

沈哈高速公路两侧土壤重金属污染特征及评价

秦莹^{1,2}, 姜翼来^{1,2}, 姜勇¹, 梁文举¹

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:为探讨高速公路对农田土壤重金属污染的影响,对沈哈高速公路两侧农田 60 个土壤样品 Pb、Cu、Zn、Cd 分布状况进行了分析。结果表明,高速公路两侧在距路肩 0~320 m 范围内,Cu、Pb 和 Zn 全量和有效态含量总体上呈现随距离增加而降低的趋势,Cd 的变化规律不明显。高速公路两侧的土壤已不同程度出现重金属富集现象,其中 Pb 属轻度污染且主要集中在东侧距路肩 20 m 处,Cd 属重度污染。受研究地点主导风向的影响,高速公路东侧农田土壤的 Pb 含量明显高于西侧。高速公路旁土壤重金属以 Pb、Cd 污染为主,污染物主要来源于汽车尾气。

关键词:重金属;高速公路;农田土壤;交通污染

中图分类号:X825 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)04-0663-05

Pollution Characteristics and Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Beside Shenyang-Harbin Super-highway

QIN Ying^{1,2}, LOU Yi-lai^{1,2}, JIANG Yong¹, LIANG Wen-ju¹

(1.Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2.Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to further understand the effect of superhighway on the heavy metal pollution of farmland soils, sixty soil samples were collected from the arable layer (0~20 cm) of farmland beside the selected section of Shenyang-Harbin superhighway and the contents of Pb, Cu, Zn and Cd were examined. Results showed that both total and available Cu, Pb and Zn concentrations decreased with increasing distance away from the superhighway within 320 m range, while no significant variation principle was observed for Cd. According to the standard of single index grade for farmland soil heavy metal cumulating pollution, the tested soil was slightly polluted by Pb and higher content of Pb occurred in the east 20 m sites away from the superhighway, and was heavily polluted by Cd within the sample range. As affected by the predominant wind direction in the study site, Pb concentration in farmland soil was higher on the east side than on the west side of the superhighway. Both Cd and Pb were identified as the main pollutants, and the exhaust fuel emission from vehicles was considered as the main pollution source leading to the soil heavy metal accumulations.

Keywords: heavy metals; superhighway; farmland soil; traffic pollution

近年来我国加快了高速公路的建设,高速公路已成为保证工农业生产顺利进行和促进国民经济快速发展的“生命线”之一。然而,在推动经济发展的同时,也不可避免地对生态环境造成了一定的影响,其中公路建设和运营期间产生的重金属污染尤为严重。由于该类污染范围广,持续时间长,污染物不易降解等特点,成为目前公路建设生态干扰作用的研究热点。杜

振宇等^[1]研究了山东省 5 条主要高速公路两侧土壤 Pb 污染状况,结果表明 Pb 污染主要集中在距路肩 50 m 范围内;Nabulo 等^[2]对高速公路两侧土壤和蔬菜中的 Pb、Cd 和 Zn 污染进行了评价;Viard 等^[3]研究了 Pb、Zn 和 Cd 在高速公路两侧土壤中的生物积累状况,揭示出 Pb 是评价公路交通污染的重要的重金属;李波等^[4]对沪宁高速公路两侧土壤和小麦重金属污染状况进行了监测,认为交通污染是影响公路两侧农产品质量安全的重要因子之一。

沈哈高速公路(沈阳至哈尔滨)呈南北走向,总长约 532 km,每天车流量和客流量很大,高速公路两侧

收稿日期:2008-06-23

基金项目:国家自然科学基金项目(30600087);中国科学院沈阳应用生态研究所领域前沿项目(06LYQY5001)

作者简介:秦莹(1983—),女,硕士研究生,主要从事土壤生态学研究。

通讯作者:姜勇 E-mail:jiangyong@iae.ac.cn

多是重要的农业生产区。然而,目前关于沈哈高速公路附近农田土壤的重金属污染状况尚不清楚。为此,本文以该公路某特征路段两侧的农田土壤为研究对象,对距路肩不同距离的土壤重金属污染状况以及分布规律进行了调查与研究,为公路旁重金属污染的有效防治及有关农产品安全生产基地的合理规划与建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

