

文章编号: 1674 - 5566(2014)06 - 0882 - 08

上海临港新城地表沉积物与径流重金属污染研究

李娟英, 胡 谦, 陈美娜, 曹宏宇, 何培民

(上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 以上海临港新城主城区为研究区域, 分析了交通区、商居混合区和文教区地表沉积物的粒径组成和重金属污染, 监测了不同功能区的地表径流水质; 同时估算了地表沉积物和地表径流中 6 种重金属 (Cu、Cd、Pb、Cr、Hg 和 As) 单位面积污染负荷和径流年污染负荷。结果表明: 不同功能区地表沉积物样品粒径分布较为相似, 65% ~ 85% 以上的颗粒质量集中在直径 300 μm 以下的细沙中; 不同功能区地表沉积物中, 交通区 Cu、Pb、Cr 浓度较高, 商居混合区和文教区的 Hg 和 As 的浓度较高, Cd 在各功能区分布较为平均; 不同功能区地表径流瞬时水样重金属浓度波动范围较大, 文教区径流水质重金属污染较为严重。文教区沉积物 6 种重金属单位面积污染负荷和地表径流年污染负荷均高于商居混合区和交通区, 文教区 Cu、Cd、Pb、Cr、Hg 和 As 单位面积沉积物污染负荷分别为 2.03、0.205、2.42、2.82、0.0171 和 1.63 mg/m^2 , 地表径流年污染负荷分别为 37.21、1.10、19.46、9.60、0.83 和 7.22 $\text{g}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

研究亮点: 已有多地区研究了地表沉积物和径流中重金属污染, 但没有针对上海市临港新城主城区的研究。对临港 3 种类型区域的地表沉积物和径流中不同粒径分布重金属浓度及其负荷进行分析, 得出其重金属污染程度。为临港地区重金属治理和进一步的水体重金属分析提供基础资料。

关键词: 地表沉积物; 地表径流; 重金属; 污染负荷

中图分类号: X 131.3

文献标志码: A

随着点源治理效果的逐渐显现, 非点源污染成为水环境污染的主要来源, 其中城市地表沉积物及径流非点源污染已开始得到越来越多的关注^[1-2]。

城市地表沉积物主要源于人类的活动路面、大气的沉降、路面磨损、路面涂料的剥蚀以及交通工具的释放, 其中人类活动和轮胎的磨损分别占地表沉积物总量的 40% ~ 50% 和 20% ~ 30%, 是地表沉积物的主要来源^[3]。地表沉积物的颗粒组成与天气状况、交通密度以及工业状况等有关, 城市不同土地的使用功能对地表沉积物的颗粒组成具有较大的影响。降雨时, 地表沉积物随雨水的冲刷, 径流的携带和输送成为非点源污染的主要来源。径流中部分重金属和营养盐, 吸附于地表沉积物颗粒上, 形成颗粒态污染物, 颗粒态污染物不如溶解态污染物便于生物利用, 两者

对受纳水体的影响也不同^[4]。因此, 本研究拟在采集上海临港新城主城区地表沉积物干样和径流水样的基础上, 分析晴天条件下地表沉积物的粒径及重金属分布特征; 并结合雨天条件下径流中重金属的形态特征及其随降雨历时的变化规律, 估算地表沉积物及径流污染负荷, 以期为城市降雨径流污染的控制和管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域及采样点的设置

上海临港新城是人工填海造陆而建的新城, 规划辖区面积 453.26 km^2 , 规划人口近 40 万, 属北亚热带季风性气候, 全年平均气温 17.4 $^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 1 200 mm 左右, 全年 60% 左右的雨量集中在 5 至 9 月的汛期。

按照用地类型将研究区域划分为 3 类: (1) 交

收稿日期: 2014-03-26

修回日期: 2014-07-25

基金项目: 上海市科学技术委员会资助项目 (09DZ1200903)

作者简介: 李娟英 (1978—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为水污染控制。E-mail: jyli@shou.edu.cn

通区,主要为路面宽、车流量大的交通干线,以沪城环路为研究对象;(2)商居混合区,以涉及生活及商业活动人流量和车流量相对较大的古棕路为研究区域;(3)文教区,以人流量较大,车流量较小的上海海洋大学校内环路为研究对象。如图 1 所示交通区、商居混合区和文教区各设路面监测点一个。

