

环境科学

(HUANJING KEXUE)

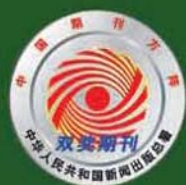
ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第7期

Vol.37 No.7

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2015 年北京市两次红色预警期间 PM _{2.5} 浓度特征	
..... 程念亮, 张大伟, 陈添, 石爱军, 孙峰, 刘保献, 邹本东, 王琴, 李倩, 王小菊, 姜磊, 孟凡 (2409)	
北京市冬季雾霾天人体呼吸高度 PM _{2.5} 变化特征对气象因素的响应	张南, 熊黑钢, 葛秀秀, 段鹏程, 毛先如, 王亚龙 (2419)
兰州大气细颗粒物中多环芳烃污染特征及来源分析	李英红, 饶志国, 谭吉华, 段晋春, 马永亮, 贺克斌 (2428)
南京北郊冬季 PM _{2.5} 中芳香酸的测定及来源解析	张亚飞, 马嫣, 仝鲁, 王振, 王利朋, 朱麟 (2436)
海洋-大气过程对南海气溶胶数浓度谱分布的影响	孔亚文, 盛立芳, 刘骞, 李秀镇 (2443)
新疆准东煤田降尘重金属污染及健康风险评价	杨春, 塔西甫拉提·特依拜, 侯艳军, 高宇潇, 刘芳, 夏楠 (2453)
重庆地区大气场降水氢氧同位素变化特征及与大气环流的关系	温艳茹, 王建力 (2462)
湖水氢氧同位素组分的时间变化特征及影响因素分析	
..... 徐敬争, 肖薇, 肖启涛, 王伟, 温学发, 胡诚, 刘诚, 刘寿东, 李旭辉 (2470)	
河水-地下水侧向交互带地球化学特征: 以重庆市马鞍山为例	
..... 张宇, 杨平恒, 王建力, 谢世友, 陈峰, 詹兆君, 任娟, 张海月, 刘黛薇, 孟元可 (2478)	
亚热带典型岩溶流水气界面 CO ₂ 交换通量变化过程及其环境影响	李丽, 蒲俊兵, 李建鸿, 于爽, 肖琼, 张陶 (2487)
淹水条件下三峡库区典型消落带土壤释放 DOM 的光谱特征: 紫外-可见吸收光谱	
..... 梁俭, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 陈雪霜, 王齐磊 (2496)	
淹水条件下三峡库区典型消落带土壤释放 DOM 的光谱特征: 荧光光谱	
..... 梁俭, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 陈雪霜, 王齐磊 (2506)	
华东地区某水源水中 13 种磺胺类抗生素的分布特征及人体健康风险评价	
..... 金磊, 姜蕾, 韩琪, 薛佳怡, 叶辉, 曹国民, 林匡飞, 崔长征 (2515)	
北京水环境中氯胺酮和去甲氯胺酮的浓度水平	张华方, 杨军, 杜鹏, 王琮淙, 李喜青 (2522)
输水期间于桥水库流域水体中溶解态多环芳烃的分布特征与风险	昌盛, 赵兴茹, 付青, 郭睿, 王山军 (2530)
卤系阻燃剂在东江工业水体中的质量浓度及其分配特征	何明靖, 李琦, 赵佳渊, 王登祥 (2539)
岩溶地下水水中多环芳烃、脂肪酸分布特征及来源分析	谢正兰, 孙玉川, 张媚, 廖昱, 江泽利, 王尊波, 梁作兵 (2547)
哈尔滨主城区不同下垫面融雪径流污染特性	孙夕涵, 刘硕, 万鲁河, 王宏 (2556)
降水对泃河水质和水体微生物的影响	卢思丹, 孙寓姣, 赵轩, 王蕾, 郑丹阳 (2563)
不同磷源下铜绿微囊藻的生长差异及对砷酸盐的响应	王振红, 张汉鹏, 罗专溪 (2570)
布洛芬和双氯芬酸在不同构型人工湿地中的去除行为研究	景瑞瑛, 杨扬, 戴玉女, 万翔, 邵义萍, 樊静静 (2577)
化学预氧化对苏氨酸生成三氯乙醛的影响	蔡广强, 傅学敏, 刘丽君, 卢小艳, 张金松, 刘嘉祺, 曲莹 (2586)
活性炭负载 Co ₃ O ₄ 活化过一硫酸盐降解金橙 G	王忠明, 陈家斌, 张黎明, 李文卫, 黄天寅 (2591)
碳纳米管活化过一硫酸盐降解金橙 G 过程及动力学	张黎明, 陈家斌, 李文卫, 王忠明, 黄天寅 (2601)
碳纳米管修饰电极电催化还原去除废水中的氯霉素	邓飞, 唐柏彬, 张进忠, 汤民, 刘江 (2610)
铁刨花-Fenton-絮凝工艺对染料生产废水中 AOX、色度和 TOC 的去除效果研究	
..... 舒小铭, 徐灿灿, 文晓刚, 朱静娜, 赵远, 刘锐, 陈吕军 (2618)	
Fenton 氧化去除制药企业活性污泥中 AOX 的效果研究	陈思, 徐灿灿, 刘锐, 李国华, 陈吕军, 郑伟 (2625)
中试规模微气泡曝气生物膜反应器运行性能评估	刘春, 张晶, 张静, 陈晓轩, 张磊, 曹丽亚 (2632)
基于 CANON 工艺的新型 HABR 反应器生物脱氮性能研究	鲍林林, 陈婉秋 (2639)
异养与硫自养反硝化协同处理高硝氮废水特性研究	李祥, 马航, 黄勇, 朱亮, 杨朋兵, 朱强 (2646)
基于高通量测序的 ABR 厌氧氨氧化反应器各隔室细菌群落特征分析	
..... 陈重军, 张海芹, 汪瑶琪, 喻徐良, 王建芳, 沈耀良 (2652)	
NUA-DAS 生态滤池脱氮效果与反硝化菌特征研究	汪龙眠, 仇皓雨, 车昱晓, 张松贺, 郭照冰, 张毅敏 (2659)
葡萄藻生物膜贴壁培养处理含钴工业废水与烃类生产的耦合	程鹏飞, 王艳, 杨期勇, 汤明, 刘天中 (2666)
拉乌尔菌 sari01 的分离及其异养硝化好氧反硝化特性	颜薇芝, 郝健, 孙俊松, 史吉平 (2673)
海水异养硝化-好氧反硝化芽孢杆菌 SLWX ₂ 的筛选及脱氮特性	成钰, 李秋芬, 费聿涛, 张艳 (2681)
焦化废水活性污泥中降解硫化物细菌种群多样性分析	徐伟超, 蒙小俊, 尹莉, 张玉秀, 李海波, 曹宏斌 (2689)
浮游微型真核生物群落对电厂温排水增温的响应	戴文芳, 阳石页, 阙治家, 熊金波 (2696)
磷脂脂肪酸 (PLFA) 法检测蒙古沙冬青根围土壤微生物群落结构	左易灵, 贺学礼, 王少杰, 赵丽莉 (2705)
半干旱区土壤微生物呼吸对极端降水的响应	赵慢, 王蕊, 李如剑, 杜兰兰, 吴得峰, 孙棋棋, 高鑫, 郭胜利 (2714)
三峡库区消落带 N ₂ O 排放及其影响因素	李睿, 雷利国, 江长胜, 柴雪思, 黄哲, 范志伟, 郝庆菊 (2721)
不同量碳源输入梯度下果园排水沟底泥氮素反硝化与 N ₂ O 排放研究	高雪梅, 余冬立, 颜晓元, 夏永秋 (2731)
冬季污泥堆肥过程温室气体排放特征	易建婷, 杨雨洽, 张成, 陈宏, 赵秀兰, 木志坚 (2738)
藏东南色季拉山土壤中有机氯农药和多环芳烃的浓度分布及来源解析	罗东霞, 张淑娟, 杨瑞强 (2745)
基于地质统计及随机模拟技术的天津武清区土壤重金属源解析	宋志廷, 赵玉杰, 周其文, 刘潇威, 张铁亮 (2756)
水热变化对三峡水库消落带紫色土有机碳矿化的影响	丁长欢, 王莲阁, 唐江, 慈恩, 谢德体 (2763)
减磷施肥有机肥对紫色土旱坡地磷素流失的消减效应	韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳, 陈晨 (2770)
水稻根际与非根际土壤硫素赋存形态转化及其迁移规律	
..... 杜光辉, 饶伟, 李鑫, 张亚楠, 王代长, 杨军, 化党领, 刘世亮, 李培培, 刘红恩 (2779)	
组配改良剂对污染稻田中 Pb、Cd、Cu 和 Zn 钝化效果持续性比较	
..... 吴玉俊, 周航, 杨文骏, 邹紫今, 朱维, 辜娇峰, 彭佩钦, 张平, 曾敏, 廖柏寒 (2791)	
生物法回收贵金属铂纳米颗粒及其机制	商儒, 朱能武, 康乃馨, 石超宏 (2799)
热处理天然褐铁矿制备 γ-Fe ₂ O ₃ 及其 NH ₃ -SCR 活性探究	徐彬, 陈天虎, 刘海波, 朱承驻, 陈冬, 邹雪华, 蒋阳 (2807)
《环境科学》征订启事 (2569) 《环境科学》征稿简则 (2576) 信息 (2744, 2769, 2790)	

