

路基边坡土壤重金属污染特征及评价

祝遵凌^{1,2}, 崔利杰¹, 王 颀¹

(1. 南京林业大学 风景园林学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学 艺术设计学院, 南京 210037)

摘 要:以盐淮高速公路沿线为研究区域,分析了路基边坡及附近土壤中 Cr、Cu、Pb 三种重金属的污染特征,并对污染现状进行了评价。结果表明,土壤中三种重金属含量在不同采样区均存在显著差异($P<0.05$),填土来源和交通量是造成各采样区土壤重金属含量差异的主要原因;在一定区域内,土壤中各重金属元素的含量随着离路肩距离的增加总体上呈现先降后升的趋势;在所有采样区土壤中,三种重金属含量高低排序为 $Cr>Cu>Pb$,三元素之间具有显著的相关关系($P<0.01$);对重金属污染现状潜在生态风险的评价表明,研究区域的生态风险程度为轻微级。

关键词:重金属污染;路基边坡;土壤;高速公路

中图分类号:X53;X825

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0127-04

Characteristics and Assessment on Heavy Metal Pollution of Soils in Embankment Slope of Expressway

ZHU Zun-ling^{1,2}, CUI Li-jie¹, WANG Sa¹

(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University,

Nanjing 210037, China; 2. College of Arts&Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract:Through the characteristics analysis of the heavy metals (Cr, Cu, Pb) in the soils of Yanhuai expressway embankment slope, the heavy metal pollution was evaluated. The results showed that the contents of three heavy metals in soils of different sampling areas were significantly different ($P<0.05$). The source of filled soil and traffic were the main causes responsible for the difference of soil heavy metal contents in sampling areas. The heavy metal contents in soils appeared the trend in general that firstly declined and then rised with increase of the distance from expressway shoulder at some certain areas. The overall contents of three heavy metals from all sampling areas were ranked from high to low as $Cr>Cu>Pb$. The correlation among three elements was significant ($P<0.01$). The potential ecological risk assessment of heavy metal pollution showed that the ecological risk degree was slight under the current situation.

Key words:heavy metal pollution; embankment slope; soil; expressway

交通道路污染的危害直接影响着人们的生产生活安全。随着人们对环境质量的重视,交通产生的重金属污染也成为了研究热点之一^[1-2]。路基边坡作为距离道路交通污染源最近的区域,坡面土壤是除路面外交通污染物最直接的承受者,该区的土壤重金属污染可能会有不同于路域其他范围的污染特征和规律。以往的研究多集中在对路基以外较宽范围内的土壤、防护林及周围农田的重金属污染研究^[3-5],目前针对路边坡土壤重金属污染的研究,尚未见报道。本文在高速公路交通环境下,进行实地采样,对路基边坡区域土壤污染特点及规律进行研究,目的是总结出在交

通环境中重金属复合污染下,路基边坡及附近土壤的重金属污染特征,并对重金属污染现状作出客观评价,为重金属污染的防控管理工作提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

盐淮高速公路是国家重点公路天津至汕尾公路的支线,连接了淮安、盐城两个省辖市,现编号为S18。该道路按双向四车道高速公路标准建设,全长约为104 km,2002年8月始建,2006年12月正式通车。盐淮高速公路所跨区域为苏北平原的一部分,

收稿日期:2011-11-24

修回日期:2012-06-25

资助项目:国家自然科学基金项目(31270741);江苏省建设科技项目(JS2010JH24);江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:祝遵凌(1968—),男,河南固始人,博士,副教授,主要研究园林植物应用、园林植物栽培等。E-mail:zhuzunling@yahoo.com.cn

土壤类型主要为水稻土,局部地表为素土和黏性土, pH 值大多在 7.8~8.4, 偏碱性。该区四季分明, 年平均气温 13.6~14.7℃, 年无霜期 240 d 左右, 年平均降水量约 940 mm, 年平均日照时数 2 130~2 430 h。

