

# 鄱阳湖枯水期水体主要污染物时空分布差异(性)研究

郭秋平, 张 婷, 张 建

(江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌 330022)

**摘 要:**系统分析了鄱阳湖2015年度枯水期主湖体、五河入口、湖口过江水道、赣江下游主河道和南昌市周边湿地表层水体中总氮、总磷、汞、铜、锌、铅、镉等几种污染物的含量,结果表明:①2015年度鄱阳湖枯水期水体中总氮、总磷和铜的平均浓度分别为3.145 mg/L、0.121 mg/L和0.089 mg/L,总体偏高;②汞、铅、锌、镉的平均浓度为 $5.932 \times 10^{-4}$  mg/L、0.408 mg/L、0.064 5 mg/L和 $4.516 \times 10^{-2}$  mg/L;③总氮、总磷和铜在空间分布上存在差异性,表现为饶河河口、吴城望湖亭和湖口等区域的污染情况较为严重,南矶山碟形湖的污染程度最轻。

**关键词:**鄱阳湖;河湖交错带;氮磷含量;重金属含量;空间分布

**中图分类号:**X508

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-4701(2016)02-0103-05

## 0 引言

鄱阳湖是中国第一大淡水湖,位于江西省北部,长江中下游南岸。该湖承接了赣江、抚河、信江、饶河和修水5条主要河流的来水,并通过过江水道汇入长江,是一个典型的吞吐型的过水性湖泊。受上游河流来水季节性变化的影响,湖面面积变化明显,丰水期湖面面积约3 600 km<sup>2</sup>,枯水期湖面面积仅约为800 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>,呈现出特有的“丰水湖相,枯水河相”这一水文特性。

近年来,随着鄱阳湖流域经济发展和城市化进程的加快,大量的城镇废水和工业污水排入鄱阳湖,向鄱阳湖输入了大量的氮、磷等富营养物质和重金属。鄱阳湖在枯水期由于上游来水的减少,水位下降、湖面萎缩,受到人类活动的影响增大,导致水体富营养化和重金属污染的风险增大。本文选取鄱阳湖枯水期主湖区、主要河流入湖口、碟形湖、赣江下游主河道、湖口过江水道和南昌市市郊瑶湖为采样点,分析以上区域水体氮、磷和主要重金属的浓度,进而研究鄱阳湖枯水期营养盐和重金属的空间分布差异性。为鄱阳湖区域的合理开发和可持续发展提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样点的选择及水样采集

于2015年12月中旬(枯水期)用2 L的有机玻璃

采水器分别于0.5 m深度水位采集鄱阳湖矶山主湖体N1;南矶山万家桥处N2;南矶山碟形湖常湖N3;南矶山南矶大桥下游100 m处N4;吴城望湖亭赣江和修水交汇处W5;吴城望湖亭赣江段100 m处W6;吴城大湖池观鸟亭处W7;赣江南昌段富有堤处G8;乐安河和信江交汇处R9;南昌郊区瑶湖Y10和湖口过江水道湖口县城渡口H11等11处样点,每个采样点采集3份平行样,分装于经过高压蒸汽灭菌后的聚乙烯瓶中。实地检测采样点的温度和pH值,样品置于4℃冷藏保存并在24小时以内对水体的基本理化性质进行分析。

### 1.2 分析方法

本文采用凯氏定氮法分析水体中的总氮、采用钼酸铵分光光度法检测总磷、采用原子吸收分光光度法测定汞(Hg)、铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)5种主要的重金属污染物,所得数据通过spss statistics 21统计软件分析处理。

## 2 结果分析和讨论

### 2.1 鄱阳湖枯水期水体基本理化特征

鄱阳湖枯水期水体各个采样点分布见图1,各采样点的pH值和水温(℃)情况见表1。

通过表1可以看出,采样点H11的平均水温为9℃,Y10的水温为10℃,R9、W7、N3这3处的水温都为11℃,N1、W6、G8这3处水温为12℃,N2、N4、W5这3处位置水温为13℃。平均水温为11.5℃,与鄱阳湖枯

水期的正常水温基本相符。通过 pH 值的数据可以发现:鄱阳湖水 pH 值整体为中性微酸性,其中 N1 和 W6 采样点 pH 值最低,相对较低为 6.5 左右,W5、H11 采样点的 pH 值大于 7;其他采样点的 pH 值趋于中间水平,在 6.7 左右波动。

