

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

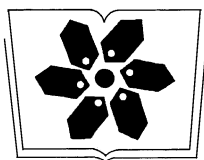
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201209201326

任玉芬,王效科,欧阳志云,王巧环,侯培强.北京城区道路沉积物污染特性.生态学报,2013,33(8):2365-2371.

Ren Y F, Wang X K, Ouyang Z Y, Wang Q H, Hou P Q. The pollution characteristics of Beijing urban road sediments. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2365-2371.

北京城区道路沉积物污染特性

任玉芬*, 王效科, 欧阳志云, 王巧环, 侯培强

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:为了解城市道路沉积物污染物的浓度水平及可能造成的生态环境危害,在北京城区的生活区、文教区、交通干线和公园绿地这四种功能区的道路沉积物进行了取样监测,并分析了道路沉积物中总氮(TN)、总磷(TP)、重金属铜(Cu)、铬(Cr)、铅(Pb)、锌(Zn)和有机质(TOC)的污染特性。研究表明,各类功能区道路沉积物中TN、TP和TOC的含量较高。交通干线、文教区、生活区和公园绿地区道路沉积物TN均值分别为0.1009、0.1440、0.1071、0.0974mg/kg,文教区道路沉积物的TN显著高于其他类型道路沉积物;TP均值分别为0.0695、0.0729、0.0665、0.0608mg/kg,以文教区最高,但未达显著水平。交通干线和文教区道路沉积物TOC浓度显著高于生活区和公园绿地,交通干线、文教区和生活区道路沉积物重金属的含量高于公园绿地。主要原因可能是人类活动和车辆交通量的影响。四类功能区氮主要以可溶态赋存,磷主要以颗粒态赋存在沉积物中,并且交通干线道路沉积物中溶解态磷比例最低。溶解态的重金属占总量的比例均较低,只有溶解态Cu达到5%以上,表明重金属主要赋存在颗粒态存在的沉积物中。道路沉积物或者外界带入的固体物质是地表径流污染物的重要来源,研究结果为城市地表污染控制提供重要参考。

关键词:城区道路;道路沉积物;污染特性

The pollution characteristics of Beijing urban road sediments

REN Yufen*, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, WANG Qiaohuan, HOU Peiqiang

State key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: In order to understand the urban road sediment pollutants concentration levels and possible ecological environmental hazards, urban road sediment samples were monitored and analyzed from four different functional areas including the living areas, the educational areas, the traffic routes and the green parks in the city of Beijing. Total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), heavy metals and organic matter (TOC) in the road sediments were tested in order to get the pollutant characteristics. The research results show that high levels of TN, TP, and TOC are found in all types of road sediments. TN concentration in the road sediments in the living areas, the educational areas, the traffic routes and the green parks are 0.1009, 0.1440, 0.1071, 0.0974mg/kg, respectively, which is significantly the most highest in the educational areas. TP concentration in the four areas are 0.0695, 0.0729, 0.0665, 0.0608mg/kg, respectively, which is the most highest in the educational areas but not reach a significant level. Concentrations of TOC in sediments in the traffic routes and educational areas are found significantly higher than that in the living areas and the green parks. And heavy in the traffic routes, educational areas and the living areas are found much higher than that in the green parks. Human activities and traffic vehicles may be the main dominant factors. Dissolved nitrogen is the main form of nitrogen in the four function areas, but phosphorus is mainly in particles, and this is most significant in sediments in the traffic routes. Dissolved heavy metal content is low overall, and only dissolved Cu accounts above 5 percent in the total ammount. This indicates

基金项目:国家自然科学基金项目(41030744,41230633,40901265)

收稿日期:2012-09-20; 修订日期:2013-04-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yfren@cees.ac.cn

heavy metals are mainly in particles. Road sediments or outside solid substances are the important source of surface runoff pollutants. The findings of the paper provide important reference for the urban surface pollution control.

