

文章编号: 1000-5862(2015)04-0435-06

# 赣江水体氮磷营养盐分布特征与污染来源

王 鹏 陈多多 陈 波

(江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室 江西 南昌 330022)

**摘要:**以2013年1月和6月实测数据为参考,分析赣江水体氨态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )和总磷(TP)分布特征和污染来源。结果表明:赣江水体枯水期的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 平均质量浓度高于丰水期,但不具有统计学意义;枯水期的TP平均质量浓度显著高于丰水期。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在赣州和南昌市区下游出现极大值;枯水期干流 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度在赣州和南昌市区下游较高,丰水期干流浓度相差不大,支流中桃江和袁水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度明显偏高;枯水期赣江TP质量浓度在赣州市和南昌市下游出现高值区,丰水期只在赣州市下游出现高值区。通过赣江氮磷营养盐的时空分布特征以及与 $\text{Cl}^-$ 质量浓度的相关性得出,赣江 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 污染主要来源于城市污水排放; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在枯水期主要来源于城市污水排放,丰水期则来自农业污水和城市污水的共同作用;TP主要来源于城市污水排放,其次为农业污水影响。

**关键词:**赣江;氮磷营养盐;分布特征;污染来源

**中图分类号:** X 522 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2015.04.20

## 0 引言

随着人为源氮磷排放的增加,陆地表层生态系统中氮磷循环速度加快,世界上多数陆地水体的营养盐浓度明显增加,造成水流相对缓慢的湖泊或海湾富营养化,对水环境和饮用水安全造成严重威胁<sup>[1]</sup>。随着鄱阳湖流域的经济发展,鄱阳湖水质呈逐年恶化趋势,总氮(TN)、总磷的质量浓度从1988年的 $0.680\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.076\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[2]</sup>增长到2006年的 $1.590\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.730\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[3]</sup>。近年来,鄱阳湖营养盐质量浓度没有好转趋势,2010年鄱阳湖TN质量浓度下降为 $1.500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,其中主要的氮素形态为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ( $0.840\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),其次为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ( $0.370\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),枯水期各形态氮质量浓度高于丰水期<sup>[4]</sup>;2010年10月和2011年5月鄱阳湖水体TN质量浓度平均值分别为 $1.200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.830\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,TP质量浓度分别为 $0.110\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.050\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[5]</sup>;江湖关系的变化也增加了沉积物吸附性TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的释放速率,加剧了水质恶化<sup>[6]</sup>;2011年鄱阳湖丰水期TN、TP质量浓度分

别为 $1.389\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.067\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[7]</sup>;这均已超过了发生“水华”现象的TN和TP限制质量浓度 $0.200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.020\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,鄱阳湖已经面临富营养化的威胁<sup>[8-9]</sup>。

赣江是鄱阳湖的第一大支流,它发源于闽赣交界的武夷山区,自南向北流经赣州、吉安和南昌等城市后注入鄱阳湖。赣江流域属亚热带季风湿润气候,年平均降水量 $1620\text{ mm}$ ,水资源量丰沛,径流量约占鄱阳湖水系总径流量的46.6%。在鄱阳湖的主要支流中,赣江是鄱阳湖氮素的主要贡献者<sup>[10-11]</sup>;赣江入湖TP负荷占河道入湖总负荷的57%<sup>[12]</sup>。刘足根等<sup>[13]</sup>通过2009—2010年3次对赣江流域浮游植物群落特征的淡水生态学调查,认为赣江水体已经呈现富营养化趋势。因此,研究赣江水体氮磷营养盐的分布、来源及影响因素对赣江流域的水环境保护和鄱阳湖富营养化的防治具有重要意义。

通过2013年1月(枯水期)和6月(丰水期)对赣江干流及主要支流河水的采集,本文分析赣江水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和TP的时空分布特征,探讨氮磷营养盐的污染来源和影响因素,为控制赣江流域的水质污染和防治鄱阳湖水体富营养化提供科学依据。