哈尔滨主城区不同下垫面融雪径流污染特性

孙夕涵, 刘硕*, 万鲁河, 王宏

(哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025)

摘要: 融雪径流是我国北方高纬度城市受纳水体在春季主要的面源污染源, 为控制融雪径流对地表水体的污染, 于 2015 年 3 月底至 4 月初对哈尔滨主城区 6 种下垫面、18 个采样点的融雪径流进行污染特性分析. 通过 SPSS 22.0 及其主成分分析法确定了 BOD₅、COD、氨氮、总磷(TP)、石油类和总氮(TN)为哈尔滨主城区融雪径流中影响最为显著的污染指标. 应用单因素方差分析法(ANOVA)及其最小显著性差异(LSD)多重比较法对 6 种下垫面组间及两两下垫面间的污染差异性进行了分析. ANOVA 分析结果表明, TP 在下垫面组间的差异性最大而 BOD₅ 最小, 其显著性水平(Sig.) 分别为 0.342 和 0.631; 多重比较的结果则表明不同污染物在两两下垫面之间的均值差异(MeanDiff)均不同, 不同下垫面对不同污染指标的贡献率也不同. 同时, 受地理位置的影响, 相同污染物在相同下垫面的不同采样点的分布也存在差别, 城市道路和人行道最为明显. 不同下垫面融雪径流污染特性分析结果表明, 哈尔滨主城区融雪径流污染主要受交通流量、人类活动、冬季燃煤采暖及工业排放的影响.

关键词: 城市融雪径流; 城市下垫面; 主成分分析法; 融雪径流污染; 哈尔滨主城区

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)07-2556-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.07.018

Pollution Characteristics of Snowmelt Runoff on Different Underlying Surface in Main Urban Area of Harbin

SUN Xi-han, LIU Shuo*, WAN Lu-he, WANG Hong

(Key Laboratory of Geographic Environment Remote Sensing Monitoring in Heilongjiang Province, College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: Snowmelt runoff is the main non-point pollution source of receiving water in the high latitude cities of north China in Spring. In order to control the pollution of surface water body by the snowmelt runoff, the pollution characteristics of 6 kinds of underlying surfaces and 18 sampling points in the main urban area of Harbin were analyzed from late March to early April 2015. Through software SPSS 22.0 and its principal component analysis method, BOD₅, COD, ammonia nitrogen, TP (total phosphorus), petroleum and TN (total nitrogen) were identified as the significant pollution indexes of the snowmelt runoff in the main urban area of Harbin. Single factor ANOVA (Analysis of Variance) and its LSD (Least Significant Difference) multiple comparisons method were adopted to analyze the pollution difference among underlying surface groups and between two kinds of underlying surfaces. The results of ANOVA analysis showed that the difference of TP in all kinds of underlying surface was the largest and that of BOD₅ was the least, and the significant levels (Sig.) were 0.342 and 0.631, respectively. The results of multiple comparisons showed that the MeanDiffs (Mean Difference) between two underlying surfaces of different pollutants were different, and the contribution rates of different pollution index were different too. Meanwhile, due to the influence of geographical position, for the same pollutant, there were differences in different sampling points of the same underlying surface, especially in city road and pavement. Pollution characteristics of snowmelt runoff on different underlying surface showed that the snowmelt runoff pollution in the main urban area of Harbin was mainly affected by the traffic flow, human activities, coal fired heating in winter and industrial emissions.

Key words: urban snowmelt runoff; urban underlying surfaces; principal component analysis method; pollution of snowmelt runoff; main urban area of Harbin

城市不透水面的增加改变了城市径流的水文特性, 也增加了径流量和径流污染负荷^[1]. 目前, 城市径流已成为除点源和农业面源污染外河流和湖泊等受纳水体污染的第三大污染源^[2,3]. 目前, 城市径流的相关研究多集中于降雨径流的研究, 其研究结果表明城市降雨径流中氮和磷是导致城市水环境污染的重要问题^[4,5], 同时 TN、COD、TP、TSS 和重金属等皆是城市道路径流的主要污染物质^[6~8]. 但由于所处地理位置和气候条件的不同, 城市径流不仅包

括降雨还包括融雪径流. 我国北方城市降雪量大, 城市积雪受冬季采暖、城市交通、工业生产等因素的影响累积了大量的污染物质, 春季融雪期经过淋溶作用后会将冬季积累的污染物淘洗出积雪, 随着

收稿日期: 2016-01-07; 修订日期: 2016-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501033); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07201007-006)

作者简介: 孙夕涵(1992~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域水环境管理, E-mail: xihansun47@126.com

* 通讯联系人, E-mail: hitls@126.com

融雪径流补给入地表水体或地下水中,造成水环境污染^[9]. 由于长时间暴露于空气中,雪会比雨水吸收更多的来自大气的污染物,也更易受到污染^[10],因此,城市融雪径流污染特性的研究对北方城市面源污染的控制也有同样重要的意义.