表 1 鄱阳湖采样区域采样温度和 pH 值

样点	坐标	水温(℃)	pH 值
N1	N28°54'12.55" E116°19'15.16"	12℃	6.45
N2	N28°56'24.26" E116°21'14.69"	13℃	6.63
N3	N28°54'46.70" E116°16'48.11"	11℃	6.79
N4	N28°54'25.03" E116°15'29.00"	13℃	6.92
W5	N29°11'22.26" E116°00'50.40"	13℃	7.03
W6	N29°11'12.32" E116°00'53.86"	12℃	6.53
W7	N29°05'46.30" E115°57'07.68"	11℃	6.62
G8	N28°43'44.19" E115°59'11.06"	12℃	6.74
R9	N28°58'14.14" E116°41'41.87"	11℃	6.68
Y10	N28°40'39.75" E116°02'22.28"	10℃	6.87
H11	N29°44'31.48" E116°12'42.78"	9℃	7.05



图 1 采样点分布图

根据表 1 数据可以看出,鄱阳湖河湖交错带枯水期表层水体 pH 值整体为中性微酸性,这与大型浅水型湖泊水体为中性微碱性是存在差异的。仅有 W5、H11 两采样点的 pH 值大于 7。究其原因,鄱阳湖枯水呈现河相,洲滩大量出露,沉积物中的部分营养物质释放进入水体,对 pH 值产生了一定影响。由于鄱阳湖枯水期水

位下降,人类正常的生产生活活动对鄱阳湖的干扰要强于丰水期,同时对湖底沉积物的扰动作用增加,导致鄱阳湖水 pH 值减小。受到水位和气温等条件的影响,鄱阳湖枯水期大量的水生植物枯萎和死亡,水生植物对鄱阳湖水体污染物的净化能力减弱,导致鄱阳湖水体枯水期 pH 呈现中性弱酸性。W5 为赣江和修水的交汇点,受到赣江和修水两大水系的影响,修水为五大河流中里程最短且未流经较大城市的河流,水质良好。受到修水的影响,导致 W5 点的 pH 呈现为中性弱碱性。H11 为鄱阳湖过江水道,流速明显增加,溶解氧增加,鄱阳湖泥沙情况在该区域为冲刷态,导致该区域水体 pH 呈现为中性弱碱性。

2.2 鄱阳湖氮磷含量分布状况

对鄱阳湖枯水期时水体的总氮进行测试,结果见图 2。

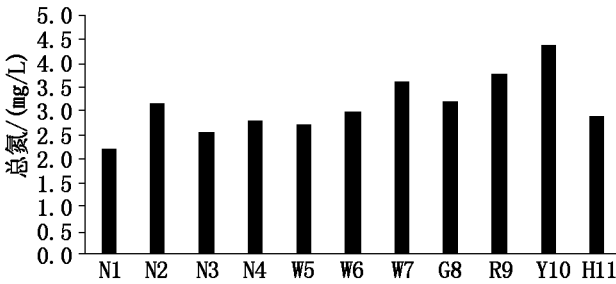


图 2 鄱阳湖枯水期总氮含量分布状况

图 2 表明:鄱阳湖水体中,总氮的平均浓度为 3.15 mg/L,远远大于刘倩纯<sup>[2]</sup>的 1.20 mg/L。总氮偏高,鄱阳湖枯水期富营养化风险大。所有采样点的总氮浓度均大于 2.00 mg/L,其中 N2、W7、R9 和 Y10 号点的浓度超过了 3 mg/L。N1、N3 和 W5 总氮浓度相对较低,分别为 2.23 mg/L、2.57 mg/L 和 2.75 mg/L。H11 作为鄱阳湖唯一出水口,其总氮浓度却低于鄱阳湖区的某些区域,仅为 2.92 mg/L。其他采样点总氮浓度基本在 3.00 mg/L 左右波动,变化幅度不大。

