

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

| | | |
|--|-----------------------------------|--------------------|
| 长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 | 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 | (1) |
| 厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析 | 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正 | (8) |
| 兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 | 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 | (15) |
| 气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响 | 王鸿,朱天乐,王美艳 | (21) |
| 麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 | 汪军,王德建,张刚,王远 | (27) |
| 单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 | 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 | (34) |
| 碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 | 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 | (39) |
| 夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布 | 王敏,张洪海,杨桂朋 | (45) |
| 2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析 | 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 | (51) |
| 基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测 | 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 | (61) |
| 基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究 | 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 | (69) |
| 重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 | 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 | (77) |
| 区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 | 陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 | (84) |
| 秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 | 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 | (91) |
| 湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 | 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 | (98) |
| 丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 | 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 | (108) |
| 汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 | 李晋昌,张红,石伟 | (116) |
| 黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 | 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 | (121) |
| 胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 | 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 | (129) |
| 基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 | 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 | (137) |
| 海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 | 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 | (145) |
| 水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 | 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 | (150) |
| 化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 | 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 | (156) |
| 无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 | 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 | (163) |
| 天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 | 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 | (169) |
| 不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 | 徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 | (177) |
| 基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 | 曾宪委,刘建国,聂小琴 | (182) |
| 负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 | 张小娜,周少奇,周晓 | (188) |
| 污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 | 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 | (194) |
| 微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 | 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 | (198) |
| 不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响 | 韩雪,高大文 | (204) |
| 模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 | 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 | (209) |
| 嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 | 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栲,何宝燕,李跃鹏 | (217) |
| 阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 | 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 | (226) |
| 活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 | 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 | (231) |
| 北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 | 杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 | (237) |
| 北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 | 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 | (244) |
| 北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估 | 千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 | (251) |
| 多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 | 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 | (257) |
| 利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 | 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 | (263) |
| 不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 | 孟瑶,梁红,高大文 | (271) |
| 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 | 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 | (277) |
| 垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 | 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 | (283) |
| 黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 | 董洪芳,于君宝,管博 | (288) |
| 丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 | 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 | (293) |
| 重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 | 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟 | (302) |
| 无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取 | 陈义萍,王少锋,贾永锋 | (308) |
| 铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 | 李华,黄建国,袁玲 | (315) |
| 污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 | 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 | (321) |
| 高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 | 李坤权,李焯,郑正,桑大志 | (328) |
| 基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 | 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 | (336) |
| 微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 | 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 | (347) |
| 2012 城市生态学术研讨会会议论文 | | |
| 北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 | 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 | (357) |
| 北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 | 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 | (364) |
| 北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 | 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 | (373) |
| 洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 | 虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 | (379) |
| 低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析 | 施晓清,李笑诺,杨建新 | (385) |
| 北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 | 邓俊,徐琬莹,周传斌 | (395) |
| 人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 | 黄锦楼,陈琴,许连煌 | (401) |
| 《环境科学》征订启事(26) | 《环境科学》征稿简则(68) | 信息(76,144,301,400) |
| | | 专辑征稿通知(394) |

北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析

杨维^{1,2}, 赵文吉^{1,2}*, 宫兆宁^{1,2}, 赵文慧³, 唐涛⁴

(1. 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048; 2. 首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048; 3. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 4. Department of Geography and Planning, State University of New York College at Buffalo, Buffalo 14222)

摘要: 可吸入颗粒物(PM_{10})已成为北京市首要空气污染物,严重影响城市环境质量及居民健康. 本研究采集了北京市 2008 ~ 2009 年非采暖期与采暖期两个不同时期不同粒径(0.3、0.5、3.0 和 5.0 μm)的大气颗粒物浓度,利用空间分析方法研究其分布规律;同时收集同期患呼吸系统疾病的病人数据,对其进行统计分析;再在回归分析的基础上,运用灰色关联模型探讨可吸入颗粒物与呼吸系统疾病的相关性. 结果表明,细颗粒的空间分布情况相异,而粗颗粒物分布规律大致相同. 呼吸系统疾病与可吸入颗粒物浓度有一定的关联,采暖期是呼吸系统疾病的高发期,可吸入颗粒物在采暖期对呼吸系统疾病的发病率影响相对较高. 无论在采暖期还是非采暖期,细颗粒物的浓度均高于粗颗粒物,且细颗粒物对呼吸系统疾病的影响较大.

关键词: 可吸入颗粒物; 呼吸系统疾病; 空间分析; 采暖期与非采暖期; Kriging; 灰色关联

中图分类号: X838 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0237-07

Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City

YANG Wei^{1,2}, ZHAO Wen-ji^{1,2}, GONG Zhao-ning^{1,2}, ZHAO Wen-hui³, TANG Tao⁴

(1. Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Resources, Environment and Geographic Information System Key Laboratory of Beijing, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 3. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 4. Department of Geography and Planning, State University of New York College at Buffalo, Buffalo 14222, America)

Abstract: Inhalable particulate has become the premier pollutant of Beijing, which has enormous influence on the environmental quality of the city and health of the residents. Inhalable particle pollutants (particulate matter of 0.3, 0.5, 3.0 and 5.0 μm) during the heating period and the non-heating period in 2008 and 2009 were collected, and spatial analysis was used to study the spatial distribution of each pollutant. Meanwhile, the hospital data about respiratory disease during the same time was gathered and counted. Then the relativity between inhalable particulate pollutants and respiratory disease was studied by grey correlation analysis on the base of regression analysis. The results showed that spatial distribution of fine particle was diverse but the pattern of coarse particle was similar. There was certain association between respiratory disease and inhalable particle pollutants. Heating period was the highest incidence period of respiratory disease. The prevalence of respiratory disease was higher in heating period than non-heating period. The concentration of fine particle was higher than that of coarse particle both in heating and non-heating periods, and fine particle had more effects on the respiratory system disease than coarse particle.