国内外研究者们也对部分地区积雪和融雪径流的污染特性进行了分析研究,孟莹莹等^[11]得出北京市积雪中的氨氮、TN、TP、COD 等污染物主要来自交通活动,氯化物主要来自氯盐融雪剂;李怀恩等^[12]发现城市融雪径流的初期污染物 SS、COD、TN 等的浓度高于融雪后期,并且融雪径流中多数污染物浓度低于相同地点的降雨径流浓度;童银栋等^[13]发现降雪期间与非降雪期间大气中的汞含量存在差距,降雪能有效地捕集大气中的汞;刘玉燕等^[14]研究了干旱区小城市降雪中 Cd 与 Hg 富集系数最为严重,A1 年沉降通量最大,降雪中重金属主要来自于煤炭供暖、车流排气和工业排放. 在城市中,不同土地利用类型上的积雪产生的融雪径流的

最终流向不同其污染控制的方法也不同,但目前对于不同城市下垫面上融雪径流的分类研究较少.

本文中,以北方城市冰城哈尔滨为研究区域,通过在冬春融雪季节主城区中 6 种下垫面产生的融雪径流进行采样分析,从而确定不同下垫面上融雪径流的污染特性,以及不同空间分布下相同下垫面融雪径流的污染差异,并分析其污染分布差异产生的原因,以期为哈尔滨市融雪径流的污染控制与合理应用雪融水提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区为哈尔滨市主城区. 哈尔滨市地处中国东北部地区、黑龙江省南部,松花江自西向东穿过市区(见图 1). 哈尔滨的气候属中温带大陆性季风气候,四季分明,冬季漫长寒冷,年平均降雪量可达到 429.5 mm,每年 11 月到第二年的 3 月为降雪期,3 月中下旬和 4 月上旬属融雪期.

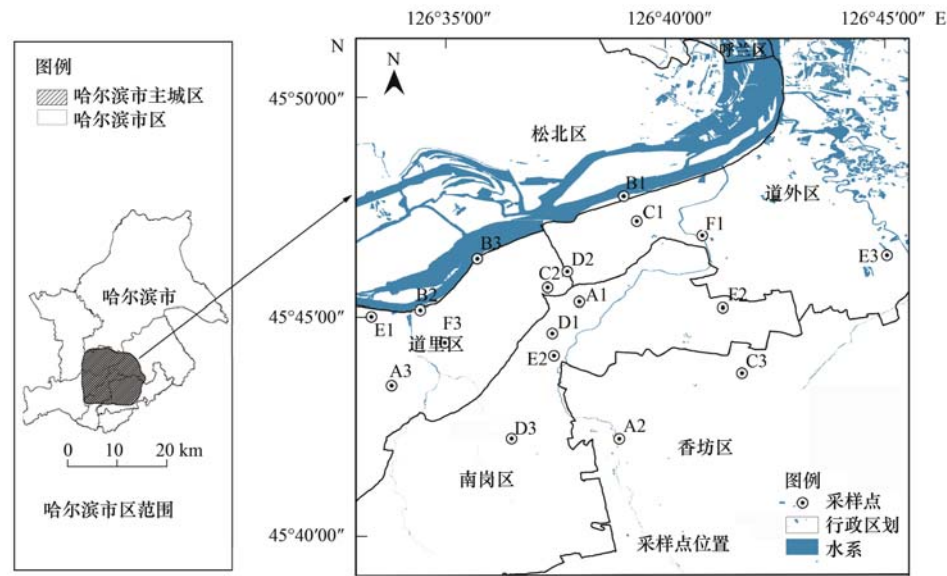


图 1 研究区范围及采样点地理位置示意

Fig. 1 Location map of the research area and the sampling points

1.2 城市下垫面分类

在冬季降雪期及融雪期承载积雪和融雪径流的城市下垫面主要包括道路、绿地、屋顶和冰封的水面,其中道路又包括城市道路、人行道和生活区、占地面积较大的校园及企事业单位内部道路(内部道路). 为保证交通顺畅,降雪后哈尔滨主城区城市道路积雪会迅速被各类清雪机械扫除、清除并就近运送到 9 处城市积雪集中堆放处;人行道积雪由环卫工人清除后堆放在人行道

边;内部道路的积雪清除后也会以雪堆的形式就近堆放. 春季融雪期绿地、屋顶、冰封水面、人行道和校园及企事业单位内部道路的融雪径流会就地产生,而城市道路上的积雪产生的径流位置则会因为积雪的转运而发生转移. 因此在哈尔滨市主城区融雪径流的研究中,将城市下垫面分为绿地、冰面、屋顶、内部道路、城市道路和人行道这 6 种类型,这些下垫面产生的融雪水通过蒸发、下渗、地表径流、城市排水管网而最终进

入大气、地下水和地表水体。

1.3 采样点设置

受汽车尾气排放、冬季空气污染、人类活动等因素的影响,不同下垫面以及下垫面空间位置的差异均会影响其融雪径流的污染特性,因此在哈尔滨市的南岗、道里、道外、香坊这4个主城区,北至松花江、南至第五医院、西至丽江路、东至长江路范围内,分别设置绿地、冰面、屋顶、内部道路、城市道路和人行道这6种下垫面类型进行采样,具体见

表1,每种下垫面在不同空间各设3个采样点,每个采样点取3个平行样,取其平均值作为此样点最终检测值,共计18个采样点,具体采样位置见图1、表1。采样时间为2015年3~4月,采样对象为融雪径流。除松花江冰面积雪在融化期无法采样,绿地积雪融化后下渗无法形成径流采集表面积雪外,其他样点皆采集积雪融化后的地表径流,用干净的铲子将样点处融雪径流引入塑料桶中,雪样则置于室内自然融化后进行分析。

表1 下垫面分类及采样点地理位置

Table 1 Categorizing of underlying surfaces and sampling point location

下垫面类型	采样点1	采样点2	采样点3
A 绿地	道外区哈尔滨工程大学(A1)	香坊区第五医院(A2)	道里区丽江路旁(A3)
B 冰面	松浦大桥附近(B1)	何家沟附近(B2)	九站公园附近(B3)
C 屋顶	道外区四医院旁(C1)	道里区新阳路(C3)	香坊区公滨路(C3)
D 内部道路	道里区哈尔滨工业大学(D1)	道外区承德桥(D2)	南岗区学府路(D3)
E 城市道路	道里区群力第五大道(E1)	南岗区一匡街(E2)	道外区长江路(E3)
F 人行道	道外区宏伟路(F1)	南岗区嵩山路(F2)	道里区康安路(F3)

