

Spatial Distribution of River Pollution Affected by Urban Activities

—A Case Study of Tuohe River in Suzhou City

Yupeng He, Linhua Sun, Huili Cao, Enhui Cui, Cunyang Zhang

School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui
Email: 1317449050@qq.com, sunlinh@126.com

Received: Mar. 4th, 2019; accepted: Mar. 15th, 2019; published: Mar. 22nd, 2019

Abstract

In this paper, the surface water of Tuohe River in Suzhou has been taken as the research object. The concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP in 40 samples were systematically measured, and then analyzed by a series of methods for getting the information about their pollution status and spatial distribution. The results show that 39 samples have water quality better than Class II with their $\text{NH}_3\text{-N}$ contents compared with the national surface water environmental quality standard of China, whereas all of the samples have water quality better than Class II with their TP contents. However, the coefficients of variation and P values of normal distribution test of the $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents suggest that the Tuohe River might have been affected by human activities. The spatial distribution shows that the samples with high $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents are mainly distributed in the lower reaches of the Tuohe River, while the spatial autocorrelation analysis also identified the lower reaches of the Tuohe River as a hot spot area of pollution, indicating that the area has been affected by human activities. Such results have also been supported by the bimodal characteristics of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP density plots and the non-normal distribution characteristics of QQ plots.

Keywords

River Water, Pollution, Spatial Distribution, Autocorrelation Analysis, Urban Area

城市影响下的河流污染的空间分布特征

——以宿州市沱河为例

何玉鹏, 孙林华, 曹慧丽, 崔恩慧, 张存杨

宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州
Email: 1317449050@qq.com, sunlinh@126.com

收稿日期: 2019年3月4日; 录用日期: 2019年3月15日; 发布日期: 2019年3月22日

摘要

本文以宿州市沱河水为研究对象,对40个样品中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的含量进行了测试,并利用多种方法对其污染状况和空间特征进行了分析。结果表明,与国家地表水环境质量标准相比,从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量来看(与国家地表水质量相比),有39个样品具有二类及更好水质,而从TP含量来看,40个样品都具有二类及更好水质。然而, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP变异系数和正态检验p值表明沱河水可能受到了人为活动的影响。空间分布特征表明,具有高含量 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的样品主要分布于下游区域,而空间自相关分析同样识别出沱河下游为污染的热点区域,表明该区域内人为活动的影响较大。这一结果在密度图的双峰式特征以及QQ图的非正态分布特征中得到了进一步的证实。

关键词

河水, 污染, 空间分布, 自相关分析, 城区

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是一个水资源短缺的国家,水资源问题已成为制约社会经济发展的主要因素。就水污染现状而言,工业废物、农村面源污染和城市生活垃圾等成为水污染主要来源[1][2]。当未经处理或处理不当的工业废水和生活污水排入水中,其数量超过水体自净能力时,就会造成水体污染,对人体健康产生影响[3][4]。

近年来,我国的各大河流污染现象屡见不鲜。据报道,由于水土流失及矿产资源开发,鄱阳湖重金属潜在生态风险较高[5];黄河兰州市区段河流每年都汇入数千万吨经处理或未经处理后的工业、生活废水[6];淮河高锰酸盐指数浓度从1991年到1996年间呈明显上升趋势,1997年至2001年指标浓度呈下降趋势,2002年该指标浓度开始缓步上升[7]等。

河流在宿州市发展中扮演了重要角色,包括供水、城市景观等。因此吸引了很多学者的关注,一系列研究得以展开,如李奇等[8]利用内梅罗综合指数评价法对水质污染状况进行了评估,得出宿州各河流水体均受到不同程度污染,但较2004年相比,沱河芦岭桥断面有明显改善。黄淑玲等[9]通过对水文特征、污染物特征、水环境现状调查,同时结合水环境容量计算方法分析得出目前宿州市沱河水质良好,大部分河段存在剩余水环境容量。季定民等[10]通过采用单因子评价,基于直观图解、线性趋势分析和季节性Kendall检验法对水质污染物主要指标进行了分析,得出宿州市沱河段水质状况处于不断改善之中。

本文通过对沱河宿州段进行调查采样,分析河水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的含量及其空间变化特征,并结合空间自相关分析和数理统计分析,以获取沱河宿州段的水质状况以及与城市影响有关的信息,从而为水资源保护提供参考。

