

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序	郝郑平(477)
我国机动车排放 VOCs 及其大气环境影响	陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)
基于 PMF 量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例	胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)
南京工业源挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估	张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)
某工业园区 VOCs 臭氧生成潜势及优控物种	武蕾丹,王秀艳,杨文,郭风艳,刘锦(511)
某石化工业园区秋季 VOCs 污染特征及来源解析	胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)
某典型石化工业园区冬季大气中 VOCs 污染特征	毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)
杭州市工业源 VOCs 排放清单及排放特征	卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)
秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征	虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)
浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数	杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)
汽车制造企业恶臭来源及影响分析	石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)
典型酿造业厂界无组织排放 VOCs 污染特征与风险评价	高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)
成都市大气环境 VOCs 污染特征及其健康风险评价	李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)
上海市住宅区儿童卧室中甲醛和苯系物浓度的现场检测分析	蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)
江苏省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	夏思佳,刘倩,赵秋月(592)
江门市人为源挥发性有机物排放清单	陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)
长江三角洲 2014 年天然源 BVOCs 排放、组成及时空分布	刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)
北京城市副中心(通州区)加油站 VOCs 排放清单	黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)
公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及 VOCs 成分谱	胡志远,林骝骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)
生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究	褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)
低温等离子体-生物耦合系统对复合 CVOCs 的降解	郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)
水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价	陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)
城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征	许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)
不同通勤模式暴露于 VOCs 的健康风险评价	佟瑞鹏,张磊(663)
家具制造过程中 VOCs 的来源分析及环境健康风险评价	佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)
北京市 PM _{2.5} 时空分布特征及其与 PM ₁₀ 关系的时空变异特征	杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)
小型池塘水-气界面 CH ₄ 冒泡通量的观测	张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)
中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险	王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)
铁岭市河流氮素时空分布及源解析	杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)
基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体 CDOM 特征	刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)
宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价	徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)
巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价	吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)
广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性	蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)
内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制	郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周敏(758)
河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程	徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)
降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析	刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)
城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系	梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)
三峡库区兰陵溪流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征	张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)
基于污染评价的地下水中优控污染物筛选	赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)
硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响	陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)
活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和 Cu(II) 的去除性能	孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)
三维网状 HZO@SGH 对水中氟离子的吸附作用和机制	马福臻,周少奇,刘泽琚,支亮亮,周璇(828)
MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制	许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)
污水厂二级出水中难凝有机物的臭氧化特性	侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)
染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测	孟晓荣,王穗桢,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)
污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试	李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏泽,张杰(859)
间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响	刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)
好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响	李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)
处理垃圾渗滤液的 SBR 中微生物种群与污泥比阻	蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)
基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价	姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁根涛,于晓华(889)
西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价	刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)
开封城市土壤磷素组成特征及流失风险	白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)
电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价	尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)
上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价	孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)
四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征	迟荪琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)
硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤 As-Cd 生物有效性及稻米累积阻控	李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)
电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例	严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

开封城市土壤磷素组成特征及流失风险

白秀玲^{1,2}, 马建华^{1,2*}, 孙艳丽³, 刘德新^{1,2}

(1. 河南大学资源与环境研究所, 开封 475004; 2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004; 3. 许昌学院城市与环境学院, 许昌 461000)

摘要: 为深入了解城市土壤磷素组成特征及其对受纳水体的影响, 以开封城市表层土壤为研究对象, 分析开封城市不同功能区土壤磷素的组成特征, 并采用“突变点”法计算土壤磷素流失临界值, 探讨开封城市不同功能区表层土壤磷素流失风险。结果表明, 开封城市土壤总磷为 $400 \sim 1\,427 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中无机磷占 $65\% \sim 99\%$; 速效磷 (Olsen-P) 和易解吸磷分别为 $3.41 \sim 115.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.01 \sim 9.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与土壤磷素背景值相比, 城市土壤磷素呈现明显集聚。开封城市土壤总磷和速效磷均呈现出东高西低, 中心老城区高于新城区的空间分布格局; 在不同功能区分布上, 居民区土壤各形态磷素含量均最高。开封城市土壤磷素流失临界值对应的 Olsen-P 为 $22.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 超过临界值的土样占总土样数的 33.64% , 磷素流失风险最高的区域亦分布在中心老城区。

关键词: 磷; 组成特征; 流失风险; 城市土壤; 开封

中图分类号: X52; X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0909-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201707071

Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss

BAI Xiu-ling^{1,2}, MA Jian-hua^{1,2*}, SUN Yan-li³, LIU De-xin^{1,2}

(1. Institute of Natural Resources and Environment, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China; 3. Department of Urban and Environmental Science, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

Abstract: Characterization of phosphorus (P) and its risk of loss in urban soils in Kaifeng City, Henan Province were studied through field sampling and laboratory experiments. The spatial distribution of P and the map of risk of loss were obtained using geostatistical and spatial analysis techniques. The P content in urban soils ranged from 400 to $1\,427 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the proportions of inorganic P in total P ranged from 65% to 99% , and Olsen-P and $\text{CaCl}_2\text{-P}$ in soils were $3.41\text{--}115.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.01\text{--}9.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The composition of P was consistent in different urban areas and P concentrations were higher in residential areas. Spatial variations in P concentrations in soils were significant; the concentrations of P in eastern Kaifeng City were higher than those in western Kaifeng and the highest concentrations were detected in central Kaifeng. Olsen-P can be used as an indicator of the leaching risk of soil P. The critical value of leaching P from the soil was $22.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and the concentration of Olsen-P in 33.64% of urban soil samples exceeded the critical value. The highest risk of P loss existed in central Kaifeng City.