沈哈高速公路南起沈阳绕城高速公路王家沟立交,北到哈尔滨。本试验选择沈哈高速公路沈阳至铁岭某特征路段两侧的农田土壤为研究区域,区域周围没有其他的重金属非农业污染源,该路段位于远离市区的沈阳市沈北新区蒲河镇境内(41°57'N,123°36'E)。该地区冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润,年均降水量为 667 mm,年平均气温在 7.3 ℃,盛行风向为西南风,每天车流量 5 万辆左右、客流量 3 万人左右。公路两侧分布有大量农田,土壤类型为棕壤,主要农作物为玉米。研究土壤的基本理化性质见表 1。

1.2 样点的布设与采集分析

采样点对称设在公路两侧距路肩 5、20、40、80、160 和 320 m 处,每处选 5 个平行样点,即两侧各设 30(6×5)个样点。2007 年 10 月 5 日,在各样点采集 0~10 cm 表层土壤样品(共 60 个),经风干、去除杂质、研磨,过筛后(20 目和 100 目),称取样品 0.1 g 于聚四氟乙烯杯中,分别测定土壤重金属的有效态含量(DTPA-浸提,原子吸收分光光度法)和全量(HNO₃-HClO₄-HF 消煮,原子吸收分光光度法)^[9]。

1.3 重金属污染评价方法

采用单项污染指数法对土壤重金属含量进行评价^[6-7],单因子评价模式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为土壤中污染物 i 的单项污染指数;

C_i 为污染物 i 的实测浓度;

S_i 为污染物的评价标准(可采用当地背景值或国家标准等)。

1.4 质量控制

精密度采用 20% 双份平行样进行精密度试验,以相对偏差表示,控制相对偏差小于 5%;准确度以加标回收率表示,测得各种重金属的平均回收率水平为 Cu 104%、Zn 98%、Pb 96%、Cd 102%。

1.5 统计分析

数据处理和统计分析采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 11.0 软件。

2 结果与分析

2.1 重金属全量分布特征及污染评价

高速公路两侧土壤重金属全量(Cu、Pb、Zn 和 Cd)分布特征见图 1。由图 1 可知,在距路肩 0~320 m 范围内,Cu、Pb 和 Zn 全量总体上呈现随距离增加而降低的趋势,且不同距离间差异显著。路东侧,Pb、Cu 含量峰值出现在 20 m 处,分别为 253.24 mg·kg⁻¹ 和 33.29 mg·kg⁻¹,可达其他位置平均含量的 1.18~3.95 倍,20 m 外,Pb、Cu 含量迅速下降并保持在相对稳定的含量水平;Zn 含量的峰值为 135.95 mg·kg⁻¹,出现在 5 m 处,并随距离增加而降低。路西侧,Cu、Pb 和 Zn 含量随距离的变化趋势与路东相似,但 Pb 峰值出现在路侧 40 m 处,并且 Pb、Cu 含量峰值均低于路东。这一结果表明高速公路的 Pb 污染主要集中在 40 m 以内的范围,这与阮宏华等在南京城郊 321 国道上的研究结果相一致^[8]。全量 Cd 随距离增加也发生一定的变化,但没有明显的规律性。

采用单项污染指数法对土壤重金属含量进行评价,由于公路沿线两边大部分为农田,属于Ⅱ类土壤应用功能,因此采用国家土壤环境质量标准(GB15618—1995)中的二级标准。当 pH<6.5 时,Pb、Cu、Cd、Zn 的国家二级标准值分别为 250、50、0.3、200 mg·kg⁻¹。污染指数见表 2。从污染指数来看,高速公路东侧 20 m Pb 单项污染指数为 1.01,出现轻度 Pb 污染;而 Cd 单项污染指数介于 8.40~18.74,已经达到重度污染水平;未受到 Cu、Zn 污染。

