

杭金衢高速公路沿线土壤重金属分布特征及污染评价

黄玉洁¹, 吴初平¹, 吴翠蓉², 焦洁洁¹, 袁位高¹, 虞敏之³, 朱锦茹¹

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江省林产品质量检测站, 浙江 杭州 310023;
3. 龙游县林业局, 浙江 衢州 324400)

摘要: 为探讨高速公路对沿线土壤重金属污染的影响及林带的防护作用, 于2016年6月, 在杭金衢高速公路沿线的衢州市龙游县模环乡、金华市婺城区罗埠镇2个路段分别各设置3个采样断面, 研究土壤重金属Pb, Cd, Ni, As和Cr的分布特征, 并采用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法对其污染状况进行评价。结果表明, 2个路段土壤重金属Cr含量最高, 其次为Pb或Ni, 最低为Cd。大部分采样点Pb, Cd, Ni, Cr含量明显高于金衢盆地土壤背景值。在0~160 m范围内, 随距路基变远, 土壤中Pb, Ni含量总体呈先升高后降低趋势, 而Cd, Cr呈逐渐降低趋势。6个断面中有3个断面土壤重金属整体处于轻度污染, 2个处于中度污染, 1个处于警戒级别。从不同林带宽度来看, 40 m林带对高速公路沿线土壤重金属的防护效果最好。

关键词: 土壤重金属; 分布; 污染评价; 高速公路

中图分类号: X825 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2019)04-0035-07

Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Heavy Metals in Hangjinq Expressway Roadside Soil

HUANG Yu-jie¹, WU Chu-ping¹, WU Cui-rong², JIAO Jie-jie¹, YUAN Wei-gao¹, YU Min-zhi³, ZHU Jin-ru¹

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang Forestry Product Quality Testing Station, Hangzhou 310023, China;
3. Longyou Forestry Bureau of Zhejiang, Quzhou 324400, China)

Abstract: Soil heavy metal content (Pb, Cd, Ni, As, Cr) was determined at Huanmo and Luobu village along Hangjinq Expressway in Zhejiang province in June 2016. The results showed content of Cr was the highest, followed by Pb or Ni, and Cd at two villages. The contents of Pb, Cd, Ni and Cr of the most sampling sites were significantly higher than the background value of soil in Jinq Basin. The trends of Pb and Ni content were increased and then decreased with the distance from the expressway within 160 m, while that of Cd and Cr were decreased gradually. The conclusion indicated that forest belt of 40 m had the best protective effect on soil.

Key words: soil heavy metal; distribution; pollution evaluation; expressway

随着我国经济社会的快速发展, 全国高速公路通车里程、路网密度和交通流量大幅增加, 机动车尾气排放、轮胎和零部件老化和磨损、机油和燃油泄露、路面磨蚀等都会引起路域环境的重金属污染^[1-2], 土壤可接纳环境中70%以上的重金属排放量^[3]。高速公路运营产生的重金属可以通过大气沉降、地表径流等途径进入土壤, 并通过植物吸收、吸附等方式污染农作物, 进而危害人类健康^[4]。国内外研究表明, 高速公路两侧土壤已遭不同

收稿日期: 2018-12-15; 修回日期: 2019-05-08

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目(2014SY15); 浙江省公益林公共管护支出项目(2013-40)

作者简介: 黄玉洁, 副研究员, 博士, 从事森林生态研究; E-mail:yujie2004_h@163.com; 通信作者: 朱锦茹, 研究员, 硕士, 从事森林生态研究; E-mail:chinazjzr@126.com

程度的重金属污染,大部分重金属含量自路基向两侧呈递减趋势,其内的植物也发生了不同程度的重金属积累^[5-7]。因此,研究和评价高速公路沿线土壤重金属污染状况对保护路域周边生态环境和作物健康具有重要意义。杭金衢高速公路贯穿浙江省中西部,是浙江连接中南、西南诸省,接轨上海的交通主动脉,也是浙江省穿越县市最多的高速公路,于2003年建成通车,全长290 km。本研究以杭金衢高速龙游县-婺城区段沿线表层土壤为研究对象,分析土壤重金属的分布特征,并采用单项污染指数法、内梅罗综合污染指数法对土壤重金属污染进行评价,进一步研究林带对土壤重金属污染的防护效应,以期为高速公路沿线土壤重金属污染防治和防护林带建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

