

赣江水体无机氮分布特征

陈多多, 吴敦银, 王鹏*, 李微 (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 于2013年1月(枯水期)、6月(丰水期)对赣江干流及主要支流的24个采样点进行水样采集, 分析研究了赣江水体 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N以及 NO_2^- -N的时空分布特征。结果表明, 赣江水体无机氮的主要形式为 NO_3^- -N, 约占78%, 其次为 NH_4^+ -N, NO_2^- -N含量很小, 平均浓度低于0.02 mg/L。赣江枯水期 NO_3^- -N平均含量为1.86 mg/L, 略高于丰水期的1.74 mg/L; 枯水期 NH_4^+ -N含量为0.59 mg/L, 高于丰水期的0.45 mg/L。枯水期赣江流域上游到下游 NO_3^- -N和DIN含量呈现先下降后逐渐上升的趋势, NH_4^+ -N含量在赣州附近出现最大值, 其次在南昌下游赣江南支, 其他地区含量较小, 反映了城市污水排放对 NH_4^+ -N的影响。丰水期上游至下游 NO_3^- -N含量呈逐渐下降趋势, 但降幅不大, NH_4^+ -N含量变化趋势与枯水期相似。主要支流中枯、丰水期以S06样点(桃江)的DIN含量和 NO_3^- -N含量最高, 主要原因为桃江流域农业化肥的氮输入; 其次为S18样点(袁水), 可能与新余市大量排放工业废水有关。

关键词 无机氮; 赣江流域; 时空分布; 氨态氮; 硝态氮

中图分类号 S273.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)11-03348-04

The Distributive Characters of Inorganic Nitrogen in Ganjiang River

CHEN Duo-duo, WANG Peng et al (Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research of Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022)

Abstract We sampled river water regularly in 24 sampling points dispersed in the mainstream and major tributaries in June 2013 (flood season) and January of 2013 (dry season), the spatial and temporal distribution characteristics of nitrogen in the Ganjiang River were studied. The results indicated that nitrate N (NO_3^- -N) was the main composition of inorganic N, which is 78%, followed by NH_4^+ -N, and NO_2^- -N concentration is very few, that average concentration is less than 0.02 mg/L. The average of NO_3^- -N is 1.86 mg/L in dry season in the Ganjiang River, higher than that of flood season, which is 1.74 mg/L; the average of NH_4^+ -N is 0.59 mg/L in dry season, higher than that of flood season, which is 0.45 mg/L. The concentrations of NO_3^- -N and DIN showed an increasing trend after the first decline from upstream to downstream in the Ganjiang River during dry season, while NH_4^+ -N has maximum value near downstream of Ganzhou and Nanchang, which are much higher than other samples. That reflects the influence of the urban wastewater discharge on NH_4^+ -N. The concentrations of NO_3^- -N showed slight decreasing trend from upstream to downstream in Ganjiang River during flood season, The concentrations of NH_4^+ -N showed the similar tend to the dry season. In tributaries, sample at S16 (Taojiang River) has high value in DIN and NO_3^- -N concentration in both dry season and flood season, due to nitrogen input of agricultural fertilizer in surrounding areas; sample at S18 (Yuanshui River) followed, probably because of industrial wastewater discharge of Xinyu.

Key words Inorganic nitrogen; Ganjiang River; Spatial and temporal distribution; Ammonia nitrogen; Nitrate nitrogen

近年来随着社会经济的快速发展, 以及未经处理的城镇工业和生活污水的大量排放, 打破了河流、湖泊的生态系统平衡, 水环境面临着严重的威胁, 在我国, 63.6%的河流、湖泊呈富营养化^[1]。氮、磷等营养盐的过量输入是导致水体出现富营养化现象的主要原因, 水体富营养化已经成为河流、湖泊和水库等地表水体的重要水环境问题^[2-4]。富营养化改变了水体的理化性质, 使水中生物异常, 水体透明度和溶解氧下降, 水体生态系统和水功能受到严重的破坏, 对人体健康和存在严重危害^[5]。