1.4 水质分析方法

将融雪径流水样的分析指标包括pH、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、TP、TN、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、六价铬、镉、铅、氰化物、硫化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂和电导率。具体监测方法见文献[15]。

1.5 主成分分析法

运用主成分分析法可根据实际需求从具有一定相关性的变量重新组合确定主成分^[16],应用SPSS 22.0对检测数据进行标准化后得到相关矩阵、特征值和方差贡献率,以确定影响雪融水污染程度的主要评价因子以及不同污染物对于不同因子的影响贡献率,简化数据确定主要污染物。进行主成分分析时对分析项进行筛选,由于22项监测指标中的铜、锌、砷、镉、六价铬、铅和阴离子表面活性剂的分析结果小于最小检测限值,因此最终选取pH、COD、BOD₅、氨氮、TN、TP、氟化物、硫化物、挥发酚、石油类和电导率11项指标进行主成分分析。

1.6 方差分析法

方差分析法(ANOVA)用于检验由单一因素影响的一个(或几个相互独立的)因变量由因素各水平分组的均值之间的差异是否具有统计意义,是用于两个及两个以上样本均数差别的显著性检验^[17,18]。在本研究中应用SPSS 22.0的单因素ANOVA进行不同下垫面间污染差异性的分析,并通过最小显著性差异(LSD)法对不同下垫面的污染差异进行多重比较^[19,20]。

2 结果与讨论

2.1 融雪径流中主要污染物分析

通过主成分分析及旋转成分矩阵,可以提取出影响哈尔滨市主城区融雪径流水质的3个主要因子,累计为全部变量的81.356%,见表2。第一个主成分方差贡献率是51.462%,密切相关的是BOD₅、COD、氨氮、TP、石油类和TN,说明第一主成分反映了融雪径流主要受到含碳、氮、磷和石油类物质的污染。第二个主成分特点表现为在pH和硫化物的浓度方面相关密切。第三个主成分在电导率方面有很高的正载荷。因第一主成分贡献率远高于第二、三主成分的17.414%、12.48%,哈尔滨市融雪

表2 主成分载荷值

Table 2 Load values of principal components

影响因素	PC1	PC2	PC3
Z(pH)	-0.037	0.880	0.276
Z(COD)	0.886	0.316	-0.061
Z(BOD ₅)	0.907	0.283	-0.059
Z(氨氮)	0.918	-0.231	0.106
Z(TP)	0.842	0.476	-0.131
Z(TN)	0.775	-0.331	0.392
Z(氟化物)	0.065	0.196	0.515
Z(挥发酚)	0.774	0.120	0.348
Z(石油类)	0.807	0.229	0.340
Z(硫化物)	0.363	0.881	-0.017
Z(电导率)	0.094	-0.050	0.892
特征值	5.661	1.916	1.373
方差贡献率/%	51.462	17.414	12.480
累计贡献率/%	51.462	68.876	81.356

径流水质主要受第一主成分的影响,即 BOD_5 、COD、氨氮、TP、石油类和 TN 为雪融水的主要污染物质. 因此本文选取主要污染物 BOD_5 、COD、氨氮、TP、石油类和 TN 作为之后的主要评价指标,排除次要评价指标以利于分析.

2.2 不同种下垫面融雪径流污染特征分析

根据主成分分析的结果,本研究仅选取第一主成分中的主要污染物,探讨融雪径流中 COD、 BOD_5 、氨氮、TN、TP 和石油类这 6 个监测指标在不同下垫面的分布情况,不同下垫面中污染物浓度的分布见图 2. 从中可知,城市道路和人行道中是融雪径流中含碳污染物浓度最高的两种下垫面,其 COD 和 BOD_5 的平均浓度值分别为 $188.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $58.77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $169.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $57.29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,约为浓度最低的屋顶融雪径流 COD 和 BOD_5 浓度的 4.5 倍和 6 倍,远超过哈尔滨城镇污水处理厂现行的一级 B 类排放标准中 COD $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 BOD_5 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的排放限值. 人行道和屋顶是融雪径流中含氮污染物浓度最高的两种下垫面,其氨氮和 TN 的平均浓度值分别为 $5.83 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $7.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $3.78 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. TP 在城市道路融雪径流中的浓度值最大为 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,屋顶的浓度值最低为 $0.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 石油类污染物浓度则在内部道路、城市道路和人行中的平均浓度值要明显高于屋顶、冰面和绿地,平均浓度最大值为 $0.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,最小值为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 氨氮、TN、TP 和石油类在各下垫面采样点中的平均浓度均不超城镇污水一级 B 类排放标准. 由此可见含碳污染物是哈尔滨融雪径流中对地表水体影响最为严重的污染物.

为探讨各种污染物在不同下垫面的污染特性的差异,选择 6 种检测指标为因变量,6 种下垫面为因子,取同种下垫面 3 个采样点融雪径流的 COD、 BOD_5 、氨氮、TN、TP 和石油类的平均值进行方差分析(见表 3),得出不同下垫面类型之间差异性较为明显的指标. 分析结果表明,不同下垫面对于同一种污染物的贡献率存在差异,并且根据污染物的不同,不同下垫面的影响情况也存在差异,但差异的显著性水平大于设定的 0.05,差异并不显著.

在 6 项检测指标中 TP 的显著性水平值为 0.342,相对其它指标在不同下垫面组间差异最大, BOD_5 的组间差异最小. 为了比较两两下垫面之间污染特性的差异,选择 LSD 法对不同下垫面污染物浓度的均值差异 (MeanDiff) 进行多重比较,结果如图 3 所示. 对含碳污染物 COD 和 BOD_5 而言,城市

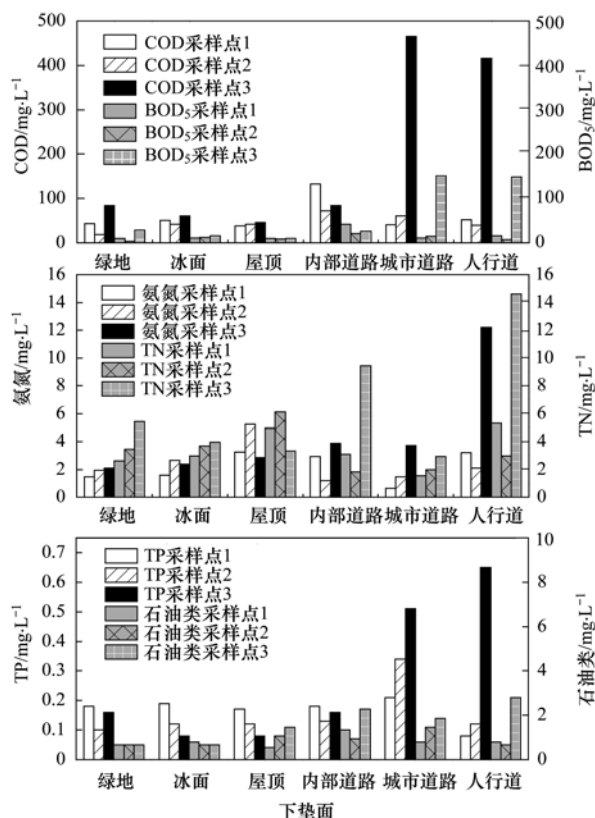


图2 不同下垫面融雪径流中污染物浓度变化

Fig. 2 Variation of pollutants concentration in snowmelt runoff of different underlying surface