根据路基状况及沿线防护林带情况等,于2016年6月,沿杭金衢高速公路龙游县至婺城区方向,在龙游县模环乡(以下简称模环乡)、婺城区罗埠镇(以下简称罗埠镇)2个路段,分别各设置3个垂直公路的断面(模环乡为L₁,L₂,L₃,罗埠镇为W₁,W₂,W₃),在每个断面上间隔不同距离设置6个采样点,其中,模环乡的3个断面采样点距路基距离为10 m,15 m,20 m,40 m,80 m,160 m;罗埠镇路段的3个断面距路基距离为5 m,10 m,20 m,40 m,80 m,160 m。每个采样点采集3个0~20 cm表层土组成混合样,共计36个混合样,土壤类型均为黄壤。同时对6个断面一侧的防护林带进行植被调查(表1)。

表1 采样断面基本情况
Table 1 Information of sampling location

采样路段	断面	林带宽度/m	林带主要乔木树种	路基类型
模环乡	L ₁	无林带	—	公路路面和沿线地面基本同一水平
罗埠镇	L ₂	40	湿地松 <i>Pinus elliottii</i> , 马尾松 <i>P. massoniana</i> , 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> , 樟 <i>Cinnamomum camphora</i> 。平均树高15 m,平均胸径11 cm	公路路面高于沿线地面,垂直落差2.5 m
	L ₃	5	毛竹 <i>Phyllostachys heterocycla</i> ‘Pubescens’, 平均高4 m	
	W ₁	2	加杨 <i>Populus × canadensis</i> , 平均树高18 m,平均胸径18 cm	
	W ₂	15	加杨, 平均树高18 m,平均胸径18 cm	
	W ₃	无林带	—	

1.2 样品分析

将采集的土样置于室温下自然风干,除去石子及植物叶片、残根等杂物,磨碎并过100目的尼龙网筛。土壤重金属Pb,Cd,Ni,As和Cr含量用HF-HNO₃-HClO₄消解后,采用原子吸收分光光度计测定^[8]。

1.3 土壤重金属污染评价方法

1.3.1 单项污染指数法 单项污染指数(P_i)能对土壤中某一重金属的污染程度进行评价,计算公式^[9]:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中,C_i为某一重金属*i*的实测含量,S_i为重金属*i*的评价参比值。本研究选用浙江省金衢盆地土壤背景值作为污染评价的参比值^[10](表2)。P_i≤1时,土壤未受到重金属明显影响;P_i>1时,土壤受到重金属污染,且值越大表示受重金属污染越严重。

表2 土壤重金属污染评价参比值
Table 2 Reference value of heavy metal pollution in soil

指标	Pb/(mg·kg ⁻¹)	Cd/(mg·kg ⁻¹)	Ni/(mg·kg ⁻¹)	As/(mg·kg ⁻¹)	Cr/(mg·kg ⁻¹)
金衢盆地土壤重金属背景值	33.75	0.16	16.76	7.68	45.37

1.3.2 内梅罗综合污染指数法 内梅罗综合污染指数(P_N)能更全面地对土壤重金属污染进行累积性综合评价,其计算公式:

$$P_N = \sqrt{(P_{i\text{ave}}^2 + P_{i\text{max}}^2)/2}$$

式中, P_{iave} , P_{imax} 分别为土壤重金属单项污染指数法评价结果的平均值和最大值。污染程度依据内梅罗综合污染指数法评价结果划分为 5 个等级: $P_N \leq 0.7$ 时, 土壤污染等级为安全, 污染水平为清洁; $0.7 < P_N \leq 1.0$ 时, 污染等级为警戒级, 污染水平为尚清洁; $1.0 < P_N \leq 2.0$ 时, 土壤污染等级为轻度污染; $2.0 < P_N \leq 3.0$ 时, 土壤为中度污染; $P_N > 3.0$ 时, 土壤污染等级为重度污染^[11]。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量的总体分布特征

从表 3 可以看出, 龙游县模环乡、婺城区罗埠镇 2 个路段中 L_1 , L_2 , L_3 , W_1 和 W_3 采样断面各土壤重金属平均值大小为 $Cr > Pb > Ni > As > Cd$, W_2 断面为 $Cr > Ni > Pb > As > Cd$, 即研究路段土壤重金属 Cr 含量最高, 其次为 Pb 或 Ni, 最低为 Cd, 这表明高速公路沿线各土壤重金属含量之间有一定的差异。自然条件下土壤重金属含量高低主要受成土母岩及生物残落物的影响, 但杭金衢高速经过多年运营, 其排放的重金属在路侧土壤中逐渐累积, 其中 Pb, Cd, Ni, Cr 含量大部分已明显高于金衢盆地土壤重金属背景值。模环乡路段 3 个断面 Pb, As 和 Cr 含量的平均值均为 $L_3 > L_1 > L_2$, Cd 和 Ni 为 $L_1 > L_3 > L_2$, 无林带、有 5 m 防护林带断面土壤重金属高于有 40 m 林带断面; 罗埠镇路段 3 个断面 Pb, Cd, Ni 含量的平均值均为 $W_1 > W_3 > W_2$, As 为 $W_1 > W_2 > W_3$, Cr 为 $W_3 > W_1 > W_2$, 除 As 之间差别不大外, 无林带、有 2 m 林带断面各土壤重金属高于有 15 m 林带断面。