Key words: inhalable particulate; respiratory disease; spatial analysis; heating period and non-heating period; Kriging; grey correlation analysis

可吸入颗粒物(PM_{10})在全球大气中所占的比例并不大,但是它对环境、气候以及人类健康都有重要影响,因而备受人们关注^[1-3]. 由于可吸入颗粒物粒径小、比表面积大,因而其吸附性强,很容易成为空气中各种有毒物质的载体^[4]. 颗粒物被吸入肺部,并且有一些残留在血液中,造成感冒、哮喘、上呼吸道感染、肺炎、气管炎等呼吸系统疾病. 随着经济的发展,可吸入颗粒物导致北京及其周边地区的大气污染呈现出显著的区域性、复合型特征,可吸入颗粒物会在传输和转化的过程中影响城市环境的能见度、人体健康以及全球气候的变化^[5-8].

Pouliou 等^[9]通过重新调查哈密尔顿儿童组织的数据,对大气污染在儿童健康方面进行了评估; Orru 等^[10]结合高空间分辨率模型和离散模型,评价了塔林地区细颗粒物($PM_{2.5}$)对心血管病和呼吸系统疾病发病率及死亡率的影响;殷永文等^[11]对上海市

收稿日期: 2012-03-22; 修订日期: 2012-05-14

基金项目: 北京市自然科学基金重点项目(KZ200910028006); 国际科技合作项目(2010DFA92400); 国家青年科学基金项目(41101404); 北京市教委科技计划面上项目(KM201110028013); 国家基础测绘项目(2011A2001)

作者简介: 杨维(1987~),女,硕士研究生,主要研究方向为遥感与GIS在城市环境中的应用, E-mail: ywei26@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: zhwenji1215@163.com

霾期间 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度与呼吸科、儿呼吸科门诊人数进行了统计分析并对当日和滞后日危险度作了评估;哈红萍等^[12]针对西宁市近年大气污染状况,根据呼吸系统疾病发病门诊量,分析了西宁市民呼吸系统疾病发病人数与 PM_{10} 的相关性.国内对可吸入颗粒物的报道主要集中在颗粒物的粒径分布、变化规律及来源等方面^[13~17],或者仅从流行病学、毒理学角度探讨大气颗粒物对人体健康的影响^[18~21],而从空间分布和空间分析上来研究可吸入颗粒物与居民健康相关性的报道还不多,尤其对北京市可吸入颗粒物与呼吸系统疾病关系的研究尚少.因此,本实验选择北京城区为研究区,采用空间分析方法,探讨了北京市 2008~2009 年非采暖期与采暖期两个不同时期不同粒径的颗粒物浓度空间分布情况及其与呼吸系统疾病的关系.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京地处中国华北平原西北边缘,地形特殊,山区主要分布在西部、北部和东北部,形成三面环山、一面开口的地形,不利于大气颗粒物的扩散.此外,北京的气候为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促,逆温发生频繁,且冬季居民需要采暖,燃煤量增加,燃煤产生的可吸入颗粒物对人体健康存在着巨大的潜在危害.近 20 年来,由于能源消耗和汽车保有量的迅速增长,再加上全年,特别是春季外来粉尘的入侵,北京正面临着十分严重的大气环境污染问题^[22].

1.2 数据来源

本研究采用的数据主要包括以下 3 个方面.

(1)呼吸系统疾病数据 呼吸系统疾病是一种常见的多发性疾病,主要病变在肺部、胸腔、气管和支气管,常见的呼吸系统疾病有急性上呼吸道感染、急性气管炎、支气管炎等.本研究收集的呼吸系统疾病每日门诊量来自于位于北京市城西地区的一所大型综合性医院,统计的病例包括上呼吸道感染、阻塞性肺炎、阻塞性肺气肿、哮喘、支气管哮喘、慢性支气管炎、慢性阻塞性肺疾病、慢性扁桃体炎、吸入性肺炎、急性支气管炎、急性咽喉炎、急性喉炎、急性化脓性扁桃体炎、呼吸衰竭以及过敏性鼻炎共 15 种病例,根据病人入院时提供的地址和邮政编码在地图上实现病人住址的空间化.由于医院从 2008 年 6 月后才实施电子病例管理系统,因此只收集到 2008 年 6~12 月及 2009 年全年的患呼

吸系统疾病的病人数据.

(2)可吸入颗粒物数据采集 采用 Kanomax 手持激光粒子计数器(3886 GEO-X)分别测量 2008 年和 2009 年粒径大小为 0.3、0.5、3.0 和 5.0 μm 的可吸入颗粒物浓度,监测时间为每年的 12 月 4 日~12 月 14 日(采暖期)和 6 月 12 日~6 月 22 日(非采暖期),采样点均匀、规律、广泛地布置在北京市主城区内不同下垫面上,共 93 个监测点(2008 年有效数据为 91 个,2009 年有效数据为 93 个).每一次采样都在天气晴朗且相对稳定的气象条件下进行,采样路线均相同,按照同一顺序驾车依次到达采样点进行数据采集,并在不堵车情况下尽量保证每一次的采样时间相同.在采集颗粒物浓度的同时,利用 Kestrel 3500 手持式风速仪(NK3500)记录采样点的温度、相对湿度和风速大小,并使用 Trimble GPS 手持机获取每一个采样点的空间坐标.将以上野外采集的数据导入 ArcGIS 中,以 shp 格式存储.