道路和屋顶之间的差异性最大,显著性水平 (Sig.) 为 0.201 和 0.219,冰面和绿地的差异性最小, Sig. 为 0.981 和 0.993; 人行道和绿地之间的氨氮差异最大 Sig. 为 0.072,城市道路和绿地的差异最小 Sig. 为 0.962; 人行道和城市道路的 TN 差异性最大 Sig. 为 0.054,内部道路和屋顶的 TN 差异最小 Sig. 为 0.993; 城市道路和屋顶 TP 的差异性最大, Sig. 为 0.081,屋顶和冰面 TP 的差异性最小 Sig. 为 0.957; 内部道路和绿地石油类的差异性最大 Sig. 为 0.129,而人行道与城市道路、冰面与绿地 TP 的差异性最大均为 0.933.

2.3 相同下垫面融雪径流污染的空间差异分析

在不同下垫面的情况下,同种污染物存在差异值,但在同种下垫面的情况下,不同地点同种污染物也是存在差异的. 如表 1 和图 2 所示,绿地检测点 A3 各项监测值明显高于其他两处,尤其 COD 和 BOD_5 分别是 A2 的 4.6、8.86 倍, TN、氨氮是 A1 的 2.06、1.43 倍,污染程度最为严重,这是因 A3 处交通复杂,车辆通行较多, A2 地处生态园附近,空气清新,车辆较少,并且临近医院,污染相对较少. 冰面 3 个采样地点同在松花江上,污染程度相差不大,

表 3 不同下垫面污染物浓度的方差分析

Table 3 ANOVA of pollutants concentrations of different underlying surface

污染物	项目	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	显著性
COD	组间	63 111. 743	5	12 622. 349	0. 719	0. 622
	组内	210 665. 36	12	17 555. 447		
	总计	273 777. 103	17			
BOD ₅	组间	7 639. 387	5	1 527. 877	0. 705	0. 631
	组内	26 002. 789	12	2 166. 899		
	总计	33 642. 177	17			
氨氮	组间	35. 567	5	7. 113	1. 149	0. 388
	组内	74. 269	12	6. 189		
	总计	109. 836	17			
TN	组间	50. 549	5	10. 11	1. 029	0. 444
	组内	117. 94	12	9. 828		
	总计	168. 489	17			
TP	组间	0. 138	5	0. 028	1. 259	0. 342
	组内	0. 263	12	0. 022		
	总计	0. 401	17			
石油类	组间	0. 012	5	0. 002	1. 034	0. 441
	组内	0. 027	12	0. 002		
	总计	0. 039	17			

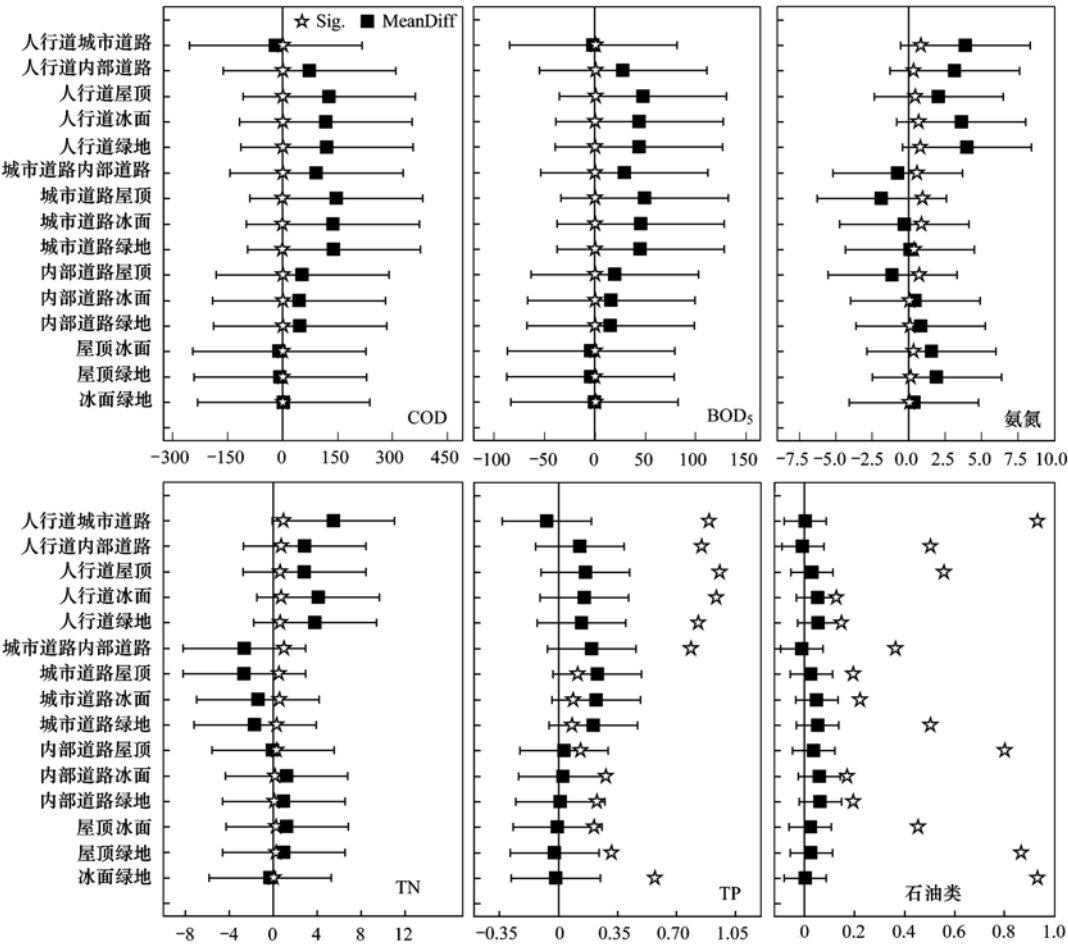


图 3 基于 LSD 方差分析的下垫面间污染差异多重比较

Fig. 3 Multiple comparisons of pollution difference between underlying surfaces based on LSD ANOVA