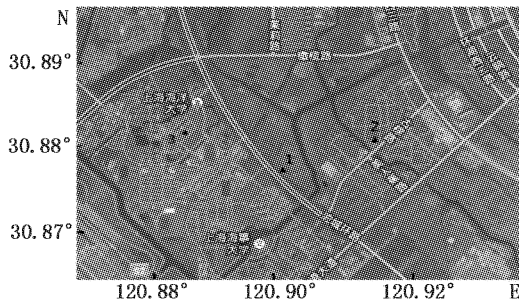


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

1.2 样品的采集

2012 - 2013 年在所选功能区域采样点随机布点进行地表沉积物的采样共计 4 次(2012 年 8 月 7 日、2012 年 10 月 15 日、2012 年 12 月 10 日、2013 年 3 月 14 日)。采样点距道路边坎 1 m,采样时间错开道路清扫时段。在采样点 5 ~ 10 m² 范围内,用干净的毛刷和手提式真空吸尘器采集大约 50 ~ 100 g 样品^[5],每个采样点采集 3 组平行样,保存在样品袋中待测。

2012 - 2013 年降雨期间,根据雨量特征共采集 4 次样品(2012 年 8 月 18 日,降雨强度 0.9 mm/min;2012 年 9 月 9 日,降雨强度 1.1 mm/min;2012 年 12 月 18 日降雨强度 0.6 mm/min;2013 年 3 月 20 日,降雨强度 0.8 mm/min),当地表径流形成后,分别在路面雨水下水管口采集瞬时径流水样,依据降雨强度特征,每隔 5 ~ 10 min 采集一次径流样品。样品保存在 1 L 聚乙烯瓶中,带回实验室后 4 °C 保存待测。同时使用 SL3-1 型翻斗式雨量计同步纪录雨量特征,以备数据分析。文中所有图表中数据均以均值 ± 标准偏差($\bar{X} \pm SD$)来表示。

1.3 地表沉积物及径流污染负荷计算方法

考虑到不同粒径的地表沉积物对污染负荷的贡献率不同,通过采用不同粒径污染物浓度和

质量百分比计算采样点地表沉积物污染负荷。地表沉积物污染负荷计算公算如下^[6-7]。

$$GSF_{load} = \frac{C_i \times GS_i}{\sum_{i=1}^m \times GS_i} \quad (1)$$

式中: GSF_{load} 为地表沉积物污染负荷(kg/km²); C_i 为不同粒径地表沉积物污染物浓度(mg/kg); GS_i 为不同粒径颗粒质量百分比(%)。

按上海市年均降雨量 1 200 mm,交通区的地表径流综合系数为 0.85,商居混合区路面系数为 0.80,文教区路面系数为 0.80,商居混合区绿化屋面径流系数为 0.70,文教区的混凝土屋面径流系数为 0.95;利用地表径流水样重金属浓度平均值和式(2)计算各功能区径流的单位面积年污染负荷^[8]。

$$L_y = 0.01\alpha\varphi PAEMC_y \quad (2)$$

式中: L_y 为一定面积排水区域的年污染负荷(kg/hm²); α 为径流修正系数,一般取 0.9; φ 为排水区域综合径流系数; P 为年降雨量(mm/a); EMC_y 为多场降雨的次降雨径流平均浓度的均值(mg/L)。

1.4 样品分析

地表沉积物样品在 105 °C 下烘干 48 h,过 1 mm 尼龙筛网,因粒径大于 1 000 μm 的沉积物对城市系统中污染物的吸附作用极小^[9],且多为道路磨损的碎石和植物残体,因此本研究取粒径小于 1 000 μm 地表沉积物样品进行实验分析。将样品分别过 48 目、60 目、100 目和 200 目尼龙筛网,分别得 300 ~ 1 000 μm、250 ~ 300 μm、150 ~ 250 μm、75 ~ 150 μm 和小于 75 μm 粒径的地表沉积物样品。依土壤分析方法^[10]对样品进行预处理后,分别测定样品中 Cu、Cd、Pb、Cr、As 和 Hg 的浓度。

地表径流水样一部分直接用于测定总 Cu、Cd、Pb、Cr、As 和 Hg 的浓度;另一部分水样经 0.45 μm 水系滤膜过滤后,分析可溶性 Cu、Cd、Pb、Cr、As 和 Hg 的浓度。

样品预处理后,Hg 和 As 测定采用北京吉天公司生产的 AFS-9130 顺序注射双道原子荧光光度计;Cu、Cd、Pb、Cr 测定采用北京普析通用公司生产的 TAS990 原子吸收分光光度计;其余样品监测指标参见国标。

2 结果与讨论

2.1 地表沉积物监测与重金属污染负荷计算

2.1.1 地表沉积物粒径分布

不同功能区地表沉积物粒径分布和累积曲线如图 2 所示。各功能区地表沉积物粒径分布累积曲线较为一致,65%~85%以上的颗粒质量集中在直径 300 μm 以下的细沙中,其中交通区所占质量百分比最小为 63.5%,商居混合区次之,文教区最大,分别为 89.4%和 88.8%。不同功能区沉积物粒径分布不同,交通区 300~1 000 μm 颗粒的粒径质量百分比最大为 36.5%;250~300 μm 粒径的颗粒质量百分比最小为 4.8%;其他粒径范围颗粒质量百分比为平均,由低至高分别为 18.3%、18.6%和 21.8%。商居混合区和