Key Words: urban roads; road-deposited sediments; pollution characteristics

城市道路沉积物通常含有较多的污染物质,其可能来源主要包括大气灰尘沉降、汽车磨损物、物质燃烧、外来土等^[1-7]。这些污染物质在降雨产生时极易跟随径流进入水体,对城市水环境产生威胁^[8-10]。目前城市的不透水覆盖率达 60%—100%,大面积的不透水面成为地表沉积物的重要来源^[11-12]。随着城市化的发展和工业化的进程,城市的硬化地表覆盖增多,城市商业、工业、居住面积迅速扩张,城市化的加剧导致了城市不透水面积的增加,而这些不透水材料多为石块、沥青和水泥等,是众多污染物产生的载体^[13-15];城市化所致的人口增加同时也导致了交通量增加、工业生产活动和煤炭天然气等能源的消耗加剧,这些人为的活动产生的大量废弃物大大增加了城市地表沉积物的数量。这些人为活动带来的污染物质在某些情况下又会进入空气环境和水体环境,造成空气质量和水环境的恶化^[16]。

北京是城市化迅速的典型代表城市之一,目前北京市人口已超 1900 万人,截止 2012 年底机动车保有量 520 万辆。人类活动强度急剧增大,导致城市地表累计的污染物质数量和种类急剧增加^[24],对城市环境和暴雨季节的地表水环境造成相当大的威胁,因此研究城市化的典型地表上的沉积物污染特性将对其他城市的相关研究提供借鉴。在北京市开展城市道路沉积物的研究较为少见,自 2004 年开始,研究者主要针对北京市自通州贯穿城市中心道石景山沿线主干道的沉积物污染状况^[17]、北京六环以内城近郊区的主要道路污染物特性分析^[18]以及赵洪涛等^[15]沿城区-郊区-乡村街道对不同粒径沉积物中重金属特性的研究。以往的研究主要针对城市中心干道做了污染物的调查和研究,本研究在前人研究的基础上,选取北京市核心城区的生活区、文教区、交通干线和公园绿地 4 种土地利用类型,进行道路沉积物的污染情况的对比研究,期望能反应北京市不同功能区的道路沉积物污染现状,对比 4 种功能区道路沉积物污染物的差异和可能的来源情况,并对沉积物中溶解态污染物的状况进行分析,力求能得到道路沉积物对城市地表径流可能造成的威胁。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在北京市内共选择 34 个道路沉积物样品,每个采样点采样面积为 3—4m²,采样点布于距离街道边坎 1m 之内,采样时间远离道路清扫时间,选择 3—4 个道路沉积物样品混合(每个点收集 1m² 之内的沉积物后混合),混匀后装入聚乙烯塑料袋。为避免人为干扰,用塑料毛刷和小铲子收集沉积物样品。样品经室温风干处理后,过 2mm 筛保存在塑料袋中。34 个样品采集点涵盖生活区道路 3 个(中国科学院生态环境研究中心家属区、北京林业大学家属区、东王庄小区)、文教区道路 3 个(中国科学院生态环境研究中心、北京林业大学教学区、清华大学教学区)、交通干线道路 24 个和公园绿地道路 4 个(北京植物园)共四类区域。其中交通干线道路由于交通量巨大,受人为干扰强度巨大,因此加大采样频率,采样点以“米”字型分布,主要集中在城市的主要交通要道,包括二环的德胜门桥、复兴门桥、右安门桥、永定门桥、左安门桥、建国门桥、安定门桥、鼓楼桥,三环的苏州桥、新兴桥、玉泉营桥、木樨园桥、分钟寺桥、国贸桥、三元桥、安华桥和四环的万泉河桥、五棵松桥、科丰桥、大红门桥、十八里店桥、四惠桥、四元桥、健翔桥等 24 个立交桥附近。

1.2 分析方法

道路沉积物的测试分析主要包括总氮、总磷、有机质以及重金属(总量和溶解态)含量。总氮的测定采用凯氏定氮法,总磷的测定采用高氯酸-硫酸消煮和钼锑抗比色法^[25]。重金属总量采用浓酸(HCl-HNO₃-HF-HClO₄)消解并 ICP-OES 测定法(测定过程中,每测 10 个样品就加测一次与被测样品浓度最接近的标准物质的浓度,以确保监测结果的真实可靠),溶解态重金属首先用水萃取 24h,然后用 ICP 测定^[19]。有机质的测定采用重铬酸钾-硫酸法(GB 9834—88)。