收稿日期:2015-03-15

基金项目:国家自然科学基金(41201033)和鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室(江西师范大学)开放基金(PK2012007)资助项目。

作者简介:王 鹏(1982-),男,山东济宁人,副教授,博士,主要从事流域水循环与水环境研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置

采样点位置确定的主要原则是:为研究赣江不同河段的氮磷质量浓度,在干流的上游、中游和下游各设置若干个采样点;为研究子流域的污染源,在赣江主要支流下游设置 1 个采样点;为研究城市污水对氮磷质量浓度的影响,在赣江干流经过的城镇上下游设置采样点(见表 1).共设置 22 个采样点,如图 1 所示.分别于 2013 年 1 月(枯水期)和 6 月(丰水期)进行了水样采集.每次采样选用顺流采样方

式,即按照从上游到下游的方式采取水样.

### 1.2 水质指标测定

水样在河中心 20 cm 深度处提取,通过 0.45  $\mu\text{m}$  的孔径醋酸纤维滤膜过滤,并加  $\text{H}_2\text{SO}_4$  酸化保存,装入取样瓶密封,在  $0^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$  温度下冷藏,用于  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 和  $\text{Cl}^-$  质量浓度测定. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TP 质量浓度通过全自动间断化学分析仪(SmartChem 200)测定,分别为纳氏试剂比色法(GB/T 7479-1987)和过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法(GB/T 11894-1989). $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{Cl}^-$  质量浓度通过戴安 ICS-2100 离子色谱系统测定.

表 1 采样点位置描述

编号	位置	编号	位置	编号	位置	编号	位置
S01	梅江下游	S08	章水下游	S14	恩江下游	S21	南昌市区上游
S03	于都县城上游	S09	赣州市区下游	S15	吉水县城下游	S22	赣江南支
S04	于都县城下游	S10	万安县城下游	S16	峡江县上游	S23	赣江中支
S05	平江下游	S11	遂川江下游	S17	袁河中游	S24	赣江北支
S06	桃江下游	S12	泰和县城上游	S18	袁河下游		
S07	赣州市区上游	S13	禾水下游	S20	丰城市区上游		

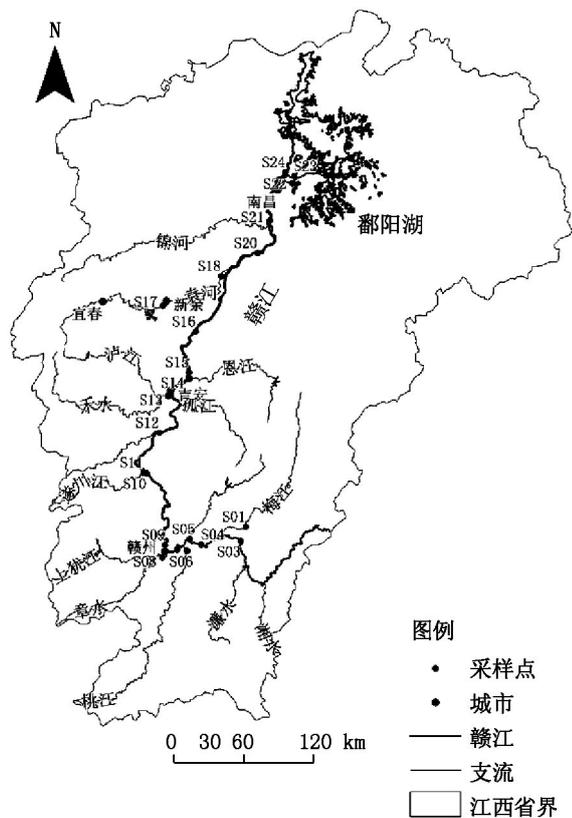


图 1 采样点位置

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮磷质量浓度的季节分布特征

表 2 为氮磷质量浓度的统计量;图 2 为 2013 年 1 月和 6 月赣江水体的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 质量浓度分布.

