

南淝河主要水体污染物空间分布特征与污染源解析

潘宝¹, 王晓辉^{1,2}, 王秀¹, 周春财², 刘桂建²

(1. 合肥工业大学资源与环境科学学院, 安徽合肥 230009; 2. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026)

摘要 在南淝河水质监测数据的基础上, 通过聚类分析, 对其主要水环境污染物的空间分布特征进行了剖析, 然后采用因子分析法提取影响因子, 鉴别污染源并采用绝对主成分多元线性回归分析法计算各影响因子的污染贡献率。结果表明, 南淝河整体污染较为严重, 通过聚类分析可将南淝河大致分为 A、B、C 3 类, 其中, A 类 83.32% 的污染来源于点源营养物质和点源有机物; B 类 70.16% 来源于点源营养物质和点源有机物; C 类 71.63% 的污染来源于农业面源的农业营养物质和生物化学的影响。

关键词 水环境污染; 聚类分析; 因子分析法; 绝对主成分多元线性回归分析法; 南淝河
中图分类号 X522 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)13-0041-03

Spatial Distribution Characteristics and Pollution Source Analysis of the Main Pollutants in Nanfei River

PAN Bao¹, WANG Xiao-hui^{1,2}, WANG Xiu¹ et al (1. School of Resource and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009; 2. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026)

Abstract Based on the survey data of Nanfei River and cluster analysis, the spatial distribution characteristics of the main water pollutants were analyzed, and then, factor analysis method was used to extract factors to identify pollution sources and the absolute principal component analysis method to determine the impact of various factors on the contribution rate index of multivariate linear regression. The results showed that the Nanfei River pollution was very serious, the surface water can be divided into A, B, C three kinds by clustering analysis, among which 83.32% source of pollution of A was from point organic complex and nutrients; while 70.16% source of pollution of B was from point organic complex and nutrients; while 71.63% of C constitute of agricultural nutrients and biological effects of chemistry from the agricultural non-point source.

Key words Water environmental pollutants; CA; FA; APCS-MLR; Nanfei River

南淝河古称施水, 是巢湖水系的支流, 被称为合肥市的“母亲河”。随着合肥市发展进程的加快, 大量工业、农业及生活污水不断排放到南淝河流域, 造成南淝河水质恶劣, 已经成为名副其实的纳污河^[1]。同时, 由于南淝河流域上游水库的拦蓄, 改变了河流原有的水文过程, 南淝河目前已经演化成典型的缺乏生态基流的河流, 而污水处理厂尾水的再生水成为干流河道的重要补给水源, 尤其在城区段, 污水厂尾水已成为主要的补给水源。目前, 国内研究主要集中在南淝河污染现状及其污染评价^[2-3], 而利用多元统计技术对水环境污染物的空间分布特征、识别重点污染控制区域和污染来源方面, 尤其是精度解析南淝河流域污染来源及其贡献份额方面的研究甚少。笔者通过全面调查分析南淝河水系现状, 对南淝河主要水环境污染物的基本特征进行分析, 在聚类分析的基础上对主要水环境污染物的空间分布特征进行了剖析, 最后采用因子分析法提取影响因子, 鉴别污染源并采用绝对主成分多元线性回归分析计算各影响因子的污染贡献率, 以期科学地管理南淝河流域的水质提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 南淝河是巢湖水系的支流, 流经合肥市“五区二县”, 主干河道全长 71 km, 流域总面积 1 464 km², 共有 8 条支流。该研究区域包括南淝河从董铺水库到汇入巢湖段的干流及支流, 该区域内南淝河流域土地利用多样、人地矛盾突出、经济活动强度大、人口密度大, 水体污染严重。

1.2 采样点设置 根据地形图和遥感图像, 确定考察路线, 工作点和采样点主要为支流汇入处、城乡交界处和水文条件有明显改变的地区, 共选取了 29 个采样点, 采样点位置见图 1。