文教区颗粒的粒径质量百分比分布与交通区差别显著,其中粒径小于 75 μm 的颗粒质量百分比最大,分别为 55.3%和 46.2%;250~300 μm 粒径的颗粒质量百分比最小,分别为 2.1%和 8.9%;其他粒径范围颗粒质量百分比为平均,由低至高分别为 15.1%和 11.2%、18.6%和 21.8%。商居混合区和文教区小于 150 μm 颗粒物所占比例较高,因此这两个土地利用类型滞留在地面的颗粒物以小粒径为主,目前大多数研究表明在一般降雨事件中粒径小于 100 μm 的街尘是径流中颗粒物的最主要组成成分^[11],小粒径地表沉积物对城市水体造成的污染影响不容忽视,因此,应改进清扫方式,采用先进方式,提高对小粒径地表沉积物的清除率。

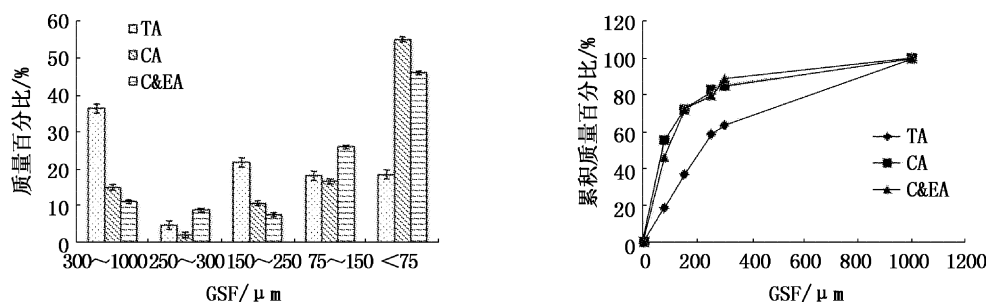


图 2 不同功能区地表沉积物粒径分布和累积曲线

Fig. 2 The particle size distribution and cumulative curve of surface sediment in different functional areas

TA. 交通区;CA. 商居混合区;C&EA. 文教区;GSF. 地表沉积物。

2.1.2 地表沉积物重金属浓度分析

不同粒径范围地表沉积物中 6 种重金属 (Cu、Cd、Pb、Cr、Hg、As) 监测 (图 3) 结果表明,不同粒径地表沉积物重金属浓度差异较大。其中,Cu 在所有重金属中的浓度最高,且以交通区 250~300 μm 粒径范围 Cu 的浓度最大,达到 121.5 mg/kg;Cr 的浓度仅次于 Cu,浓度的最大值出现在交通区 150~250 μm 范围内;不同功能区不同粒径 Cd、As 和 Pb 的变化较为平缓,浓度范围分别在 1.0、8.0 和 20 mg/kg 左右波动;Hg 在沉积物中的污染浓度最低,基本处于 0.5 mg/kg 以下。同上海市土壤环境背景值 (以下均简称背景值)^[12] 相比,临港地表沉积物中 Cr、As 和 Pb 的平均含量均未超出背景值;Cu 和 Hg 的平均含量分别为背景值的 4.2 倍和 4.9 倍,中等污染;Cd

的平均含量为背景值的 7.7 倍,污染较严重。因此,从总体上看,降雨过后,临港地区地表沉积物受到重金属 Cu、Hg 和 Cd 污染。

从功能区划分分析,交通区 Cu、Pb 和 Cr 3 种重金属浓度平均值高于商居混合区和文教区,其主要原因可能是交通区采样点车流量较大。汽车尾气排放、汽油泄漏和轮胎磨损是导致交通区 Cu、Pb 和 Cr 3 种重金属浓度较高的原因^[13]。李海雯等^[14]对重金属进行地域统计分析表明,上海市内区域 Cu 和 Pb 分布规律从外环向内环含量出现递增,且主干道 Cu、Pb 明显高于次干道,内环线内尤为突出,说明交通是影响 Cu 和 Pb 含量的最重要因素。王小梅等^[15]研究北京市地面街尘也发现,街尘中 Pb 和 Cr 浓度在主要道路中浓度较高。因此,一般来说交通区的 Cu、Pb 和 Cr