Key words: phosphorus; characterization; risk of loss; urban soil; Kaifeng City

磷素是引起水体富营养化的重要营养因子。土壤中磷素会通过地表侵蚀、径流和淋溶作用等进入水体, 成为受纳水体富营养化重要的污染源^[1~3]。土壤中磷素积累到一定限度时, 其释放潜力会随之提高, 增加受纳水体富营养化风险。目前, 关于土壤磷的研究多集中在农田、菜地及靠近水域的消落带^[4~7], 而对城市土壤关注较少^[8,9]。城市土壤是一个独特的生态系统, 与农田及菜地土壤不同, 人类通过生产或生活消费产生的磷素进入城市土壤后, 由于缺少磷素的输出途径, 多数情况下城市土壤只能作为磷素循环过程的终端。因而, 一些城市土壤磷含量明显高于农业土壤, 呈现出显著的磷富集特征^[9,10], 致使土壤磷素流失风险增加。

土壤磷流失临界值的确定是评价磷素流失风险的常用方法。确定土壤磷素流失临界值的方法包括田间实际观测和实验室模拟, 虽然前者与实际情况较为相符, 但现有的田间试验很难做到一种土壤既有较大的磷素水平差异, 又有足够的田间尾水磷素测定数据来估计两者的关系, 并且布置田间试验耗时长、工作量大, 难以大规模进行^[11]; 而后者是根据土壤速效磷 (Olsen-P) 和易解吸磷 ($\text{CaCl}_2\text{-P}$) 之间的关系, 确定土壤磷流失临界值^[12], 该方法相对简

收稿日期: 2017-07-10; 修订日期: 2017-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371450); 河南省高等学校青年骨干教师资助项目 (2014GGJS-025)

作者简介: 白秀玲 (1980~), 女, 博士, 主要研究方向为水环境污染与生态修复, E-mail: bxling@163.com

* 通信作者, E-mail: mjh@henu.edu.cn

单,易于操作。

开封市是一个拥有2 700多年历史的文化名城,市内拥有众多的城市湖泊和河流,水域面积所占的比例高达7.4%^[13]。同时,这些河流和湖泊亦是一个重要的旅游资源。研究开封城市土壤磷素的赋存特征及流失风险,一方面可以提高对城市水体污染源的认识,同时也为进一步保护城市水环境,制定和完善水体污染防治政策和法规提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

采样点的布设遵循“随机和等量”的原则,同时统筹兼顾各种土地利用类型及其代表性。以500 m的网格划分整个开封市区,然后在上述每个网格中心附近选取代表性绿地,按“梅花形”布设5个子样点,采集表层(0~10 cm)土壤样品。将其混合后,按“四分法”舍弃多余样品,最后保留1 kg左右的样品。共采集到96个土壤样品,其中文教区39个、工业区20个、居民区16个、休闲区26个,开发区5个(图1)。将采集的土样剔除枯枝落叶、根茎、动物残体等杂物后,自然风干,然后研磨过筛,室温储存以备分析。

1.2 土壤基本性质及磷形态分析

土壤pH按照1:2.5水土比混合,用磁力搅拌机搅拌2 min,静置0.5 h后采用pH计测定^[14]。土壤有机质采用重铬酸钾滴定法测定^[14]。土壤全磷(TP)的测定采用高氯酸-硫酸消解然后钼酸铵比色法^[14]。土壤无机磷(IP)的测定采用1 mol·L⁻¹盐酸提取^[14]; Olsen-P采用pH=8.5的0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃溶液提取(GB 12297-1990); CaCl₂-P利用0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂溶液按照1:10土液比,在20℃条件下振荡提取60 min^[14]; IP、Olsen-P和CaCl₂-P提取液均在6 000 r·min⁻¹下离心10 min,然后用Waterman GF-C滤膜过滤,最后用分光光度法测定。

1.3 土壤磷素流失风险评价

采用“突变点”方法计算土壤磷素流失临界值,以此来评价开封城市土壤磷素流失风险。具体计算方法是:以土壤的Olsen-P含量为横轴,CaCl₂-P含量为纵轴,采用分段线性模型拟合。以不偏离突变点为基础,分别计算突变点前后的两段关系方程,使高Olsen-P含量与CaCl₂-P之间的关系方程斜率最大,相关系数最高;而低Olsen-P含量与CaCl₂-P之间的关系方程斜率最小。再根据这两个方程计算其交点,交点对应的Olsen-P含量即为土壤磷流失的