(3)北京市行政区划图(1:2.5 万) 北京城区按街道办事处划分为 129 个单元,本研究以街道办事处为基本单元进行分析.根据 2010 年第六次人口普查数据,海淀区学院路街道办事处和北太平庄街道办事处人口数量最多,分别为 24.3 万人和 20.2 万人.从人口普查的数据得出,北京市人口密度高值区主要分布在中环及二环附近地区,而人口数量的高值区则集中在城市西部,这也是本研究收集的数据中患呼吸系统疾病的病人主要分布的地区,故本研究具有一定的代表性.

1.3 研究方法

1.3.1 空间分析

空间分析是地理学和地理信息科学领域的重要内容,在地理学及相关学科中受到越来越多的重视^[23].在 GIS 提供的空间插值方法中,克里金法以变异函数理论和结构分析为基础,在数学上被证明是空间分布数据最好(统计最优)的线性无偏估计技术^[24].相比简单克里金法(simple kriging)和普通克里金法(ordinary kriging),泛克里金法(universal kriging)是一种线性无偏的空间分析工具,它能生成一个研究区域变量分布的线性趋势^[25].故本研究采用泛克里金法进行插值,利用采集到的点数据来估算整个北京市不同粒径大气颗粒物的浓度及气象因子的空间分布.克里金法的分析工具就是半方差函数(semivariance),借此来检验自相关^[26,27],数学表达式为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (1)$$

式中, $Z(x)$ 为 z 点的空间属性值, $N(h)$ 为相距(或称空间滞后) h 的控制点对的数目. 由于空间依赖关系, $r(h)$ 随 h 的增加而增大, 即邻近物体之间的相似性大于远距离物体, $r(h)$ 增大到一定距离后则保持平稳, 这反映了区域化变量之间随距离增加相关性减弱的特性. 此时, $r(h)$ 称为变程, 指的是区域化变量在空间上具有相关性的范围. 在变程范围之内, 数据具有相关性, 在变程之外, 数据之间不相关. Kriging 法通过拟合半方差图得到一个数学模型, 以此来估计任意给定距离的半方差函数, 从而用之计算空间权重.

1.3.2 统计分析

在研究呼吸系统疾病与颗粒物关系时, 本研究首先采用线性回归分析, 得到呼吸系统疾病与颗粒物浓度具有相关性的区域, 在此基础上, 利用灰色关联法做进一步分析. 线性回归分析是研究自变量和

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |S_{ij}(k) - S_{i0}(k)| + \rho \max_i \max_k |S_{ij}(k) - S_{i0}(k)|}{|S_{ij}(k) - S_{i0}(k)| + \rho \max_i \max_k |S_{ij}(k) - S_{i0}(k)|} \quad (4)$$

式中, $k=1, 2, \dots, n$, 其中 $\min_i \min_k |S_{ij}(k) - S_{i0}(k)|$ 为两级最小差, $\max_i \max_k |S_{ij}(k) - S_{i0}(k)|$ 为两级最大差, ρ 为分辨系数, 其值在 0 与 1 之间, 一般取 $\rho=0.5$.

由于关联系数的数目较多, 为了比较的方便, 采用下式求得两个序列的关联度, 以此来判断参考序列和比较序列之间的影响程度:

$$\gamma = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (5)$$

式中, $k=0, 1, \dots, m$.

2 结果与分析

2.1 可吸入颗粒物空间分布

利用 ArcGIS 9.3 软件中 Geostatistical Analyst 扩展模块提供的 universal kriging 插值法, 分别对 2008~2009 年非采暖期和采暖期的细微颗粒 $PM_{0.3}$ 、 $PM_{0.5}$ 及粗颗粒 $PM_{3.0}$ 、 $PM_{5.0}$ 进行插值, 得到其分布情况, 结果如图 1 所示. 从总体上看, 北京城区可吸入颗粒物的浓度较高, 2009 年采暖期 $PM_{0.3}$ 浓度的最高值达到了 $1.1718E+08$ 个· m^{-3} , 这也是本研究中颗粒物浓度的最高值, 2008 年采暖期 $PM_{0.3}$ 浓度的最高值也高达 $1.16964E+08$ 个· m^{-3} . 整体上讲, 2008 和 2009 两年的数据显示出, 同一粒径的颗粒物在采暖期的浓度值高于非采暖期, 例如 2008 年

因变量之间相互依赖关系的一种统计分析方法, 其目的在于根据自变量的变化预测或估计因变量的变化情况. 灰色关联法通过几何曲线形状的接近程度来量化分析动态过程的发展趋势, 几何曲线的形状越接近表明被比较的系统关联度越大, 反之越小^[28~30].