浓度高于其他类型区域。与孟飞等^[16]对上海市区的研究相比较,临港地表沉积物不同功能区的 Cu、Pb 和 Cr 浓度均低于上海市区不同土地类型灰尘中的浓度,表明临港地区车流量较少,及时采取方法控制 Cu、Pb 和 Cr 污染较为容易,可避免其污染加剧。商居混合区和文教区的 Hg 和 As 污染物的浓度较交通区略高。李章平等^[17]研究

重庆市地表物重金属含量也显示居民区和文教区的 As 和 Hg 含量高于平均水平且其变异系数大,表明人为活动对 As 和 Hg 的干扰作用较强。Cd 污染物浓度在各功能区分布较为平均。从粒径范围划分分析,除 Cd 外,其他污染物浓度最大值均出现在小于 300 μm 细颗粒范围内。

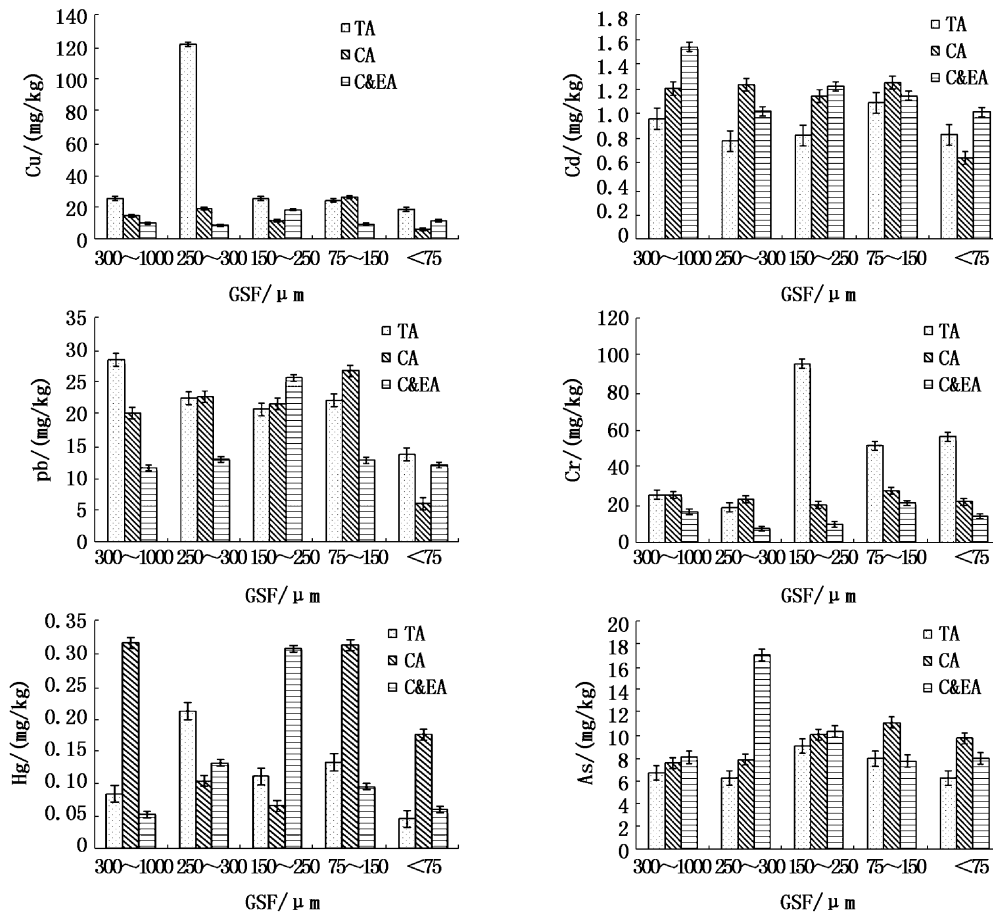


图 3 不同功能区地表沉积物重金属浓度

Fig. 3 Concentrations of heavy metal of surface sediment in different functional areas

2.1.3 地表沉积物重金属污染物负荷分析

不同功能区不同粒径范围地表沉积物单位面积质量如表 1 所示。由表可知,文教区不同粒径沉积物单位面积质量最大;交通区和商居混合区除小于 75 μm 粒径范围内地表沉积物外,其他粒径范围单位面积质量较为接近;文教区地表沉积物单位面积质量远高于交通区和商居混合区,其主要原因是文教区路面采样点位于上海海洋大学校内道路,校内道路采用人工清扫方式,清

扫频率为 2 次/天;而交通区和商居混合区采样点为新城主要公路,采用机械和人工结合的清扫方式,清扫频率 1 次/天,而研究表明^[18]机械和人工结合的清扫方式在去除地表沉积物方面效果好于仅仅人工清扫方式,可有效降低污染物在地表的沉积负荷。因此建议文教区定期采用机械清扫方式清理地表沉积物,以期降低污染物在地表的沉积负荷。