临界值^[12,15]。

1.4 数据的分析与处理

样品分析均为3次重复的平均值。本研究中国TP和Olsen-P的空间分布图基于反距离加权插值法,利用ArcGIS 10.0软件绘制。其他数据处理及图表绘制分别采用Excel 2003和Origin 9.0完成。

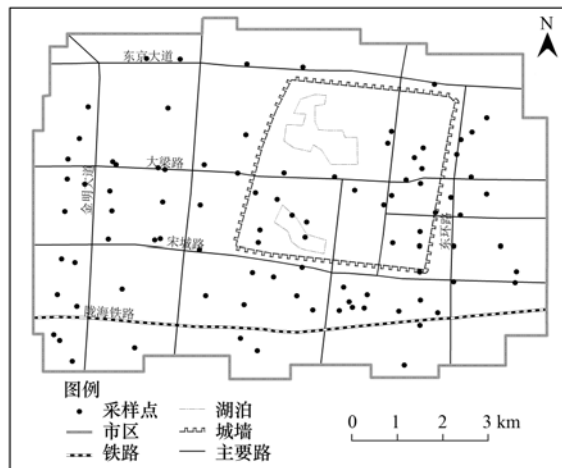


图1 开封城市及开发区土壤采样点分布

Fig. 1 Map of study area and sampling sites in Kaifeng City

2 结果与分析

2.1 开封城市土壤pH值及有机质的含量

开封城市土壤pH值均明显高于7,土壤碱化现象较为严重,一方面与其成土母质关系密切,同时城市化过程中水泥和石灰残渣等建筑垃圾也会提高土壤的pH值。从土壤pH值的空间分布看,休闲区及工业区部分采样点土壤pH值空间变异明显高于其他功能区(图2)。土壤有机质在不同功能区含量变化范围为4.69~159.56 g·kg⁻¹,均值为33.80 g·kg⁻¹,工业区土壤有机质均值最大,为64.8 g·kg⁻¹,并且采样点之间差异亦最大;开发区土壤有机质含量最低,为19.1 g·kg⁻¹,其他功能区土壤有机含量基本相当,约为26.6~28.9 g·kg⁻¹,属低有机质土壤(图2)。这可能与开封城市土壤形成的背景土壤(潮土)自身的腐殖质化过程较弱有关。

2.2 开封城市土壤磷素含量及其影响因素

开封城市土壤的TP为400~1 427 mg·kg⁻¹,均值为677 mg·kg⁻¹(图3)。不同功能区土壤TP含量均值以居民区为最高,达752 mg·kg⁻¹,但空间变异最大;其他功能区土壤TP平均值较接近,变化幅度均在10%以内。土壤IP含量在326~1 254 mg·kg⁻¹,均值为565 mg·kg⁻¹,占TP的65%~99%,此表明IP是开封城市表层土壤磷的主要组成部分。在不同功能区,土壤IP含量变化范围和

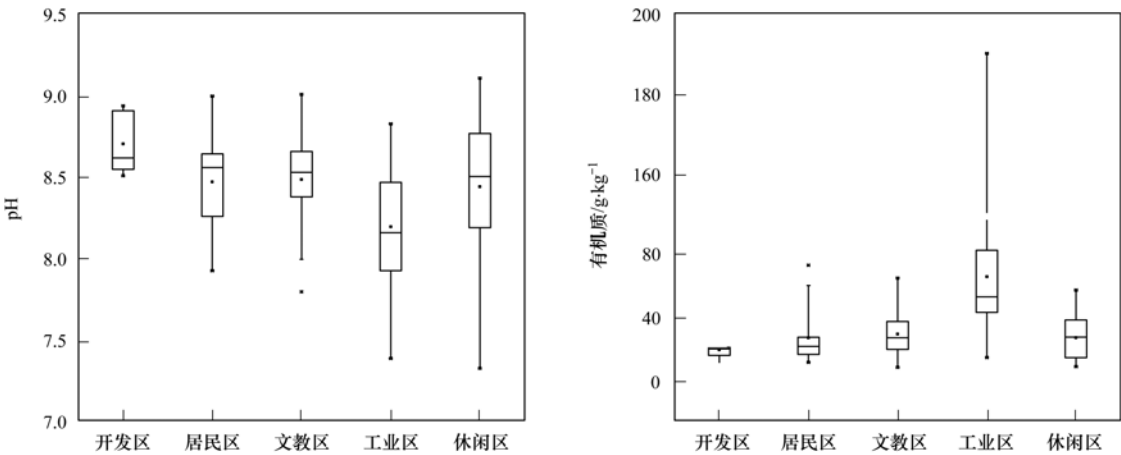


图2 开封城市各功能区土壤 pH 和有机质含量箱须图

Fig. 2 Box-whisker plots of soil pH and organic matter in different regions of Kaifeng City