2. 方法与材料

2.1. 研究区简介

宿州市位于安徽省北部,东与江苏省宿迁接壤,西与河南省商丘毗邻,南与安徽省蚌埠相连。宿州

市辖区内有几条河流，本文研究对象为位于宿州市东部的沱河。沱河源自河南商丘附近，由永城县濉溪流入宿州市，西北至东南走向贯穿宿州市，全长 275.13 km。宿州市沱河段是南沱河的上段，起始于沱河进水闸，终止于外环南路，全长 12.7 km，水域面积 44.7 km²，具有巨大的生态价值和社会价值。沱河流域历年来时有污染，政府斥巨资防治，已经取得了一定的成效。

2.2. 采样与测试

通过对沱河宿州段进行实地考察，确定其主要流经方向(西北流向东南)及输入口、输出口，并沿着沱河水流相反方向进行采样。样品采集在 2018 年 4 月完成，本着每隔 50 m 采集一个样品的原则，共采集了 40 个样品(具体分布见图 1)。样品采集完成后，将其存放于干净、密封的容器中，并给它们标上序号，送进实验室进行处理。为了防止样品中存在杂质对仪器及测试产生影响，所有样品均在室温下进行抽滤(0.22 μm 膜)，除去杂物后放入仪器中测试。

2.3. 数据分析

本文着重研究了沱河水流中的 NH₃-N、TP 含量。研究过程中对采集数据的进行统计分析，包括最小值、最大值、平均值、标准差、变异系数及正态分布检验 p 值。其中 NH₃-N、TP 含量的空间分布利用 Excel 绘制，其空间分析用 Geoda 完成。



Figure 1. Distribution of samples
图 1. 采样点分布图

3. 结果与讨论

3.1. 含量特征

国标(GB 3838-2002)根据 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量将地表水分为五类见表 1: I 类主要适用于水源地及国家自然保护区; II、III 类主要适用于集中式生活饮用水; IV 类主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区; V 类主要适用于农业用水区及一般景观要求用水。

本文研究样品的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量的基本统计结果见表 2。从表 2 中可以看出, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量介于 0.057 和 0.661 mg/L 之间, 平均值为 0.199 mg/L, 而 TP 的含量介于 0.013 和 0.064 mg/L 之间, 平均值为 0.028 mg/L, 与国家地表水环境质量标准相比(表 1), 从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量来看, 有 39 个样品具有二类及更好水质, 仅有一个为三类水质, 而从 TP 含量来看, 40 个样品都具有二类及更好水质。

变异系数(CV)是衡量资料中各观测值变异程度的一个统计量, 计算方式为标准差与平均数的比值。在环境科学研究中, 变异系数通常用于分析污染物含量是否受到明显的人为影响。研究表明, 变异系数的大小代表着人为影响程度的强弱, 当 $\text{CV} < 0.20$ 时, 表示受人为影响较低, 代表低程度的人为贡献率; 相反, 当 $\text{CV} > 0.80$ 时, 表示人为影响较严重, 代表着较高的人为贡献率[11]。本文研究样品中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量相对 TP 含量具有更高的 CV 值, 分别为 0.682 和 0.538 (表 2), 说明 $\text{NH}_3\text{-N}$ 受人为影响较 TP 明显, 这与上文根据水质分类推测的结果是相一致的。

正态分布检验 p 值可以用于分析数据是否符合正态分布。当 $p \geq 0.05$ 时, 可以认为符合正态分布, 间接表明河流污染受人为影响较低。反之, 当 $p < 0.05$ 时为非正态分布, 河流污染受人为影响严重[12]。宿州市沱河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的 p 值均 < 0.01 (表 2), 说明可能受人为因素的影响, 与上文推测的结果一致。

Table 1. Surface water environmental quality standards (GB 3838-2002) (mg/L)

表 1. 地表水环境质量标准(GB 3838-2002) (mg/L)

元素	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
$\text{NH}_3\text{-N}$	≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 2.0
TP	≤ 0.02	≤ 0.1	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.4

Table 2. Statistical results of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents in Tuohe River (mg/L)

表 2. 沱河水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 含量统计结果(mg/L)

元素	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	p 值
$\text{NH}_3\text{-N}$	0.057	0.661	0.199	0.136	0.683	< 0.01
TP	0.013	0.064	0.028	0.015	0.538	< 0.01

3.2. 空间分布特征

污染物的空间分布可以为探讨污染物的来源以及人为影响提供直观信息[13] [14]。因为本次研究采样的河流沿西北流向东南, 采集路线与河流走向一致, 因此本文采用了 Excel 软件绘制了沱河水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的线性分布图并示于图 2, 从中可以直观的观察出 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的空间分布特征。