鄱阳湖是我国第一大淡水湖, 具有生态多样性丰富的水生生态系统。近年来, 鄱阳湖的水质呈逐年恶化的趋势, 总氮和总磷的浓度大幅度增加, 分别从1988年的0.68 mg/L和0.07 mg/L增长到2010年1.20 mg/L和0.11 mg/L^[6-9]。大量的氮素经由赣江汇入水流相对缓慢的鄱阳湖引起水体富营养化^[5]。赣江是长江的重要支流, 鄱阳湖的第一大支流, 赣江是鄱阳湖水体氮素的主要贡献者^[10]。研究赣江无机氮的时空特征对于控制赣江的氮素污染和防治鄱阳湖富营养

化都有重要意义。早在20世纪中期我国就开始关注水体氮、磷污染, 对于长江及河口水体营养盐的分布和扩散的变化等已有不少的研究^[11-12]。王毛兰等在2007年的研究结果中显示赣江水体中主要的氮素形式是 NO_3^- -N, 丰水期各形态无机氮含量明显低于枯水期^[13]。近年随着气候变化和人类活动对鄱阳湖流域水环境影响的逐渐加剧, 赣江流域的水环境质量也势必呈现新的特征^[14-15]。该研究基于2013年1月和6月对赣江流域水体进行的系统采集, 分析赣江干流和主要支流的无机氮分布变化特征, 探讨影响无机氮变化的因素, 为赣江流域环境保护和鄱阳湖乃至长江流域的富营养化防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 赣江是鄱阳湖的第一大河流, 长江下游的重要支流之一, 发源于闽赣交界的武夷山区, 自南向北经赣州、万安、吉安、樟树、丰城和南昌等地后注入鄱阳湖(图1), 全长991 km, 流域面积8.16万 km^2 。赣江分上、中、下游三段, 赣州市以上为上游, 称贡水, 贡水在赣州市城北与章水汇合后, 始称赣江; 赣州市到新干县为中游, 新干县到吴城县为下游, 主要的支流有梅江、平江、桃江、章水、遂川江、禾水、袁水、泸水等。赣江流域属亚热带湿润季风气候区, 年均气温18 $^{\circ}\text{C}$, 年降水量约为1620 mm, 水资源充沛, 年径流量约638亿 m^3 , 径流量约占鄱阳湖水系总径流量的46.6%。赣江

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

作者简介 陈多多(1989-), 女, 江西南昌人, 硕士研究生, 研究方向: 水文学。*通讯作者。

收稿日期 2014-03-01

周边采砂活动较为密集,每年进入鄱阳湖的泥沙含量占鄱阳湖水系入湖泥沙总量的60%以上,农业活动以水稻、果树、蔬菜和花生种植为主。

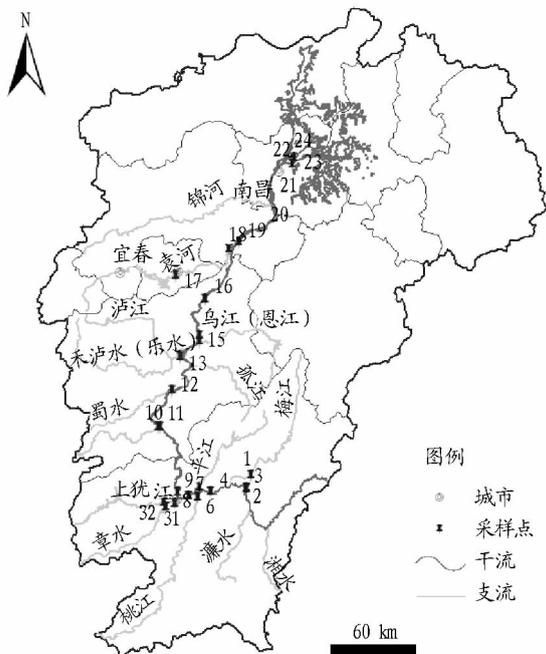


图1 赣江流域采样点位置

1.2 样品采集与数据分析 2013年1月(枯水期)和6月(丰水期)对赣江及其主要支流的表层水进行现场调查以及系统样品采集,沿着河流水流的走向从赣江上游到赣江下游,采样点布设如下:梅江、贡水、章水、平江、桃江、赣江、遂川江、禾水、恩江、袁河等共24个采样点(见图1、表1),这些采样点的设置主要针对研究区的城市生活污水及各支流对赣江干流的影响进行设计。在每个采样点采集约300 ml水样,置于清洗过的聚乙烯采样瓶中,水样采集后在24 h内采用0.45 μm孔径的醋酸纤维滤膜过滤,并加H₂SO₄酸化保存,运回实验室后立即进行化学分析。