TP 变化基本上相一致, 最大值亦出现在居民区, 为 $652\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其他功能区 IP 的含量范围为 $526\sim 570\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 土壤 Olsen-P 含量变化范围是 $3.41\sim 115\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 均值为 $23.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高值是最低值的 34 倍, 空间变异非常大. 在不同功能区中, 居民区 Olsen-P 含量仍是最高, 均值为 $31.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 但与 TP 和 IP 不同, 休闲区的 Olsen-P 含量远高于其他功能区, 这可能和休闲区草地管理过程中施肥有关. 土壤 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 是指易从土壤中进入溶液或者地表径流的磷素, 其含量大小代表从固相向液相的

磷迁移量. 开封城市表层土壤中 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 含量为 $0.01\sim 9.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值为 $1.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 变异系数高达 143.96%. 在不同功能区中, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 的分布与速效磷相同, 休闲区和居民区含量平均值最高, 分别为 $1.36\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.32\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 郊区含量平均值最低, 仅为 $0.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 3).

将各功能区土壤不同形态磷与有机质的含量进行相关分析, 仅居民区与开发区土壤 TP 与有机质的含量呈显著正相关, 其他形态的磷含量与有机质的关系均不显著 (表 1).

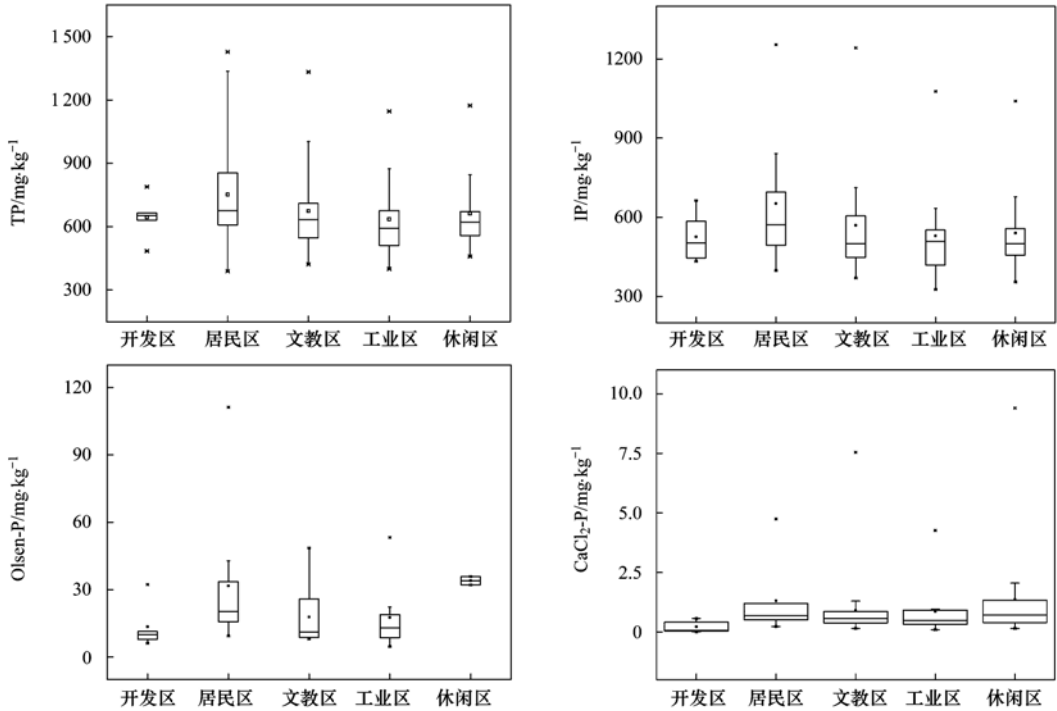


图3 开封城市不同功能区土壤中不同形态磷分布

Fig. 3 Concentrations of different types of P in soils in Kaifeng City

表 1 各功能区土壤不同形态磷与有机质含量的相关系数

Table 1 Correlations of different types of P and organic matter in Kaifeng City

功能区	TP	IP	Olsen-P	CaCl ₂ -P
居民区	0.82 *	0.74	0.59	0.69
休闲区	0.40	0.25	0.41	0.35
文教区	0.21	0.17	0.15	0.05
行政区	0.20	0.09	0.00	0.04
工业区	0.27	0.12	0.12	0.03
开发区	0.84 *	0.80	0.75	0.67

2.3 开封城市土壤磷素空间分布及流失风险分析

基于反距离加权插值法, 利用 ArcGIS 10.0 绘制出开封城市土壤 TP 和 Olsen-P 的空间分布图(图 4). 由图 4 可见, 开封城市土壤 TP 和 Olsen-P 均呈现出东高西低, 中心老城区高于新城区的分布特征, 这与开封城市工业布局及人口分布相吻合, 开封东区是老工业集中区, 中心城区人口密度较高, 而西部城区开发历史相对较短.