从表 2 可以看出,在季节上,1 月  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均质量浓度为  $1.850 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,比 6 月多  $0.240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,但在统计学意义上差异不显著( $P = 0.345$ );1 月  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均质量浓度分别为  $0.500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,比 6 月多  $0.080 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,也没有通过 0.05 水平的统计检验( $P = 0.496$ ).王毛兰等<sup>[14]</sup>在 2006 年 1 月和 7 月对赣江水体 DIN 的研究中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均质量浓度分别为  $1.120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.320 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均质量浓度分别为  $0.320 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,对比可知赣江水体 DIN 质量浓度呈上升趋势.1 月 TP 平均质量浓度为  $0.042 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,比 6 月多  $0.025 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,满足 0.05 水平的统计检验( $P = 0.047$ ).

由表 2 可知,由于赣江水体中  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的质量浓度很小<sup>[14]</sup>,水体中无机氮(DIN)主要由  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  组成, 则  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为赣江水体 DIN 的主要形态, 占  $(76.5 \pm 11.9)\%$ , 其中 1 月为  $(78.7 \pm 14.1)\%$ , 6 月为  $(74.1 \pm 9.5)\%$ .

表 2 赣江  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 质量浓度统计量

	样品个数	最小值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	最大值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	均值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	标准差/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	1 月	22	0.520	4.580	1.850
	6 月	22	0.810	2.600	1.610
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	1 月	22	0.010	2.140	0.500
	6 月	22	0	1.560	0.420
TP	1 月	22	0	0.221	0.042
	6 月	22	0	0.074	0.017

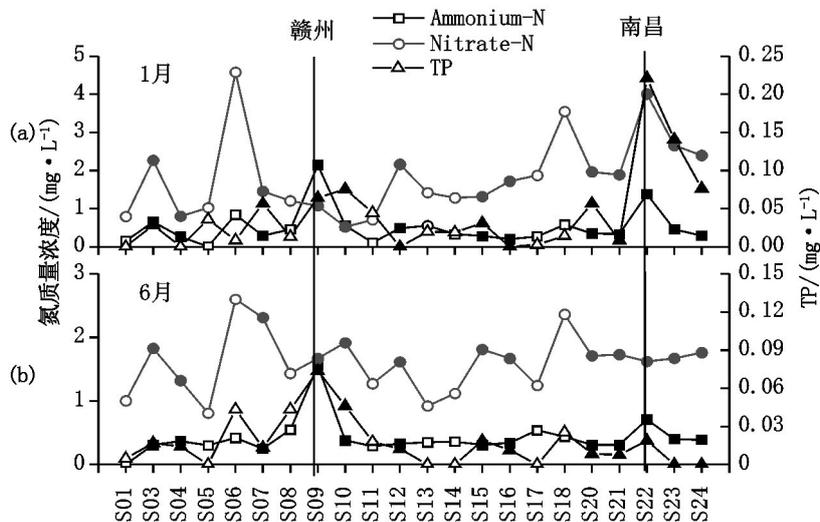
2.2 氮磷质量浓度的空间分布特征

从图 2 可以看出, 赣江干流  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度从上游到下游没有统一的变化趋势, 但在枯水期从干流的 S03 ( $2.270 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 流经 S04、S07、S09 至 S10 呈下降趋势, 并在 S10 处出现最小值  $0.520 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 随后的 S12、S15、S16、S20 和 S21 采样点  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度在  $1.300 \sim 2.100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  之间, 流经南昌后  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度明显升高, 赣江南支达到最大值  $4.010 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 中支和北支分别为  $2.660 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.390 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 也明显高于平均值; 丰水期干流  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度相对稳定, 最大值为 S07 点的  $2.310 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 最小值为 S04 点的  $1.320 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 流经南昌后也没有明显升高. 支流质量浓度在枯水期和丰水期规律相似, S06 桃江  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度最高, 分别为  $4.580 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 同时也是流域上各采样点的质量浓度最高值; 其次为 S18 袁河下游, 分别为  $3.550 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.360 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 其它各支流  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量浓度

相差不大.