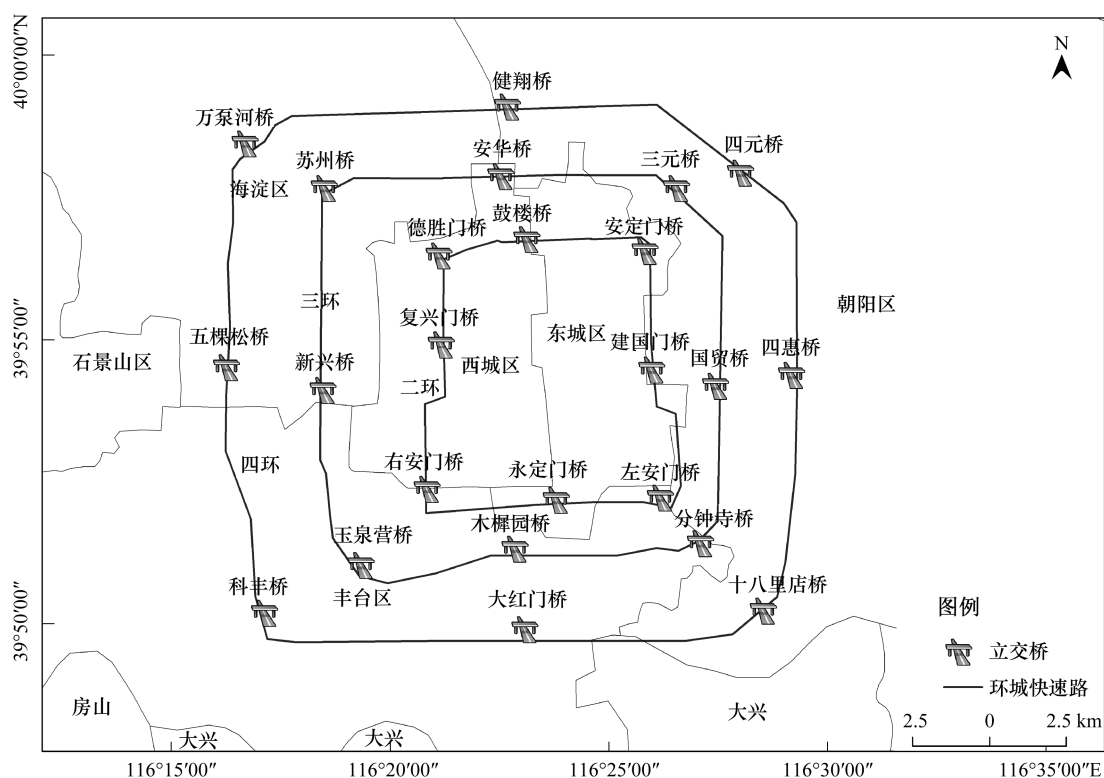


图1 交通干线路面沉积物采样点位示意图

Fig.1 Road sediments sampling sites on main traffic lines

1.3 数据处理

数据处理及统计分析在 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件上进行,所有数据使用单因素方差分析, LSD 法显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 城市功能区道路沉积物总氮和总磷污染

交通干线、文教区、生活区和公园绿地道路沉积物 TN 均值分别为 0.1009、0.1440、0.1071、0.0974 mg/kg, TP 均值分别为 0.0695、0.0729、0.0665、0.0608 mg/kg; 文教区道路沉积物的 TN 显著高于其他类型道路沉积物 (图 2); 文教区道路沉积物的 TP 虽高于其他类型的道路沉积物,但未达到显著性水平。仅就污染物的浓度,并不是所有污染物在交通干线道路上的含量最大,这与通常人们认为交通干线道路上的污染物累积量会较大^[18]的结果不一致。