N2 所在的万家桥在采样时为鄱阳湖主湖体和碟形湖的连接水道,水位较浅,同时该区域也是当地小型船只的过道,人类活动对这一区域影响很大;而 W7 点为吴城候鸟越冬的主要越冬区之一<sup>[3]</sup>和游客观鸟区,水位较浅。采样时该区域聚集了大量的候鸟和游客,候鸟排泄物的分解和游客的旅游活动影响导致该区域总氮浓度偏高;R9 号点为饶河入湖口,饶河段总氮含量高于其他区域这一结果和其他学者研究的鄱阳湖总氮含量分布一致<sup>[4]</sup>;Y10 点为南昌市郊区的瑶湖,有大量来自南昌市的城市用水进入湖区,导致瑶湖总氮含量偏高<sup>[5]</sup>。N1、N3 和 W5 分别为鄱阳湖在南矶山的主湖体、

南矶山碟形湖和吴城赣修交汇河口处,这三处样点水位较深,水域面积广阔,受人类活动较小,同时,这三处样点岸边水生植物茂盛,水体透明度较高,导致 N1、N3 和 W5 总氮的含量明显低于其他样点。通过 H11 的数据可以看出,鄱阳湖湖体水质对总氮的净化作用明显,使得湖口总氮浓度相对较低。

对鄱阳湖水体总磷进行测试,测试结果见图 3。

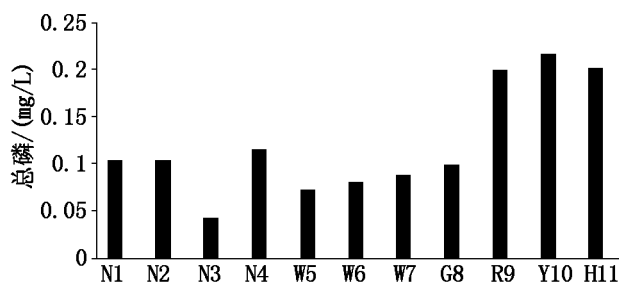


图 3 鄱阳湖枯水期总磷含量分布状况

从图 3 可以看出:鄱阳湖水体中平均含磷量为 0.121 mg/L,磷含量也达到了富营养化水平。鄱阳湖不同区域磷的含量差异显著,其中 R9、H11 和 Y10 的磷含量分别为 0.200 mg/L、0.203 mg/L 和 0.218 mg/L,明显超过其他区域,浓度是吴城和南矶山主湖体的两倍,是南矶山碟形湖的 4 倍。N3 总磷浓度最低,仅有 0.044 mg/L。N1、N2 和 N4 总磷浓度基本在 0.100 mg/L 左右波动,W5、W6 和 W7 总磷浓度在 0.080 mg/L 左右。鄱阳湖枯水期总磷含量的空间变化差异非常明显,其变化幅度也非常大。

究其原因,R9 是鄱阳湖重要的粮食主产区和水产养殖区<sup>[4]</sup>,化肥、农药和水产养殖投放的饲料要大于其他区域,从而导致该区域磷的含量偏高。H11 受到鄱阳湖全区的污染,尤其是受到九江附近县市的工业和生活用水的污染,导致该区域总磷含量偏高。Y10 受到南昌市城市生活用水的影响,城市用水对总磷的贡献较大,导致总磷含量较高。N3 样点位南矶山碟形湖,与主湖体通过狭窄的短浅河道相通,受主湖体水体影响较小,同时该区域被众多水生植物所环绕,水生植物对总磷的吸收作用明显,导致该区域总磷浓度较低。

鄱阳湖水体中总氮和总磷的变化趋势明显,从以上两图可以看出:鄱阳湖区水体中总氮含量高的区域总磷含量也同样偏高。而南矶山区域的碟形湖中总氮含量相对较小,总磷含量也同样偏小。通过 spss 软件分析结果显示,鄱阳湖区的 TP 和 TN 呈现为显著正相关( $r = 0.623$ )。