表1 赣江采样点位置描述

城市	编号	位置	城市	编号	位置
赣州	1	支流梅江下游		13	支流禾水下游
	3	贡水(于都县上游15km)		14	支流恩江下游
	4	贡水(于都县下游20km)		15	赣江(吉水县城下游)
	5	支流平江下游		16	赣江(峡江县城上游)
	6	支流桃江下游	宜春	17	支流袁河上游
	7	贡水		18	支流袁河下游
	8	支流章水下游		20	赣江(丰城城区上游)
	9	赣江(赣州城区下游)	南昌	21	赣江(南昌城区上游)
吉安	10	赣江(万安县城下游)		22	赣江(赣江南支)
	11	支流遂川江下游		23	赣江(赣江中支)
	12	赣江(泰和县城上游)		24	赣江(赣江北支)

水体pH、电导率(EC)、水温(T)等参数在现场采用便携式水质参数仪(HANNA HI98360 便携式电导率仪)进行测定。参数NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N均按国家标准方法测定,方法分别为纳氏试剂比色法(GB/T 7479-1987),碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB/T11894-1989),钼酸铵分光光度

法(GB/T 11893-1989)^[16]。总溶解无机氮(DIN)为NO₃⁻-N、NH₄⁺-N以及NO₂⁻-N之和^[17],因多数样品的NO₂⁻-N含量低于检测线,其他样品也大多小于0.02 mg/L,故考虑DIN约等于NO₃⁻-N、NH₄⁺-N之和。

样品采集和测定所得的全部数据经输入计算机后,运用Excel2010和Origin8.5等软件进行统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 DIN时空变化特征 1月为赣江的枯水期,降雨量较小,为110 mm;EC值在40~170 μs/cm之间,平均值84 μs/cm。如图2所示,随水流方向DIN含量总体上呈增长趋势,DIN含量开始下降至S04样点后上升至S09样点,在S10样点处出现一低值后总体呈上升的趋势至S22样点后下降。DIN的含量变化范围在1.07~5.40 mg/L,平均值为2.46 mg/L,标准差为1.13 mg/L,其峰值出现在S22样点,为5.40 mg/L,低值出现在S04样点,为1.07 mg/L,差值相差5倍多,赣江上游到下游DIN含量的变化幅度很大。6月处于赣江的丰水期,降雨量达到264 mm,EC值在51~291 μs/cm之间,平均值97 μs/cm。随水流方向DIN含量开始呈现明显下降趋势至S04样点,后上升至S09样点,在S12样点出现一低值后逐渐上升至S22样点后呈下降的趋势,DIN的含量变化范围在1.72~3.28 mg/L,平均值为2.23 mg/L,标准差为0.38 mg/L,峰值出现在S09样点,为3.28 mg/L,低值出现在S04样点,为1.72 mg/L;从赣江的上游到下游DIN的含量变化呈现上游到中游逐渐上升,中游到下游的变化较平稳的趋势。

从总体上看DIN含量在枯水期要高于丰水期,枯水期DIN含量变化差异要大于丰水期,这主要是由于在丰水期随着温度的升高、降水的增多、农作物的种植,各采样点的无机氮都比较均匀。

2.2 NO₃⁻-N时空变化特征 干流NO₃⁻-N的分布如图2所示,NO₃⁻-N变化趋势与DIN含量变化趋势相似。赣江干流的NO₃⁻-N含量与季节变化息息相关。在时间分布上表现为:枯水期,沿水流方向NO₃⁻-N含量开始呈下降趋势至S04样点后上升至S07样点,而后逐渐下降至最低点S10样点后上升至S12样点,在S15样点出现一低值后呈逐渐上升趋势。采样点S22紧邻南昌下游,NO₃⁻-N浓度最高为4.01 mg/L,低值出现在S10样点(万安县),为0.51 mg/L,平均值为1.86 mg/L,标准差为0.90 mg/L,差异较显著。丰水期,随水流方向开始呈现明显下降趋势至S04样点后上升至S07样点,而后略有下降且趋于稳定。其低值出现在S04样点,为1.32 mg/L,峰值出现在S07样点,为2.31 mg/L,均值为1.74 mg/L,标准差为0.22 mg/L,差异不显著。在空间分布上表现为:枯水期上游NO₃⁻-N含量呈明显的下降趋势,上游NO₃⁻-N平均浓度为1.39 mg/L,中游在S10样点达到最低值后逐渐上升,下游呈逐渐上升的趋势,并在S22样点达到4.01 mg/L。丰水期NO₃⁻-N含量在上游呈明显的变化趋势,其中在S07为最大值,而在中下游则呈不明显的上升趋势,总体维持在较高的水平,中下游NO₃⁻-N平均浓度为1.72 mg/L。