B3 处的 TN 和 BOD_5 最高, 因其位于松花江边上码头附近, 冬季冰封后此处虽没有船舶, 但同样有娱乐活动进行, B1 车辆通行繁密, 受车辆污染较多, 因此 TP 和石油类较高, 而 B2 相对较远, 冬季也少有人靠近, 因此污染处于中间值, 对比其他下垫面类型接触行人、车辆较少。屋顶皆选 6 层以上楼房雨水管道径流, C3 因交通繁华且靠近商业圈石油类污染较为严重, C1 地处医院, 主要受 TN 影响较为明显, COD、 BOD_5 相对较低。内部道路选择在小区、学校内融雪径流, D1 交通顺畅靠近哈尔滨火车站、商业圈, 火车道穿越校园范围, 附近夜市、饭店、商场俱全, 大量生活污水、废气侵袭周边环境, COD 仅次于污染情况严重的 E3 和 F3, D3 的 TN、氨氮和石油类高于其他两处, 说明此处交通污染更为严重。哈尔滨降雪量大, 城市道路积雪一般在雪停后一天内被铲雪车堆放在固定堆雪点, E3 旁边临近施工地, 风沙扬尘明显, 施工泥浆、废水和工人生活用水严重污染周围的环境, 6 项检测值均高于其他两处, COD 和 BOD_5 甚至是地表水排放一级 B 类标准的 7.75、7.55 倍; E2 雪堆堆放一个冬季, 附近车辆很多并靠近火车轨道, 采样时雪样接近黑色, 污染情况比 E1 严重。人行道 F3 距离火车站很近, 污染严重仅次于 D3, 除 COD 和 BOD_5 其他检测指标皆远远超出其他将各采样点, 说明在 F3 受车辆影响多于其他采样点, 并且污染情况高于 F1、F2。

2.4 不同种下垫面融雪径流中污染物来源分析

据世界卫生组织统计每年大约有 60 万人死于交通事故, 1 500 万人受伤^[21]。大雪和寒冷等极端天气会使路面积雪形成冰层, 更易发生交通事故^[22,23]。哈尔滨市每年冬天降雪次数多, 且降雪时间长, 路面积雪丰厚, 政府每次积雪投撒融雪剂或人工、机械清雪十分及时, 大型路面上的积雪收集到指定的堆雪点, 本文采样点中的城市道路融雪径流皆选择哈尔滨市大型堆雪点的积雪融化径流。城市道路的 TP、COD、 BOD_5 均为最高值, TN 和氨氮含量最低, 说明在城市道路下垫面类型中主要污染物是 TP、COD 和 BOD_5 , 来自于车辆碾压、运输和长时期的堆放后车辆轮胎耗损^[24]、车轮携带污染物、汽车尾气及地表沉积物的影响。选取内部道路皆是堆在生活区、校园及企事业单位内的积雪点, 根据检测数据了解内部道路的石油类污染情况最高, 其他 5 项检测指标污染程度相对一般处于中间污染程度, 其主要污染源来自人类活动和交通污染。人行道选取在街道路边的人行道, 这种下垫面类型主要

受行人鞋底的污染物质和居民或商家倾倒的污水与垃圾污染, 用铲子在进行铲取径流水时易取到地表的沉积物, 因此其污染除 TN 和氨氮为最高值外均仅次于内部道路或城市道路, TN 和氨氮处于最高值可能是因为雪面上倾倒了生活污水或是冬季供暖燃煤使大气中氮元素增多由雪花带至地表引起污染。冰面选取松花江段上几个易取点采集松花江上的积雪, 这些积雪主要源于大气干湿沉降^[25~27]和人类倾倒污染物, 但受人类影响相对于其他下垫面类型较少, 因此污染情况相对一般。在排污远离屋顶的情况下, 污染本应相对较少, 但从检测值来看屋顶 TN 和氨氮却较高, 原因可能是因为哈尔滨大气污染严重, 雪花比雨滴的比表面积大、极性较弱, 可能携带的污染物更多^[28]。本文研究的是市区内部融雪情况, 选择绿地为接近人行道的草地, 每日受人类活动的影响, 氨氮和石油类污染情况最低, 说明绿地受车辆及空气污染少, 可能由于汽车尾气经人行道和城市道路路上积雪吸附对绿地的影响变低。冰封冰面各种检测指标污染情况处于中间值, 且均达到污水排放一级 B 类标准。

3 结论

(1) 对哈尔滨市 6 种下垫面 18 个采样点融雪径流的 11 项监测指标进行了主成分分析, 分析结果表明, 融雪径流主要受 3 种主成分影响, 其中第一主成分的方差贡献率最大为 51.462%, 由此确定哈尔滨市主城区融雪径流的污染指标主要为 BOD_5 、COD、氨氮、TP、石油类和 TN。

(2) 含碳污染物是哈尔滨融雪径流中的最主要污染物, 城市道路、人行道和内部道路融雪径流中含碳污染物浓度平均值超过哈尔滨城镇污水处理厂现行的一级 B 类排放标准的 2~3 倍, 其它指标均未超标; 在 6 种下垫面组间 TP 的污染差异性最大, BOD_5 的差异性最小; 在两两下垫面间, 不同下垫面对于同一种污染物的贡献率存在差异, 对于不同污染物, 相同下垫面对其影响也不同。

(3) 在同种下垫面不同采样点的同种污染物浓度也存在差异。位于接受城市主干道路积雪的堆雪场, 人流量大的繁华街道旁的人行道, 居民较多的生活小区内部道路, 靠近码头和道路的冰面, 城市道路旁的绿地以及人口和商业集中地的屋顶这些采样点, 其污染物浓度均高于人口密度小, 交通流量小和非商业区的采样点。

(4) 由融雪径流中各种污染物在不同下垫面上

的分布特性得出:城市道路主要为TP、COD、BOD₅污染,污染来自于车轮胎耗损、车轮携带污染物、汽车尾气及地表沉积物的影响,同时也受到城市积雪集中堆放点工业排放及采暖的影响;内部道路的石油类污染值最高,其它各项指标中都趋于中间值,主要来自于生活小区、企事业单位和校园内部人类活动、车辆的流动和采暖;人行道的TN和氨氮污染严重,主要来自于周边道路车辆流动及人类生活污染物倾倒;绿地和冰面相对各项污染较低,主要来自于采暖、空气中污染物沉降及周边环境的影响;屋顶的含氮污染物浓度较高,主要来自于冬季采暖及空气中污染物的沉降。

