

秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征

李跃飞^{1,2} 夏永秋² 李晓波² 熊正琴^{1*} 颜晓元^{2*}

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院 南京 210095; 2. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室 南京 210008)

摘要: 2010 年 6 月~2011 年 5 月,对秦淮河典型河段水体总氮(TN)、总磷(TP)的污染状况进行了周年定点观测,采用传统统计学方法初步探讨了秦淮河水体 TN、TP 污染状况及时空变化特征. 结果表明,秦淮河 TN、TP 污染严重,且具有很强的时空变异性. 秦淮河传统农业区、集约农业区和城市区 TN 平均浓度分别为 1.80、3.97、9.25 mg·L⁻¹,TP 平均浓度分别为 0.03、0.11、0.50 mg·L⁻¹,表明秦淮河 TN、TP 主要来源于城市区和集约农业区,而传统农业区对水体 TN、TP 贡献较小. 秦淮河丰水期和枯水期 TN 平均浓度分别为 1.89、4.58 mg·L⁻¹,TP 平均浓度分别为 0.11、0.14 mg·L⁻¹,表明秦淮河枯水期较丰水期污染严重. 富营养化评价结果显示,秦淮河河段大都处于富营养化状态,应及时采取治理措施.

关键词: 秦淮河; TN; TP; 时空变异; 富营养化

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0091-07

Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River

LI Yue-fei^{1,2}, XIA Yong-qiu², LI Xiao-bo², XIONG Zheng-qin¹, YAN Xiao-yuan²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The year-round concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were monitored from June 2010 to May 2011 in the typical reaches of the Qinhuai River. The spatial and temporal variations in TN and TP concentrations and the pollution status of the river water were investigated using typical statistics analysis. Results showed that the river water was seriously polluted in terms of TN and TP, and that the concentrations of both TN and TP showed high spatial and temporal variations. The average TN concentrations of the river water in the traditionally managed agricultural area, intensively managed agricultural area, and urban area were 1.80, 3.97 and 9.25 mg·L⁻¹, respectively; The corresponding average TP concentrations were 0.03, 0.11 and 0.50 mg·L⁻¹, respectively, showing similar spatial patterns with those of TN. The spatial variations in TN and TP concentrations in river water indicated that the urban area and intensively managed agricultural area, rather than the traditionally managed agricultural area, were the major sources for TN and TP in the river water. The average TN concentrations of river water during the wet season and dry season were 1.89 and 4.58 mg·L⁻¹, respectively; and the corresponding average TP concentrations were 0.11 and 0.14 mg·L⁻¹, respectively. The temporal variations indicated that the pollution status of the river water was more serious during the dry season than that during the wet season. Assessment results of eutrophication indicated that the majority of Qinhuai River reaches were in the stage of eutrophication, thus deserving immediate controlling measures.

Key words: Qinhuai River; TN; TP; temporal and spatial variation; eutrophication

氮、磷营养盐是生物体必需元素,也是引起水体富营养化的主要原因^[1,2]. 富营养化导致水体出现生态异常,对区域生态环境及水体安全构成严重威胁^[3~5]. 近年来,随着经济发展,人类活动日益剧烈,由于工农业生产及市政生活排污等原因,造成我国河流水体中营养元素质量浓度有上升趋势^[6~8]. 河流富营养化不仅导致河流本身的经济、生态、环境功能下降,也是导致其受纳水体(注入河流、湖泊、水库、海湾等)污染的重要原因^[9~11]. 而河流作为我国重要的淡水来源之一,也是湖泊、水库、地下水等淡水体的补给源,对我国工农业及社会的发展起着重要作用. 目前,虽然已有一些研究关注

河流氮磷污染状况的时空动态变化^[1,12],但是缺乏对富营养化指标的进一步评价,并且已经开展的水体富营养化研究主要是针对缓流水体^[13]. 缺乏对典型河流富营养化的研究. 因此,系统研究河流水体营养盐时空动态及富营养化状况,有助于制定相应的治理措施,有效地预警和预防河流水体富营养化的产生,保障河流功能的正常发挥.

收稿日期: 2012-03-23; 修订日期: 2012-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071196); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-ew-310 kzcx2-yw-gj01)

作者简介: 李跃飞(1984~),男,硕士研究生,主要研究方向为水体氮磷收支, E-mail: liyuefei_2008@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zqxiong@njau.edu.cn; yanxy@issas.ac.cn

秦淮河是南京地区第一大河^[14],作为南京市重要的农业灌溉水源、水运通道和疏浚要渠,秦淮河对南京城市及周边的发展发挥着巨大的作用.然而近几十年来,随着沿岸农业土地利用类型的改变、工业的快速发展和居住人口的剧增,秦淮河接纳的农田径流、工业废水和生活污水也成倍增加,致使河水遭受不同程度的氮磷污染,严重破坏了秦淮河的生态环境.目前对秦淮河研究多集中在对南京内外秦淮河局部河段的污染治理上^[15-18],缺乏从秦淮河源头句容河、溧水河到入江河段之间整体流域的氮磷污染状况时空动态及其富营养化研究.因此,根据秦淮河及各支流流域主体面积的大小及重要性,本研究选择秦淮河源头之一、占流域面积较大的句容市句容河和江宁区的秦外秦淮河为对象,探讨引起水体富营养化的重要元素氮磷在水体中的时空动态变化,试图找出秦淮河典型河段总氮总磷的时空变化规律,并评估其水体富营养化状况,以期对秦淮河富营养化防治和整体决策提供科学依据.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