2.2 城市功能区道路沉积物有机质和重金属污染

交通干线、文教区、生活区和公园绿地道路沉积物 TOC 均值分别为 8.1467、7.3449、3.9471、4.2134 mg/kg,其中交通干线和文教区道路沉积物 TOC 浓度显著高于生活区和公园绿地 (图 3),主要原因可能是交通干线和文教区的人类活动和车辆交通量要明显大于生活区和公园绿地,由人类活动产生的有机垃圾和车辆带入大量的有机废物脱落有直接关系。道路沉积物中的有机物质主要来源于交通释放的有机污染物质如碳氢化合物、轮胎的磨损、土壤颗粒、风化的建筑材料、植物的残体以及城市垃圾,而镇江市的研究结果则显示居民区

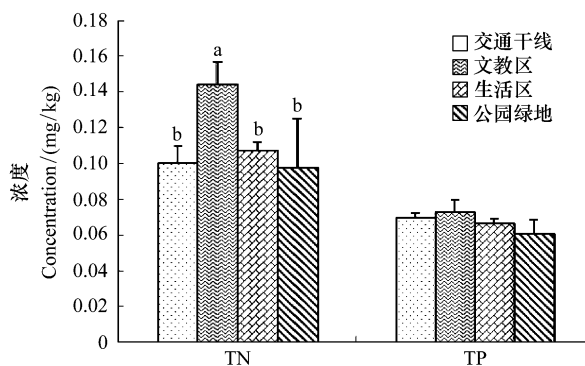


图2 道路沉积物总氮和总磷污染

Fig.2 Total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in road sediments

不同字母间表示差异显著

和交通干线的沉积物有机质含量要低于公园绿地^[26],与本文的研究结果正好相反。

总 Zn 在四类功能区道路沉积物中的含量(图 4)要高于总 Cu、总 Pb 和总 Cr。交通干线、文教区、生活区和公园绿地道路沉积物总 Zn 均值分别为 194.7459、158.4229、210.8810、125.2447 mg/kg,其中公园绿地道路沉积物的 Zn 含量显著低于其他三类区域;总 Cu 均值分别为 55.4339、49.1956、24.6424、17.5225mg/kg,总 Cr 均值分别为 115.4278、59.8407、39.1407、24.4007mg/kg,总 Pb 均值分别为 44.2745、44.9171、75.5919、40.7109mg/kg。在各功能区上的变化趋势可见,总 Zn 和总 Pb 在四类功能区上的含量具有相同的趋势,即生活区>交通干线和文教区>公园绿地。总 Cu 和总 Cr 四类功能区上的含量具有相同的趋势,即交通干线>文教区>生活区>公园绿地,其中交通干线道路沉积物总 Cu 和总 Cr 的含量要显著高于公园绿地。由研究数据可见,总体上,人流量和车流量大的交通干线、文教区和生活区道路沉积物重金属的含量高于人流量和车流量都相对较小的公园绿地,这与国内外众多的研究结果相似^[26-28],这说明,这类污染物主要来源于人类活动和交通污染源。