表 1 不同功能区地表沉积物的单位面积质量
Tab. 1 The load of surface sediment in different functional areas

粒径范围/ μm	交通区/ (mg/m^2)	商居混合区/ (mg/m^2)	文教区/ (mg/m^2)
300 ~ 1 000	2 192.03 \pm 32.45	2 303.50 \pm 27.98	5 106.15 \pm 53.15
250 ~ 300	289.21 \pm 13.24	325.63 \pm 13.89	4 049.40 \pm 24.98
150 ~ 250	1 311.93 \pm 21.87	1 639.93 \pm 24.56	3 487.20 \pm 34.79
75 ~ 150	1 097.35 \pm 17.56	2 555.53 \pm 19.67	11 862.60 \pm 45.12
<75	1 114.78 \pm 15.43	8 442.00 \pm 12.76	21 062.05 \pm 65.21

结合图 3 和表 1 数据,可计算不同功能区地表沉积物不同粒径重金属污染负荷(图 4)。从不同功能区分析可知,文教区地表沉积物污染负荷远高于交通区和商居混合区,这与上述文教区沉积物单位面积的沉积量较大有密切关系。除 Hg 污染物以外,交通区和商居混合区各粒径污染负荷基本接近。从不同粒径分析可知,交通区各重

金属污染物的污染负荷随粒径的减少总体呈下降趋势,粒径越小重金属污染负荷越低;而商居混合区和文教区则呈明显的相反趋势,粒径越小重金属污染负荷越高,其中文教区尤为明显。本研究与其他大多数研究(田鹏等^[19],ZHU 等^[7],王小梅等^[15])结果相似,表明颗粒物粒度越小,重金属污染负荷越高,即污染物的富集能力越强。

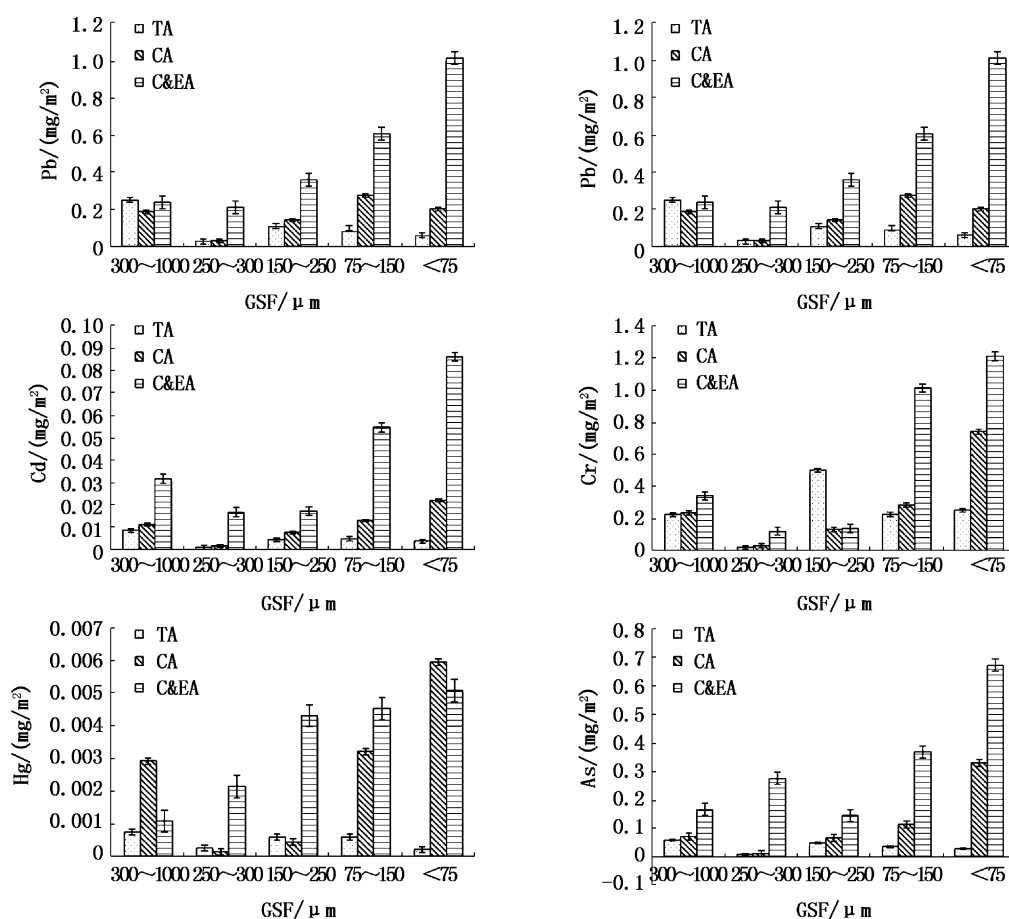


图 4 不同功能区地表沉积物不同粒径沉积物重金属污染负荷

Fig. 4 Heavy metal loads of different particle size of surface sediment in different functional areas