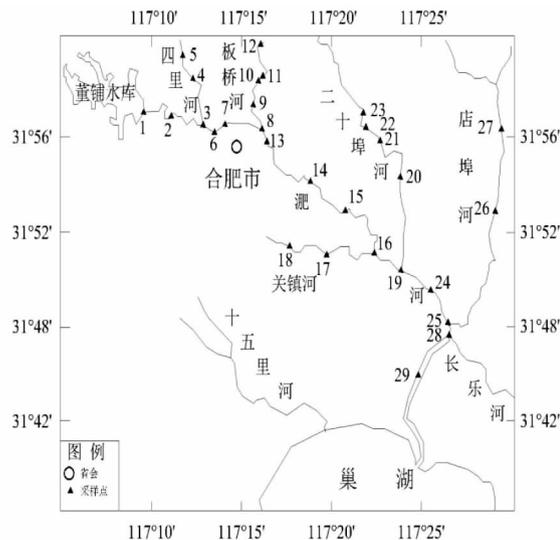


图 1 采样位置

Fig. 1 Sampling locations

1.3 指标测定 水样采集带回后用 0.45 μm 微孔滤膜过滤并加酸固定, 分别测定化学需氧量 (COD)、5 d 生化需氧量 (BOD₅)、溶解氮 (DO)、氨氮 (NH₃-N)、总氮 (TN) 及总磷 (TP) 含量。

1.4 数据处理 采用层次聚类分析、因子分析和绝对主成分多元线性回归分析法^[4]对数据进行处理。为了消除量纲的影响, 在进行聚类分析和因子分析前, 对数据进行标准化处理, 应用巴特莱检验 (KMO) 和 Bartlett 球形方法对标准化的监测数据进行相关矩阵检验, 以期符合因子分析要求。

2 结果与分析

2.1 水环境污染物的空间分布

2.1.1 基本特征。由表1可知,南淝河水环境污染相当严重。TN、NH₃-N、TP、DO、COD含量均值分别为15.15、6.89、1.72、4.73、60.53 mg/L,根据地表水环境质量标准(GB 3838—2002)可知,TN含量为V类水标准的7.6倍,NH₃-N含量为其3.4倍,TP浓度为其4.3倍,DO含量则属于IV类水质,COD含量则为V类水标准的1.5倍。

2.1.2 聚类分析结果。根据聚类分析结果(图2),将全部采样点分为以下3类:

A类:包括6长丰路桥、7亳州路桥、8板桥河与南淝河交口、9沿河路板桥河段、10嘉山路与北二环排污口、11板桥河排污口、12天水路与板桥河交口、13交通厅桥、14铜陵路大桥、15孙新庄、16关镇河与南淝河交口、19二十埠河与南淝河交口,主要分布在长丰路桥到二十埠河与南淝河交口段,基本处于南淝河干流的中游段及支流板桥河上,补给来

源是非常规河流。

B类:包括4北二环与四里河交口、5四里河排污口、20华东国际城、21新安江路与二十埠河交口、22朱砖井排污口、23包公大道、26南院、27包公大道和店埠河交口,主要分布在四里河、二十埠河及店埠河三大支流。

C类:包括1环湖东路桥、2合作化路桥、3四里河与南淝河交口、17南淝河与关镇河交口、18关镇河排污口、24环圩东路与磨余路交口、25店埠河与南淝河交口、28长乐河河口、29滨湖明珠码头,主要分布在南淝河干流的下流段及支流关镇河和长乐河。

A类水体的采样点主要分布于南淝河干流的中游段及支流板桥河,污水排出后未受到自然水体的稀释作用且自净作用较弱,污染最为严重;B类水体主要分布于四里河、二十埠河及店埠河三大支流;C类水体大多位于排污河流的下流和支流关镇河和长乐河,由于污染源头的减少和沿途的自净作用,污染程度相对最轻。