致谢:感谢哈尔滨市环境监测中心站在样品分析过程中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 任玉芬,王效科,欧阳志云,等. 北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 373-378.
- [2] Jung J W, Park H N, Yoon K S, *et al.* Event mean concentrations (EMCs) and first flush characteristics of runoff from a public park in Korea[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2013, **56**(5): 597-604.
- [3] Zhu Q D, Sun J H, Hua G F, *et al.* Runoff characteristics and non-point source pollution analysis in the Taihu Lake Basin: a case study of the town of Xueyan, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, **22**(19): 15029-15036.
- [4] Wu J L, Ren Y F, Wang X M, *et al.* Nitrogen and phosphorus associating with different size suspended solids in roof and road runoff in Beijing, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, **22**(20): 15788-15795.
- [5] Janke B D, Finlay J C, Hobbie S E, *et al.* Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed [J]. Biogeochemistry, 2014, **121**(1): 209-228.
- [6] 张千千,王效科,郝丽岭,等. 重庆市路面降雨径流特征及污染源解析[J]. 环境科学, 2012, **33**(1): 76-82.
- [7] Lee J Y, Kim H, Kim Y, *et al.* Characteristics of the event mean concentration (EMC) from rainfall runoff on an urban highway [J]. Environmental Pollution, 2011, **159**(4): 884-888.
- [8] Ladislav S, El-Mufleh A, Gérente C, *et al.* Potential of aquatic macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in urban stormwater runoff[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2012, **223**(2): 877-888.
- [9] 汪太明,王业耀,刘玉萍,等. 东北地区春季融雪期非点源污染负荷估算方法及应用[J]. 农业环境科学学报, 2012, **31**(4): 807-812.
- [10] Zhu H, Xu Y Y, Yan B X, *et al.* Snowmelt runoff: a new focus of urban nonpoint source pollution[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, **9**(12): 4333-4345.
- [11] 孟莹莹,陈建刚,王会肖,等. 北京市道路积雪污染及特性研究[J]. 环境保护科学, 2015, **41**(2): 32-37.
- [12] 李怀恩,刘增超,秦耀民,等. 西安市融雪径流污染特性及其与降雨径流污染的比较[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(11): 2795-2802.
- [13] 童银栋,张巍,胡丹,等. 冬季降雪过程对城市大气气态汞污染的影响[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(3): 505-508.
- [14] 刘玉燕,刘浩峰,张兰. 干旱区中小城市降雪中金属元素沉降通量研究[J]. 中国环境监测, 2013, **29**(6): 29-33.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 994-697.
- [16] 刘峰,胡继伟,秦樊鑫,等. 红枫湖沉积物中重金属元素溯源分析的初步探讨[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(9): 1871-1879.
- [17] 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,等. 合肥城郊典型农田溪流生态系统沉积物磷形态及释放风险[J]. 环境科学, 2016, **37**(2): 548-557.
- [18] 张千千,王效科,郝丽岭,等. 春季盘溪河水质日变化规律及水质评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1114-1121.
- [19] 陈强,景毅,吴焕波,等. PM₁₀可替代源成分谱的建立方法及其应用[J]. 环境科学, 2014, **35**(11): 4078-4084.
- [20] 徐鹏,江长胜,郝庆菊,等. 缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(10): 4009-4016.
- [21] Al-Harbi M, Yassin M F, Shams M B. Stochastic modeling of the impact of meteorological conditions on road traffic accidents [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2012, **26**(5): 739-750.
- [22] Vajda A, Tuomenvirta H, Juga I, *et al.* Severe weather affecting European transport systems: the identification, classification and frequencies of events[J]. Natural Hazards, 2014, **72**(1): 169-188.
- [23] 喻文兵,李双洋,冯文杰,等. 道路融雪除冰技术现状与发展趋势分析[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(4): 933-940.
- [24] 王胜,黄岩. 城市道路融冰雪技术分析与应用[J]. 城市道桥与防洪, 2014, (12): 181-184.
- [25] 周旺明,郭焱,朱保坤,等. 长白山森林生态系统大气氮素湿沉降通量和组成的季节变化特征[J]. 生态学报, 2015, **35**(1): 158-164.
- [26] 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.
- [27] 荆红卫,华蕾,郭婧,等. 北京市水环境非点源污染监测与负荷估算研究[J]. 中国环境监测, 2012, **28**(6): 106-111.
- [28] 任娇,王小萍,龚平,等. 持久性有机污染物气—土界面交换研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, **32**(2): 288-297.