设 $S_{ij} = [x_{ij}^0(1), x_{ij}^0(2), \dots, x_{ij}^0(n)]$ 为参考序列, $S_{i0} = [x_{i0}(1), x_{i0}(2), \dots, x_{i0}(n)]$ 为比较序列, 参考序列是反映系统行为特征的数据序列, 比较序列是由影响系统行为的因素组成的序列. 通常参考序列和比较序列的初始值具有不同的单位, 因此在比较前采用均值化法对数据进行无量纲化处理, 方法为:

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{ij}(k) \quad (2)$$

$$S_{ij}(k) d = \frac{S_{ij}(k)}{S} \quad (3)$$

其中, $k=0, 1, \dots, m$, 由此可得到参考序列和比较序列在第 k 个对象的关联系数:

细颗粒物 $PM_{0.3}$ 在非采暖期浓度值为 $6.84315E+07 \sim 7.69159E+07$ 个· m^{-3} , 在采暖期的浓度值上升到 $7.86244E+07 \sim 1.16964E+08$ 个· m^{-3} . 这可能是因为非采暖期采集颗粒物浓度的时间为每年 6 月中下旬, 此时北京处于夏季, 温度较高, 大气对流层内垂直对流运动较为强烈, 有利于颗粒物的扩散, 从而降低了颗粒物浓度; 同时, 北京夏季降雨相对其它季节较多, 通过雨滴与颗粒物发生的吸附、碰撞或扩散等湿沉降过程, 大气中的颗粒物被雨水冲刷清除, 使得颗粒物浓度降低. 而采暖期采集颗粒物浓度的时间为 12 月上旬至中旬, 此时北京受冷空气影响, 气温较低, 空气对流运动明显减弱, 形成静风等不利于大气颗粒物扩散的气象条件, 颗粒物容易积聚; 同时, 冬季燃煤供暖也在一定程度上增大了空气中可吸入颗粒物的含量, 致使采暖期颗粒物浓度较高. 无论是采暖期还是非采暖期, 细颗粒物的浓度均高于粗颗粒物, 并且颗粒物粒径越小, 污染物浓度越高, 不同粒径颗粒物浓度值大小排序为 $PM_{0.3} > PM_{0.5} > PM_{3.0} > PM_{5.0}$.

对比细颗粒物和粗颗粒物的分布发现, 细颗粒物 $PM_{0.3}$ 与 $PM_{0.5}$ 空间分布情况相异, 粗颗粒物 $PM_{3.0}$ 与 $PM_{5.0}$ 的空间分布情况大致相同. 具体来说, 细颗粒物 $PM_{0.3}$ 和 $PM_{0.5}$ 在 2008 年的分布情况刚好相反: 非采暖期 $PM_{0.3}$ 的浓度低值区主要集中在丰台区大