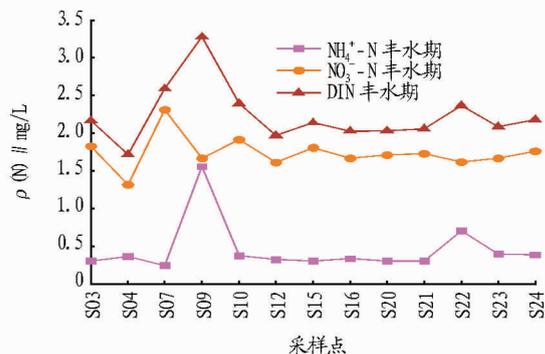
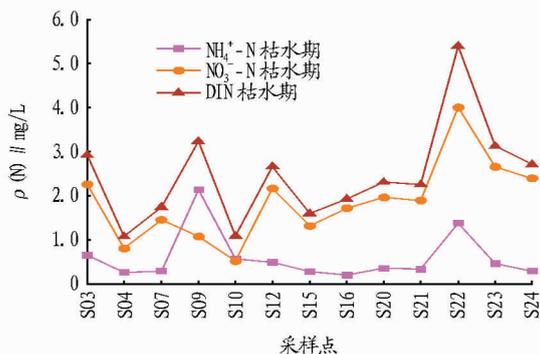


图2 赣江干流无机氮时空分布规律

在赣江流域3种溶解态无机氮中, NO_3^- -N含量约占到DIN含量的78%, NO_3^- -N是赣江流域水体中无机氮的主要存在形式(图3), NO_3^- -N含量全年变化范围为0.51~4.01 mg/L,平均值为1.80 mg/L,枯水期平均浓度1.86 mg/L,大于丰水期的1.74 mg/L,且丰水期所占比例(NO_3^- -N/DIN=79%)略高于枯水期(NO_3^- -N/DIN=76%),这一结果与国内其他研究结果相符^[18-19]。一般认为与外源性N输入有关,丰水期降水的冲刷,农田的氮素流失(NO_3^- -N为主)进入河流,导致赣江水体中的 NO_3^- -N浓度增加。

赣江各无机氮的输入除了干流沿途本身外,主要还来自于支流向干流的输送(图1)。例如各无机氮在主要支流平江、桃江、遂川江、袁水等浓度较高,其中桃江(S06)和袁水的 NO_3^- -N含量最高,平均值分别为3.70 mg/L和2.95 mg/L(表2),远大于干流平均浓度。这几条河流均将其携带的高浓度氮汇入干流,导致汇入点下游 NO_3^- -N浓度均大于上游的浓度,表明支流的输入是导致干流无机氮浓度显著升高的重要因素。赵中华通过氮收支平衡方法在桃江流域及典型研究区两个尺度分别建立氮平衡变化模型,认为农业非点源污染是流域氮素输入的主要来源,其中化肥施用输入氮占氮总输入量比例超过44%^[20]。

2.3 NH_4^+ -N时空变化特征 NH_4^+ -N是有机氮被氧化分解为无机氮的最初产物,在水中较不稳定,它可以进一步被氧化为 NO_2^- -N,最终被氧化为 NO_3^- -N。研究区 NH_4^+ -N含量全年变化范围为0.2~2.14 mg/L,全年平均值为0.52 mg/L。在时间分布上,沿水流方向赣江水域 NH_4^+ -N含量的季节变化总体上表现出枯水期>丰水期的基本特征,其平均含量分别为0.59 mg/L和0.46 mg/L,标准差分别为0.55 mg/L和0.34 mg/L,差异不显著(如图2所示)。枯水期的峰值出现在上游S09样点,为2.14 mg/L,最小值出现在下游S16样点,为0.2 mg/L。丰水期 NH_4^+ -N含量变化与枯水期有很大的相似性,S09样点同样为其峰值,1.56 mg/L,最小值为0.25 mg/L,在S07样点。空间分布上枯、丰水期 NH_4^+ -N含量表现出很大的相似性,总体上呈较平稳的变化趋势,但在流经较大的城市(S09和S22)下游 NH_4^+ -N含量明显变大。 NH_4^+ -N浓度在S09(赣州下游)及S22(南昌下游)较高,平均浓度分别为1.85 mg/L和1.04 mg/L,其他地点含量相对较低(枯、丰水期平均值分别为0.59 mg/L和0.45