1.2 采样区选择和样品采集

2010 年 6 月下旬, 根据实地调查情况, 选择坡度

1:1.5 的边坡为采样区域, 以绿化类型设 4 个采样区, 详见表 1。各采样区选取 3 个采样断面, 分别采集距路肩水平距离 3, 6, 10, 20 m 处的土壤样品。其中 3 m 和 6 m 点位于路基边坡上, 10 m 点位于边坡基部, 20 m 点处于农田防护林位置。同时采集距道路水平距离 1 km 处不受高速公路影响的土壤作为对照。采样深度 0—15 cm, 采集量 600 g。

表 1 各采样区基本情况

编号	地点	人工植被	野生植被
A	楚州枢纽附近	白茅—旱柳+法国冬青—女贞	蛇莓、狗牙根、一年蓬
B	建湖九龙口服务区	狗牙根—广玉兰+桂花—女贞	绿豆、葎草、一年蓬、小飞蓬
C	盐都郭猛服务区	白茅—旱柳+紫叶桃—加杨	绿豆、续断菊、蛇莓、小飞蓬
D	盐城西枢纽附近	蜀葵+白茅—国槐+石榴+白蜡—加杨	鸡矢藤、小蓟、一年蓬

1.3 样品的处理与分析

样品采集后置于阴凉处自然风干, 去除杂质, 研磨, 过 100 目筛。采用电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP—AES), 用王水—高氯酸消解样品, OPTIMA—4300DV 电感耦合等离子体发射光谱仪测定土壤中 Cr, Cu, Pb 元素的含量^[6-8]。

1.4 土壤重金属污染评价方法与标准

常用的重金属污染评价方法有单因子评价、多因子评价、地积累指数法、潜在生态危害指数法等^[9], 本研究选取单因子评价法、多因子评价中的内梅罗法 (Nemerow) 和潜在生态危害指数法测定^[10-12], 内梅罗指数土壤污染评价标准参考 HJ/T166—2004 的标

准^[7]。数据的处理和统计分析运用 Excel 2003、SPSS 13.0 进行。

2 结果与分析

2.1 路基边坡土壤的重金属分布

路基边坡不同采样区, 离路肩不同距离处土壤的重金属含量见图 1。由图 1 可知, 路基边坡区域所有采样区的重金属元素含量总体表现为: Cr>Cu>Pb, 这可能是由于研究区土壤的重金属含量本底值和重金属迁移等多重因素的影响造成的。Cr 含量随离路基距离的变化呈现先降后升的趋势, Cu 含量变化相对平缓, Pb 含量整体表现为上升趋势。