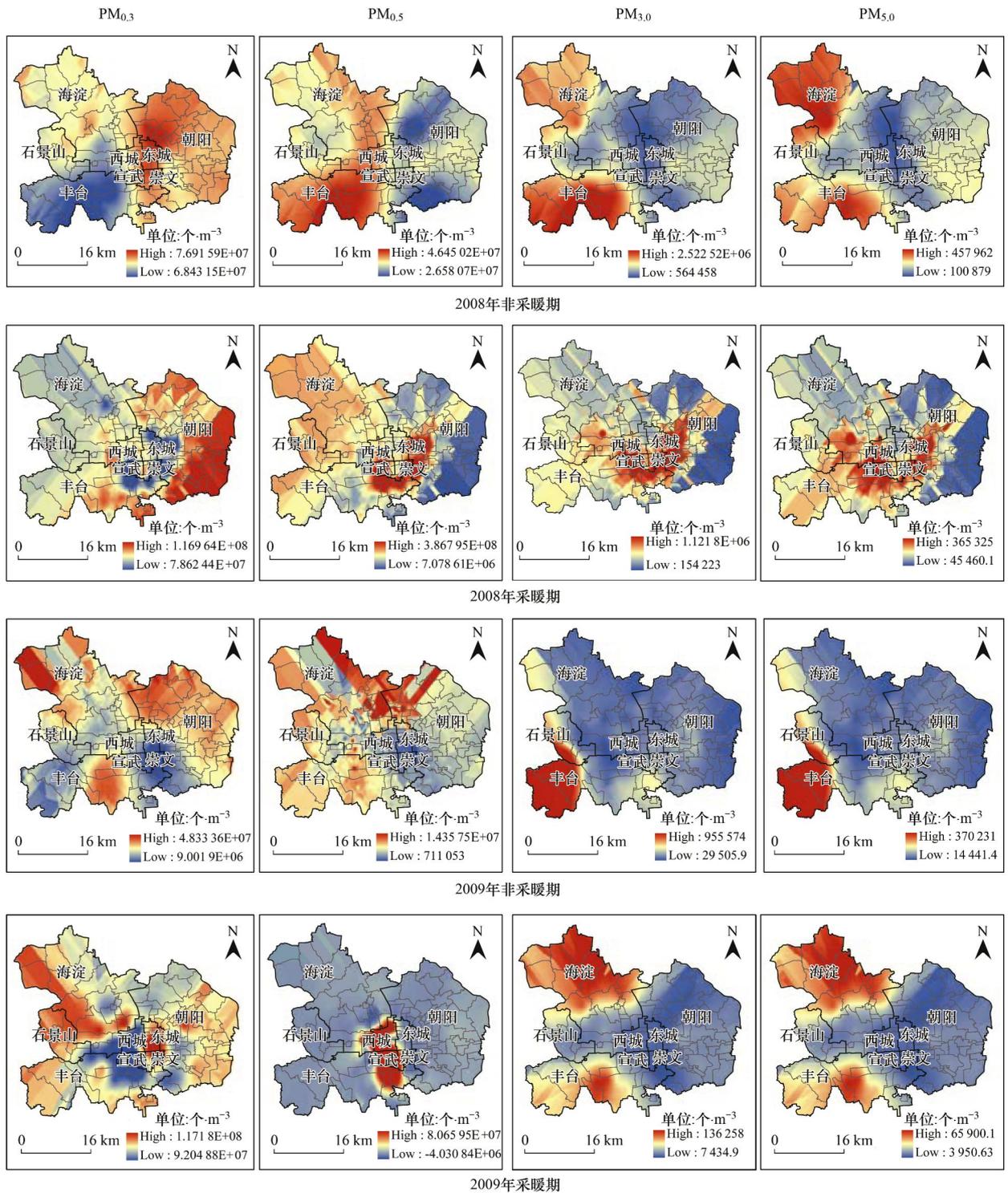


图 1 2008、2009 年非采暖期和采暖期可吸入颗粒物空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of inhalable particulates during the non-heating period and the heating period in 2008 and 2009

部,而丰台区则是 $PM_{0.5}$ 的浓度高值区; $PM_{0.3}$ 非采暖期浓度高值区主要在城区中部和东北部,以东城区和朝阳区西北部最高,此处恰好是 $PM_{0.5}$ 浓度的低值区,同时在朝阳区南部 $PM_{0.5}$ 也存在一定区域的低值区;进入采暖期, $PM_{0.3}$ 浓度的高值区移动到了朝阳区的东部和东南地区,而此处又是 $PM_{0.5}$ 在采暖期的

低值区;市区地带是采暖期 $PM_{0.3}$ 浓度的低值区,但 $PM_{0.5}$ 在此地区浓度较高. 粗颗粒物的分布情况大体上相似:2008 年非采暖期 $PM_{3.0}$ 和 $PM_{5.0}$ 都在丰台区和海淀区北部浓度值较高,而在城区中部浓度偏低;采暖期 $PM_{3.0}$ 和 $PM_{5.0}$ 的高值区都集中在城区中部,朝阳区东部浓度值较低;2009 年 $PM_{3.0}$ 和 $PM_{5.0}$

的空间分布亦相同,非采暖期主要在丰台区西南部颗粒物浓度值较高,其余地区均偏低,进入到采暖期,PM_{3.0}和PM_{5.0}浓度的高值区移动到北部海淀区,而在丰台区北部依然保留有一定的浓度高值区.造成这种颗粒物分布差异的原因可能是可吸入颗粒物在大气中会发生吸附、表面化学反应,从而改变其化学组分^[31],尤其在受到风速、湿度、温度等各种因素的影响,容易生成二次颗粒物.粗颗粒的空间相关性较弱,受到的人为因素影响大,细颗粒物具有中等相关性,说明细粒径颗粒物浓度的空间分布是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果^[32].

综合来看,颗粒物浓度高值区出现较多的地方为市中心地区和南部丰台区,这是因为市中心地带人口密度较高,道路密集,车流量也较大,导致颗粒物排放量增加;据2008年野外采集数据时的观察,丰台区人民村附近有多个正在施工的建筑工地,而丰台区郭公庄地区被划为居民拆迁区,2009年底郭公庄最南端开始动工进行拆迁,建筑工地和拆迁工程的施工都导致大量扬尘的产生,造成颗粒物浓度偏高.

2.2 呼吸系统疾病数据分析

2.2.1 呼吸系统疾病人数统计分布

(1)将收集到的病人数据进行统计,2008年只收集到了6~12月的数据,病人人数共565人,2009年为959人,图2是按月对病人人数进行的统计.结果显示,夏季患呼吸系统疾病的人数低于其它季节.夏季空气对流运动较强,易于颗粒物的扩散,雨水较多,降水的湿沉降过程能冲刷大量空气中的颗粒物,提高空气质量;北京其它季节气候干燥,雨水较少,尤其春季受外来源影响较大,秋季降雨相对夏

季少,相对湿度也低于夏季,冬季采暖也会增加大气颗粒物的含量,推断空气中颗粒物浓度对呼吸系统疾病发病有一定的影响作用.

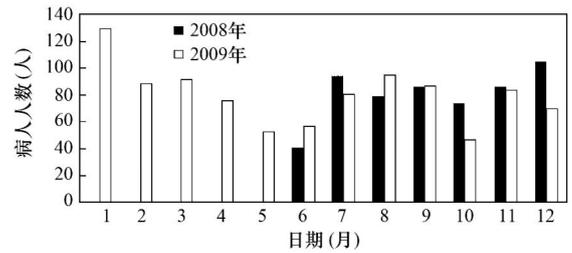


图2 2008~2009年各月病人人数统计

Fig. 2 Number of inpatients every month in 2008 and 2009

(2)参照联合国及国内外认同的对年龄段的划分,将0~6岁的人群划分为幼儿,7~17岁为少年,18~44岁为青年,45~65岁为中年,66岁及以上划分为老年.统计表明,在患病的人群中,老年人是数量最多的人群(2008年占总人数的38%,2009年占44%),其次为中年人群(2008年为总人数的27%,2009年为26%)和青年人群(2008年占总人数的17%,2009年为16%).统计显示,幼儿为易感人群,但本研究收集到的数据中,幼儿患病人数低于中年和青年人群,这可能是因为幼儿患病时,人们更愿意选择儿童医院或者妇幼医院等专门为幼儿设立的医院就医.另外中年和青年人群由于吸烟、受汽车尾气影响等各种原因也会增加其患呼吸系统疾病的几率.