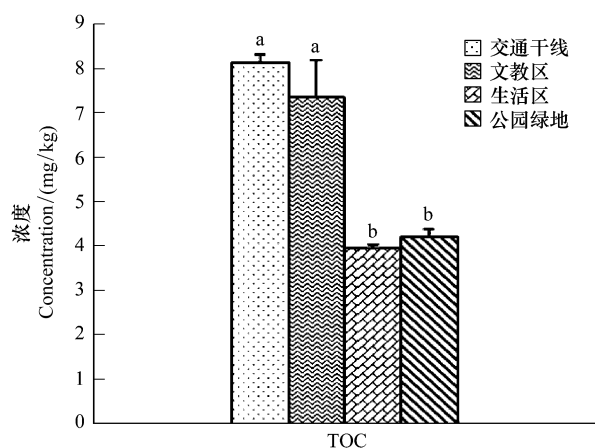


图 3 地表沉积物有机碳总量

Fig. 3 Total and dissolved organic carbon in road surface sediments

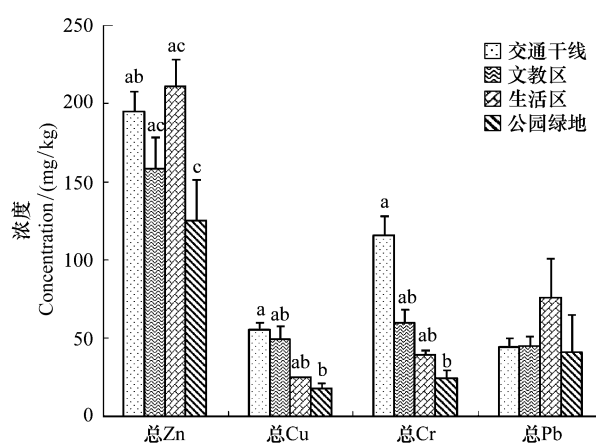


图 4 地表沉积物重金属总量

Fig. 4 Total heavy metal concentration in road surface sediments

2.3 溶解态污染物与污染物总量的关系

对溶解态的道路沉积物进行的测试分析,交通干线、文教区、生活区和公园绿地溶解态氮(DN)均值分别为 0.0695、0.0729、0.0665、0.0608mg/kg,占总氮的比例分别是 69.11%、97.39%、93.22%、60.24%(图 5),即大部分氮属于可溶态,而文教区和生活区道路沉积物中可溶态的氮所占的比例显著高于交通干线和公园绿地,这说明文教区和生活区的道路沉积物中的氮在暴雨产生时更容易被径流带走进入水体,而对地表水体产生危害;溶解态磷(DP)均值分别为 0.0040、0.0097、0.0079、0.0086mg/kg,占总磷的比例分别是 5.26%、12.88%、12.22%、12.66%,总体来说溶解态磷所占的比例较小,也就是说磷主要以颗粒态赋存在沉积物中,并且交通干线道路沉积物中溶解态磷比例最低,与其他三类相比达到显著性水平;溶解态有机碳(DOC)均值分别为 1.0750、1.6505、0.3103、1.2167mg/kg;占总有机碳的比例分别是 2.27%、9.05%、1.84%、3.10%,溶解态的有机质占有有机质总量的比例文教区显著高于交通干线、生活区和公园绿地;溶解态 Zn 浓度均值分别为 0.4057、1.3734、0.6753、0.8207 mg/kg,占总 Zn 的比例分别是 0.16%、0.75%、0.35%、0.54%;溶解态 Cu 浓度均值分别为 2.6814、4.0323、1.8777、1.3039mg/kg,占总 Cu 的比例分别是 5.32%、8.82%、7.64%、6.83%;溶解态 Cr 浓度均值分别为 0.1528、0.2570、0.1699、0.2033mg/kg,占总 Cr 的比例分别是 0.17%、0.47%、0.40%、0.63%;溶解态 Pb 浓度均值分别为 0.0422、0.0983、0.0924、0.0759mg/kg,占总 Pb 的比例分别是 0.10%、0.26%、0.18%、0.61%(图 6)。溶解态的重金属占总量的比例均较低,只有溶解态 Cu 达到 5% 以上,说明重金属主要赋存在颗粒态存在的沉积物中。

2.4 地表沉积物对地表径流的影响

地表沉积物通常是地表径流中固体物质的主要来源,分析其中污染物总量以及溶解态的污染物质含量有助于了解径流中污染物的组成来源。为了说明道路沉积物对径流水质的影响,本文对北京市的交通干道主要是环路的径流水质进行了实验观测,如表 1 所示,可见总悬浮颗粒物(SS)浓度平均值为 394.9 mg/L。TP 平均值为 0.813 mg/L,超出国家地表水 V 类水体标准(TP=0.4mg/L)2 倍。TN 平均值分别为 7.55 mg/L,超出国家地表水 V 类水体标准(TN=2 mg/L)3.8 倍。溶解态 Cu、Cr 浓度范围分别为 6.23—81.96 μ g/L 和 0.55—15.15 μ g/L,其平均值分别为 28.81 μ g/L 和 3.97 μ g/L。由此可见,交通干道径流污染相当严重,与国内外的径流监测实验对比,发现径流中确实存在大量的污染物质^[20-23],这与地表沉积物的大量累积有着密切的关系,而沉积物中溶解态污染物质的大量存在将加重未来暴雨产生时径流污染的程度。