通过对图 2 进行深入分析可以发现,鄱阳湖 TN 的

含量分布有着比较明显的空间差异,各水域的 TN 含量波动大,其中以饶河段的 TN 含量为最大。然而从湖口点的 TN 含量数据可以发现,湖口段的 TN 含量要略低于饶河段的 TN 含量数据。由此可以说明,上游来水在通过鄱阳湖主湖体后,水质得到净化<sup>[6]</sup>。究其原因可能是由于鄱阳湖区主湖体和碟形湖中丰富的水生植物和微生物大量的吸收利用了鄱阳湖水体中的氮,实现了对鄱阳湖水质的净化。通过对图 2 的深入分析可以发现,鄱阳湖水体中总磷的含量分布同样存在这非常明显的空间差异,不同水域间的总磷含量空间波动很大。同时,在同一水体中,河口段的总磷含量要高于河道和湖体。其原因可能是受到河口段多为人工采砂场,采砂活动加大了对河床泥沙的扰动,导致沉积物中的磷大量释放到水体中<sup>[7]</sup>。同时,通过对图 2 和图 3 的数据综合分析,可以非常清楚的得出以上所有采样点的 N/P 均超过了 20:1,远远大于浮游植物最适生长的氮磷比 7:1<sup>[8]</sup>,可见鄱阳湖在枯水期的富营养化限制因子还是以磷为主。

### 2.3 鄱阳湖重金属含量变化

本文对鄱阳湖枯水期采样点水体样本中的(Hg)、铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)和镉(Cd)物种重金属进行检测分析,得出结果见图 4。

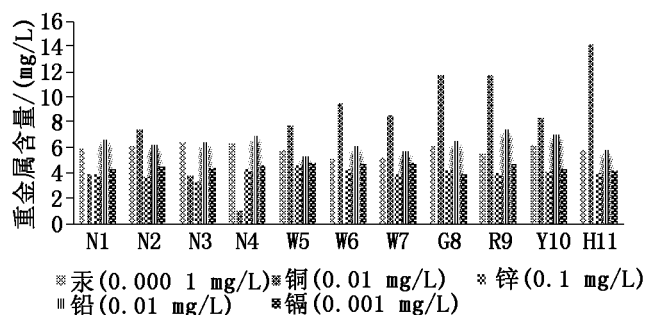


图 4 鄱阳湖枯水期重金属含量分布状况

图 4 结果表明鄱阳湖重金属污染物主要是以铜为主。5 种主要重金属污染物中,汞在鄱阳湖的污染在空间上差异并不十分明显,全湖汞的含量基本维持在 0.0006 mg/L。铜的含量在空间上差异非常大,其中,在南矶山主湖区和碟形湖中,铜的含量最少,仅有 0.04 mg/L,然而在赣江入湖口<sup>[9]</sup>、饶河入湖口和鄱阳湖过江水道处,铜的污染物含量均超过了 0.10 mg/L,是铜含量最少的南矶山碟形湖的 3 倍多。铜在以上区域含量极高的原因主要是铜矿开采所带来的尾矿污染<sup>[10]</sup>。赣南地区是中国重要的有色金属生产基地,而饶河上游则有着中国重要的大型铜矿——德兴铜矿。这两大河流

中所带来的重金属铜是鄱阳湖水体中铜的主要来源,通过对湖口地区的铜含量分析可以发现,鄱阳湖水体虽然对铜有着一定的净化作用,但效果非常不理想。通过 10 号采样点的数据可以看出,城市用水对 Cu 的贡献率不大。

2.4 鄱阳湖水体主要污染物的时间分布差异

为了分析鄱阳湖水体中污染物的时间分布差异,通过本次研究数据和前人对鄱阳湖污染物含量数据进行比较分析,得出结论如下:

①枯水期鄱阳湖表层水体总氮比以前有了较大的增加,鄱阳湖枯水期富营养化的风险进一步增大。刘倩纯等研究了鄱阳湖 2010 年 11 月鄱阳湖枯水期的营养盐含量,得到鄱阳湖枯水期总氮含量为 1.2 mg/L,饶河口的总氮含量最大,达到 3.14 mg/L。而本次研究数据可以看出,2015 年 12 月鄱阳湖表层水体总氮平均含量达到 3.15 mg/L,已经高于刘倩纯等所得到的鄱阳湖总氮最大值。刘倩纯的研究得到鄱阳湖总氮含量最低的区域为赣江北支入湖口,而本次研究数据表明 2015 年 12 月总氮含量最低的区域为南矶山主湖体和碟形湖区,由此说明,近年来赣江水质的污染程度相较于以前有了较大的增加。