土壤重金属的相关性可以推测重金属的来源是否相同,在同一功能区内,若重金属元素之间存在相

表 1 土壤的基本理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties

项目	全氮/g·kg ⁻¹	有机质/g·kg ⁻¹	pH(H ₂ O)	沙粒/%	粉粒/%	粘粒/%
东侧	0.88~1.59	17.1~35.7	4.97~7.58	37.63~38.57	33.63~45.15	16.73~28.49
西侧	0.68~1.46	16.1~42.0	4.89~6.7	37.75~38.24	36.16~46.44	15.52~25.94

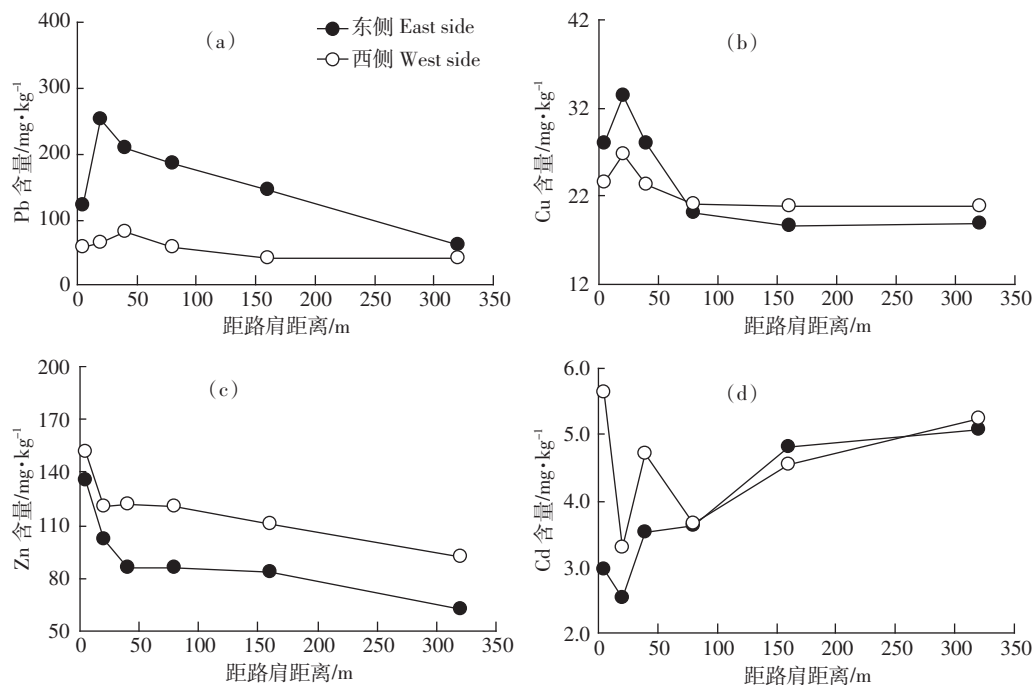


图 1 土壤重金属全量随距路肩距离的变化特征

Figure 1 Soil heavy metal contents with distance away from the superhighway

关系,说明它们的来源可能是相似的,若不存在相关关系,则来源是不同的^[9]。公路两侧土壤重金属相关性分析结果如表 3 所示,Pb 和 Cu 具有显著的相关性 ($P<0.01$),说明这 2 种重金属的来源可能相同,主要来源于汽车尾气和公路建设^[10]。

普通汽油中含有铅成分的添加剂(四乙基铅),由于汽油耗量巨大,所以易造成尾气污染。另外公路建设和运营期间汽车部件的电镀材料、润滑剂、以及轮胎及零部件的磨损等都是重金属污染物的主要来源^[11]。例如汽车轮胎的添加剂中含有 Zn,所以轮胎磨损产生的粉尘是土壤 Zn 污染的来源。由于研究区域没有其他 Pb 污染源,所以可以判定 Pb 主要来自汽车尾气。高速公路两侧的 Pb 含量都是先升高,达到一个峰值,然后再降低,这是因为采样路段汽车尾气可以认为是无线型烟源,其扩散模型遵从无线线源正态分布式^[12],汽车尾气扩散至距离公路一段距离后才能与地面接