不同功能区地表沉积物不同粒径沉积物重金属污染负荷并不能直观地反映各功能区地表沉积物的总体水平。结合式(1)所列公式,计算

得到不同功能区地表沉积物重金属污染负荷(表 2)表明,Pb,Cr 和 Cu 的污染负荷比其他重金属高。

表 2 不同功能区地表沉积物及地表径流重金属污染负荷

Tab. 2 Heavy metal loads of surface sediment and surface runoff in different functional areas

	沉积物负荷(mg/m ²)			地表径流负荷[g/(hm ² ·a)]		
	交通区	商居混合区	文教区	交通区	商居混合区	文教区
Cu	0.69 ± 0.050	0.72 ± 0.020	2.03 ± 0.032	30.13 ± 0.53	24.19 ± 0.24	37.21 ± 0.31
Cd	0.022 ± 0.000 90	0.055 ± 0.000 61	0.205 ± 0.002 0	0.54 ± 0.023	0.59 ± 0.027	1.10 ± 0.074
Pb	0.54 ± 0.013	0.83 ± 0.009 2	2.42 ± 0.034	2.78 ± 0.087	7.22 ± 0.20	19.46 ± 0.091
Cr	1.22 ± 0.012	1.42 ± 0.014	2.82 ± 0.025	7.77 ± 0.074	6.24 ± 0.069	9.60 ± 0.073
Hg	0.0023 ± 0.000 10	0.012 6 ± 0.000 11	0.017 1 ± 0.000 34	1.24 ± 0.008 9	0.92 ± 0.002 4	0.83 ± 0.001 5
As	0.17 ± 0.002 8	0.59 ± 0.012	1.63 ± 0.021	3.59 ± 0.007 8	4.27 ± 0.005 3	7.22 ± 0.004 6

2.2 地表径流重金属污染监测与负荷估算

2.2.1 地表径流重金属污染物监测

对采集得到的地表径流瞬时水样进行重金属监测结果如表 3 所示。由表可知,与地表沉积物中重金属的浓度分布相似,Cu、Pb 和 Cr 分别是径流中浓度较高的重金属污染物,较 Hg 和 As 的浓度高出将近一个数量级,值得一提的是 Hg 浓度的最低值为 0.43 μg/L,出现在文教区;最高值

为 2.53 μg/L,出现在交通区。总的来说,文教区地表径流污染物浓度较交通区和商居混合区要高,这可能和前述文教区单位面积沉积物负荷较大有关。依照我国地表水环境质量标准(GB3838-2002),除交通区地表径流 Hg 外(略高于 V 类水标准),其余各功能区地表径流各重金属浓度均符合国家地表水 V 类水标准,表明临港地区地表径流重金属污染程度较轻。

表 3 不同功能区地表径流重金属总量浓度范围

Tab. 3 The total concentration range of heavy metal in surface runoff from different functional areas μg/L

	交通区	商居混合区	文教区
Cu	19.73 ~ 67.84(29.54 ± 0.23)	18.10 ~ 50.27(25.20 ± 0.017)	20.00 ~ 104.86(38.76 ± 0.037)
Cd	0.42 ~ 0.75(0.53 ± 0.005 4)	0.55 ~ 0.70(0.61 ± 0.008 3)	0.57 ~ 2.06(1.15 ± 0.000 38)
Pb	0.43 ~ 5.53(2.73 ± 0.005 7)	3.82 ~ 15.74(7.52 ± 0.001 4)	7.87 ~ 36.17(20.27 ± 0.005 2)
Cr	5.09 ~ 17.50(7.62 ± 0.017)	4.67 ~ 12.97(6.50 ± 0.003 1)	5.16 ~ 27.06(10.00 ± 0.003 5)
Hg	0.75 ~ 2.53(1.22 ± 0.006 4)	0.49 ~ 2.33(0.96 ± 0.000 24)	0.49 ~ 2.33(0.86 ± 0.000 42)
As	3.07 ~ 4.52(3.52 ± 0.012)	3.67 ~ 5.63(0.86 ± 0.005 9)	3.94 ~ 14.41(7.52 ± 0.012)