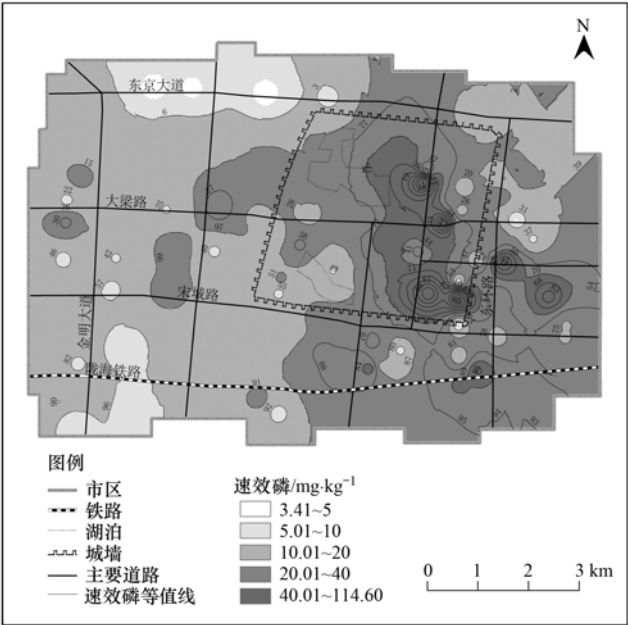
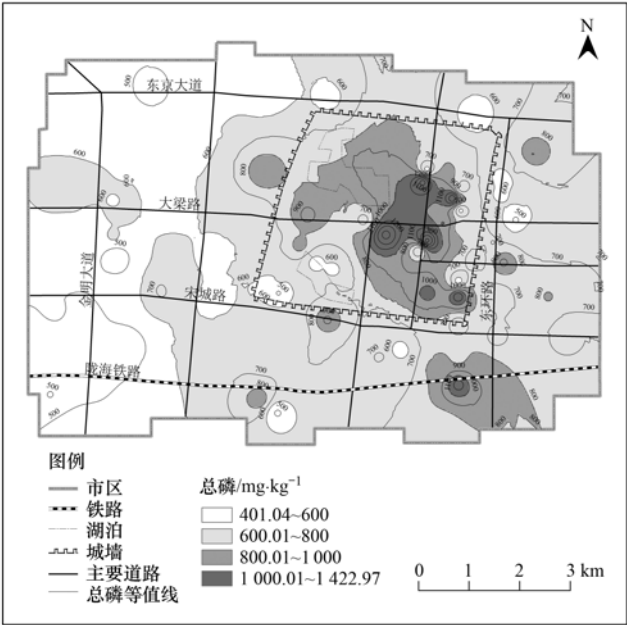


图 4 开封城市土壤全磷和速效磷的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of TP and Olsen-P in surface soils in Kaifeng City

开封城市土壤 Olsen-P 和 CaCl₂-P 的分段回归方程分别为:

$$y = 0.030\,4x + 0.094\,3$$

$$y = 0.077\,2x - 0.943\,7,$$

式中, x 代表土壤 Olsen-P 的浓度, y 代表土壤 CaCl₂-P 的浓度. 两个回归方程的交点所对应的 Olsen-P 含量, 即土壤磷素流失临界值, 为 22.18 mg·kg⁻¹(图 5). 该临界值在 Rothamsted 试验站不同试验地土壤磷素流失临界值(10 ~ 119 mg·kg⁻¹)的变化范围内^[12], 但略低于曾报道的北方不同土壤磷素流失临界值(23 ~ 60 mg·kg⁻¹)^[4,16~18], 这表明开封城市土壤磷素淋失风险较高.

为了更加确切地反映土壤磷素流失风险的空间差异, 本文把开封城市土壤磷素流失临界值和其他学者对北方土壤研究结果相结合, 将开封城市土壤磷素对受纳水体的潜在影响程度划分为 3 个等级, 即低风险(Olsen-P < 22.18 mg·kg⁻¹)、中

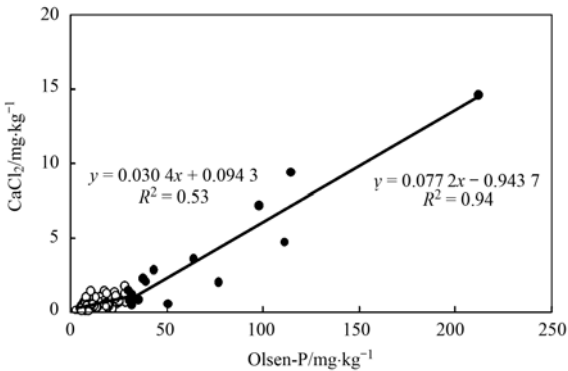


图 5 开封城市表层土壤 Olsen-P 与 CaCl₂-P 含量的关系

Fig. 5 Relationship between Olsen-P and CaCl₂-P concentrations in surface soils in Kaifeng City

等风险(22.18 < Olsen-P < 60 mg·kg⁻¹)和高风险(Olsen-P > 60 mg·kg⁻¹). 依据该标准, 计算所属不同风险等级的采样点占总样品量的比例, 结果表明:居民区中、高风险水平样品所占比例最大, 多达 43.7%; 其次是休闲区, 中、高风险水平样

品所占比例的达 42.3% ; 而开发区和工业区缺少磷素流失高风险的样品. 总体来看, 低风险水平所占比例为 66.4%, 中、高风险水平样品所占比例分别为 26.4% 和 7.3% (表 2). 从流失风险等

级空间分布看, 中心城区表层土壤磷素流失风险最高, 其次东部表层土壤磷素流失风险高于西部城区(图 6), 这也和土壤 TP 及 Olsen-P 的空间分布特征较为一致.