秦淮河流域属亚热带季风气候,年平均气温为 15.1°C ,年平均降水量为 $1\,018.6\text{ mm}$,年平均无霜期为 229 d ,年日照为 $2\,116\text{ h}$,是典型的南方亚热带耕作区.旱地主要为油菜与玉米轮作,水田主要为小麦与水稻轮作.

秦淮河全长 110 km ,流域面积达 $2\,631\text{ km}^2$,其中江宁区占流域总面积的 40.1% ,溧水占 17.7% ,南京主城区占 8.8% ,镇江市的句容市占 33.4% ^[19].秦淮河有南北两源,南源出自溧水县,称溧水河;北源出自句容市,称句容河.溧水河和句容河汇合为秦淮河干流.在江宁东山镇分为秦淮新河和秦淮河,秦淮河进入南京城区后又分为内、外秦淮河两条主河流,最终合流后汇入长江.采样区域介于江苏省句容市和南京市之间,采样河流为秦淮河北源句容河和外秦淮河(图1).

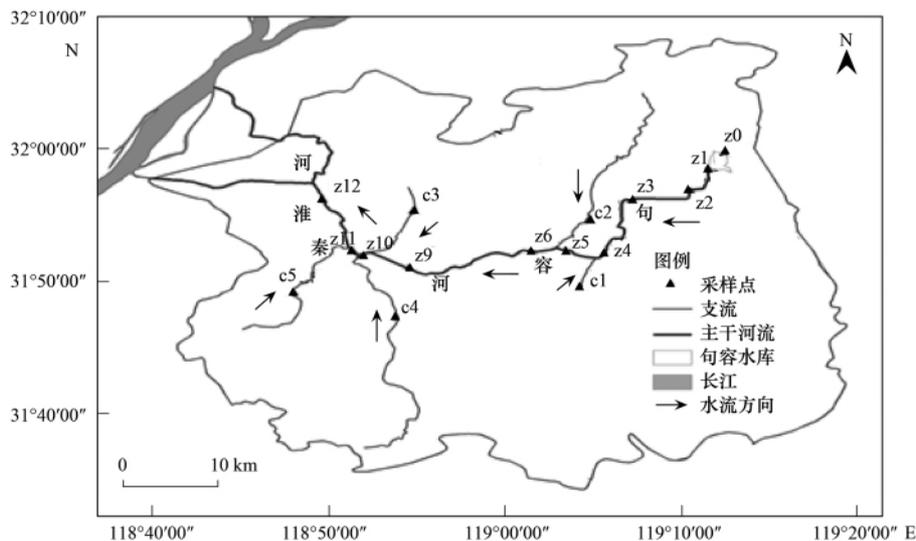


图1 秦淮河采样点分布示意

Fig. 1 Location of sampling sites in Qinhuai River

1.2 采样点布置

采样点布置在东至句容市的句容河,西至南京市江宁区的秦外秦淮河,采样河段长约 53 km ,集水面积占秦淮河流域面积的 73.5% .设置干流点 11 个,支流点 5 个,共计 16 个采样点(图1).所有点的布置均采用GPS定位,考虑到周边土地利用类型、河流支流和汇流的作用,采样点多布置在城市进出水口,河流的支流、汇流口;通过预采样分析河水总氮(TN)、总磷(TP)浓度,在河水TN、TP浓度变化较大的地段加大布点密度,而在其浓度变化较小的

地段,减少布点密度. $z0\sim z6$ 之间的区域为传统农业区,该区内耕地面积广,养殖业少. $z1$ 、 $z2$ 分别为水库区点和受水库区影响点,这2个点水体滞留时间长,水流缓慢. $z3$ 点位于句容市区,为城区采样点, $z4\sim z6$ 是受城区($z3$)影响点,仅 $z0$ 、 $c1$ 、 $c2$ 为传统农业区点. $z9\sim z12$ 、 $c3\sim c5$ 为城市周边的集约农业区点,该区内耕地面积少,养殖业多,建筑用地较多.

1.3 水样采集与分析

水样采集为2010年6月~2011年5月,采样频

率为每月 1 次,每次采样从 08:00 ~ 14:00,在河流中部采集浅表 0.3 ~ 0.5 m 处河水,采水量约 100 mL,装入洁净的 100 mL 聚乙烯瓶中,每个水样重复 3 次,立即运至实验室放入冰箱中冷冻保存,水样用于 TN、TP 的测定,每个水样平行测定 3 次. TN 用连续流动分析仪 (Skalar san + +, 荷兰) 测定,TP 用钼酸铵分光光度法测定^[20]. 数据用 SPSS 17.0 软件进行数据的统计分析.