注:浓度范围[min ~ max(average)]。

对道路地表径流中重金属总量和可溶态分析(图 5)的结果表明,不同功能区不同重金属水样可溶态和不可溶态重金属百分比分布规律基本相似。总的来说,Cu、Cd、Pb 和 Cr 主要以不可溶态的形式吸附于地表径流中的悬浮物上,这部分重金属分别占到总量的 75.23% ~ 82.92%、72.13% ~ 90.43%、83.15% ~ 98.77% 和 94.15% ~ 94.80%。因此,可以通过去除地表径流中悬浮物来去除大量 Cu、Cd、Pb 和 Cr。李怀恩^[20]等人研究表明,在污染源区和受纳水体之间种植植被过滤带能够有效削减进入水环境的悬浮固体。因此,通过植被过滤带来拦截地表径流中的悬浮固体,可有效拦截 Cu、Cd、Pb 和 Cr 污染物进入受纳水体的负荷量,显著降低其污染影响。而 Hg 和 As 主要是以可溶态存在于地表径

流中,可溶态分别占到总量的 72.09% ~ 90.16% 和 62.92% ~ 78.69%。

2.2.2 地表径流重金属年污染负荷估算

由表 3 与公式 2 进行不同功能区地表径流重金属负荷估算(表 2)的结果表明,地表径流中的主要重金属污染物依次为 Cu、Pb 和 Cr。与地表沉积物中重金属浓度和负荷的顺序一致,不同功能区上述重金属的年污染负荷由大到小分别为文教区 > 商居混合区 > 交通区,与王和意等^[21]研究上海道路地表径流 Cu、Pb 和 Cr 的结果相似,其为商业区 > 居民区 > 交通区。而 Hg 的年污染负荷大小顺序与 Cd、Pb 和 As 年污染负荷相反,各功能区年污染负荷分别为 1.24、0.92、0.83 g/hm²/a。总的来说除 Hg 外,文教区重金属污染较严重,商居混合区与文教区年污染负荷较接近。

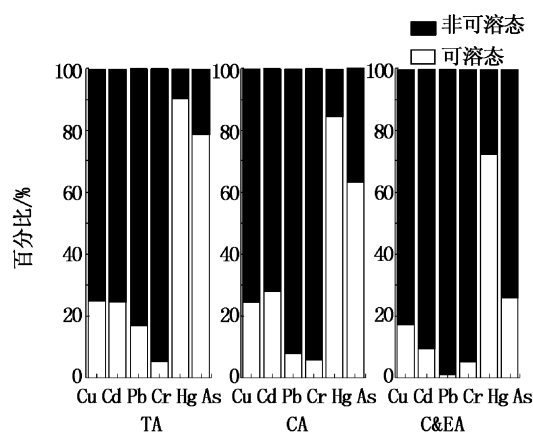


图 5 不同功能区地表径流可溶态和非可溶态重金属比较

Tab.5 Comparison of soluble and non-soluble heavy metals in surface runoff from different functional areas

为了减少地表径流重金属污染,可采取工程措施和非工程措施。工程措施如植被过滤带、河道生态护坡等,可减少地表径流中不可溶态的 Cu、Cd、Pb 和 Cr 对水体的污染。非工程措施如环境管理、采用人工和机器结合的路面清扫方式,提高地表沉积物的去除率从而降低地表沉积物中重金属的污染。

3 结论

(1)不同功能区地表沉积物样品粒径分布较为相似,65%~85%以上的颗粒质量集中在直径 300 μm 以下的细沙中。

(2)不同功能区不同粒径地表沉积物重金属污染浓度差异较大,交通区 Cu、Pb 和 Cr 3 种重金属污染物浓度最大;商居混合区和文教区的 Hg 和 As 污染物的浓度较交通区略高;Cd 污染物浓度在各功能区分布较为平均。

(3)地表沉积物中重金属的污染负荷同样以 Cu、Cr 和 Pb 较高,且文教区地表沉积物单位面积污染负荷最高,商居混合区次之,交通区最低。交通区各重金属污染物的污染负荷随粒径的减少总体呈下降趋势,而商居混合区和文教区则明显相反。

(4)不同功能区地表径流瞬时水样重金属浓度波动范围较大,与地表沉积物中污染特征相近,以 Cu、Pb、Cr 在径流中浓度较高,同样文教区径流水质重金属污染较为严重。地表径流中, Cu、Cd、Pb 和 Cr 主要以不可溶态的形式吸附于

地表径流中的悬浮物上;除文教区 As 以外,Hg 和 As 主要是以可溶态存在于地表径流中。

参考文献:

- [1] 伍发元,黄种买,龙向宗. 汉阳墨水湖地区城市面源污染控制研究[J]. 西安给水排水,2003,25(6):18-20.
- [2] ZHAO H, YIN C, CHEN M, et al. Runoff pollution impacts of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dusts from a stream network town[J]. Water Science Technolgy, 2008, 58(11): 2069-2076.
- [3] KOBRIGER N P, GEINOPOLOS A. Source and migration of highway runoff pollutants [R]. Washington DC Dent. of Transit, Fed. Hwv. Admin, 1984.
- [4] CRISTINA C, TRAMONTE J, SANSALONE J J. A granulometry based selection methodology for separation of traffic-generated particles in urban highway snowmelt runoff[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2002, 136(1/4):33-53.
- [5] ZHAO H T, LI X Y, WANG X M, et al. Grain size distribution of road-deposited sediment and its contribution to heavy metal pollution in urban runoff in Beijing[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 183(1/3):203-210.
- [6] SUTHERLAND R A. Lead in grain size fractions of road-deposited sediments [J]. Environmental Pollution, 2003, 121(2):229-237.
- [7] ZHU W, BIAN B, LI L. Heavy metal contamination of road-deposited sediments in a medium size city of China [J]. Environmental Science and Technology, 2006, 147(1/3), 359:145-155.
- [8] 张善发,李田,高延耀. 上海市地表径流污染负荷研究[J]. 中国给水排水,2006,22(21):57-60.
- [9] ADACHIA K, TAINOSHOB Y. Single particle characterization of size-fractionated road sediments. Applied Geochemistry [J], 2005, 20(5):849-859.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [11] 赵洪涛,李叙勇,尹澄清. 街尘与城市降雨径流污染的关系综述[J]. 生态学报,2012,32(24):8001-8007.
- [12] 王云. 上海市土壤环境背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:37.
- [13] LUCE C H, BLACK. T A. Effects of Traffic and Ditch Maintenance on Forest Road Sediment Production [C]. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, 2001:V67-V74.
- [14] 李海雯,陈振楼,王军,等. 基于 GIS 的上海城市灰尘重金属空间分布特征研究[J]. 环境科学学报,2007,27(5):803-809.
- [15] 王小梅,赵洪涛,李叙勇. 北京市地面街尘与径流中重金属的污染特征[J]. 生态毒理学报,2010,5(3):426-432.
- [16] 孟飞,刘敏,候立军,等. 上海中心城区地表灰尘与土壤中重金属累积及污染评价[J]. 华东师范大学学报,2007,4

- (7);56-63.
- [17] 李章平,陈玉成,杨学春,等. 重庆市主城区街道地表物中重金属的污染特征[J]. 水土保持学报,2006,20(1):114-138.
- [18] GERMAN J,SVENSSON G. Metal content and particle size distribution of street sediments and street sweeping waste[J], *Water Science and Technology* ,2002,46(6/7):191-198.
- [19] 田鹏,杨志峰,李迎霞. 公路地表灰尘及径流中颗粒物附着重金属对比研究[J]. 环境污染与防治, 2009,31(6):14-18.
- [20] 李怀恩,庞敏,杨寅群,等. 植被过滤带对地表径流中悬浮固体净化效果的试验研究[J]. 水力发电学报,2009,2(6):176-181.
- [21] 王和意. 上海城市降雨径流污染过程及管理措施研究[M]. 上海:华东师范大学,2005.

Research on heavy metal of surface sediment and runoff of Lingang New City in Shanghai

LI Juan-ying, HU Qian, CHEN Mei-na, CAO Hong-yu, HE Pei-min

(Key laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Particle distribution and heavy metal concentration in surface sediment and surface runoff of different functional areas including traffic area (TA), commercial area (CA) and cultural and educational area (C&EA) of Lingang New City in Shanghai were analyzed in the present study. Heavy metal loads of surface sediment and annual loads of surface runoff were calculated based on sample analysis. The results indicated that particle size distribution curves are similar in different functional areas, and particles less than 300 μm account for 65% - 85%. Concentrations of Cu, Pb and Cr in surface sediment of traffic area are higher than those in the other two areas, however, the concentrations of Hg and As were higher in the latter two areas. The concentration of Cd in different areas was comparable. As for surface runoff, the heavy metal concentrations of grab samples step across a wide range and heavy metal concentrations in surface runoff from C&EA were the highest. Heavy metal loads of surface sediment and annual loads of surface runoff in C&EA were higher than those of the other two areas. The loads of surface sediment of Cu, Cd, Pb, Cr, Hg and As in C&EA were 2.03, 0.205, 2.42, 2.82, 0.0171 and 1.63 mg/m^2 , respectively. The loads of surface runoff of Cu, Cd, Pb, Cr, Hg and As in C&EA were 37.21, 1.10, 19.46, 9.60, 0.83 and 7.22 $\text{g}/(\text{hm}^2/\text{a})$, respectively.

Key words: surface sediment; surface runoff; heavy metals; pollution load