触,并在一定距离处出现最大值,随后土壤中 Pb 含量逐渐下降。另外,从汽车尾气中排出的铅是极细小的颗粒,风向、风速和风力都对其扩散有影响,下风向较上风向地区污染重,且范围更广^[13]。汽车尾气中的金属颗粒是在风力作用下进行水平扩散,并在重力作用下干湿沉降于土壤当中的,因此盛行风向是影响此类重金属污染物空间分布格局的重要因素。本研究所在地的沈阳地区主导风向为西南风,因而使得汽车尾气中的主要污染物 Pb 在路东侧积累较多,Pb 含量明显高于路西侧。Cd 分布无明显规律性,因为 Cd 受其他强势因子的影响较大,公路两侧为农田,灌溉、施肥都会影响镉的分布^[14],从而掩盖了交通运输对 Cd 的影响。

2.2 土壤有效态重金属分布特征及影响因素

根据上述分析,进一步研究高速公路对有效态重金属含量的影响。4 种重金属(Pb、Cu、Zn 和 Cd)有效态含量变化规律如图 2 所示。有效态重金属在公路两

表 2 沈哈高速公路两侧土壤重金属污染指数

Table 2 Pollution indexes of heavy metals in soils beside the Shenyang-Harbin superhighway

重金属	东侧						西侧					
	5 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m	5 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m
Pb	0.49	1.01	0.84	0.75	0.59	0.26	0.25	0.26	0.33	0.25	0.18	0.18
Cu	0.56	0.67	0.56	0.40	0.37	0.38	0.47	0.54	0.47	0.42	0.42	0.42
Zn	0.68	0.51	0.43	0.43	0.42	0.31	0.76	0.61	0.61	0.60	0.56	0.46
Cd	9.84	8.40	11.71	12.07	16.07	16.88	18.74	10.93	15.75	12.13	15.17	17.45

表 3 高速公路两侧土壤全量重金属的相关分析

Table 3 Pearson correlations of total heavy metals in soils beside the Shenyang-Harbin superhighway

重金属	Cu	Pb	Zn	Cd
Cu	1.000			
Pb	0.441**	1.000		
Zn	0.232	-0.243	1.000	
Cd	-0.370**	-0.333**	0.027	1.000

注:** 代表显著相关性 $P<0.01$ 。

侧的分布状况基本与全量重金属的分布相一致。有效态 Zn 含量随距离增加显著降低(图 2c),有效态 Pb 和 Cu 的含量随距离增加呈现先增后减的趋势(图 2a,b)。Pb 和 Cu 在公路两侧的峰值均出现在路东 20 m 处和路西 40 m 处,超过这一范围,其含量逐渐降低,而 Pb 在路西 160 m 至 320 m 处又有所上升。

土壤有效态重金属的含量受到土壤 pH、土壤粘粒含量、有机质等多种因素的影响。例如,碱性条件下,Cd、Pb 与碳酸盐、磷酸盐等形成难溶化合物,从而降低了 Cd、Pb 的有效性^[15]。而土壤有机质分解过程中产生的有机酸可以增加有效态重金属的含量,例如富里酸生物化学转化过程中形成的产物与金属离子络合,可以形成可溶的络合物,从而增加土壤有效态重金属的含量^[16]。本实验结果表明,Cu 与土壤粉粒、沙粒和 pH 极显著负相关,与粘粒呈极显著正相关关

系,Zn 与有机质和 pH 显著正相关,Cd 与有机质极显著正相关(表 4)。只有 Pb 与 pH、土壤质地和土壤有机质均无显著的相关性,可以说明有效态 Pb 含量受确定性因素影响较大,由以上的分析可以认为汽车尾气是 Pb 污染的主要来源。而 Pb 在路西 160 m 至 320 m 处又有所上升,可能是因为路西 160 m 之外远离公路,交通污染对其影响已经减弱,而农业活动,例如施肥成为了主导因子。由于原料矿石本身的杂质,以及生产工艺流程的污染,化肥中常含有不等量的副成分,大多是重金属元素,成为土壤重金属来源之一。