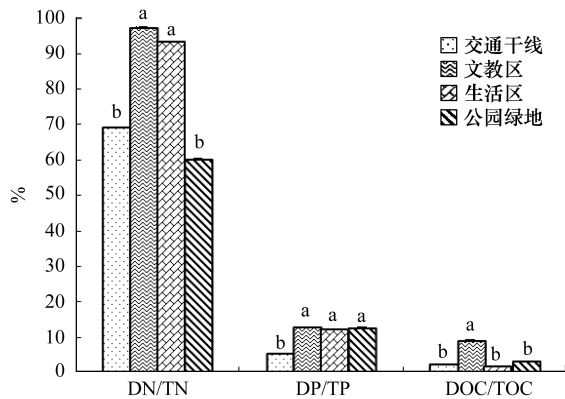


图 5 地表沉积物溶解态氮磷和有机质与总量的关系

Fig. 5 Relationship between dissolved N,P and organic carbon and the total amount

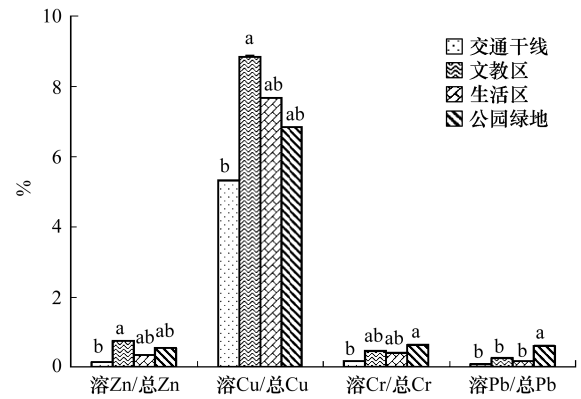


图 6 地表沉积物溶解态重金属与重金属总量的关系

Fig. 6 Relationship between dissolved heavy metal and the total amount

表 1 交通干道径流各污染指标

Table 1 Surface runoff quality on traffic lines

污染指标 Pollution indices	平均值 Mean value	标准方差 STDDEV	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	国家 V 类地表水体标准 The fifth level of the national standards of the surfacewater environmental quality
总悬浮颗粒物 SS/(mg/L)	394.9	356.5	3.0	1767.0	—
总磷 TP/(mg/L)	0.813	0.567	0.048	2.437	0.4
总氮 TN/(mg/L)	7.55	4.42	1.32	27.14	2
Cu/(μ g/L)	28.81	15.09	6.23	81.96	2000
Cr/(μ g/L)	3.97	2.45	0.55	15.15	100

道路径流中的颗粒态物质以及以颗粒态形式存在的污染物主要来源于机动车辆轮胎和路面材质的磨损以及运输过程中的货物洒落。汽车在行驶和刹车过程中,汽车轮胎与沥青地面摩擦、腐蚀而产生道路灰尘,会带来碳氢化合物、磷酸盐及颗粒物等污染物^[29]。另外由于汽车轮胎和路面材料均为沥青,沥青材料中含有大量的碳氢化合物及其非金属衍生物,长时间的高温暴晒,容易老化而发生分解,在降雨径流的冲刷下,一部分物质溶入雨水中,另一部分则以颗粒的形态被雨水径流冲洗下来而形成 SS。黄金良^[30]和 Barrett^[31]等也发现道路降雨径流中的 TOC 和 COD 等有机物质主要来源于车辆轮胎损耗,且当路面类型为沥青路面时,径流中的 COD 和 TOC 的浓度是相同条件下混凝土路面径流的 3—5 倍。在每天的凌晨期间,有大流量的货车在交通干道上行驶,其载有的煤炭、建筑材料和废料以及生活垃圾等会从车上洒落到路面而恶化交通干道的卫生状况,在雨天,这些物质被雨水径流冲洗下来而形成 SS 等,因此交通运输物的洒落是交通干道径流中的颗粒