2 结果与讨论

2.1 秦淮河 TN、TP 的空间分布特征

如表 1 所示,秦淮河典型河段全年 TN 平均浓度为 $3.46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,变化范围 $0.38 \sim 9.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; TP 平均浓度为 $0.13 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,变化范围为 $0.03 \sim 0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 可见秦淮河 TN、TP 污染严重,且具有很强的空间变异性; TP 浓度空间变异与 TN 趋势大致一样(图 2). 根据土地利用类型不同,秦淮河传统农业区、集约农业区和城市区 TN 平均浓度分别为 1.80 、 3.97 、 $9.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 平均浓度分别为

0.03 、 0.11 、 $0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这种空间变化规律说明,秦淮河 TN、TP 主要来源于城市区和集约农业区,而传统农业区对水体 TN、TP 贡献很小. 位于城市区的 z3 点 TN 浓度最高,为 $9.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,远超《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中 V 类标准上限($2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),是其浓度的 4.63 倍; TP 浓度高达 $0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,已超出《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中规定的 V 类标准上限($0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 受到城市(z3 点)总氮的影响,z4 ~ z6 点浓度也相对高于传统农业区. 集约农业区的 z9 点 TN 浓度为 $3.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,高于 z6 点浓度 $3.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,可以推测这是由于集约农业区新的氮源输入,使得 z9 ~ z12 点河水总氮在高位波动; 另一集约农业区的 c3 点 TN 平均浓度高达 $7.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 平均浓度高达 $0.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,也说明这一集约农业区有大量氮磷源的输入. 这一带集约农业施氮量高达 $600 \text{ kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$ ^[21]; 同时城市化比例逐步提高^[22],城镇生活污水随之增多,可能对水体 TN、TP 浓度也有较大影响.

表 1 秦淮河河水 TN、TP 的空间变化特征¹⁾

Table 1 Spatial variations of TN and TP in the Qinhuai River

| 采样点 | 距河源头的距离/km | TN 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | | | TP 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | | |
|-----|------------|--------------------------------------|--------------|------|--------------------------------------|-------------|------|
| | | 平均值 | 范围 | 标准差 | 平均值 | 范围 | 标准差 |
| z0 | 0 | 1.83 | 0.09 ~ 6.77 | 1.85 | 0.04 | 0.00 ~ 0.10 | 0.04 |
| z1 | 2.4 | 0.38 | 0.18 ~ 0.66 | 0.16 | 0.10 | 0.00 ~ 0.62 | 0.22 |
| z2 | 6.2 | 0.41 | 0.26 ~ 0.78 | 0.15 | 0.03 | 0.00 ~ 0.19 | 0.07 |
| z3 | 12.5 | 9.25 | 2.39 ~ 14.90 | 4.32 | 0.50 | 0.14 ~ 1.00 | 0.26 |
| z4 | 24.3 | 4.96 | 1.36 ~ 8.38 | 2.19 | 0.19 | 0.04 ~ 0.64 | 0.16 |
| z5 | 26.4 | 3.48 | 1.14 ~ 5.73 | 1.80 | 0.10 | 0.01 ~ 0.20 | 0.07 |
| z6 | 27.2 | 3.10 | 1.11 ~ 5.66 | 1.80 | 0.08 | 0.01 ~ 0.21 | 0.06 |
| z9 | 43.8 | 3.74 | 0.73 ~ 10.34 | 2.96 | 0.09 | 0.04 ~ 0.28 | 0.07 |
| z10 | 46.3 | 3.82 | 0.99 ~ 9.79 | 2.61 | 0.08 | 0.03 ~ 0.19 | 0.05 |
| z11 | 47.9 | 2.88 | 0.93 ~ 7.71 | 2.20 | 0.05 | 0.01 ~ 0.10 | 0.02 |
| z12 | 52.5 | 4.23 | 1.01 ~ 9.40 | 2.84 | 0.13 | 0.00 ~ 0.35 | 0.11 |
| 平均值 | — | 3.46 | 0.38 ~ 9.25 | 2.42 | 0.13 | 0.03 ~ 0.50 | 0.13 |
| c1 | — | 1.26 | 0.32 ~ 5.37 | 1.34 | 0.02 | 0.00 ~ 0.09 | 0.03 |
| c2 | — | 2.30 | 0.56 ~ 5.14 | 1.56 | 0.04 | 0.01 ~ 0.07 | 0.02 |
| c3 | — | 7.27 | 1.71 ~ 15.40 | 4.66 | 0.32 | 0.04 ~ 0.92 | 0.28 |
| c4 | — | 2.78 | 0.61 ~ 8.93 | 2.50 | 0.05 | 0.00 ~ 0.09 | 0.03 |
| c5 | — | 3.05 | 0.97 ~ 7.53 | 2.08 | 0.05 | 0.00 ~ 0.13 | 0.04 |