赣江  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度在枯水期和丰水期的空间分布规律类似, 最大值出现在赣州城区下游的 S09 点, 分别为  $2.140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.560 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 其次为南昌城区下游的赣江南支 S22 点, 分别为  $1.380 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.710 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 其它各干流及支流  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  质量浓度较小, 枯水期和丰水期的变化范围分别为  $0.010 \sim 0.840 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0 \sim 0.550 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

枯水期赣江 TP 质量浓度在赣州市和南昌市下游出现高值区, 赣州下游的 S09 和 S10 分别为  $0.064 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.076 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 南昌下游的 S22、S23 和 S24 分别为  $0.221 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.141 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.077 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 其它各干流和支流 TP 质量浓度较小, 且有 4 个点的质量浓度值低于检测值. 丰水期赣江 TP 质量浓度只在赣州市下游出现高值区, S09 和 S10 分别为  $0.074 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.046 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 南昌下游 TP 质量浓度很小, 可能是由于丰水期下游河水径流量大, 稀释作用明显.

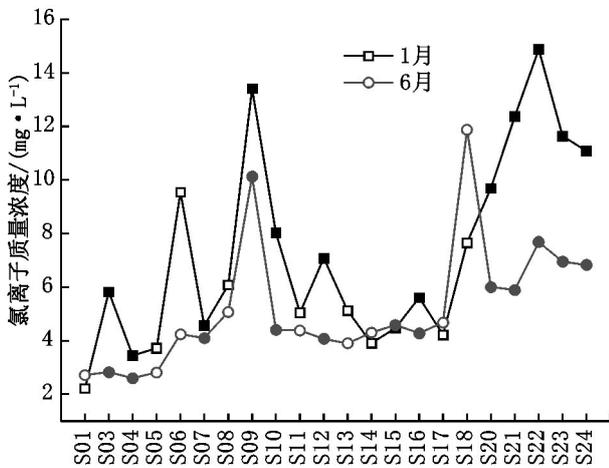


注: (a) 为 1 月采样点, (b) 为 6 月采样点; 实心符号表示干流采样点, 空心符号表示支流采样点.

图 2 赣江  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 质量浓度分布

### 2.3 氮磷营养盐及 Cl<sup>-</sup> 质量浓度的相关性

河水 Cl<sup>-</sup> 的来源可分为自然源和人为源 2 种. 自然源包括大气降水输入、含氯矿物的溶解和海洋飞溅物; 人为源主要来自工业废水和生活污水. 近年来 赣江 Cl<sup>-</sup> 质量浓度呈明显上升趋势, 这体现了人为源的影响<sup>[15]</sup>. 赣江 Cl<sup>-</sup> 质量浓度分布如图 3 所示.



注: 实心符号表示干流采样点, 空心符号表示支流采样点.

图 3 赣江 Cl<sup>-</sup> 质量浓度分布

从图 3 可以看出, 1 月枯水期平均质量浓度为

7.250 mg · L<sup>-1</sup>, 高于 6 月丰水期的 5.200 mg · L<sup>-1</sup> (P=0.03). 枯水期干流 Cl<sup>-</sup> 质量浓度的最大值出现在南昌市区下游的赣江南支 S22, 其值为 14.880 mg · L<sup>-1</sup>, 次大值出现在赣州市区下游的 S09, 其值为 13.410 mg · L<sup>-1</sup>; 丰水期干流 Cl<sup>-</sup> 质量浓度的最大值出现在赣州市区下游的 S09, 其值为 10.130 mg · L<sup>-1</sup>, 次大值出现在南昌市区下游的赣江南支 S22, 其值为 7.690 mg · L<sup>-1</sup>. 干流 Cl<sup>-</sup> 质量浓度分布体现了城市污水(工业废水和生活污水)是 Cl<sup>-</sup> 的主要来源. 枯水期支流最大值出现在桃江 S06, 其值为 9.550 mg · L<sup>-1</sup>, 次大值出现在袁河下游 S18, 其值为 7.650 mg · L<sup>-1</sup>; 丰水期袁河下游 S18 的 Cl<sup>-</sup> 质量浓度明显高出其它支流, 其值为 11.880 mg · L<sup>-1</sup>.