表1 南淝河水质指标的统计描述及环境标准

Table 1 Statistical description of water quality indicators and environmental standards of in Nanfei River

| 指标 Index | 平均值 Average | 最小值 Minimum | 最大值 Maximum | I类 | II类 | III类 | IV类 | V类 |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| TN | 15.15 | 1.99 | 30.35 | 0.20 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 |
| NH ₃ -N | 6.89 | 0.56 | 16.93 | 0.15 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 |
| TP | 1.72 | 0.02 | 6.64 | 0.02 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 |
| DO | 4.73 | 1.37 | 7.67 | 7.50 | 6.00 | 5.00 | 3.00 | 2.00 |
| pH | 7.21 | 7.00 | 7.57 | 6.00~9.00 | | | | |
| BOD ₅ | 17.69 | 2.38 | 28.53 | 3.00 | 3.00 | 4.00 | 6.00 | 10.00 |
| COD | 60.53 | 12.39 | 129.85 | 15.00 | 15.00 | 20.00 | 30.00 | 40.00 |

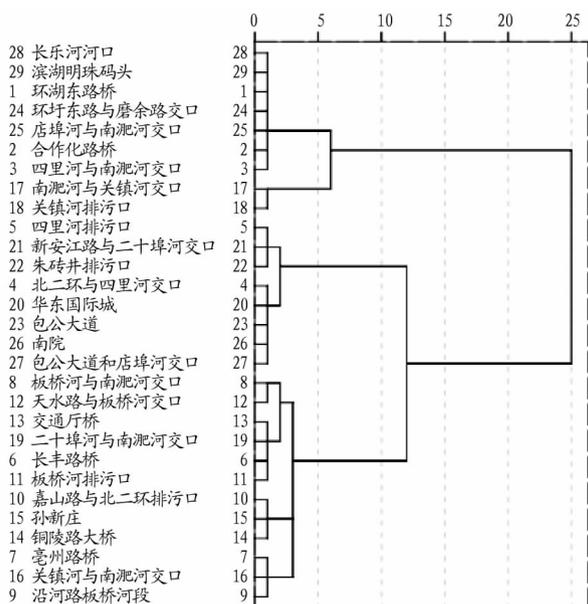


图2 样点聚类分析结果

Fig. 2 Cluster analysis results of the sampling sites

2.1.3 主要水环境污染物的差异性分析。A类与B类由于主要受到非常规补给源的影响,水环境污染物的含量与C类差异较明显(图3)。其中,A类NH₃-N和TN含量平均值最高,

且有极高值出现,C类则NH₃-N及TN含量均值及变异性较小,NH₃-N及TN分布有极强烈的空间差异,表明点源排放是造成氮污染的主要原因^[5];TP的空间差异性相对较小,表明水体可能受点源污染的影响较小;COD代表着水体受还原性物质的污染。A类及B类水体处于厌氧环境状态,水体恶臭,还原性物质难以得到有效的降解。

2.2 水环境污染物的识别与贡献率的计算

2.2.1 水体污染源识别。分别对A、B、C类分布进行因子分析,结果见表2。

根据特征因子大于1的原则,A类可以提取2个特征值大于1的因子,积累贡献率达到83.32%,因子1主要由COD、BOD₅2个指标组成,由于因子1主要与化学、生物需氧量相关,主要源于有机物,因此因子1可能主要代表与有机物相关的因素对地表水体的影响,这部分因素占水质因素的45.55%;因子2主要由TN、NH₃-N、TP指标组成,A类所在区域为合肥城区主要的人口聚集区,人口密度大,人类活动密集,由此推测该主成分可能来自于点源的生活污水和工业废水的影响^[6],这部分占比37.77%。

B类共提取了2个公因子,贡献率达到70.16%,因子1主要由TN、NH₃-N、TP指标组成,B类所在区域分布着化工、电镀及铸造公司等各类型企业,在生产过程中会向河流