1) 总氮(TN)浓度均以氮计,总磷(TP)浓度均以磷计,下同; “—”代表无此值

传统农业区的 z0、c1 和 c2 点 TN、TP 浓度普遍较低(表 1). 由于 z0 点为源头,河流流量小,水体 TN 浓度受区域内农田径流和农村生活污水影响较大. 汇入水库后,由于其流速减缓、停留时间长,河水中的氮浓度经过系列稀释、反硝化、生物吸收等物理生化过程^[23,24],因而在水库出口处 z1 点 TN 浓度达到最低 $0.38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; z2 处 TP 浓度最低,仅为 $0.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

秦淮河典型河段 TN、TP 污染源主要是城市区,其次是集约农业区. 这与 Xing 等^[25]在太湖地区用同位素方法研究的结果一致,即在城市区和集约农业区,污染物产生量大、随地表径流迁移路径短,是造成水体氮磷浓度高的主要原因. 而在传统农业区,如源头的句容水库流域,该区域存在大量的池塘、河流、水库及岸边湿地系统,这些湿地系统对

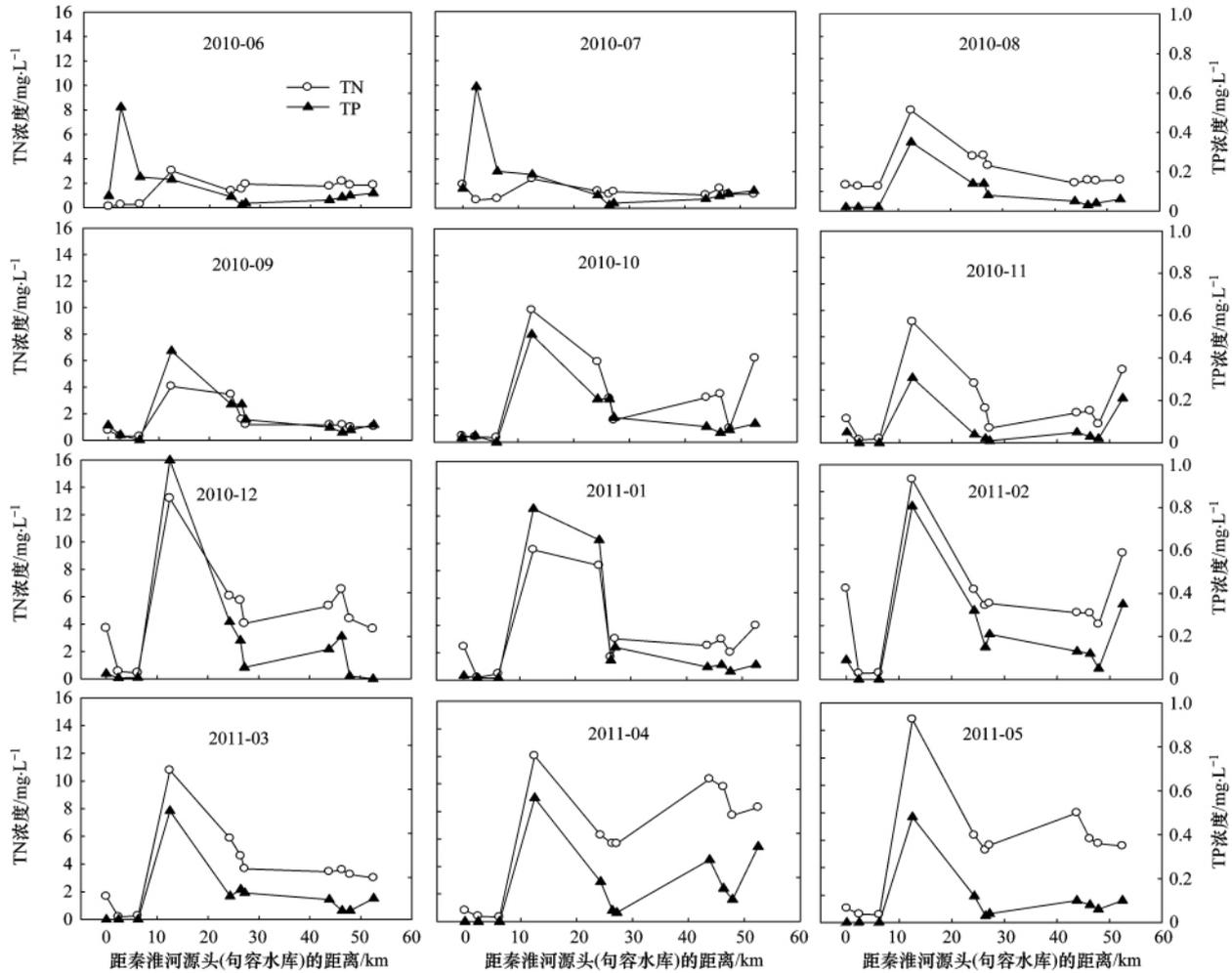


图2 秦淮河干流 TN、TP 的时空分布

Fig. 2 Spatial and temporal variations of TN and TP concentrations in the Qinhuai River

氮有较好的去除和拦截效果,因此,尽管该流域氮肥用量高达 $280 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,但其河流氮输出量仅为流域氮总输入量的 1.5%^[26].

