qingquan², HU Chunming³, XI Beidou³, WU Xianhua⁴

1. Key Laboratory for Mechanics in Fluid Solid Coupling Systems, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. Department of Mechanics, School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
3. Laboratory of Water Environment System Engineering, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China
4. Yuxi Research Center for Eco-Environment of Plateau Lakes, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China

Abstract Deep lakes usually have long water exchange period, high pollutant retention rate, and vertical thermal stratification, therefore large spatiotemporal variability may exist in the water body. Based on the two field surveys in May and July 2009 to investigate the horizontal and vertical variations of phosphorus in Lake Fuxian, the influences of main polluting sources and hydrodynamic conditions are analyzed and the distributions of phosphorus in the lake are studied. Results show that the distribution of TP in the surface water agrees with the wind-induced surface flow and the distribution of main polluting sources. The concentrations of TP in the surface water in July are obviously larger than those in May, which is mainly caused by pollutants in runoff in the rainy season. However, the water below 100 m and more is less affected by the runoff pollutions. Besides, TP concentration has an increasing trend along the water depth. The accumulation of phosphorus in deep water is heavy and the situation is getting more serious. The existence of "a phosphorus pool" at the bottom is a big potential threat to the whole water body, which needs more attention.

Keywords Lake Fuxian; phosphorus; distribution; hydrodynamics

(责任编辑 傅雪)