中排放大量的氮和磷^[7],因子 1 大致受到工业废水的影响,这部分因素占水质因素的 43.68%;因子 2 主要由 COD 组

成,因子 2 可能受规模化养殖区的生活污水影响,这部分因素占水质因素的 26.48%。

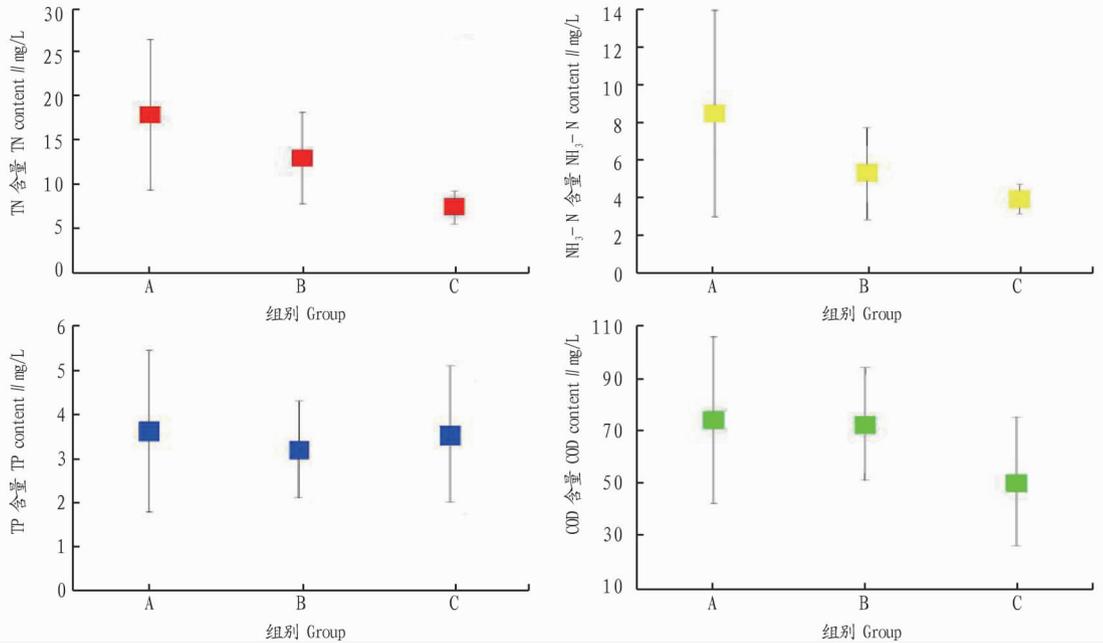


图 3 南淝河主要水环境污染因子差异性分析

Fig.3 Difference analysis of main water environmental pollutants in Nanfei River

C 类共提取了 2 个公因子,贡献率达到 71.63%,因子 1 主要由 TN、NH₃-N、TP 组成,该区农业活动频繁,因此因子 1 可能主要是农业营养物质对地表水体的影响,这部分因素

占比 48.20%;因子 2 主要由 pH、DO 组成,应该是河段内生物化学因素的影响,这部分因素占水质因素的 23.43%。

表 2 南淝河水质指标的因子分析

Table 2 Factor analysis of water quality index in Nanfei River

| 变量 Variable | A | | B | | C | | mg/L |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| | 因子 1 Factor 1 | 因子 2 Factor 2 | 因子 1 Factor 1 | 因子 2 Factor 2 | 因子 1 Factor 1 | 因子 2 Factor 2 | |
| TN | -0.032 | 0.886 | 0.843 | 0.286 | 0.875 | -0.146 | |
| NH ₃ -N | 0.245 | 0.874 | 0.755 | 0.383 | 0.821 | -0.148 | |
| TP | -0.264 | 0.925 | 0.769 | 0.122 | 0.873 | -0.291 | |
| DO | 0.352 | 0.416 | -0.470 | 0.040 | -0.018 | 0.869 | |
| pH | -0.299 | 0.063 | 0.235 | 0.012 | -0.111 | 0.742 | |
| BOD ₅ | 0.871 | -0.009 | -0.334 | 0.402 | -0.282 | 0.254 | |
| COD | 0.898 | 0.241 | -0.238 | 0.886 | 0.109 | 0.437 | |
| 特征值 Eigenvalue | 3.690 | 1.940 | 2.360 | 1.710 | 3.090 | 1.670 | |
| 总方差 Total variance//% | 45.55 | 37.77 | 43.68 | 26.48 | 48.20 | 23.43 | |
| 累积贡献率 Cumulative variance//% | 45.55 | 83.32 | 43.68 | 70.16 | 44.20 | 71.63 | |
| KMO 检验 KMO test | | 0.680 | | 0.646 | | 0.780 | |
| 巴特利特球度检验 Sig(Bartlett) | | 0.006 | | 0.002 | 0 | | |