2.2 秦淮河 TN、TP 的时间变化规律

如表 2 所示,秦淮河水 TN、TP 浓度具有很强的时间变异性.不同季节 TN、TP 浓度表现为夏秋季浓度低,冬春季浓度高(图 3).秦淮河丰水期、枯水期与当地雨季、旱季一致.根据当地雨水量的不

表 2 秦淮河干流 TN、TP 时间变化特征

Table 2 Temporal variations of TN and TP in the trunk stream of the Qinhuai River

| 时间/(年·月) | TN 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | | | TP 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | | |
|----------|--|--------------|------|--|-------------|------|
| | 平均值 | 范围 | 标准差 | 平均值 | 范围 | 标准差 |
| 2010-06 | 1.45 | 0.09 ~ 3.02 | 0.91 | 0.11 | 0.01 ~ 0.51 | 0.14 |
| 2010-07 | 1.33 | 0.66 ~ 2.39 | 0.50 | 0.13 | 0.01 ~ 0.62 | 0.17 |
| 2010-08 | 1.92 | 0.43 ~ 7.31 | 2.07 | 0.09 | 0.02 ~ 0.35 | 0.10 |
| 2010-09 | 1.44 | 0.28 ~ 4.06 | 1.21 | 0.11 | 0.00 ~ 0.42 | 0.12 |
| 2010-10 | 3.30 | 0.33 ~ 9.91 | 3.06 | 0.12 | 0.00 ~ 0.50 | 0.14 |
| 2010-11 | 2.84 | 0.22 ~ 9.14 | 2.64 | 0.07 | 0.00 ~ 0.31 | 0.10 |
| 2010-12 | 4.87 | 0.44 ~ 13.20 | 3.42 | 0.17 | 0.00 ~ 1.00 | 0.29 |
| 2011-01 | 3.39 | 0.19 ~ 9.53 | 2.97 | 0.18 | 0.01 ~ 0.78 | 0.27 |
| 2011-02 | 5.80 | 0.44 ~ 14.90 | 3.99 | 0.20 | 0.00 ~ 0.81 | 0.23 |
| 2011-03 | 3.66 | 0.18 ~ 10.77 | 2.91 | 0.10 | 0.00 ~ 0.49 | 0.14 |
| 2011-04 | 6.11 | 0.31 ~ 12.03 | 4.11 | 0.15 | 0.00 ~ 0.56 | 0.18 |
| 2011-05 | 5.43 | 0.57 ~ 14.80 | 4.02 | 0.09 | 0.00 ~ 0.48 | 0.14 |
| 平均值 | 3.46 | 1.33 ~ 6.11 | 1.75 | 0.13 | 0.10 ~ 0.29 | 0.04 |

同(图4),将季节变化分为雨季(2010-06~2010-10)和旱季(2010-11~2011-05)。雨季(丰水期)和旱季(枯水期)秦淮河各采样点TN、TP的浓度变化如图5所示。除了z1($d=2.4\text{ km}$)和z2($d=6.2\text{ km}$)点,丰水期TN浓度和枯水期TN浓度相接近外,其余干流点的TN浓度丰水期均明显低于枯水期,TP的浓度变化却没有明显的变化趋势。而丰水期和枯水期的TN平均浓度分别为 1.89 、 $4.58\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP平均浓度分别为 0.11 、 $0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。可见,秦淮河河水枯水期较丰水期TN、TP污染严重。TP的月变化趋势除2010年6、7月外,其余月份与TN空间变化趋势大致相同(图2)。

引起河流水体氮磷时间变化规律的主要因素是与雨季旱季相关的降水量^[27]。河水2010年6~10月为丰水期,降雨量较高(图4),TN月平均浓度变化为 $1.33\sim 3.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中降雨量最大的7月,

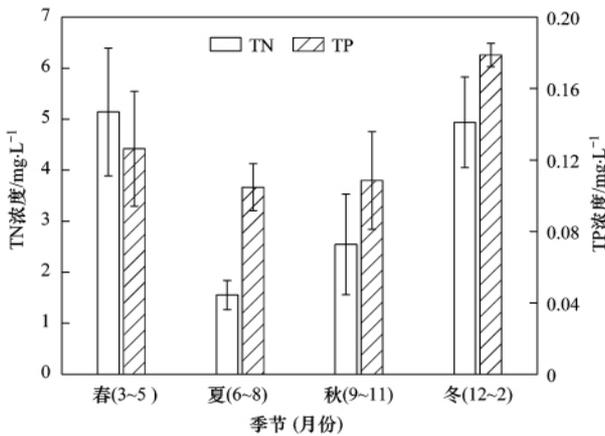


图3 秦淮河TN、TP浓度季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of TN and TP concentrations in Qinhuai River