态物质以及以颗粒态形式存在的污染物另一主要来源。重金属来源与车辆活动有关,如车辆尾气、车辆部件的磨损和燃料的泄漏等。Peter 等^[32]的研究也表明交通活动对道路径流中 Cu、Zn 的污染负荷有强烈影响。王海东^[33]对芜湖市不同功能区道路径流中的重金属含量进行研究,结果发现交通区道路径流中的重金属含量要高于文教区和居民区道路径流中的重金属含量,并认为主要是由于交通区车流量较大,汽车尾气排放、轮胎磨损、刹车制动等排放的重金属较高导致。这些研究均表明是道路沉积物或者外界带入的物质是地表径流污染物的重要来源。

3 结论

通过对北京市四类道路沉积物的实验和分析研究,发现各类功能区道路沉积物中 TN、TP 和 TOC 的含量较高,交通干线、文教区、生活区和公园绿地道路沉积物 TN 均值分别为 0.1009、0.1440、0.1071、0.0974 mg/kg,文教区道路沉积物的 TN 显著高于其他类型道路沉积物;TP 均值分别为 0.0695、0.0729、0.0665、0.0608 mg/kg,以文教区最高,但未达显著水平。

交通干线和文教区道路沉积物 TOC 浓度显著高于生活区和公园绿地,交通干线、文教区和生活区道路沉积物重金属的含量高于公园绿地。主要原因可能是人类活动和车辆交通量的影响。

四类功能区氮主要以可溶态赋存,磷主要以颗粒态赋存在沉积物中,并且交通干线道路沉积物中溶解态磷比例最低。溶解态的重金属占总量的比例均较低,只有溶解态 Cu 达到 5% 以上,表明重金属主要赋存在颗粒态存在的沉积物中。道路沉积物或者外界带入的固体物质是地表径流污染物的重要来源。

References:

- [1] Kim K W, Myung J H, Ahn J S, Chon H T. Heavy metal contamination in dusts and stream sediments in the Taejon area, Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 1998, 64(1/3): 409-419.
- [2] Sutherland R A. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. *Environmental Pollution*, 2003, 121(2): 229-237.
- [3] AL-Khashman O A. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak industrial estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(39): 6803-6812.
- [4] Adachi K, Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environmental International*, 2005, 30(8): 1009-1017.
- [5] Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(21): 3836-3844.
- [6] Aryal R K, Lee B K. Characteristics of suspended solids and micropollutants in first-flush highway runoff. *Water, Air and Soil Pollution*, 2009, 9(5/6): 339-346.
- [7] Zhang Y X, Wang J, Qin F X, Zhang H. Comparison of sources of metals in road-dust and soil in Guiyang. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 32(1): 204-212.
- [8] Callender E, Rice K C. The urban environmental gradient: Anthropogenic influences on the spatial and temporal distributions of lead and zinc in sediments. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(2): 232-238.
- [9] Duzgoren-Aydin N S, Wong C S C, Aydin A, Song Z, You M, Li X D. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environmental Geochemistry and Health*, 2006, 28(4): 375-391.
- [10] Egodawatta P, Thomas E, Goonetilleke A. Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall. *Water Research*, 2007, 41(13): 3025-3031.
- [11] Lu D S, Weng Q H. Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102(1/2): 146-160.
- [12] Zhao H T, Yin C Q, Chen M X, Wang W D. Runoff pollution impacts of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dusts from a stream network town. *Water Science & Technology*, 2008, 58(11): 2069-2076.
- [13] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, Cass G R, Simoneit B R T. Sources of fine organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust; roads as sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 1993, 27(9): 1892-1904.
- [14] Sandahl J F, Baldwin D H, Jenkins J J, Scholz N L. A sensory system at the interface between urban stormwater runoff and salmon survival. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(8): 2998-3004.
- [15] Zhao H T, Li X Y, Wang X M. Heavy metal contents of road-deposited sediment along the urban-rural gradient around Beijing and its potential contribution to runoff pollution. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(17): 7120-7127.
- [16] Duzgoren-Aydin N S, Wong C S C, Song Z G, Aydin A, Li X D, You M. Fate of heavy metal contaminants in road dusts and gully sediments in