2.2.2 污染源的贡献率计算。利用 APCS-MLR 计算污染源贡献率^[8],结果见表 3。由表 3 可知,A 类地表水体的污染主要来源于点源营养物质和点源有机物,点源营养物质主要影响 TN、NH₃-N、TP、COD,贡献率分别为 68.9%、72.5%、78.7%、58.0%;点源有机物主要影响 BOD₅、COD,污染贡献率分别为 55.3%、75.4%;B 类地表水体的污染主要来源于点源营养物质和点源有机物,点源营养物质主要影响 TN、TP、NH₃-N,贡献率分别为 66.4%、74.3%、72.6%;有机物点源污染主要影响 COD,影响贡献率为 84.6%;C 类地表水

体的污染主要来源于农业营养物质面源污染和生物化学过程,农业营养物质面源污染主要影响 TN、NH₃-N、TP,量化的污染贡献率分别为 69.5%、63.9%、78.9%;生物化学过程对 pH、BOD₅ 的影响贡献率为 88.4%、76.1%。

3 结论

综上所述,可以得出以下结论:

(1)南淝河整体上污染比较严重,大多数采样点属于劣 V 类。

(下转第 75 页)

谢物得到了比较充分的提取,为进一步研究浒苔代谢奠定基础。

参考文献

- [1] 尹琳琳,杨佰娟,郑立,等. 浒苔脂肪酸前处理方法优化及 GC/MS 分析[J]. 海洋科学,2010,34(11):46-50.
- [2] 孙元芹,李翹楚,李红艳,等. 浒苔生理活性与开发利用研究进展[J]. 水产科学,2013,32(4):244-248.
- [3] 李俭平. 浒苔对氮营养盐的响应及其氮营养盐吸收动力学和生理生态研究[D]. 青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2011.
- [4] 刘峰. 黄海绿潮的成因以及绿潮浒苔的生理生态学和分子系统学研究[D]. 青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2010.
- [5] SUN Y Y, WANG H, GUO G L, et al. Isolation, purification, and identification of anti-algal substances in green alga *Ulva prolifera* for anti-algal activity against the common harmful red tide microalgae[J]. Environmental science and pollution research, 2016, 23(2):1449-1459.
- [6] WANG Y, YU Z M, SONG X X, et al. Effects of macroalgae *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) on growth of four species of bloom-forming dinoflagellates[J]. Aquatic botany, 2007, 86

- (2):139-147.
- [7] 滕中秋,付卉青,贾少华,等. 植物应答非生物胁迫的代谢组学研究进展[J]. 植物生态学报,2011,35(1):110-118.
- [8] TRETYN A, LUKASIEWICZ-RUTKOWSKA H, KOPCEWICZ J. Isolation, purification and identification of acetylcholine in *Pharbitis nil* seedlings[J]. Acta Physiol Plant, 1997, 19(3):303-309.
- [9] WANT E J, O'MAILLE Q, SMITH C A, et al. Solvent-dependent metabolite distribution, clustering, and protein extraction for serum profiling with mass spectrometry[J]. Anal Chem, 2005, 78(3):743-752.
- [10] 张晓飞,段礼新,龚月桦,等. 用气相色谱-质谱联用比较牛耳草代谢物的提取方法[J]. 生物工程学报,2014,30(2):294-304.
- [11] 齐晓辉,李红燕,郭守东,等. 4 种不同来源浒苔中多糖的提取分离及理化性质[J]. 青岛:中国海洋大学学报(自然科学版),2010,40(5):15-18.
- [12] 徐大伦. 浒苔主要化学组分的分析及多糖活性的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2004.
- [13] 孙伟红,冷凯良,王志杰,等. 浒苔的氨基酸和脂肪酸组成研究[J]. 渔业科学进展,2009,30(2):106-114.