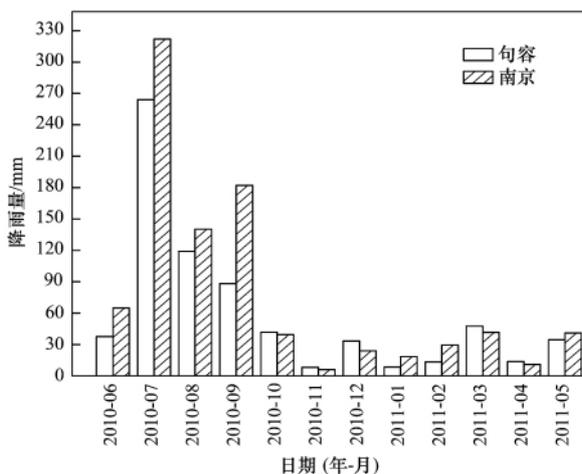


图4 句容-南京月降雨量

Fig. 4 Monthly rainfall in Jurong and Nanjing

其TN浓度最低为 $1.33\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而降雨量最低的10月,其TN浓度最高为 $3.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;枯水期河水TN月平均浓度最高值为 $6.11\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出现在降雨量接近最小的2011年3月,河水TN月平均浓度变化 $2.84\sim 6.11\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表2),浓度较丰水期高。这主要是由于工业点源、畜禽养殖和生活污水排放量在年内基本保持不变,而地表径流带入的氮磷量随降雨强度变化。枯水期较丰水期地表径流氮等非点源氮源对河水氮贡献减少,主要受点源氮输入的影响。河水TN月平均浓度与总降雨量的关系如图6,相关系数 $r = -0.631$ ($P = 0.028$),说明河水TN浓度受降雨量的影响显著,表现为降雨量对河水TN浓度具有明显的稀释效应,这与马立珊等^[28]的研究相符。

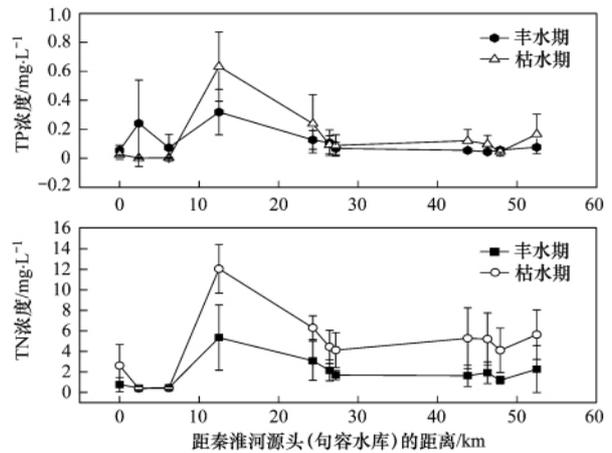


图5 秦淮河干流TN和TP在丰水期和枯水期的浓度变化
Fig. 5 Concentrations variations of TN and TP in the trunk stream of Qinhuai River

河水TP浓度随降雨量的变化与TN不同。丰水期河水TP的月平均浓度变化为 $0.09\sim 0.13\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浓度最高值出现在降雨量最大的7月,而最低浓度出现在8月;枯水期河水TP的月平均浓度变化为 $0.07\sim 0.20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表2),最低浓度出现在降雨量最少的11月,而最高浓度出现在降雨量稍多的2011年2月。这主要是由于磷在土壤中容易固定,易以颗粒态形式随大的降雨径流进行水平迁移^[29]。经旱季地表积累了大量的磷,随大的降雨径流带入河流中,致使雨季初期(2010-06~2010-07)河水中磷浓度的急剧增高。经雨季初期降雨径流对地表磷的冲刷效应,雨季中后期(2010-08~2010-10)由地表径流带入河流中的磷减少。枯水期河水TP浓度的变化规律,说明降雨量对河水TP浓度影响复杂。进一步对河水TP月

平均浓度和降雨量做相关性分析,发现河水 TP 月平均浓度与降雨量的相关性较小(图 6), $r = -0.172$ ($P > 0.05$),说明降雨量对河水 TP 浓度的影响不显著。

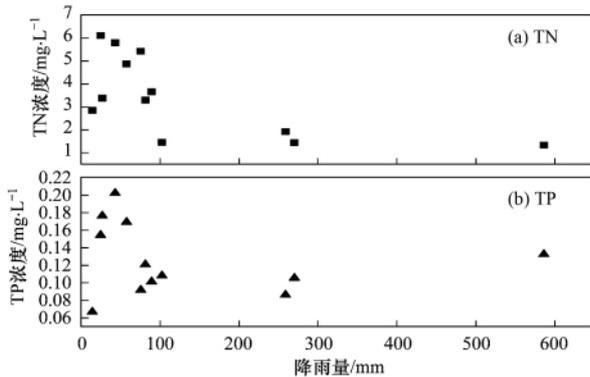


图 6 秦淮河干流 TN、TP 月均浓度与总降雨量的关系

Fig. 6 Correlations between total rainfall and monthly concentrations of TN and TP in Qinhuai River