从图 2 可以看出, 沱河水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的线状分布图具有相似的特征, 其高含量区域主要集中于沱河下游。这种情况表明, 宿州市沱河地表水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量虽然污染程度上存在差异, 但二者在来源上可能有相似的地方。这种推测与上文根据变异系数及正态检验 p 值得到的结果是相一致的。

比较沱河水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的线性分布图能发现, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量高的区域相对分散成两个区域, 而 TP 含量高的区域则连成一片, 这与区域的实际情况有关: 对于沱河下游而言, 其附近为田地及芦苇丛,

可能有农作物肥料以及动植物腐烂的分解产物随水土的流失进入水体使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量增加[15]。此外,对于沱河上游来说,附近出现排污口及大量的工业废屑, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量增加可能与生活污水和某些含氮工业废水的排放有关[16]。

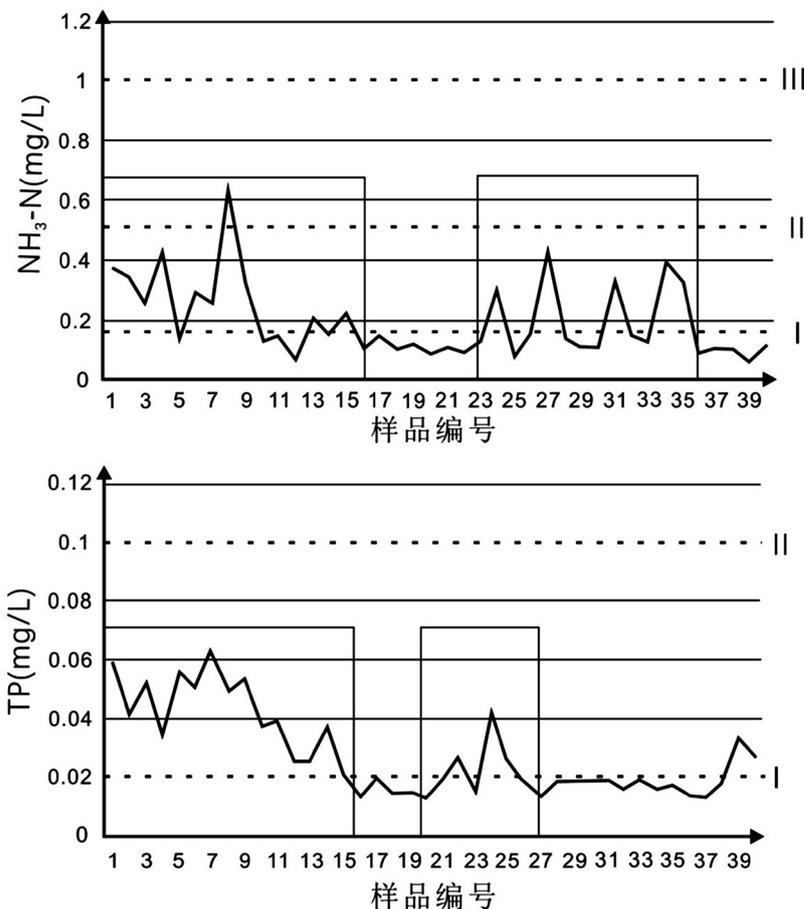


Figure 2. Linear distribution of $\text{NH}_3\text{-N}$ (Upper figure) and TP (Figure below) contents (mg/L) in Tuohe River

图 2. 沱河水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ (上图)和 TP (下图)含量(mg/L)的线性分布

3.3. 空间自相关分析

空间自相关分析是对某一地理变量空间分布相邻位置的相关性进行检验的一种统计方法,它是通过检测一个位置上的变异是否依赖于邻近位置上的变异来判断该变异是否存在空间自相关性[17] [18]。空间自相关在 1948 年由 Moran 等[19]提出。目前,已经被广泛应用于多个领域的研究中[20] [21] [22] [23] [24]。空间自相关分析以相应统计量来表征地理变量的关联程度和集聚模式,统计量的正负表示空间自相关性的正负,统计量越大,表示空间自相关性越强[25]。

按照 Moran'I 指数的分类,采集的样品可以划分为四个类别,分别为高-高、低-低、低-高和高-低,可以表示为某个样品与周边样品之间的含量上的相对关系[25]。如高-高表示高含量的样品且其周边样品含量也很高,因此,这种样品点可以被称为热点;相反,低-低表示低含量的样品且其周边样品含量也很低,这种样品点被称为冰点;而低-高和高-低则表示异常点,可能与其他外在的因素影响有关。分析结果如图 3 所示。