表 2 开封城市不同功能区表层土壤磷素流失风险百分比/%
Table 2 Risk of phosphorus loss in different soils in Kaifeng City/%

项目	低风险 (<22.18 mg·kg ⁻¹)	中风险 (22.18 ~ 60 mg·kg ⁻¹)	高风险 (>60 mg·kg ⁻¹)
开发区	80.0	20.0	0.0
居民区	56.3	25.0	18.7
文教区	64.1	33.3	2.6
工业区	80.0	20.0	0.0
休闲区	57.7	30.7	11.6
全部	66.4	26.3	7.3

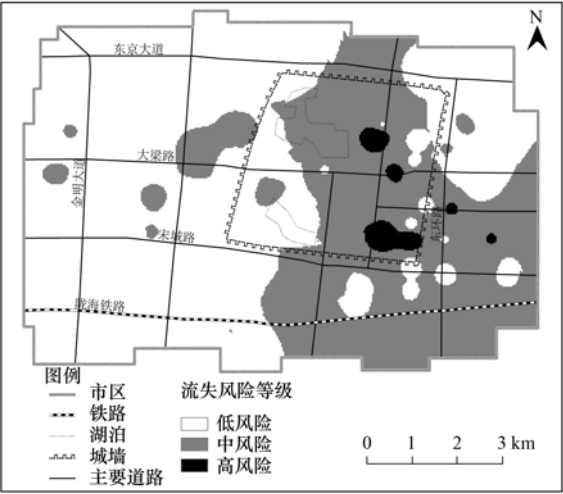


图 6 开封城市表层土壤磷素流失风险等级空间分布
Fig. 6 Distribution of the risk of phosphorus loss in surface soils in Kaifeng City

3 讨论

城市土壤广泛分布于公园、道路、体育场、城市河道、城郊、垃圾填埋场、废弃工厂、矿山周围, 受人类活动影响强烈. 它与农业土壤不同, 其缺少磷元素的输出途径, 例如农作物的收割, 日积月累会导致土壤养分循环失衡, 对城市水体存在潜在的污染威胁. 开封城市土壤 TP 均值为 677 mg·kg⁻¹, 目前虽缺少其背景值, 但成杭新等^[19]分析计算郑州市土壤磷素背景值范围是 345 ~ 573 mg·kg⁻¹, 平均值是 459 mg·kg⁻¹. 郑州市和开封市相邻, 土壤均是河流沉积物受地下水位季节变化和耕作活动影响而形成的潮土, 因此两区域的土壤磷素背景值应基本相同. 由此可知, 在人类活动的影响下, 开封城市土壤磷素的积累效应明显.

根据全国土壤营养盐质量分数分级标准, 开封

城市土壤 TP 水平以 3 级和 4 级为主, 分布面积分别占城市总面积的 54.5% 和 31.6%, 整体来看, 土壤磷含量处于中上水平, 这也和河南省土壤全磷水平等级相一致^[20]. 与其他城市相比^[10,21~23], 开封城市土壤磷素水平背景值偏低, 这可能与开封周边土壤成土母质为粉砂质和砂质黄河冲积物有关. 与 TP 不同, 开封城市土壤的 Olsen-P 基本上与其他城市持平^[23~26], Olsen-P 水平以 2 级和 3 级为主, 分布面积分别占城市总面积的 39.1% 和 44.7%, 这可能和绿地管理过程中施用磷肥有关, 休闲区土壤 Olsen-P 含量高于其他功能区也证明了这一点. 因此, 在保证绿化植物得到充分养分的前提下, 要减少磷肥的使用, 降低水土磷素流失风险.

对于城市土壤来说, 影响磷素含量与空间分布的因素不仅包括成土母质、土壤质地及土壤有机质等自然因素, 还包括人类活动、土地利用方式等非自然因素. 居民区土壤不同形态磷的含量均高于其他功能区的原因, 可能与居民区人口密度大、日常生活垃圾堆放及生活污水排放等因素有关. 土壤磷素流失受多种因素共同制约, 包括土壤 pH、有机质以及不同的交换态离子含量等. 已有研究表明, 土壤磷素流失临界值与 pH 呈抛物线型关系. 土壤 pH < 6.0 时, 随土壤 pH 升高其临界值增加; 而当土壤 pH > 6.0 时, 随土壤 pH 升高其临界值减小^[27]. 开封城市土壤 pH 为 8.42, 明显高于 6.0, 这可能是影响开封城市表层土壤 Olsen-P 偏低的一个重要因素. 目前, 学界对土壤有机质含量与磷吸附特性之间的关系看法并不完全一致. 部分学者认为, 土壤有机质和活性铝的含量存在显著正相关关系, 土壤有机质含量越高, 金属离子吸附固定磷的能力越强, 固相态的磷就越难以进入液相状态^[28]; 但有的