3 结论

通过对沈哈高速公路两侧农田土壤重金属的调查研究表明,在距路肩 0~320 m 范围内,土壤 Cu、Pb 和 Zn 全量和有效态含量总体上均呈随距离增加而降

表 4 土壤有效态重金属与土壤理化性质的相关分析

Table 5 Pearson correlations between soil available heavy metal and physicochemical properties

重金属	pH	沙粒	粘粒	粉粒	有机质
Cu	-0.699**	-0.415**	0.505**	-0.487**	0.026
Pb	0.010	0.065	0.157	-0.166	-0.034
Zn	0.599**	0.318*	0.005	-0.027	0.607**
Cd	0.228	0.140	0.023	-0.033	0.451**

注:** 和 * 代表在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平上显著相关。

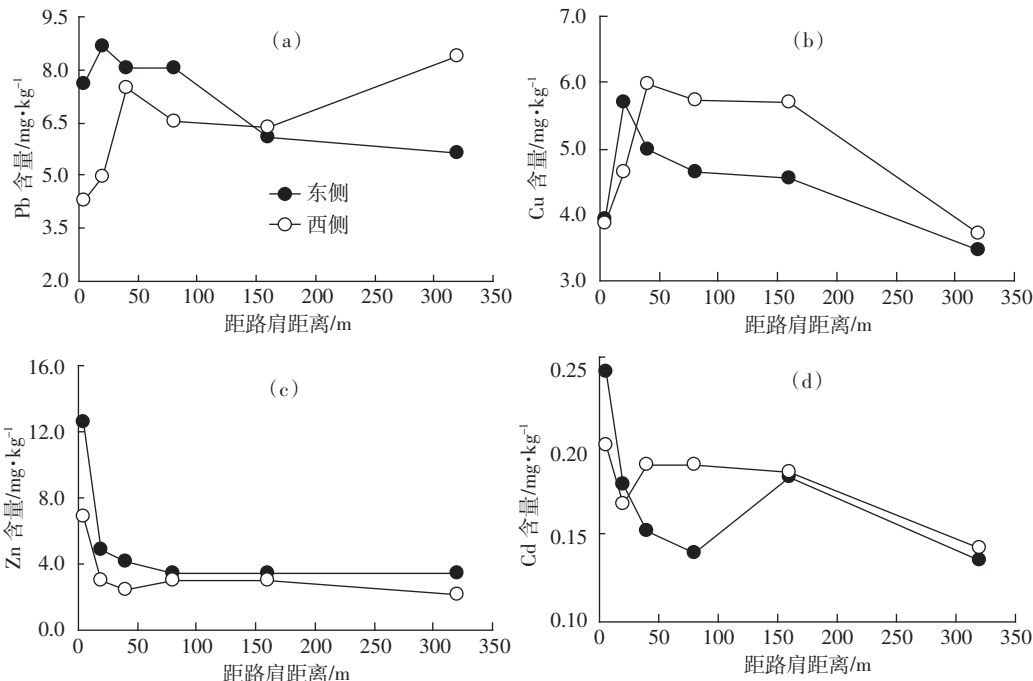


图 2 土壤有效态重金属含量随距路肩距离的变化特征

Figure 2 Soil heavy metal total contents with the distance away from the superhighway

低的趋势,而Cd的变化规律不明显。汽车尾气已给沈哈高速公路两侧的土壤造成了不同程度的污染,其中Pb属轻度污染,Cd属重度污染,并且Pb污染主要集中在距路肩20~40 m处,另受盛行风向的影响,土壤Pb污染以公路东侧较为严重。因此在高速公路与农业生产区之间,要有一定的隔离带,防止污染物进入农业区,并且要积极研究有利于作物生长的生态环境,科学规划生产区域。

参考文献:

- [1] 杜振宇,邢尚军,宋玉民,等. 山东省高速公路两侧土壤的铅污染及绿化带的防护作用[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 175-179.
DU Zhen-yu, XING Shang-jun, SONG Yu-min, et al. Lead pollution along expressways and its attenuation by green belts in Shandong Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(5): 175-179.
- [2] Nabulo G, Oryem-Origa H, Diamond M. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside, surface films, and vegetables in Kampala city, Uganda[J]. *Environmental Research*, 2006, 101(1): 42-52.
- [3] Viard B, Pihan F, Promeyrat S, et al. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Gramineae and land snails[J]. *Chemosphere*, 2004, 55(10): 1349-1359.
- [4] 李波,林玉锁,张孝飞,等. 宁连高速公路两侧土壤和农产品中重金属污染的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 266-269.
LI Bo, LIN Yu-suo, ZHANG Xiao-fei, et al. Pollution of heavy metals in soil and agricultural products on sides of Ning-Lian Superhighway[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 266-269.
- [5] 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, 1999.
LU Ru-kun. Soil and agrochemistry analysis methods[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [6] 王初,陈振楼,王京,等. 上海崇明岛交通干线两侧农田土壤和蔬菜Pb, Cd污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 634-638.
WANG Chu, CHEN Zhen-lou, WANG Jing, et al. Pollution of lead and cadmium in soil and vegetable on sides of the main roads of Chongming Island[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 634-638.
- [7] 刘凤枝,师荣光,徐亚平,等. 耕地土壤重金属污染评价技术研究——以土壤中铅和镉污染为例[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 422-426.
LIU Feng-zhi, SHI Rong-guang, XU Ya-ping, et al. The study of assessment technology for farmland soil heavy metal pollutions[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 422-426.
- [8] 阮宏华,姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规律[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 362-364.
RUAN Hong-hua, JIANG Zhi-lin. Pb concentration and distribution in main tree species on both sides of highway in suburbs of Nanjing City[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(3): 362-364.
- [9] Robertson D J, Taylor K G, Hoon S R. Geochemical and mineral magnetic characterization of urban sediment particulates, Manchester, UK[J]. *Applied Geochemistry*, 2003, 18: 269-282.
- [10] 王再岚,何江,刘玉红,等. 鄂尔多斯地区公路两侧土壤重金属污染特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(2): 15-19.
WANG Zai-lan, HE Jiang, LIU Yu-hong, et al. The distribution characteristics of heavy metals pollutants in soil-plant system along a highway[J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences)*, 2006, 30(2): 15-19.
- [11] 孙龙,韩立君,曹军,等. 公路两侧土壤—植物污染及防治对策[J]. 防护林科技, 2007(4): 99-103.
SUN Long, HAN Li-jun, CAO Jun, et al. Preventing and controlling measures of soil-plant pollution on sides of road[J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2007(4): 99-103.
- [12] 胡晓荣,查红平. 成渝高速公路旁土壤铅污染分布及评价[J]. 四川师范大学学报, 2007, 30(2): 228-231.
HU Xiao-rong, ZHA Hong-ping. Distribution and environmental quality assessment of lead pollution in soil along Chen-Yu Highway[J]. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science)*, 2007, 30(2): 228-231.
- [13] Manning W J, Feder W A. Biomonitoring air pollutants with plants[M]. London: Applied Science Publishers Ltd., 2007.
- [14] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79-84.
ZHENG Xi-kun, LU An-huai, GAO Xiang, et al. Actuality and preventing and controlling method of heavy metal pollution in soil[J]. *Soil and Environment*, 2002, 11(1): 79-84.
- [15] 刘霞,刘树庆,王胜爱. 河北主要土壤中Cd和Pb的形态分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 393-400.
LIU Xia, LIU Shu-qing, WANG Sheng-ai. Distribution of cadmium and lead forms and its affecting factors in soils of Hebei Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 393-400.
- [16] 曹会聪,王金达,张学林. 东北地区污染黑土中重金属与有机质的关联作用[J]. 环境科学研究, 2007, 20(1): 36-41.
CAO Hui-cong, WANG Jin-da, ZHANG Xue-lin. Study on the association between heavy metals and organic matter in polluted black soil in Northeast China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(1): 36-41.