mg/L),且变化不明显。

S09样点紧邻赣州市, NH_4^+ -N含量为赣江流域的最大值,枯、丰水期的 NH_4^+ -N含量分别为2.14 mg/L和1.56 mg/L,均超过全年的平均值0.53 mg/L和Ⅳ类水标准(<1.5 mg/L)。这主要包括两方面的原因,一方面是赣江上游干、支流 NH_4^+ -N的输送,另一方面则是赣州市工业废水及城镇生活污水的排放,据《赣州市统计年鉴2010》,2010年赣州市氨氮排放总量(含工业、农业、生活)达2.102万t,比2005年的4636t增幅较大。S22样点位于南昌的下游地区,受大量城镇生活污水排放的影响, NH_4^+ -N含量也较高,枯、丰水期的 NH_4^+ -N含量分别为1.38 mg/L和0.71 mg/L,南昌是江西的省会城市,人口密度大,农业活动和生活污水排放都比较集中^[21]。

表2 赣江支流与附近干流无机氮含量 mg/L

采样点	DIN		NO_3^- -N		NH_4^+ -N	
	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期
S01	0.95	1.00	0.79	1.00	0.15	0.00
S05	1.04	1.11	1.03	0.81	0.01	0.30
S06	5.44	3.05	4.80	2.60	0.84	0.42
S08	1.67	2.03	1.20	1.43	0.46	0.55
S11	0.82	1.58	0.70	1.27	0.11	0.29
S13	1.98	1.28	1.42	0.92	0.55	0.35
S14	1.62	1.50	1.28	1.12	0.33	0.36
S17	2.15	1.82	1.87	1.24	0.27	0.54
S18	4.14	2.85	3.55	2.36	0.58	0.44

赣江干流无机氮的浓度与支流的输送有着密切的关系,袁水(S18)和桃江(S06)这两条支流的 NH_4^+ -N含量最高,平均浓度分别为0.51 mg/L和0.63 mg/L,S18样点(新余下游袁河)的 NH_4^+ -N含量较高,在枯、丰水期为0.58 mg/L和0.44 mg/L,与干流 NH_4^+ -N平均含量相当,新余是江西发达的工业城市之一,工业污染较重^[22],工业废水的排放造成了高 NH_4^+ -N含量。然而,干流S09样点经万安水库后达到S10样点,各无机氮的浓度明显下降, NH_4^+ -N尤为显著,从2.14 mg/L下降到0.56 mg/L,表明水库调节对水体稀释作用明显。

赣江干流水体中 NH_4^+ -N占DIN百分比比较高,其范围在9%~66%之间,平均值为21%,枯水期22%>丰水期18%(图3),主要原因为枯水期上游来水量较小,下游水体更易

突出点源污染的影响,特别是枯水期城镇生活及工业废水排量一般不会减少,从而导致在赣州和南昌等较大的城市 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量所占比例较高。王毛兰等对赣江流域枯水期

氮、磷的研究,也有枯水期河水中氮含量明显高于丰水期的类似结论,并且这一污染变化特点主要存在于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 污染较严重的地区^[23]。