河水 TN、TP 的浓度变化还受到温度的影响,丰水期与夏季同步,河水温度较高,有利于水体微生物活动,反硝化强度加大,消耗了迁移到水体的无机氮^[25,30,31],且藻类等浮游植物生长迅速,消耗大量的无机氮磷,从而降低了水体中的营养盐。枯水期水温低,植物、微生物对水体营养盐的利用降低,而死亡藻类等的分解代谢及底层营养盐的释放,有利于表层水体营养盐浓度的升高^[32]。

3 秦淮河水水质富营养化及其评价

富营养化是湖泊、水库、沿海水域及河流的主要生态环境问题^[33],富营养化对河流水体的各种功能的发挥影响极大。从营养盐单因子考虑,国际上一般认为当水体中总氮和总磷的浓度分别达到 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,就有可能发生藻类疯长的“水华”现象^[34]。由表 2 可知,不同月份秦淮河干流中 TN、TP 平均浓度的最低值为 $1.33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,远超出国际富营养化值,分别为国际富营养化值的 6.65 倍和 3.5 倍。本研究中秦淮河的营养盐状况已经满足富营养化发生条件,因此,很有可能发生“水华”现象。2010 年夏季秦淮河首次暴发大规模的微囊藻水华现象^[14],就很好地证实了这一推测。

水体富营养化的评价,一般以营养元素的指标浓度、叶绿素含量、透明度等为评价指标,通过确立相应的等级标准进行评价。氮、磷通常是富营养化的限制因子,故本文仅以总氮、总磷为评价指标,

采用刘成等建立的富营养化评价标准和评分方法^[8],对秦淮河水体进行富营养化评价。其营养状态等级判别方法为: $0 \leq \text{评分值} \leq 20$, 贫营养; $20 < \text{评分值} \leq 50$, 中营养; $50 < \text{评分值} \leq 100$, 富营养。秦淮河各采样点的评分结果见图 7,从中可知,仅有 z2 点评分值为 42,为中营养水平,其余各采样点均大于 50,为富营养化状态。其中富营养化评分最高的为城市点 z3,受城市影响的 z4 点评分也较高,其次为集约农业区的 c3 点和 z12 点,而传统农业区的 z0、c1、c2 点评分较低。从以上结果可以看出,秦淮河水体中营养盐已经达到富营养化状况,在其它条件如水温、光照、溶解氧、水体流速等条件达到合适状态时,就会暴发“水华”现象。

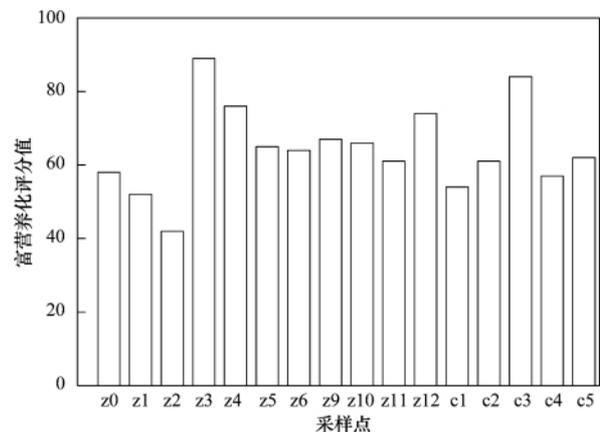


图 7 秦淮河采样点水质富营养化评价结果

Fig. 7 Evaluation results of water eutrophication in Qinhuai River

4 结论

(1) 秦淮河传统农业区、集约农业区和城市区 TN 平均浓度分别为 1.80 、 3.97 、 $9.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总磷平均浓度分别为 0.03 、 0.11 、 $0.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,秦淮河河水 TN、TP 浓度受周围土地利用方式的影响,具有很强的空间变异性,表现为传统农业区河水 TN、TP 浓度低,而集约农业区和城市区河水 TN、TP 浓度高。河水 TN、TP 主要来源于城市区和集约农业区,传统农业区贡献量较小。

(2) 秦淮河丰水期和枯水期 TN 平均浓度分别为 1.89 、 $4.58 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,TP 平均浓度分别为 0.11 、 $0.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,具有明显的时间变异性,河水枯水期较丰水期污染严重。降雨量对河水 TN 浓度的影响显著($P < 0.05$),对 TP 浓度影响不显著。

(3) 秦淮河 TN、TP 营养盐大都处于富营养化状态,水体污染严重。因此,应加大力度防治秦淮河的进一步污染,预防富营养化现象的发生。

参考文献:

- [1] 孟伟,于涛,郑丙辉,等. 黄河流域氮磷营养盐动态特征及主要影响因素[J]. 环境科学学报,2007,27(12): 2046-2051.
- [2] 钱嫦萍,陈振楼,刘杰. 长江三角洲河流污染现状及变化趋势[J]. 环境科学研究,2002,15(6): 24-27.
- [3] Smith V H, Schindler D W. Eutrophication science: where do we go from here? [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2009, 24(4): 201-207.
- [4] 何德进,邢友华,姜瑞雪,等. 东平湖水体中氮磷的分布特征及其富营养化评价[J]. 环境科学与技术,2010,33(8): 45-48.
- [5] 马蕊,林英,牛翠娟. 淡水水域富营养化及其治理[J]. 生物学通报,2003,38(11): 5-9.
- [6] Xia X H, Zhou J S, Yang Z F. Nitrogen contamination in the Yellow River Basin of China [J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31(3): 917-925.
- [7] Zhang J, Yan J, Zhang Z F. Chemical trend of national rivers in China: Huanghe and Changjiang[J]. AMBIO, 1995, 24: 274-278.
- [8] 刘成,王兆印,黄文典,等. 海河流域主要河口水沙污染现状分析[J]. 水利学报,2007,38(8): 920-925.
- [9] Thieu V, Billen G, Garnier J. Nutrient transfer in three contrasting NW European watersheds: the Seine, Somme, and Scheldt Rivers. A comparative application of the Seneque/Riverstrahler model[J]. Water Research, 2009, 43(6): 1740-1754.
- [10] Withers P J A, Sharpley A N. Characterization and apportionment of nutrient and sediment sources in catchments [J]. Journal of Hydrology, 2008, 350(3-4): 127-130.
- [11] 金相灿,辛玮光,卢少勇,等. 入湖污染物河流对受纳湖湾水质的影响[J]. 环境科学研究,2007,20(4): 52-56.
- [12] 赵光影,刘景双,王洋,等. 三江平原主要河流氮、磷营养元素时空变化规律研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(2): 144-149.
- [13] 单保庆,菅宇翔,唐文忠,等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. 环境科学,2012,33(2): 352-358.
- [14] Xu Y, Yang F, Liu Y, et al. Genetic diversity of microcystis populations in a bloom and its relationship to the environmental factors in Qinhuai River, China [J]. Microbiological Research, 2011, 167(1): 20-26.
- [15] 陈雁,冯效毅,田炯. 内秦淮河水环境整治方案探讨[J]. 江苏环境科技,2000,13(3): 34-36.
- [16] 高桂枝,卢海龙,陈晨,等. 南京市内秦淮河水葫芦生态修复潜力分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(33): 18945-18947.
- [17] 刘久根. 南京外秦淮河水污染控制对策[J]. 现代城市研究, 2003, 18(5): 51-53.
- [18] 宗良纲,王良梅,占新华,等. 南京秦淮河水环境质量现状评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2000,24(21): 81-83.
- [19] 尹爱经,高超,刘勇华,等. 秦淮河表层沉积物毒害微量元素分布特征及污染评价[J]. 环境化学,2011,30(11): 1912-1918.
- [20] GB 11893-89,水质总磷的测定-钼酸铵分光光度法[S].
- [21] 贺发云,尹斌,曹兵,等. 南京郊区大白菜生长期氮素的供应及利用[J]. 土壤,2006,38(6): 692-697.
- [22] 檀满枝,陈杰,张学雷,等. 南京市近20年城镇用地扩展对土壤资源数量和质量的影响[J]. 土壤学报,2005,42(6): 896-903.
- [23] Groffman P M, Gold A J, Simmons R C. Nitrate dynamics in riparian forests: microbial studies [J]. Journal of Environmental Quality, 1992, 21(4): 666-671.
- [24] Osborne L L, Kovacic D V. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management [J]. Freshwater Biology, 1993, 29(2): 243-258.
- [25] Xing G X, Cao Y C, Shi S L, et al. N pollution sources and denitrification in waterbodies in Taihu Lake region [J]. Science in China Series B: Chemistry, 2001, 44(3): 304-314.
- [26] Yan X Y, Cai Z C, Yang R, et al. Nitrogen budget and riverine nitrogen output in a rice paddy dominated agricultural watershed in eastern China [J]. Biogeochemistry, 2011, 106(3): 489-501.
- [27] 吴洁,虞左明,钱天鸣. 钱塘江干流杭州段水体氮污染特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(6): 552-556.
- [28] 马立珊,钱敏仁. 太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究[J]. 环境科学,1987,8(2): 60-65.
- [29] Nash D M, Halliwell D J. Tracing phosphorus transferred from grazing land to water [J]. Water Research, 2000, 34(7): 1975-1985.
- [30] Andersen T K, Jensen M H, Sorensen J. Diurnal variation of nitrogen cycling in coastal marine sediments. I. Denitrification [J]. Marine Biology, 1984, 83(2): 171-176.
- [31] Andersen J M. Significance of denitrification on the strategy for preserving lakes and coastal areas against eutrophication [A]. In: Golterman H L (Ed.). Denitrification in the Nitrogen Cycle. New York: Plenum Press, 1985. 171-190.
- [32] Brook A J, Woodward W B. Some observations on the effects of water inflow and outflow on the plankton of small lakes [J]. Animal Ecology, 1956, 25(1): 22-35.
- [33] Yang X E, Wu X, Hao H L, et al. Mechanisms and assessment of water eutrophication [J]. Journal of Zhejiang University-Science B, 2008, 9(3): 197-209.
- [34] Thomann R V, Mueller J A. Principle of surface water quality modeling and control [M]. New York: Harper & Row Publishers, 1987.