氮磷营养盐和 Cl<sup>-</sup> 质量浓度的相关矩阵见表 3. 从表 3 可知, 1 月枯水期 Cl<sup>-</sup> 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TP 均存在显著相关, 其中与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的相关系数最高, 其值为 0.666; TP 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 存在显著相关; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、TP 不存在显著相关. 6 月丰水期 Cl<sup>-</sup> 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 存在显著相关(相关系数为 0.609), 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TP 不存在显著相关; TP 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 显著相关(相关系数分别为 0.436 和 0.687); NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 也不存在相关性.

表 3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TP 和 Cl<sup>-</sup> 质量浓度的相关矩阵

1 月	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	TP	6 月	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Cl <sup>-</sup>	TP
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1.000	0.315	0.666**	0.435*	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1.000	0.107	0.609**	0.687**
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.315	1.000	0.544**	0.337	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.107	1.000	0.410	0.436*
Cl <sup>-</sup>	0.666**	0.544**	1.000	0.656**	Cl <sup>-</sup>	0.609**	0.410	1.000	0.378
TP	0.435*	0.337	0.656**	1.000	TP	0.687**	0.436*	0.378	1.000

注: \*\* 表示相关性较显著 (P < 0.010), \* 表示相关性显著 (P < 0.05).

### 2.4 氮磷营养盐污染源分析

N 的潜在污染源可分为天然源和人为源 2 种. 前者主要包括大气沉降以及土壤氮; 后者主要包括农业合成氮肥和生活污水. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 是水体 DIN 的主要形态, 由表 3 可知 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 不具有显著的相关性, 这表明赣江水体中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的污染来源不同. 从图 2 可以看出, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的高质量浓度值只出现在赣州城区和南昌城区下游, 其它干流及支流各点 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度相对稳定, 这表明赣江河水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 主要来源于城市污水排放; 尽管农业化肥中也含有大量 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 但 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 容易被土壤颗粒吸附和植物根系吸收, 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 相比, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 不易从土壤淋失进入河流<sup>[16]</sup>. 由于河水中

Cl<sup>-</sup> 主要来自城市污水排放, 包括化工、制药、造纸和纺织等行业所排放的工业废水以及居民生活污染(尿中约含 1% 的氯化钠)<sup>[17-18]</sup>, 赣江流域水体 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与 Cl<sup>-</sup> 在枯水期和丰水期具有较高的相关系数, 其值分别为 0.666 和 0.609 (P < 0.010), 这也体现出城市污水排放是赣江河水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的主要来源.

赣江 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度的变化范围大于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 体现了 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 污染来源的多样性. 赣江干流的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度最大值在枯水期出现在南昌市区下游 (S22), 丰水期则出现在桃江入赣江口下游 (S07); 支流中桃江的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度最高, 袁河的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度为其次. 赵中华<sup>[19]</sup> 通过氮收支

平衡方法在桃江流域建立氮平衡变化模型,他认为农业非点源污染是流域氮素输入的主要来源,化肥施用输入氮占氮总输入量比例超过44%,其中信丰县是国家商品粮基地县,化肥使用量占全流域的43%;袁河的 $\text{NO}_3^-$ -N质量浓度较高,同时 $\text{Cl}^-$ 质量浓度也很高,可能与袁河新余段的城市污水排放有关<sup>[14]</sup>。 $\text{NO}_3^-$ -N与 $\text{Cl}^-$ 在枯水期具有显著的相关性(相关系数为0.544,  $P < 0.010$ ),在丰水期相关性不显著,这也体现了 $\text{NO}_3^-$ -N来源的复杂性。城市污水排放相对稳定,枯水期和丰水期相差不大;而枯水期农作物种植少,化肥使用量小,同时降水径流也小,农业污水排放远小于丰水期。由 $\text{NO}_3^-$ -N质量浓度的时空变化以及与 $\text{Cl}^-$ 的相关性可以推断,赣江水体 $\text{NO}_3^-$ -N在枯水期主要来源于城市污水排放,丰水期则来自农业污水和城市污水的共同作用。Li Siliang等<sup>[20]</sup>在2006年丰水期利用氮氧同位素方法分析了长江干流及主要支流 $\text{NO}_3^-$ 的来源,他们认为长江 $\text{NO}_3^-$ 主要来自土壤氮硝化(包括化肥)和城市污水排放,与本文研究结果是一致的。