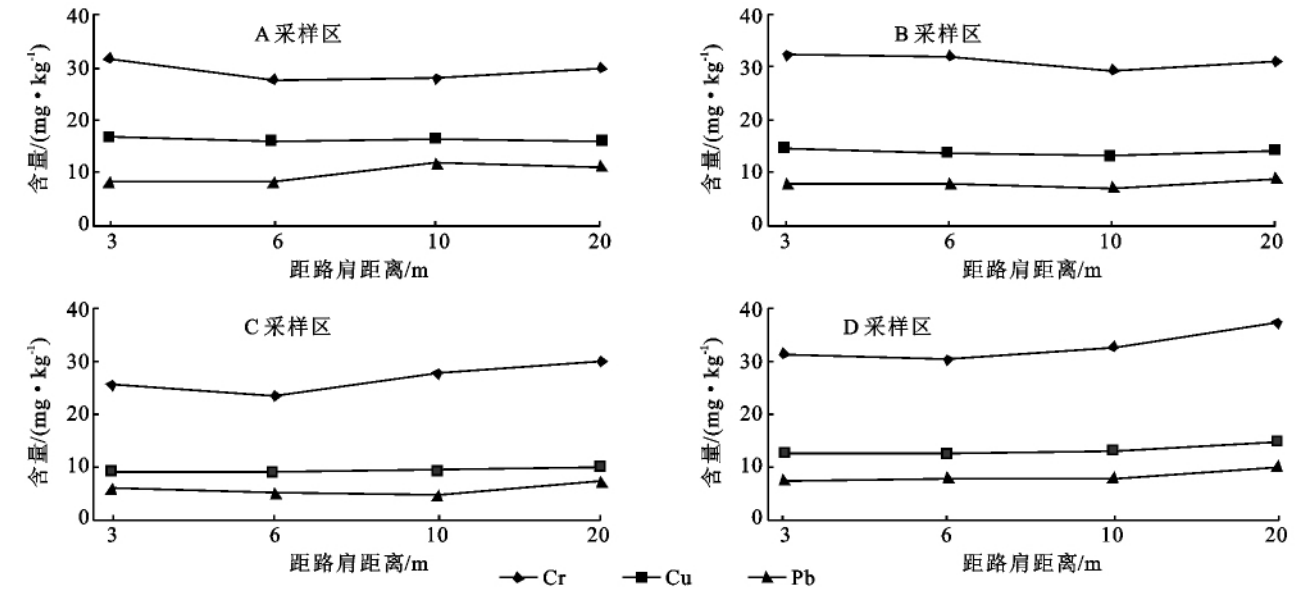


图 1 各采样区土壤中重金属含量随离路肩距离的变化

对路基边坡区域不同采样区的土壤重金属含量进行方差分析和多重检验(表 2), 发现采样区之间三种重金属含量均存在显著差异($P<0.05$)。比较各元素平均含量可知, C 采样区三种重金属的平均含量为最低值, 这可能是由于在道路建设过程中, 采样区

C 的填土来源和其他区不同而造成的; D 采样区中 Cr 含量最高, Pb 含量也较高; A 采样区中 Cu 和 Pb 含量最高。张秀芝等^[13]研究表明, 道路交通是附近土壤 Pb 元素的主要来源, 这与本试验中 A 采样区、D 采样区分布在两个交通枢纽附近, 交通量较其他采样区

大,造成其 Pb 含量较高的结果一致。

表 2 不同采样区土壤重金属平均含量

采样区	重金属元素含量/(mg·kg ⁻¹)		
	Cr	Cu	Pb
A	29.38b±2.54	16.27d±0.43	9.90c±1.78
B	31.14c±1.69	13.84c±0.82	7.94b±0.72
C	26.80a±2.61	9.55a±0.52	5.91a±1.08
D	32.73d±3.36	13.10b±1.09	8.13b±1.23

注:同列相同字母表示差异不显著($P>0.05$),同列不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

对路基边坡区域离路肩不同距离处的土壤重金属含量进行方差分析和多重检验(表 3),发现路基边坡区域距路肩 20 m 处土壤中的 Cr,Cu,Pb 三元素平均含量均为所有采样距离中的最高值,且与其他距离外的差异显著($P<0.05$),这与秦莹等^[14]对沈哈高速公路两侧土壤重金属的研究结果一致。这可能是缘于 20 m 处土壤采自林下,而道路产生的重金属污染物微粒扩散时被树木叶片部分截留,经降雨淋洗后又进入土壤,增加了林下土壤重金属含量,导致此处平均值高于其他采样点。距路肩 6 m 处边坡土壤的 Cr,Cu,Pb 含量均值在所有采样距离中的值最低,这一方面是由于在高路基情况下汽车尾气向较远距离扩散,另一方面路面径流在 6 m 处之上已有一个过滤过程,使得 6 m 处的含量低于其他距离。Sutherland 等^[15]研究时指出大部分的 Pb 主要结合在较小粒径的粉尘上,迁移扩散距离远,这与本研究中 20 m 和 10 m 处采样点有树木枝叶的阻拦,Pb 含量高于 3 m 处的研究一致。