②赣江水体总磷含量较以前有较大程度的增加。通过对刘倩纯等关于总磷的含量数据进行比较分析,刘倩纯的研究结果表明鄱阳湖表层水体平均含磷量为 0.11 mg/L,与本研究总磷含量的 0.121 mg/L 基本一致,可见近年来鄱阳湖总磷含量的变化情况不大。刘的研究和本次研究都表明鄱阳湖总磷含量最大的区域为饶河河口和湖口地区,但是刘倩纯的研究表明总磷含量较小的区域为赣江北支入湖口和南矶山碟形湖,而本研究的结果可以看出,2015 年 12 月赣江入湖口总磷含量与吴城大湖池等区域基本持平,由此可见,赣江近年来总磷含量较以前有一定的增加。

③鄱阳湖枯水期表层水体主要重金属含量较以前大大增加。刘倩纯等通过对鄱阳湖表层水体铜、锌、铅、镉的含量进行测定,得到铜、锌、铅、镉的平均含量为 45.53 μg/L、94.07 μg/L、4.45 μg/L 和 0.13 μg/L。而本次研究得到以上 4 种重金属的平均含量为 89.43 μg/L、407.54 μg/L、6.45 μg/L 和 0.45 μg/L,相比于刘倩纯的研究,4 种重金属含量都有非常大的增加,其中铜的含量增加了 1 倍,锌的含量增加了 4 倍,镉的含量增加了 3 倍。

由上可得,鄱阳湖表层水体近年来水质污染情况严重。2015 年 12 月总氮含量、重金属含量都比 2010 年 11 月有着大幅度的增加,对鄱阳湖水体的水质产生了非常大的影响。

2.5 鄱阳湖水体营养物质和重金属含量的主成份分析

为了进一步揭示鄱阳湖水体的污染情况,运用 spss 软件对鄱阳湖水体中总氮、总磷、汞、铜、锌、铅、镉这 7 项指标进行主成份分析。方差分解主成份结果见表 2。

表 2 主成份分析结果

成份	初始特征值		
	特征根	方差的百分数/%	累积/%
1	2.364	33.770	33.770
2	1.965	28.075	61.845
3	1.097	15.669	77.513
4	0.624	8.918	86.431
5	0.405	5.785	92.217
6	0.314	4.486	96.702
7	0.231	3.298	100.000

表 3 主成份因子分析

	成份			
	1	2	3	4
总磷	0.861	-0.160	0.069	0.275
总氮	0.796	0.258	-0.086	0.270
铜	0.745	-0.138	0.470	-0.244
镉	-0.175	0.921	0.093	0.013
汞	-0.280	-0.744	-0.098	0.442
锌	0.069	0.155	0.961	-0.070
铅	0.314	-0.154	-0.103	0.868

表 2 结果显示前 4 个主成份提供了原有信息的 86.431%,满足因子选取的原则(>85%)。说明前 4 个因子能够很好的描述鄱阳湖水质的污染情况。表 3 结果显示:与第一主成份密切相关的是总氮、总磷和铜,这 3 种污染物与第一主成份的相关系数绝对值都超过了 0.7,在第一成份的正方向起作用。总氮和总磷是水体营养成份的主要组成部分,而铜则是鄱阳湖重金属污染的主要污染物。因而第一主成份反映了鄱阳湖水体的主要污染水平。第二主成份中汞和镉的因子载荷较高;第三主成份中锌的因子载荷较高;第四主成份中铅的载荷因子较高。从方差贡献率的角度来看,第一主成份方差贡献率为 33.770%,要大于第二、三、四主成份的 28.075%、15.669% 和 8.918%。说明鄱阳湖水质还是受到由第一主成份中的总氮、总磷和铜的影响为主。

3 结论与展望

3.1 结 论

枯水期鄱阳湖表层水体中总氮和总磷的含量较高,

而且呈现出明显的空间分布差异。其中吴城大湖池、饶河河口和瑶湖等区域的总氮含量较高分别达到了 3.65 mg/L、3.82 mg/L 和 4.42 mg/L。饶河河口、瑶湖和湖口等区域总磷含量较高,分别达到 0.2 mg/L、0.218 mg/L 和 0.203 mg/L。南矶山主湖体和碟形湖区域的总氮和总磷含量较低,总氮含量分别为 2.23 mg/L 和 2.57 mg/L;总磷含量分别为 0.105 mg/L 和 0.044 mg/L。同时,总氮含量变化受水位影响非常大,水位浅的区域总氮含量较高。