2.2.2 呼吸系统疾病人数空间分析

将收集到的呼吸系统疾病资料按照病人的地址和邮政编码实现病人住址的空间化,结果如图3所示.发病人数最高的地区为海淀区的永定路街道办事处,2008年为130人,2009年为214人,此街道办

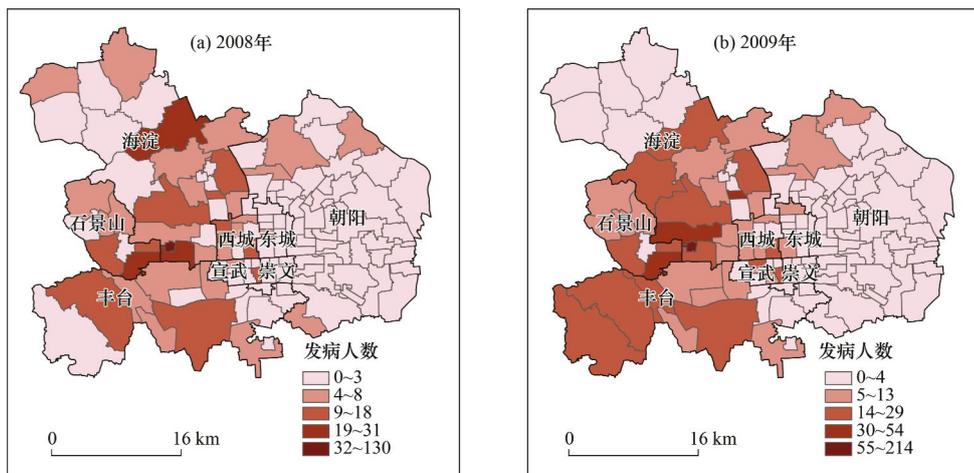


图3 2008、2009年发病人数统计分布情况

Fig. 3 Distribution of inpatients in 2008 and 2009

事处也是北京市人口密度较高的地区。由于 2008 年数据不完全,仅收集到了 6~12 月的就医数据,因而在定量分析 2008、2009 两年发病人数分布情况上具有一定的局限性,但从整体上可以看出,由于医院就医具有一定的辐射范围,本研究统计的患呼吸系统疾病的病人均主要集中在石景山、海淀及丰台等北京市城西地区,这也是北京市人口数量的高值区,因此认为本研究具有一定的代表性。

2.3 污染物浓度分布与呼吸系统疾病的相关性分析

2.3.1 回归分析

由于医院就医具有一定的辐射范围,本研究数据收集到的病人主要分布在离医院较近的石景山区、丰台区和海淀区,因此只选择这 3 个区作为代表,通过 ArcGIS 中的 Zonal Statistics 工具提取出各街道办事处不同粒径颗粒物的浓度值以及气象因子值,将颗粒物浓度值与这 3 个区的发病人数进行线性回归分析,气象因子值在下一步分析中使用。结果表明,由于收集到的数据有限,仅石景山区的颗粒物浓度与发病人数相关性较高。2008 年石景山区发病人数和颗粒物浓度相关系数最高达 0.658 6,平均相关系数为 0.507 4; 2009 年相关系数最高为 0.806 7,平均相关系数为 0.305 0。丰台区和海淀区发病人数与颗粒物浓度相关性都偏低:丰台区 2008 年发病人数与颗粒物浓度的相关系数最高仅为 0.355 7,平均相关系数为 0.215 5; 2009 年相关系数最高为 0.551 7,平均相关系数为 0.297 9。海淀区 2008 年发病人数与颗粒物浓度的相关系数最高为 0.289 2,平均相关系数为 0.109 8, 2009 年相关系数最高为 0.138 5,平均相关系数为 0.095 4。由此可以认为本研究收集的呼吸系统疾病患病数据与丰台区和海淀区的颗粒物浓度不相关,因此,仅对石景山区做进一步分析。

2.3.2 灰色关联分析

分别对石景山区 2008 年及 2009 年 4 种不同粒径颗粒物在采暖期和非采暖期的浓度值与发病人数作灰色关联分析,考虑到呼吸系统疾病具有“星期几效应”,同时还受气象因子的影响,因此在建立的灰色关联模型中引入周日亚元变量(day-of-the-week, DOW, DOW 为 1~7),以及与颗粒物浓度同时时间采样的温度、相对湿度和风速值作为比较数列,在考虑了日历效应和气象因素影响的情况下,将得到的关联度按由小到大排序,结果如表 1 所示。从中可以看到,2008 年采暖期 $PM_{5.0}$ 对发病人数的影响最大,关联度为 0.662 5,非采暖期 $PM_{5.0}$ 对发病人

数的影响最小,其关联度为 0.572 4; 2009 年对发病人数影响最大的为采暖期 $PM_{0.5}$,其关联度为 0.756 3,影响最小的是非采暖期 $PM_{3.0}$,关联度为 0.621 0。通过对关联度大小的排序,可以清楚的看到 2009 年灰色关联分析的结果具有明显的规律性:从整体上来分析,无论是在采暖期还是非采暖期,细颗粒物 $PM_{0.3}$ 和 $PM_{0.5}$ 对发病人数的关联度均高于粗颗粒物 $PM_{3.0}$ 和 $PM_{5.0}$,说明细颗粒物对呼吸系统疾病的影响更大;从时间序列上来看,采暖期颗粒物浓度对发病人数的关联度高于非采暖期的关联度,这表明采暖期可吸入颗粒物浓度对呼吸系统疾病患病的影响更高。2008 年灰色关联分析结果不具有明显的规律性,这可能是由于 2008 年收集到的发病人数数据不齐全,仅收集到了 6~12 月患呼吸系统疾病发病的数据,因而 2008 年的数据具有不完善性,对分析结果造成一定程度的影响。