赣江TP质量浓度在赣州和南昌市区下游出现极大值,这表明城市污水排放是TP的主要来源。赣江水体TP在枯水期与 $\text{NH}_4^+$ -N和 $\text{Cl}^-$ 都具有显著相关性(相关系数分别为0.435和0.656),即城市污水排放是赣江水体TP的主要来源。丰水期TP和 $\text{NH}_4^+$ -N仍具有显著相关性(相关系数为0.687),同时与 $\text{NO}_3^-$ -N也具有显著相关性(相关系数为0.436),化肥输入量较多的桃江流域TP也较高(质量浓度为 $0.044 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),这说明农业污水对TP质量浓度也有着一定影响。

### 3 结论

通过对赣江干流及主要支流枯水期和丰水期 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N和TP质量浓度分布特征的分析,得到如下结论:

1) 赣江水体枯水期的 $\text{NO}_3^-$ -N和 $\text{NH}_4^+$ -N平均质量浓度高于丰水期,但不具有统计学意义;枯水期的TP平均质量浓度显著高于丰水期。枯水期氮磷浓度的变化范围大于丰水期。

2)  $\text{NH}_4^+$ -N质量浓度在赣州和南昌市区下游出现极大值,其它干流及支流质量浓度较小且变化不大;枯水期干流 $\text{NO}_3^-$ -N质量浓度在赣州和南昌市区下游较高,丰水期干流 $\text{NO}_3^-$ -N质量浓度相差不大,

支流中桃江和袁水 $\text{NO}_3^-$ -N质量浓度明显偏高;枯水期赣江TP质量浓度在赣州市和南昌市下游出现高值区,丰水期只在赣州市下游出现高值区,其它各干流和支流TP质量浓度较小。

3) 通过赣江氮磷营养盐的时空分布特征以及与 $\text{Cl}^-$ 质量浓度的相关性得出,赣江 $\text{NH}_4^+$ -N污染主要来源于城市污水排放; $\text{NO}_3^-$ -N在枯水期主要来源于城市污水排放,丰水期则来自农业污水和城市污水的共同作用;TP主要来源于城市污水排放,其次为农业污水影响。

### 4 参考文献

- [1] Kendall C, Elliott E, Wankel S. Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems [M] // Michener R, Lajtha K. Stable isotopes in ecology and environmental science. Lancaster: Blackwell Publishing, 2007: 375-449.
- [2] 朱海, 张本. 鄱阳湖: 水文·生物·沉积·湿地·开发整治 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997: 125-128.
- [3] 余进祥, 刘娅菲, 钟晓兰, 等. 鄱阳湖水体富营养化评价方法及主导因子研究 [J]. 江西农业学报, 2009, 21(4): 125-128.
- [4] 胡春华, 张培, 曾思苗, 等. 鄱阳湖不同形态氮的时空分布特征 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 36(2): 213-217.
- [5] 刘倩纯, 余潮, 张杰, 等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析 [J]. 农业环境科学学报, 2013(6): 1232-1237.
- [6] 何宗健, 吴志强, 倪兆奎, 等. 江湖关系变化对鄱阳湖沉积物氮氮释放风险的影响 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(5): 1277-1284.
- [7] 陈晓玲, 张媛, 张琍, 等. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征 [J]. 湖泊科学, 2013, 25(5): 643-648.
- [8] 胡春华, 周文斌, 王毛兰, 等. 鄱阳湖氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 723-728.
- [9] Wu Zhaoshi, Cai Yongjiu, Liu Xia, et al. Temporal and spatial variability of phytoplankton in Lake Poyang: The largest freshwater lake in China [J]. Journal of Great Lakes Research, 2013, 39(3): 476-483.
- [10] 王毛兰, 周文斌. 鄱阳湖水体无机氮时空分布特征研究 [J]. 人民长江, 2010, 41(1): 88-91.
- [11] 王毛兰, 胡春华, 周文斌. 丰水期鄱阳湖氮磷含量变化及来源分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 138-142.
- [12] 罗定贵, 吴学文, 李述, 等. 基于水、盐均衡的鄱阳湖TP