2.2 路基边坡土壤重金属污染特征

对图 1 中重金属含量进行分析得出,Cr 元素的

含量最高,为 23.35~40.00 mg/kg,Cu 元素居中,为 8.75~16.80 mg/kg,Pb 元素含量较低,为 4.15~13.05 mg/kg;路基边坡区域土壤中重金属 Cr,Cu,Pb 的变异系数分别为 11.24%,19.25%,23.62%。路基边坡区域土壤中 Cr,Cu,Pb 的平均含量分别为 30.01,13.18,7.97 mg/kg,均低于江苏地区土壤元素的背景值^[16]:77.8,22.3,26.2 mg/kg,这可能是由于江苏地区的土壤元素背景值属于大范围的统计值,而本文研究区域的背景值本身与江苏省的平均值有差异;与 1 km 采样处的对照土壤重金属 Cr,Cu,Pb 含量:31.40,12.95,8.05 mg/kg 相比,Cu 元素高于对照,Cr 和 Pb 元素低于对照,这可能与对照区土壤采自农田土有关,农田土由于长期受人为耕作活动和污染沉降的影响,导致其和路域附近的土壤重金属含量比较相近。土壤重金属的相关性可以推测重金属的来源的异同^[14]。对路基边坡区域土壤重金属元素间的相关性进行分析可得,Cr,Cu,Pb 三元素之间均具有显著的相关关系($P<0.01$),说明这三种重金属元素的主要污染来源可能是相同的。

表 3 离路肩不同距离处土壤重金属平均含量

距路肩 距离/m	重金属元素含量/(mg·kg ⁻¹)		
	Cr	Cu	Pb
3	30.25b±2.83	13.28b±2.87	7.44ab±0.92
6	28.33a±3.69	12.74a±2.58	7.28a±1.42
10	29.38ab±2.48	12.98ab±2.59	7.88b±2.71
20	32.07c±3.56	13.73c±2.31	9.28c±1.48

2.3 路基边坡土壤重金属污染现状评价

对路基边坡区域各采样区的三种重金属进行单因子评价和内梅罗评价,结果见表 4。

表 4 不同采样区污染指数统计

采样区	污染指数		距路基距离/m				平均值
			3	6	10	20	
A	单项污染指数 P_i	P_{Cr}	1.014	0.883	0.890	0.955	0.936
		P_{Cu}	1.288	1.232	1.270	1.234	1.256
		P_{Pb}	1.033	1.033	1.472	1.383	1.230
	内梅罗污染指数	P_N	1.203	1.144	1.348	1.291	1.246
B	单项污染指数 P_i	P_{Cr}	1.028	1.019	0.934	0.987	0.992
		P_{Cu}	1.126	1.054	1.006	1.088	1.069
		P_{Pb}	0.977	0.979	0.890	1.097	0.986
	内梅罗污染指数	P_N	1.086	1.036	0.975	1.077	1.044
C	单项污染指数 P_i	P_{Cr}	0.820	0.752	0.883	0.959	0.853
		P_{Cu}	0.723	0.708	0.736	0.782	0.737
		P_{Pb}	0.770	0.654	0.600	0.911	0.734
	内梅罗污染指数	P_N	0.796	0.728	0.815	0.922	0.815
D	单项污染指数 P_i	P_{Cr}	0.993	0.956	1.036	1.184	1.042
		P_{Cu}	0.965	0.947	0.997	1.136	1.012
		P_{Pb}	0.915	0.952	0.950	1.222	1.010
	内梅罗污染指数	P_N	0.976	0.954	1.016	1.201	1.037

由表 4 可知,采样区 A 的内梅罗污染指数 $1.0 < P_N \leq 2.0$,为Ⅲ级轻度污染,单项污染指数 P_{Cu} 、 P_{Pb} 大于 1, P_{Cu} 在 3 m 处大于 1,即达到轻度污染,其他距离 P_{Cr} 值小于 1,未污染;采样区 B 中,在 3, 6, 20 m 的距离处 $1.0 < P_N \leq 2.0$,属Ⅲ级轻度污染,10 m 距离为Ⅱ级警戒限,单项污染指数 P_i 数值为 0.890 ~ 1.126;采样区 C 的内梅罗污染指数 $0.7 < P_N \leq 1.0$,为Ⅱ级警戒等级, P_i 小于 1,范围为 0.600 ~ 0.959;采样区 D 在 3, 6 m 距离处内梅罗污染指数 $0.7 < P_N \leq 1.0$,为Ⅱ级警戒等级,10, 20 m 距离 $1.0 < P_N \leq 2.0$,显示轻度污染, P_i 值为 0.915 ~ 1.222。综合各采样点的三元素的单项污染指数,得出 P_{Cr} , P_{Cu} , P_{Pb} 的平均值分别为 0.957, 1.001, 0.953, 三种重金属污染排序为 $Cu > Cr > Pb$ 。从各区内梅罗污染指数的平均值来看,采样区 A, B, D 较其他采样区污染严重,路基边坡区域重金属污染排序为采样区 A > 采样区 B > 采样区 D > 采样区 C。