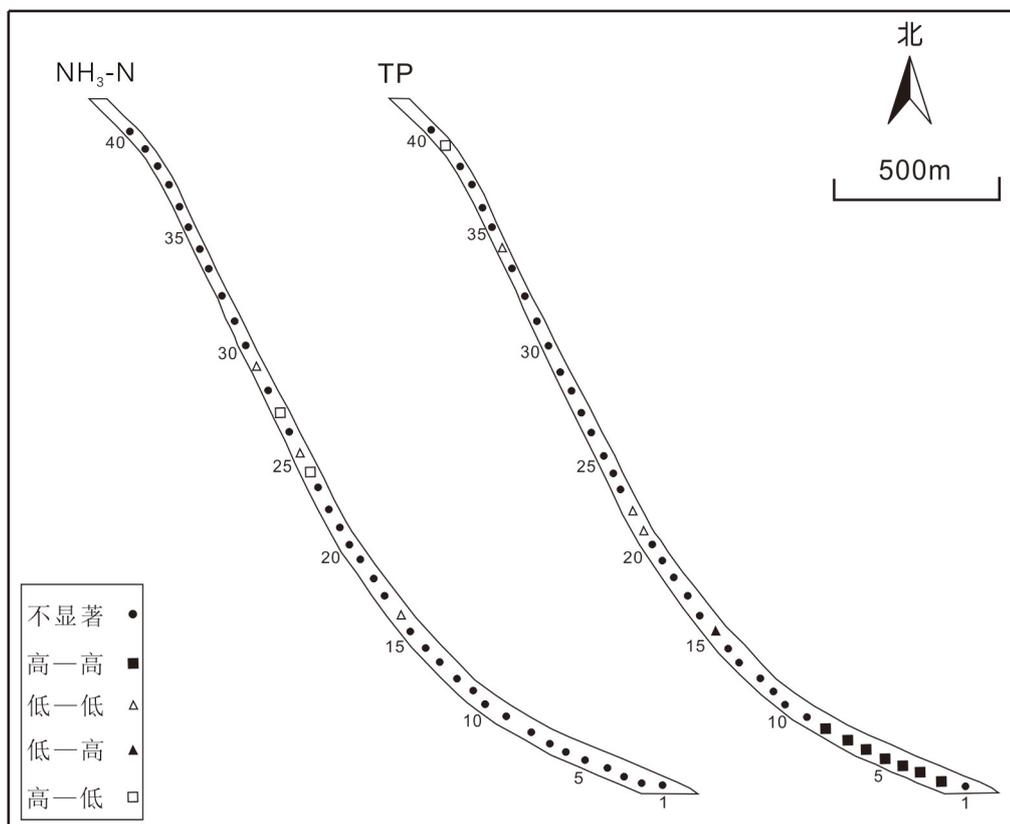


Figure 3. The results of spatial autocorrelation analyses of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents (mg/L)

图 3. $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量空间自相关分析结果(mg/L)

1) 热点: 从图 3 中可以看出, TP 含量的高 - 高聚类样品主要出现沱河下游。TP 含量的高 - 高聚类样品数为 7, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量的高 - 高聚类样品数为 0。从其聚集的情况来看, 这种热点聚集的地方可以被称为热区, 即沱河下游热区, 可能与磷的面源污染有关。

2) 冰点: 从图 3 中可以看出, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的低 - 低聚类样品所出现的位置不完全相同, 前者主要分布于图幅中间位置, 而后者则主要分布于图幅中部及以上位置, 对应的样品数均为 3, 且前者相对集中, 后者相对分散。因为其含量偏低, 所以低 - 低聚类的样品应该反映了自然环境的影响, 而不是污染所致。

3) 异常聚类: 这里包括低 - 高和高 - 低聚类的样品。从样品数及分布来看, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的异常聚类样品数均为 2 个。分布比较分散, 说明可能与点源污染有关。

3.4. 数理统计分析

相关研究表明, 自然界中绝大多数物质的含量服从正态分布规律, 如自然界中元素的背景值或者单一来源的污染物含量等。对于城市地表水而言, 在没有受到外来因素的影响下, 地表水中的元素含量也应该符合正态分布规律。换言之, 如果地表水受到了一系列因素的扰动, 就可能出现偏态的情况[26]。