- 负荷探究 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2011, 47(2): 337-343.
- [13] 刘足根, 张柱, 张萌, 等. 赣江流域浮游植物群落结构与功能类群划分 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 375-384.
- [14] 王毛兰, 周文斌, 胡春华. 赣江流域水体无机氮分布特征 [J]. 南昌大学学报: 理科版, 2007, 31(3): 271-275.
- [15] 翟大兴, 杨忠芳, 柳青青, 等. 鄱阳湖流域水化学特征及影响因素分析 [J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 264-276.
- [16] Schwarz M, Oelmann Y, Wilcke W. Stable N isotope composition of nitrate reflects N transformations during the passage of water through a montane rain forest in Ecuador [J]. Biogeochemistry, 2011, 102(1): 195-208.
- [17] 杨驰宇. 浅谈地表水中氯化物的污染与防治 [J]. 环境科学动态, 2004(1): 25-26.
- [18] Lee K, Bong Y, Lee D, et al. Tracing the sources of nitrate in the Han River watershed in Korea using  $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$  and  $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$  values [J]. Science of the Total Environment, 2008, 395(2/3): 117-124.
- [19] 赵中华. 基于 AnnAGNPS 模型的桃江流域农业非点源污染研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [20] Li Siliang, Liu Congqiang, Li Jun, et al. Assessment of the sources of nitrate in the Changjiang River, China using a nitrogen and oxygen isotopic approach [J]. Environmental Science and Technology, 2010, 44(5): 1573-1578.

## The Distribution Characters and Pollution Sources of Nitrogen and Phosphorus Nutrients in Ganjiang River

WANG Peng, CHEN Duoduo, CHEN Bo

(Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** Based on the measured concentration of ammoniacal nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and total phosphorus (TP) in Ganjiang River in January and June 2013, the distribution characters and pollution sources of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^--\text{N}$ , TP and their influencing factors are analyzed. The results show that the mean concentration of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and  $\text{NO}_3^--\text{N}$  were higher in the dry season than that in the wet season without statistical significance, while the mean concentration of TP was significantly higher in the dry season than that in the wet season. The concentration of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  had higher value in the downstream of Ganzhou City and Nanchang City. The concentration of  $\text{NO}_3^--\text{N}$  in mainstream had higher value in the downstream of Ganzhou City and Nanchang City in the dry season, but in the wet season, the difference of  $\text{NO}_3^--\text{N}$  concentration in mainstream was small. As for the tributary, Taojiang River and Yuan River had higher concentration of  $\text{NO}_3^--\text{N}$ . The concentration of TP had a series of high value in the downstream of Ganzhou City and Nanchang City in the dry season, while in the wet season, this only appeared in the downstream of Ganzhou City. By studying the temporal and spatial distributions of nitrogen and phosphorus nutrients, together with the correlation test between  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^--\text{N}$ , TP and  $\text{Cl}^-$ , it was found out that the main pollution source of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  was urban sewage, and the main pollution source of  $\text{NO}_3^--\text{N}$  was urban sewage in the dry season, however, both urban sewage and agricultural drainage played an important role in the wet season. As for the pollution source of TP, urban sewage came first, followed by agricultural drainage.

**Key words:** Ganjiang River; nitrogen and phosphorus nutrients; distribution characteristics; pollution source

(责任编辑: 曾剑锋)