学者观点与此相反,认为土壤有机质可以降低铁铝的活性,导致土壤吸附固定磷能力减小,磷可更容易从固相流失进入液相,使得临界值减小^[29].对于开封城市土壤磷素而言,仅居民区和开发区土壤TP和有机质关系显著,其他形态磷与有机质虽然呈正相关,但均不具有统计上的显著性.从流失风险空间分布看,居民区和休闲区中高风险点所占比例较大,工业区和休闲区则缺少高风险点,这与土壤有机质含量的空间分布完全不同,表明城市土壤有机质对土壤磷素流失风险的影响较小.

4 结论

(1)开封城市表层土壤TP变化幅度为400~1427 mg·kg⁻¹,其中IP占65%~99%;Olsen-P和CaCl₂-P含量变化范围分别为3.41~115.03 mg·kg⁻¹和0.01~9.40 mg·kg⁻¹.与土壤磷素背景值相比,开封城市土壤磷素呈现明显集聚;但与国内其它城市相比,开封城市表层土壤TP含量偏低,而Olsen-P的水平与其它城市基本上持平.

(2)开封城市土壤TP和Olsen-P均呈现出东高西低、中心老城区高于新城区的空间分布格局;在不同的功能区分布上,居民区土壤各磷素形态含量水平均最高.

(3)开封城市土壤磷素流失临界值对应的Olsen-P含量22.18 mg·kg⁻¹,66.4%的样点属于磷素流失的低风险水平;26.4%的样品属于中风险水平;7.3%的样品属于高风险水平.开封城市水体主要集中在市中心,外源磷对湖泊水体磷负荷的贡献应该引起重视.

参考文献:

- [1] Zhang M K. Effects of soil properties on phosphorus subsurface migration in sandy soils[J]. *Pedosphere*, 2008, **18**(5): 599-610.
- [2] 吕家珑. 农田土壤磷素淋溶及其预测[J]. *生态学报*, 2003, **23**(12): 2689-2701.
Lü J L. Phosphorus leaching from agricultural soils and its prediction[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(12): 2689-2701.
- [3] Brock E H, Ketterings Q M, Kleinman P J A. Phosphorus leaching through intact soil cores as influenced by type and duration of manure application [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2007, **77**(3): 269-281.
- [4] 钟晓英, 赵小蓉, 鲍华军, 等. 我国23个土壤磷素淋失风险评估 I. 淋失临界值[J]. *生态学报*, 2004, **24**(10): 2275-2280.
Zhong X Y, Zhao X R, Bao H J, *et al.* The evaluation of phosphorus leaching risk of 23 Chinese soils I. Leaching criterion[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(10): 2275-2280.
- [5] 聂敏, 肖和艾, 廖敦秀, 等. 亚热带可变电荷土壤磷素淋失临界点及其与土壤特性的关系[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(2): 579-586.
Nie M, Xiao H A, Liao D X, *et al.* Phosphorus leaching change point of subtropical variable-charge soils and its relations with soil properties[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(2): 579-586.
- [6] 樊慧慧, 李如忠, 裴婷婷, 等. 合肥城郊典型农业小流域土壤磷形态及淋失风险分析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(1): 148-155.
Fan H H, Li R Z, Pei T T, *et al.* Soil phosphorus forms and leaching risk in a typically agricultural catchment of Hefei Suburban[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(1): 148-155.
- [7] 李廷亮, 谢英荷, 田东方, 等. 山西省菜园土壤磷素积累特征及流失风险分析[J]. *中国生态农业学报*, 2009, **17**(5): 870-873.
Li T L, Xie Y H, Tian D F, *et al.* Phosphorus accumulation characteristics and loss risk in vegetable garden soils of Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, **17**(5): 870-873.
- [8] Obrycki J F, Scheckel K G, Basta N T. Soil solution interactions may limit Pb remediation using P amendments in an urban soil [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **220**: 549-556.
- [9] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磷素特性及其与地下水磷浓度的关系[J]. *应用生态学报*, 2001, **12**(5): 735-738.
Lu Y, Gong Z T, Zhang G L. Phosphorus characteristics of urban soil and its relationship with P concentration in groundwater [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(5): 735-738.
- [10] 章明奎, 符娟林, 厉仁安. 杭州市居民区土壤磷的积累和释放潜力[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2004, **30**(3): 300-304.
Zhang M K, Fu J L, Li R A. Accumulation and release potential of soil phosphorus in residential areas of Hangzhou City, China [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2004, **30**(3): 300-304.
- [11] McDowell R, Sharpley A, Brookes P, *et al.* Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution [J]. *Soil Science*, 2001, **166**(2): 137-149.
- [12] Hesketh N, Brookes P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, **29**(1): 105-110.
- [13] 曹新向. 城市水域景观生态建设研究——以开封市为例[J]. *水土保持研究*, 2005, **12**(2): 52-56.
Cao X X. Landscape Eco-construction of city water body [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, **12**(2): 52-56.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [15] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, *et al.* Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the broadbalk experiment [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1995, **24**(5): 904-910.
- [16] 刘利花, 杨淑英, 吕家珑. 长期不同施肥土壤中磷淋溶“阈值”研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2003, **31**(3): 123-126.
Liu L H, Yang S Y, Lü J L. Studies on “threshold value” of