从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的密度图来看(图 4), 均表现出双峰式的特征。因此, 可以考虑 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 在未受其他影响时是正态分布的(低含量部分), 而异常部分(高含量)说明样品受到其他外来因素(如人为活动)的影响。

为了验证上述分析, 我们还利用 QQ 图进行了分析(图 5)。QQ 图是一种由标准正态分布的分位数为

横坐标, 样本值为纵坐标的散点图, 若图中的散点近似在一条直线附近, 则可以看成符合正态分布, 相反若散点波动范围较大, 无法在一条直线附近则说明不符合正态分布[27]。观察图 5 可以发现, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的 QQ 图均分为两段, 都不是近似在一条直线附近, 因此 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的样品来源区域可能受到其他外在因素的影响。

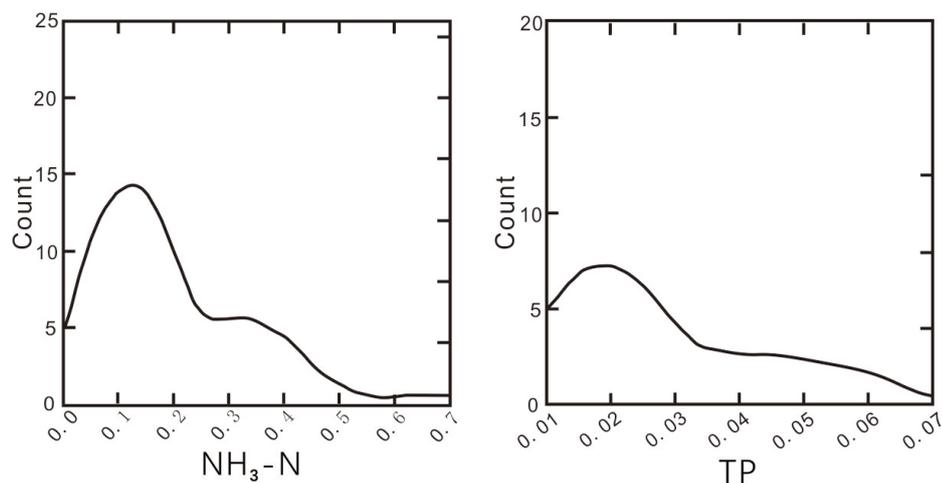


Figure 4. Density plots of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents (mg/L)

图 4. $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的密度图(mg/L)

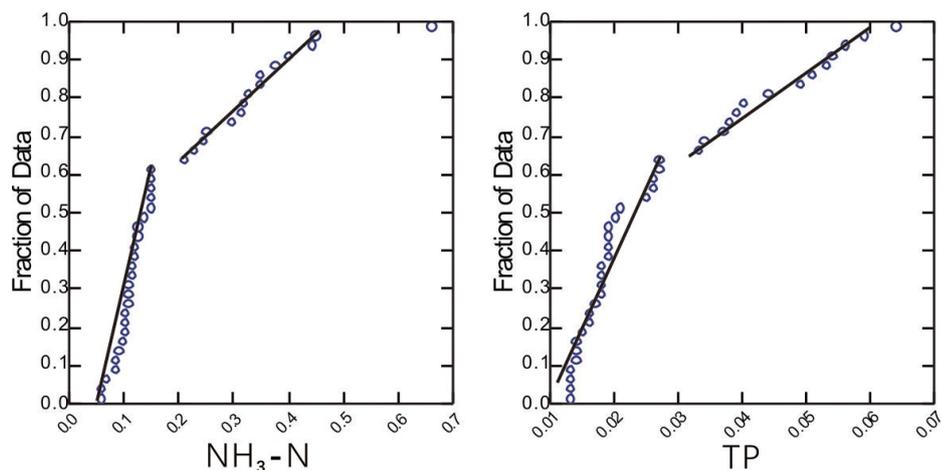


Figure 5. QQ plots of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP contents (mg/L)

图 5. $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的 QQ 图(mg/L)

4. 结论

通过对沱河宿州段水样品中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 含量的分析, 获得了以下认识:

1) 与国家地表水环境质量标准相比, 从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量来看, 有 39 个样品具有二类及更好水质, 仅有一个为三类水质, 从 TP 含量来看, 40 个样品都具有二类及更好水质。

2) 空间分布特征表明, 具有高含量 TP 的样品主要分布在沱河下游, 可能与面源污染有关, 与利用空间自相关分析得出的认识相一致。

3) $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的密度图成双峰式, 并且其 QQ 图分为两段, 说明不符合正态分布, 可能受到外在人为活动的影响。