对路基边坡区域各采样区的三种重金属进行单一重金属潜在生态风险评价,各元素的 P_i 值选择采样区的平均值,得出 Cr, Cu, Pb 的 E_i 值分别为 1.911 6, 5.091 3, 4.949 4,属于轻微生态风险。多类重金属的总生态风险评价采样区 A, B, C, D 分别为 14.302 3, 12.255 3, 9.062 0, 12.189 5,生态风险程度为轻微级,这可能与该公路使用年限较短有关。

3 结论

(1) 盐淮高速公路路基边坡区域各采样区土壤重金属含量因填土来源和交通量不同存在差异, Pb 元素对交通量的响应更为明显,在交通相对繁忙的枢纽附近含量较高。由于污染物扩散特点及采样点植物阻截的原因,重金属在路基边坡区域土壤中的分布与距离路肩的远近呈现规律性。

(2) 路基边坡区域土壤中,三种重金属元素总体含量的排序为 $Cr > Cu > Pb$,三种元素之间具有显著的相关关系,其主要污染源是相同的。

(3) 盐淮高速公路路基边坡区域土壤中三种重金属的污染排序为 $Cu > Cr > Pb$,各采样区的污染程度不同。目前路基边坡区域土壤中重金属 Cr, Cu, Pb 的污染整体上尚不严重,生态风险为轻微级,但为保证附近农田土壤的使用安全,仍需继续监测土壤重金

属含量,并采取适当的保护措施避免污染加重。

参考文献:

- [1] 孙龙,韩丽君,何东坡. 绥满公路两侧森林区土壤一植被重金属的分布特征及污染评价[J]. 林业科学, 2009, 45(9): 72-78.
- [2] 鲁光银,熊瑛,朱自强. 岩溶地区公路路侧土壤中重金属污染及其评价[J]. 公路, 2007(3): 147-151.
- [3] 王成,鄒光发,杨颖,等. 高速路林带对车辆尾气重金属污染的屏障作用[J]. 林业科学, 2007, 43(3): 1-7.
- [4] 张庆利,史学正,黄标,等. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究[J]. 土壤, 2005, 37(1): 41-47.
- [5] Olajir A A, Ayodele E T. Contamination of roadside soil and grass with heavy metals[J]. Environment International, 1997, 23(1): 91-101.
- [6] 陈玲,赵建夫. 环境监测[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [7] 国家环境保护总局发布. 土壤环境监测技术规范[S]. 中华人民共和国环境保护行业标准, HJ/T 166-2004: 39-40.
- [8] 秦樊鑫,段婷婷. 测定土壤中重金属 Pb、Cd、Cu、Zn、Ni 前处理方法[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23(2): 81-83.
- [9] 钱翌,赵世刚. 青岛市不同生态功能区表层土壤重金属污染初步评价[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 352-356.
- [10] 许海,邵婉晨,李光辉,等. 沪宁高速公路(常州段)两侧农田土壤重金属污染状况检测评价[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 123-126.
- [11] Lars H. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [12] 赵沁娜,徐启新,杨凯. 潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2005(1): 111-116.
- [13] 张秀芝,马忠社,王三民. 城市环境地球化学调查研究方法综述[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(8): 106-108.
- [14] 秦莹,姜翼来,姜勇,等. 沈哈高速公路两侧土壤重金属污染特征及评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 663-667.
- [15] Sutherland R A, Tolosa C A. Variation in total and extractable elements with distance from roads in an urban watershed, honolulu, Hawaii [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2001, 127(1/4): 315-338.
- [16] 中国环境检测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.