- phosphorus leaching in long-term different fertilization soils[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2003, **31** (3): 123-126.
- [17] 王新军, 廖文华, 刘建玲. 菜地土壤磷素淋失及其影响因素[J]. 华北农学报, 2006, **21**(4): 67-70.
- Wang X J, Liao W H, Liu J L. Phosphorus leaching from vegetable fields and impact factors [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, **21**(4): 67-70.
- [18] 柏兆海, 万其宇, 李海港, 等. 县域农田土壤磷素积累及淋失风险分析——以北京市平谷区为例[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(9): 1853-1860.
- Bai Z H, Wan Q Y, Li H G, *et al.* Evaluation of soil phosphorus accumulation and loss risk on arable land at county level: the example of Pinggu District, Beijing City, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, **30**(9): 1853-1860.
- [19] 成杭新, 李括, 李敏, 等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, **21**(3): 265-306.
- Cheng H X, Li K, Li M, *et al.* Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China[J]. Earth Science Frontiers, 2014, **21**(3): 265-306.
- [20] 李玲, 张少凯, 杨素勤. 河南省土壤全磷质量分数时空变异分析[J]. 中国水土保持科学, 2014, **12**(6): 75-81.
- Li L, Zhang S K, Yang S Q. Spatial-temporal variation of mass fraction of soil total phosphorus in Henan Province[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2014, **12**(6): 75-81.
- [21] 袁大刚, 张甘霖. 不同利用方式下南京城市土壤碳、氮、磷的化学计量学特征[J]. 中国土壤与肥料, 2013, (3): 19-25.
- Yuan D G, Zhang G L. Stoichiometry of C:N:P in urban soil of Nanjing under different land use [J]. Soil and Fertilizer Sciences, 2013, (3): 19-25.
- [22] 刘玉燕, 刘敏. 乌鲁木齐城市土壤性质及污染研究[J]. 干旱区研究, 2007, **24**(1): 66-69.
- Liu Y Y, Liu M. Study on the properties and pollution of urban soils in Urumqi[J]. Arid Zone Research, 2007, **24**(1): 66-69.
- [23] 张琪, 方海兰, 杨意, 等. 上海公路绿地土壤肥力质量评价与管理对策[J]. 园林科技, 2008, (1): 24-27.
- [24] 冯万忠, 段文标, 许峰. 不同土地利用方式对城市土壤理化性质及其肥力的影响——以保定市为例[J]. 河北农业大学学报, 2008, **31**(2): 61-64.
- Feng W Z, Duan W B, Xu H. Effects of different land use on physicochemical property and fertility of urban soil-a case study of Baoding City[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2008, **31**(2): 61-64.
- [25] 王喜宁, 武春阳, 孙亚楠, 等. 长春市城市土壤特性研究[J]. 内蒙古农业科技, 2011, **39**(3): 35-37.
- Wang X N, Wu C Y, Sun Y N, *et al.* Urban soil character in Changchun city [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2011, **39**(3): 35-37.
- [26] 李立平, 邢维芹, 刘顺, 等. 郑州市城市土壤理化性质[J]. 城市环境与城市生态, 2010, **23**(2): 18-22.
- Li L P, Xing W Q, Liu S, *et al.* Physical and chemical properties of urban soil in Zhengzhou City [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2010, **23**(2): 18-22.
- [27] 赵小蓉, 钟晓英, 李贵桐, 等. 我国 23 个土壤磷素淋失风险评估 II. 淋失临界值与土壤理化性质和磷吸附特性的关系[J]. 生态学报, 2006, **26**(9): 3011-3017.
- Zhao X R, Zhong X Y, Li G T, *et al.* The evaluation of phosphorus leaching risk of 23 Chinese soils II. The relationships between soil properties, P adsorption characteristics and the leaching criterion[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, **26**(9): 3011-3017.
- [28] Fortune S, Lu J, Addiscott T M, *et al.* Assessment of phosphorus leaching losses from arable land[J]. Plant and Soil, 2005, **269**(1-2): 99-108.
- [29] Sah R N, Mikkelsen D S. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 1. Effects on phosphate sorption [J]. Soil Science, 1986, **142**(5): 267-274.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing	 HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province	 YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors	 JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes	 TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing	 YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China	 WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis	 LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China	 LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter	 ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area	 ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> (828)
Mechanism of MgO/CAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils	 LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> (953)