基金项目

宿州学院地质资源与地质工程重点学科 2018 年度青年人才培养开放课题资助。

参考文献

- [1] 王啸宇, 崔杨, 陈玫君. 中国水污染现状及防治措施[J]. 甘肃科技, 2013, 29(13): 34-35.
- [2] 姚诚. 水污染现状及其治理措施[J]. 污染防治技术, 2009, 22(2): 87-90.
- [3] 裴继春. 水污染的危害及防治[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(3): 18-19.
- [4] 张振营. 水污染与人体健康[J]. 海河水利, 2002 (b10): 70-71.
- [5] 杨辉, 陈国光, 刘红樱, 梁晓红, 张明. 长江下游主要湖泊沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 地球与环境, 2013, 41(2): 160-165.
- [6] 张秀春, 张建奎. 黄河污染带水质的模拟计算及其环境容量确定[J]. 甘肃冶金, 2004, 26(4): 62-64.
- [7] 董广霞, 毛剑英. 淮河流域污染“久治不愈”原因浅析及治理措施建议[J]. 中国环境监测, 2005, 21(6): 75-78.
- [8] 李奇, 张生, 郭勇. 宿州市主要河流污染的时空特征及水质评价[J]. 安徽工程大学学报, 2015, 30(2): 44-49.
- [9] 黄淑玲, 张勇. 宿州市沱河段水环境容量研究[J]. 安徽科技学院学报, 2010, 24(3): 22-25.
- [10] 季定民, 张勃, 黄淑玲, 张建香, 杨尚武, 周丹. 宿州市沱河段水质时间变化及影响因素研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 308-312.
- [11] Guo, P., Xie, Z.L., Jun, L.I., *et al.* (2005) Specificity of Heavy Metal Pollution and the Ecological Hazard in Urban Soils of Changchun City. *Scientia Geographica Sinica*, **25**, 108-112.
- [12] Reimann, C. and Garrett, R.G. (2005) Geochemical Background—Concept and Reality. *Science of the Total Environment*, **350**, 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047>
- [13] 杨建, 陈家军, 王心义. 煤矸石堆周围土壤重金属污染空间分布及评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 873-878.
- [14] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 463-468.
- [15] 朱梦圆, 朱广伟, 王永平. 太湖蓝藻水华衰亡对沉积物氮、磷释放的影响[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 409-415.
- [16] 张利民, 王水, 韩敏, 何卿, 潘国权, 王春. 太湖流域望虞河西岸地区氮磷污染源解析及控制对策[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 315-320.
- [17] Cliff, A.D. and Ord, J.K. (1968) The Problem of Spatial Autocorrelation.
- [18] Cliff, A.D. and Ord, J.K. (1981) Spatial Processes: Models & Applications. Pion, London.
- [19] Moran, P.A.P. (1948) The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, **10**, 243-251. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x>
- [20] 杜国明, 张树文, 张友全. 城市人口分布的空间自相关分析——以沈阳市为例[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 383-3390.
- [21] Diniz-Filho, J.A.F., Bini, L.M. and Hawkins, B.A. (2003) Spatial Autocorrelation and Red Herrings in Geographical Ecology. *Global Ecology and Biogeography*, **12**, 53-64. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00322.x>
- [22] 谢花林, 刘黎明, 李波, 等. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 389-400.
- [23] Dormann, C.F., McPherson, J.M., Araujo, M.B., *et al.* (2007) Methods to Account for Spatial Autocorrelation in the Analysis of Species Distributional Data: A Review. *Ecography*, **30**, 609-628. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x>
- [24] 赵小凤, 黄贤金, 张兴榆, 朱德明, 赖力, 钟太洋. 区域 COD, SO₂及 TSP 排放的空间自相关分析: 以江苏省为例[J]. 环境科学, 2009, 30(6): 1580-1587.
- [25] 昌晶亮, 余洪, 罗伟伟. 珠三角 PM_{2.5} 浓度空间自相关分析[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 853-858.
- [26] 陈光旭, 孙林华. 芦岭煤矿系砂岩水常规离子来源分析[J]. 宿州学院学报, 2014, 29(10): 85-89.
- [27] 范凯, 韦朝阳, 杨晓松. 长沙市乔口镇土壤重金属地球化学基线值的厘定及应用[J]. 环境科学学报, 2014, 34(12): 3076-3083.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org