表 1 石景山区灰色关联分析结果

| 石景山 2008 年结果 | | 石景山 2009 年结果 | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|
| 颗粒物浓度 | 关联度 | 颗粒物浓度 | 关联度 |
| 非采暖期 $PM_{5.0}$ | 0.572 4 | 非采暖期 $PM_{3.0}$ | 0.621 0 |
| 非采暖期 $PM_{3.0}$ | 0.617 3 | 非采暖期 $PM_{5.0}$ | 0.628 2 |
| 采暖期 $PM_{0.5}$ | 0.618 0 | 采暖期 $PM_{3.0}$ | 0.662 3 |
| 非采暖期 $PM_{0.3}$ | 0.621 7 | 采暖期 $PM_{5.0}$ | 0.663 7 |
| 采暖期 $PM_{0.3}$ | 0.627 2 | 非采暖期 $PM_{0.3}$ | 0.670 4 |
| 非采暖期 $PM_{0.5}$ | 0.640 4 | 非采暖期 $PM_{0.5}$ | 0.678 7 |
| 采暖期 $PM_{3.0}$ | 0.652 2 | 采暖期 $PM_{0.3}$ | 0.692 2 |
| 采暖期 $PM_{5.0}$ | 0.662 5 | 采暖期 $PM_{0.5}$ | 0.756 3 |

3 结论

(1) 同一粒径的颗粒物在不同时期其分布情况不同,同一时期不同粒径的颗粒物其浓度分布情况也略有差别,但总体来讲,细颗粒空间分布情况相异,粗颗粒物分布情况大致相同。

(2) 相同粒径的颗粒物在采暖期的浓度值高于非采暖期,同时,采暖期可吸入颗粒物对呼吸系统疾病患病影响也更大。冬季北京利用燃煤取暖,这一时期北京雨水较少,风力也不大,致使可吸入颗粒物不易扩散导致颗粒物浓度较非采暖期高。

(3) 无论是在采暖期还是非采暖期,细颗粒物的浓度都高于粗颗粒物,颗粒物粒径越小,污染物浓度越高,并且细颗粒物对呼吸系统疾病的影响较大。可吸入颗粒物可携带病菌进入人的肺部和呼吸道,细颗粒物还会进入血液,对人体造成更大的危害。

(4) 本研究所考虑的北京市城西地区,正好也是北京市人口数量较多的区域,具有一定的代表性,

但由于收集到的数据并不全面,导致本研究覆盖的范围较小,在今后的研究中将尽力扩大调查范围,充实研究内容,完善对可吸入颗粒物与疾病健康关系的认识。

参考文献:

- [1] Peters A. Particulate matter and heart disease: evidence from epidemiological studies [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2005, **207**(2): 477-482.
- [2] Englert N. Fine particles and human health—a review of epidemiological studies [J]. *Toxicology Letters*, 2004, **149**(1-3): 235-242.
- [3] Zhang M S, Song Y, Cai X H. A health-based assessment of particulate air pollution in urban areas of Beijing in 2000-2004 [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **376**(1-3): 100-108.
- [4] 穆珍珍, 赵景波, 徐娜, 等. 西安市雁塔区冬季可吸入颗粒物时空变化研究 [J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(7): 1509-1516.
- [5] 赵晴, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京及周边地区夏季大气颗粒物区域污染特征 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(7): 1873-1880.
- [6] Watson J G. Visibility: science and regulation [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2005, **52**(6): 628-713.
- [7] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价 [J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(3): 410-415.
- [8] Wang S X, Hao J M. Air quality management in China: issues, challenges, and options [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **24**(1): 2-13.
- [9] Poulou T, Kanaroglou P S, Elliott S J, *et al.* Assessing the health impacts of air pollution: a re-analysis of the Hamilton children's cohort data using a spatial analytic approach [J]. *International Journal of Environmental Health Research*, 2008, **18**(1): 17-35.
- [10] Orru H, Teinmaa E, Lai T, *et al.* Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques [J]. *Environmental Health*, 2009, **8**: 7.
- [11] 殷永文, 程金平, 段玉森, 等. 上海市霾期间 PM_{2.5}、PM₁₀ 污染与呼吸科、儿呼吸科门诊人数的相关分析 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(7): 1894-1898.
- [12] 哈红萍, 杨林. 浅析可吸入颗粒物 (PM₁₀) 对西宁市民呼吸系统疾病的影响 [J]. *青海环境*, 2009, **19**(3): 147-148.
- [13] 赵素平, 余晔, 陈晋北, 等. 兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(3): 687-693.
- [14] 王伟武, 陈超. 杭州城市空气污染物空间分布及其影响因子的定量分析 [J]. *地理研究*, 2008, **27**(2): 241-249.
- [15] Orru H, Maasikmets M, Lai T, *et al.* Health impacts of particulate matter in five major Estonian towns: main sources of exposure and local differences [J]. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2011, **4**(3-4): 247-258.
- [16] Kuang C, Neumann T, Norra S, *et al.* Land use-related chemical composition of street sediments in Beijing [J]. *Environment Science and Pollution Research*, 2004, **11**(2): 73-83.
- [17] Han Y J, Kim T S, Kim H. Ionic constituents and source analysis of PM_{2.5} in three Korean cities [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(19): 4735-4746.
- [18] 任艳军, 李秀央, 金明娟, 等. 大气颗粒物污染与心血管疾病死亡的病例交叉研究 [J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(5): 657-660.
- [19] Peacock J L, Symonds P, Jackson P, *et al.* Acute effects of winter air pollution on respiratory function in schoolchildren in southern England [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 2003, **60**(2): 82-89.
- [20] 张金艳, 孟海英, 张桂斌, 等. 北京市朝阳区大气污染与居民每日呼吸系统疾病死亡关系的时间序列研究 [J]. *环境与健康杂志*, 2011, **28**(9): 788-791.
- [21] 王海荣, 翟秋敏, 沈娟. 大气污染对呼吸系统疾病的影响——以河南省 A 市为例 [J]. *环境科学与管理*, 2011, **36**(3): 54-57.
- [22] 韩力慧, 庄国顺, 程水源, 等. 北京地面扬尘的理化特性及其对大气颗粒物污染的影响 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(1): 1-8.
- [23] 赵永, 孔云峰. 地理学“空间分析导论”课程设置研究 [J]. *地理科学*, 2011, **31**(9): 1090-1096.
- [24] Stytz M R, Parrott R W. Using kriging for 3d medical imaging [J]. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 1993, **17**(6): 421-442.
- [25] Tang T, Zhao W J, Gong H L, *et al.* GIS spatial analysis of population exposure to fine particulate air pollution in Beijing, China [J]. *Environmental Geosciences*, 2010, **17**(1): 1-16.
- [26] Wang F H. *Quantitative methods and applications in GIS* [M]. America: Taylor and Francis Group, 2006. 58-59.
- [27] 钟晓兰, 周生路, 赵其国, 等. 长三角典型区土壤重金属有效态的协同区域化分析、空间相关分析与空间主成分分析 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(12): 2758-2765.
- [28] 孙燕蕊, 张学雷, 程训强, 等. 城市化对南京地区土壤多样性影响的灰色关联分析 [J]. *地理学报*, 2006, **61**(3): 31-338.
- [29] Liu Y S. The changes of fiscal agriculture-supporting expenditure and farmers' income based on grey correlation theory [J]. *Asian Agricultural Research*, 2011, **3**(3): 92-95.
- [30] 侯培强, 任玉芬, 王效科, 等. 北京市城市降雨径流水质评价研究 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 71-75.
- [31] 李晓林, 刘江峰, 包良满, 等. 单个大气超细颗粒物源特征的同步辐射光源 X 射线探针初步研究 [J]. *科学通报*, 2010, **55**(12): 1107-1112.
- [32] 赵文慧, 宫辉力, 赵文吉, 等. 基于地统计学的北京市可吸入颗粒物时空变异性及气象因素分析 [J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(11): 2154-2163.

CONTENTS

| | |
|---|--|
| Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China | DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1) |
| Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere | YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8) |
| Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong | LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15) |
| Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption | WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21) |
| Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region | WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27) |
| Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer | CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34) |
| Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane | ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39) |
| Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea | WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45) |
| Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010 | YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51) |
| Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters | LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61) |
| Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data | GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69) |
| Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave | XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77) |
| Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources | CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84) |
| Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River | LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91) |
| Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River | JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98) |
| Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir | ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108) |
| Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir | LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116) |
| Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River | ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121) |
| Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay | LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129) |
| Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin | LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137) |
| Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i> | WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145) |
| Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters | SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150) |
| Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156) |
| Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility | WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163) |
| Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process | HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169) |
| Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors | XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177) |
| Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron | ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182) |
| Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green | ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188) |
| Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant | WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194) |
| Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge | LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198) |
| Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge | HAN Xue, GAO Da-wen (204) |
| Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> | XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209) |
| Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217) |
| Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides | XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226) |
| Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina | MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231) |
| Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City | YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237) |
| Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing | QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244) |
| Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment | YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251) |
| Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA) | HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257) |
| Isolation of Quinolofop-p-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization | LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263) |
| White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions | MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271) |
| Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon | ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277) |
| Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC | HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283) |
| Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta | DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288) |
| Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland | FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293) |
| Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil | CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302) |
| Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄ | CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308) |
| Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi | LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315) |
| High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions | DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321) |
| Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons | LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328) |
| Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis | TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336) |
| Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor | HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347) |
| Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing | HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357) |
| Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient | TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364) |
| Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City | REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373) |
| Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou | PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379) |
| Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors | SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385) |
| Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing | DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395) |
| Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands | HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401) |

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

| | | | | |
|-------|---|------------------|----|--|
| 主 管 | 中国科学院 | Superintended | by | Chinese Academy of Sciences |
| 主 办 | 中国科学院生态环境研究中心 | Sponsored | by | Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences |
| 协 办 | (以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院 | Co-Sponsored | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University |
| 主 编 | 欧阳自远 | Editor-in -Chief | | OUYANG Zi-yuan |
| 编 辑 | 《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn | Edited | by | The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版 | 科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717 | Published | by | Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China |
| 印刷装订 | 北京北林印刷厂 | Printed | by | Beijing Bei Lin Printing House |
| 发 行 | 科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com | Distributed | by | Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com |
| 订 购 处 | 全国各地邮电局 | Domestic | | All Local Post Offices in China |
| 国外总发行 | 中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱) | Foreign | | China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China |

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发售