- Guangzhou, SE China; a chemical and mineralogical assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2006, 12(2): 374-389.
- [17] Kuang C, Neumann T, Norra S, Stüben D. Land use-related chemical composition of street sediments in Beijing. *Environmental Science & Pollution Research*, 2004, 11(2): 73-83.
- [18] Liu C H, Cen K. Chemical composition and possible sources of elements in street dusts in Beijing. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(7): 1181-1188.
- [19] Clesceri L S, Greenberg A E, Eaton A D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 1998.
- [20] Chang M, Crowley C M. Preliminary observations on water quality of storm runoff from four selected residential roofs. *Journal of the American Water Resources Association*, 1993, 29(5): 777-783.
- [21] Gromaire-Mertz C, Garnaud S, Gonzalez A, Chebbo G. Characterisation of urban runoff pollution in Paris. *Water Science & Technology*, 1999, 39(2): 1-8.
- [22] Gromaire M C, Garnaud S, Saad M, Chebbo G. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water Research*, 2001, 35(2): 521-533.
- [23] Ren Y F, Wang X K, Han B, Ouyang Z Y, Miao H. Chemical analysis on stormwater-runoff pollution of different underlying urban surfaces. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3225-3230.
- [24] Zhao H T, Li X Y, Yin C Q. Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 8001-8007.
- [25] Lu R K. *The Soil Agricultural Chemical Analysis Methods*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [26] Zhu W, Bian B, Ruan A D. Analysis of sources of heavy metal contamination in road-deposited sediment from Zhenjiang. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(7): 1584-1589.
- [27] Li X P, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 1361-1368.
- [28] Banerjee A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 2003, 123(1): 95-105.
- [29] Opher T, Friedler E. Factors affecting highway runoff quality. *Urban Water Journal*, 2010, 7(3): 155-172.
- [30] Huang J L, Du P F, Ou Z D, Li M X, Zhao D Q, He W Q, Wang Z S. Characterization of urban roadway runoff in Macau. *China Environmental Science*, 2006, 26(4): 469-473.
- [31] Barrett M E, Zuber R D, Collins E R, Malina J F, Charbeneau R J, Ward G H. A Review and Evaluation of Literature Pertaining to the Quantity and Control of Pollution from Highway Runoff and Construction, 2nd Edition, Center for Research in Water Resources Technical Report 239, The University of Texas at Austin, 1995.
- [32] Budai P, Clement A. Refinement of national-scale heavy metal load estimations in road runoff based on field measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2011, 16(3): 244-250.
- [33] Wang H D. Research on Heavy Metal Pollution Pattern in Wuhu Urban Road Runoff [D]. Anhui: Anhui Normal University, 2011.

参考文献:

- [7] 张一修, 王济, 秦樊鑫, 张浩. 贵阳市道路灰尘和土壤重金属来源识别比较. *环境科学学报*, 2012, 32(1): 204-212.
- [18] 刘春华, 岑况. 北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源. *环境科学学报*, 2007, 27(7): 1181-1188.
- [23] 任玉芬, 王效科, 韩冰, 欧阳志云, 苗鸿. 城市不同下垫面的降雨径流污染. *生态学报*, 2005, 25(12): 3225-3230.
- [24] 赵洪涛, 李徐勇, 尹澄清. 街尘与城市降雨径流污染的关系综述. *生态学报*, 2012, 32(24): 8001-8007.
- [25] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [26] 朱伟, 边博, 阮爱东. 镇江城市道路沉积物中重金属污染的来源分析. *环境科学*, 2007, 28(7): 1584-1589.
- [30] 黄金良, 杜鹏飞, 欧志丹, 李梅香, 赵冬泉, 何万谦, 王志石. 澳门城市路面地表径流特征分析. *中国环境科学*, 2006, 26(4): 469-473.
- [33] 王海东. 芜湖市市区道路径流重金属污染规律研究 [D]. 安徽: 安徽师范大学, 2011.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吕永龙

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元