枯水期鄱阳湖表层水体中重金属污染物主要以铜为主,且铜污染物的空间分布差异明显,饶河河口区域和赣江与修水的交汇处和湖口区域铜的含量较高,分别达到 0.084 8 mg/L 和 0.143 mg/L。南矶山碟形湖铜的含量较低,只有 0.037 9 mg/L。这说明了鄱阳湖重金属铜的污染物来源主要是饶河、赣江和修水。

人类活动对鄱阳湖水体污染物的影响非常明显,总氮和总磷来源主要是城市用水、农业用水、工业废水排放和人工采砂使得沉积物中氮磷释放等途径;铜的来源主要是铜矿开采所产生的尾矿排放;其他重金属污染则是由于上游有色金属开采和工业废水排放所造成。

相较于以前,鄱阳湖总氮含量和重金属含量大大增加,氮污染物和重金属污染物已经成为了影响鄱阳湖水质的主要影响因子。

### 3.2 展望

鄱阳湖是长江中下游最大的淡水湖泊,其水质的保护对长江中下游的用水安全有着非常重要的作用。为更好的保护鄱阳湖的水质,我们应该加强对城市用水和

工业废水的治理,尽量将城市用水和工业废水中的污染物含量降到最低;积极推广绿色农业,减少化肥和农药的使用。加强对采矿业的整治,减少采矿所产生的重金属污染;积极整顿鄱阳湖非法采砂等破坏鄱阳湖生态系统和生态环境的行为,减少人类活动对鄱阳湖生态系统的干预。

### 参考文献:

- [1] 刘影,范娜,于秀波,等. 基于 RS 和 GIS 的鄱阳湖天然湿地边界确定及季节变化分析[J]. 资源科学,2010,11:2239~2245.
- [2] 刘倩纯,胡维,葛刚,等. 鄱阳湖枯水期水体营养浓度及重金属含量分布研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,10:1230~1235.
- [3] 林玉茹. 鄱阳湖枯水现象的水文分析及湿地生态系统响应研究[D]. 南昌大学,2010.
- [4] 肖协文,王玉玉,张欢,等. 饶河枯水期主要鱼类营养级位置及其影响因素[J]. 生态学报,2015,18:6216~6223.
- [5] 陈杨. 瑶湖水体营养化现状及其与环境因子关系的研究[D]. 华东交通大学,2012.
- [6] 雷婷. 鄱阳湖南矶山湿地土壤对氮的吸附与释放特性初步研究[D]. 南昌大学,2008.
- [7] 张琰,陈晓玲,张媛,等. 水文地貌分区下鄱阳湖丰水期水质空间差异及影响机制[J]. 中国环境科学,2014,10:2637~2645.
- [8] 孙凌,金相灿,钟远,等. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报,2006,07:1218~1223.
- [9] 曾凡萍. 饶河乐安江段及入鄱阳湖口处沉积物中重金属的空间变化和污染特征[D]. 南昌大学,2007.
- [10] 王小玲,王歆,刘腾云,等. 江西主要类型重金属污染现状及修复实践[J]. 江西科学,2014,05:594~599.

编辑:张绍付

## Researches on the spatial and temporal distribution of primary water pollutants during dry season in Poyang Lake

GUO Qiuping, ZHANG Ting, ZHANG Jian

(Geography and Environment School of Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

**Abstract:** The present study measured the contents of water pollutants (i. e., total nitrogen, total phosphorus, mercury, copper, zinc, lead, cadmium) in the Poyang Lake, the estuaries of the five - river, river channel at Hukou, the main river downstream of Gan River and wetland around Nanchang during dry season of 2015. Results showed that the mean concentrations of total nitrogen, total phosphorus and copper in Poyang Lake were respectively of 3.145 mg/L, 0.121 mg/L and 0.089 mg/L; The mean concentrations of mercury, zinc, lead and cadmium were respectively of  $5.932 \times 10^{-4}$  mg/L, 0.408 mg/L, 0.0645 mg/L and  $4.516 \times 10^{-2}$  mg/L. There were significant differences in the spatial distributions of total nitrogen, total phosphorus and copper, which were much higher in the regions of the estuaries of Rao river, Wanghuting at Wucheng and Hukou while were relatively lower in disc lakes at Nanjishan.

**Key words:** Poyang Lake; ecotone; nitrogen and phosphorus; heavy metals; spatial distribution

翻译:符 辉