(上接第 43 页)

表 3 南淝河理化指标污染贡献率

Table 3 Pollution contribute rate of the parameters in Nanfei River

%

| 变量 Variable | A | | B | | C | |
|--------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| | 点源营养污染 Point source pollution | 有机物点源污染 Organic point source pollution | 点源营养污染 Point source pollution | 有机物点源污染 Organic point source pollution | 农业营养物面源污染 Agricultural nutrient non-point source pollution | 生物化学过程 Biochemical process |
| TN | 68.9 | 26.0 | 66.4 | 24.1 | 69.5 | 22.4 |
| NH ₃ -N | 72.5 | 36.0 | 72.6 | 22.6 | 63.9 | 14.9 |
| TP | 78.7 | 21.0 | 74.3 | 32.4 | 78.9 | 17.1 |
| DO | 8.2 | 9.1 | 13.4 | ND | 21.3 | 2.9 |
| pH | 23.0 | 18.0 | 6.7 | 17.3 | ND | 88.4 |
| BOD ₅ | ND | 55.3 | 14.3 | 34.7 | 18.7 | 76.1 |
| COD | 58.0 | 75.4 | 53.7 | 84.6 | 24.5 | 27.9 |

注:ND 表示未检测到

Note:ND was not detected

(2) 聚类分析结果,可将南淝河水体大致分为 3 个类别: A 类水体采样点分布于南淝河干流的中游段及支流板桥河上, NH₃-N 及 TN 污染最为严重; B 类水体分布在在四里河、二十埠河及店埠河三大支流, COD 污染较严重; C 类水体大多位于排污河流的下游和支流长乐河上, 由于污染源头的减少和沿途的自净作用, 污染情况相对最轻。

(3) A 类地表水体的污染主要来源于点源营养物质和点源有机物; B 类地表水体的污染主要来源于点源营养物质和点源有机物; C 类地表水体的污染主要来源于农业面源营养物和生物化学过程。

(4) 今后要根据不同河段的具体情况改善南淝河的水质, 在 A 类和 B 类地区建立更多的污水处理厂, 减少污水的直接排放, 加强流域内或跨流域调水, 保证其有一定的生态用水; 对 C 类地区则需要采取最佳管理措施, 以减少非点源污染。同时, 要加强流域内河道生态综合整治。

参考文献

- [1] TU J, XIA Z G, CLARKE K C, et al. Impact of urban sprawl on water quality in eastern Massachusetts, USA[J]. Environmental management, 2007, 40(2):183-200.
- [2] 纪岚, 杨立武, 李箐. 南淝河水污染现状与可持续发展对策研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2006, 30(4):92-94.
- [3] 汪天祥, 许士国, 韩成伟. 改进主要成分分析法在南淝河水质评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(10):34-36.
- [4] 陈彦光. 地理数学方法: 基础和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [5] LI W Z, LI X Y, WANG H L, et al. Spatial distribution of the main contaminations in aquatic environment in Fuyang River[J]. Acta scientiae circumstantiae, 2012, 32(11):2814-2819.
- [6] SIMEONOV V, STRATIS J A, SAMARA C, et al. Assessment of the surface water quality in Northern Greece[J]. Water research, 2003, 37(17):4119-4124.
- [7] 赵洁, 徐宗学, 刘星才, 等. 辽河河流水体污染源解析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5):838-842.
- [8] LIU Y, GUO H C, YANG P J. Exploring the influence of lake water chemistry on chlorophyll a: A multivariate statistical model analysis[J]. Ecological modelling, 2010, 221(4):681-688.