CONTENTS

Concentration Characteristics of PM _{2.5} in Beijing During Two Red Alert Periods	CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, CHEN Tian, <i>et al.</i> (2409)
Response of Human Respiratory Height PM _{2.5} Variation Characteristics to Meteorological Factors During Winter Haze Days in Beijing	ZHANG Nan, XIONG Hei-gang, GE Xiu-xiu, <i>et al.</i> (2419)
Pollutional Characteristics and Sources Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Fine Particulate Matter in Lanzhou City	LI Ying-hong, RAO Zhi-guo, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (2428)
Determination and Source Apportionment of Aromatic Acids in PM _{2.5} from the Northern Suburb of Nanjing in Winter	ZHANG Ya-fei, MA Yan, QI Lu, <i>et al.</i> (2436)
Impact of Marine-atmospheric Process on Aerosol Number Size Distribution in the South China Sea	KONG Ya-wen, SHENG Li-fang, LIU Qian, <i>et al.</i> (2443)
Assessment of Heavy Metals Pollution and Its Health Risk of Atmospheric Dust Fall from East Part of Junggar Basin in Xinjiang	YANG Chun, Tashpolat Tiyp, HOU Yan-jun, <i>et al.</i> (2453)
Variations of Stable Isotope in Precipitation and Its Atmospheric Circulation Effect in Chongqing	WEN Yan-ru, WANG Jian-li (2462)
Temporal Dynamics of Stable Isotopic Composition in Lake Taihu and Controlling Factors	XU Jing-zheng, XIAO Wei, XIAO Qi-tao, <i>et al.</i> (2470)
Geochemical Characteristics of Lateral Hyporheic Zone Between the River Water and Groundwater, a Case Study of Maanxi in Chongqing	ZHANG Yu, YANG Ping-heng, WANG Jian-li, <i>et al.</i> (2478)
Variations of CO ₂ Exchange Fluxes Across Water-air Interface and Environmental Meaning in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	LI Li, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (2487)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) Releases from Soils of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas; UV-Vis Spectrum	LIANG Jian, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (2496)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) Releases from Soils of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas; Fluorescence Spectra	LIANG Jian, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (2506)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Thirteen Sulfonamides Antibiotics in a Drinking Water Source in East China	JIN Lei, JIANG Lei, HAN Qi, <i>et al.</i> (2515)
Concentrations of Ketamine and Norketamine in the Water Environment in Beijing	ZHANG Hua-fang, YANG Jun, DU Peng, <i>et al.</i> (2522)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Water of Yuqiao Reservoir Watershed During the Water Delivery Period	CHANG Sheng, ZHAO Xing-ru, FU Qing, <i>et al.</i> (2530)
Concentrations and Partitioning of Halogenated Flame Retardants in Industrial Water of Dongjiang River	HE Ming-jing, LI Qi, ZHAO Jia-yuan, <i>et al.</i> (2539)
Distribution Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Fatty Acids in Water of Karst Underground River	XIE Zheng-lan, SUN Yu-chuan, ZHANG Mei, <i>et al.</i> (2547)
Pollution Characteristics of Snowmelt Runoff on Different Underlying Surface in Main Urban Area of Harbin	SUN Xi-han, LIU Shuo, WAN Lu-he, <i>et al.</i> (2556)
Impact of Precipitation on Fenghe River Water and Aquatic Microorganisms	LU Si-dan, SUN Yu-jiao, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (2563)
Response of <i>Microcystis aeruginosa</i> Growth to Arsenate Under Different Phosphorus Regimes	WANG Zhen-hong, ZHANG Han-peng, LUO Zhuan-xi (2570)
Removal Behavior of Ibuprofen and Diclofenac in Different Constructed Wetlands	JING Rui-ying, YANG Yang, DAI Yu-ni, <i>et al.</i> (2577)
Influence of Chemical Pre-oxidation on Chloral Hydrate Formation of Threonine	CAI Guang-qiang, FU Xue-min, LIU Li-jun, <i>et al.</i> (2586)
Activated Carbon Supported Co ₃ O ₄ Catalysts to Activate Peroxymonosulfate for Orange G Degradation	WANG Zhong-ming, CHEN Jia-bin, ZHANG Li-ming, <i>et al.</i> (2591)
Kinetics for Degradation of Orange G with Peroxymonosulfate Activated by Carbon Nanotubes	ZHANG Li-ming, CHEN Jia-bin, LI Wen-wei, <i>et al.</i> (2601)
Removal of Chloramphenicol in Wastewater by Electrochemical Reduction with Carbon Nanotubes-Modified Electrode	DENG Fei, TANG Bo-bin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2610)
Removal of AOX, Chroma and TOC in Chemical Dye-stuff Wastewater with Iron Scraps-Fenton-Coagulation Combined Process	SHU Xiao-ming, XU Can-can, WEN Xiao-gang, <i>et al.</i> (2618)
Removal of AOX in Activated Sludge of a Chemical Pharmaceutical Industry with Fenton Oxidation	CHEN Si, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (2625)
Performance Evaluation of a Pilot-scale Microbubble-aerated Biofilm Reactor	LIU Chun, ZHANG Jing, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2632)
Nitrogen Removal Performance of Novel HABR Reactor over CANON Process	BAO Lin-lin, CHEN Wan-qiu (2639)
Characteristics of a Combined Heterotrophic and Sulfur Autotrophic Denitrification Technology for Removal of High Nitrate in Water	LI Xiang, MA Hang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (2646)
Characteristics of Microbial Community in Each Compartment of ABR ANAMMOX Reactor Based on High-throughput Sequencing	CHEN Chong-jun, ZHANG Hai-qin, WANG Yao-qi, <i>et al.</i> (2652)
Nitrogen Removal and the Characteristics of Denitrification Bacteria Using NUA-DAS Ecofilter	WANG Long-mian, QIU Hao-yu, CHE Yu-xiao, <i>et al.</i> (2659)
Coupling of Hydrocarbon Accumulation and Cobalt Removal During Treatment of Cobalt Enriched Industrial Wastewater with <i>Botryococcus braunii</i> Biofilm Attached Cultivation	CHENG Peng-fei, WANG Yan, YANG Qi-yong, <i>et al.</i> (2666)
Isolation of <i>Raoultella</i> sp. sarI01 and Its Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Characteristics	YAN Wei-zhi, HAO Jian, SUN Jun-song, <i>et al.</i> (2673)
Screening and Nitrogen Removing Characteristics of Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacteria SLWX ₂ from Sea Water	CHENG Yu, LI Qiu-fen, FEI Yu-tao, <i>et al.</i> (2681)
Biodiversity of Thiocyanate-degrading Bacteria in Activated Sludge from Coking Wastewater	XU Wei-chao, MENG Xiao-jun, YIN Li, <i>et al.</i> (2689)
Responses of Plankton Microeukaryotic Community to Increasing Temperatures Created by Power Plant Thermal Discharges	DAI Wen-fang, YANG Shi-ye, QUE Zhi-jia, <i>et al.</i> (2696)
Characteristics of Soil Microbial Community Structure in the Rhizospheric Soil of <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> by Phospholipid Fatty Acid (PLFA)	ZUO Yi-ling, HE Xue-li, WANG Shao-jie, <i>et al.</i> (2705)
Response of Soil Respiration to Extreme Precipitation in Semi-arid Regions	ZHAO Man, WANG Rui, LI Ru-jian, <i>et al.</i> (2714)
Features and Influencing Factors of N ₂ O Emissions from Drawdown Area in the Three Gorges Reservoir	LI Rui, LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, <i>et al.</i> (2721)
Denitrification Loss and N ₂ O Emission from Different Carbon Inputs in Orchard Drains Sediments	GAO Xue-mei, SHE Dong-li, YAN Xiao-yuan, <i>et al.</i> (2731)
Emissions Characteristics of Greenhouse Gas from Sewage Sludge Composting Process in Winter	YI Jian-ting, YANG Yu-han, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (2738)
Distribution and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Organochlorine Pesticides (OCPs) in Soils from Shergyla Mountain, Southeast Tibetan Plateau	LUO Dong-xia, ZHANG Shu-juan, YANG Rui-qiang (2745)
Applications of Geostatistical Analyses and Stochastic Models to Identify Sources of Soil Heavy Metals in Wuqing District, Tianjin, China	SONG Zhi-ting, ZHAO Yu-jie, ZHOU Qi-wen, <i>et al.</i> (2756)
Effects of Soil Moisture and Temperature Variations on Organic Carbon Mineralization of Purple Soil in the Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir	DING Chang-huan, WANG Lian-ge, TANG Jiang, <i>et al.</i> (2763)
Reduction Effect of Reduced Phosphorus Fertilizer and Combining Organic Fertilizers on Phosphorus Loss of Purple Soil Sloping Field	HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2770)
Transformation and Migration of Sulfur Speciation in the Rhizosphere and Bulk Soil of Paddy Soil	DU Guang-hui, RAO Wei, LI Xin, <i>et al.</i> (2779)
Comparison of the Persistence of a Combined Amendment Stabilizing Pb, Cd, Cu and Zn in Polluted Paddy Soil	WU Yu-jun, ZHOU Hang, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (2791)
Bio-inspired Recovery of Platinum Nanoparticle and Its Mechanism	SHANG Ru, ZHU Neng-wu, KANG Nai-xin, <i>et al.</i> (2799)
Preparation of γ -Fe ₂ O ₃ Catalyst by Heat Treatment of Natural Limonite for Selective Catalytic Reduction of NO by NH ₃	XU Bin, CHEN Tian-hu, LIU Hai-bo, <i>et al.</i> (2807)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年7月15日 第37卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 7 Jul. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行