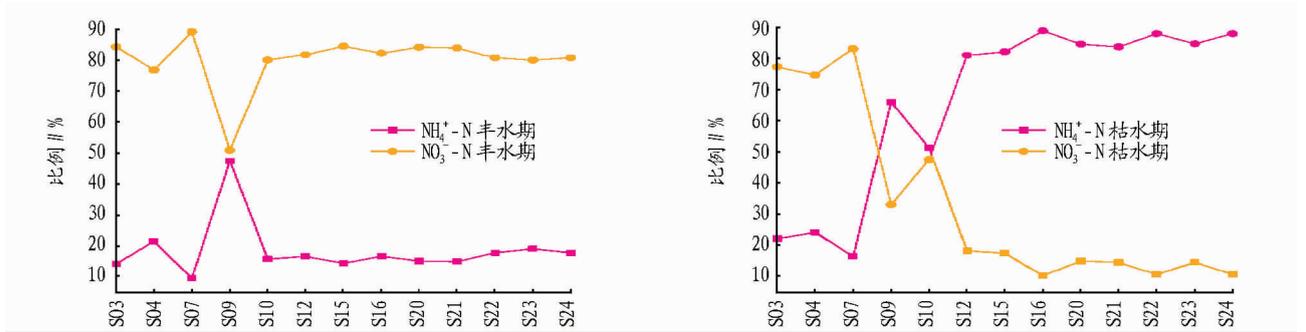


图3 赣江干流枯、丰水期各无机氮之间浓度比例变化

3 结论

(1) 赣江水体无机氮的主要形式为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 平均值为 1.80 mg/L , 约占 78%; 其次为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 平均值为 0.52 mg/L , 约占 20%; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量很小, 平均浓度低于 0.02 mg/L 。

(2) $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量在枯水期均大于丰水期。枯水期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量从赣江流域上游到下游的变化幅度相对于丰水期更为显著, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量在枯、丰水期变化相似, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的变化差异在枯水期大于丰水期。

(3) 流域 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最大值出现在赣州市区和南昌市区下游, 下游其他地区较小, 且变化不大; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最大值出现在支流桃江、袁水以及枯水期干流的南昌下游。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 主要来自城市生活污染的排放, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的污染来源更复杂, 受农业废水和城市废水的共同影响。

参考文献

- [1] 程炯, 吴志峰, 刘平, 等. 珠江三角洲典型流域 Ann AGNPS 模型模拟研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 842-846.
- [2] CARPENTER S R, CARACO N F, CORRELL D L, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecological Applications, 1998, 8(3): 559-568.
- [3] BARILE P J. Evidence of anthropogenic nitrogen enrichment of the littoral waters of east central Florida[J]. Journal of Coastal Research, 2004, 20(4): 1237-1245.
- [4] DONALD S, SUZANNE B B. Coastal eutrophication assessment in the United States[J]. Biogeochemistry, 2006, 79(1/2): 187-208.
- [5] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87-91.
- [6] 朱海虹, 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.
- [7] 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.
- [8] 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, 32(6): 1232-1237.
- [9] 李博之. 鄱阳湖水体污染现状与水质预测规划研究[J]. 长江流域资源与环境, 1996, 59(1): 60-66.
- [10] 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.
- [11] 段水旺, 章申, 陈喜保, 等. 长江下游氮磷含量变化及其输出量的估算[J]. 环境科学, 2000, 21(1): 53-56.
- [12] 沈志良, 刘群, 张淑美, 等. 长江和长江口高含量无机氮的主要控制因素[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(5): 465-473.
- [13] 王毛兰, 周文斌, 胡春华, 等. 赣江流域水体无机氮分布特征[J]. 南昌大学学报, 2007, 31(3): 272-275.
- [14] SUN S, CHEN H, JU W, et al. Effects of climate change on annual streamflow using climate elasticity in Poyang Lake Basin, China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 112(12): 169-183.
- [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] 中国标准出版社第二编辑室. 中国环境保护标准汇编. 《GB7479-87》、《GB 7480-87》和《GB 7493-87》水质分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [17] CAMARGO J A, ALONSO A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen in aquatic eco systems: A global assessment[J]. Environment International, 2006, 32(6): 831-849.
- [18] 段水旺, 章申. 中国主要河流控制站氮、磷含量变化规律初探[J]. 地理科学, 1999, 19(5): 411-416.
- [19] ZHANG S, JI H B, YAN W J, et al. Composition and flux of nutrients transport to the Changjiang estuary[J]. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(1): 3-12.
- [20] 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.
- [21] 傅春, 康晚英. 环鄱阳湖区农业面源污染 TN/TP 时空变化与分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 864-868.
- [22] 熊明辉. 新余市土壤汞污染现状分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(31): 13822-13823, 13889.
- [23] 王毛兰, 周文斌, 胡春华. 枯水期赣江流域氮磷的分布特征[J]. 地球与环境, 2007, 35(2): 166-170.