对比 2 个路段, 模环乡沿线土壤重金属含量总体低于罗埠镇, 这可能与路基类型不同有关, 道路所处的局部地形会影响重金属在水平方向和垂直方向上的扩散。罗埠镇高速路面高于沿线地面, 垂直高度达 2.5 m, 开阔的地形有利于污染物的扩散。

表 3 土壤重金属含量
Table 3 Heavy metal contents in sampled soil

断面	Pb/ (mg · kg ⁻¹)		Cd/ (mg · kg ⁻¹)		Ni/ (mg · kg ⁻¹)		As/ (mg · kg ⁻¹)		Cr/ (mg · kg ⁻¹)	
	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值
L ₁	34.83 ~ 55.29	41.57	0.04 ~ 0.39	0.15	30.23 ~ 47.33	40.00	4.93 ~ 7.15	5.67	39.41 ~ 71.13	57.57
L ₂	27.44 ~ 46.82	35.74	0.04 ~ 0.11	0.08	18.23 ~ 35.56	25.62	3.12 ~ 6.20	4.99	32.25 ~ 62.09	47.65
L ₃	34.21 ~ 50.11	42.42	0.07 ~ 0.26	0.13	28.11 ~ 45.21	37.62	3.90 ~ 8.99	6.11	46.14 ~ 74.55	60.55
W ₁	34.35 ~ 64.25	50.88	0.18 ~ 0.40	0.27	35.38 ~ 58.52	47.91	4.81 ~ 7.35	6.40	45.36 ~ 74.94	59.66
W ₂	27.96 ~ 57.53	35.49	0.11 ~ 0.21	0.16	28.25 ~ 51.59	40.84	4.60 ~ 7.46	6.39	36.43 ~ 67.05	51.81
W ₃	37.53 ~ 69.23	52.79	0.20 ~ 0.32	0.26	29.51 ~ 66.32	44.73	5.79 ~ 7.35	6.27	54.54 ~ 75.00	65.35

2.2 土壤重金属含量随距离的变化状况

在模环乡路段, 随采样点距路基变远, 3 断面土壤 Pb 含量总体均呈先升高后降低趋势。 L_1 断面最高值出现在 80 m 处 (55.29 mg·kg⁻¹), 最低值出现在 10 m 处 (34.83 mg·kg⁻¹); L_2 最高值在 20 m 处 (46.82 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (27.44 mg·kg⁻¹); L_3 最高值在 80 m 处 (50.11 mg·kg⁻¹), 最低值在 15 m 处 (34.21 mg·kg⁻¹)。

土壤 Cd 含量 L_1 断面总体呈先升高后降低趋势, 其余 2 个断面呈逐步降低趋势, L_1 最高值在 10 m 处 (0.39 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (0.04 mg·kg⁻¹); L_2 最高值在 20 m 处 (0.11 mg·kg⁻¹), 最低值在 80 m 处 (0.04 mg·kg⁻¹); L_3 最高值在 10 m 处 (0.26 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (0.07 mg·kg⁻¹)。

土壤 Ni 含量 L_3 断面总体呈先降低后升高趋势, 其余 2 个断面呈先升高后降低趋势。 L_1 最高值在 40 m 处 (46.02 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (30.23 mg·kg⁻¹); L_2 最高值在 20 m 处 (35.56 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (18.23 mg·kg⁻¹); L_3 最高值在 160 m 处 (45.21 mg·kg⁻¹), 最低值在 20 m 处 (28.11 mg·kg⁻¹)。

土壤 As 含量 L_2 断面总体呈先降低后升高趋势, 其余 2 个断面呈先升高后降低趋势。 L_1 最高值在 40 m 处 (7.15 mg·kg⁻¹), 最低值在 80 m 处 (4.93 mg·kg⁻¹); L_2 最高值在 80 m 处 (6.20 mg·kg⁻¹), 最低值在 20 m 处 (3.12 mg·kg⁻¹); L_3 最高值在 15 m 处 (8.99 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (3.90 mg·kg⁻¹)。

3 个断面的土壤 Cr 含量总体均呈逐渐降低趋势, L_1 最高值在 10 m 处 (71.13 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (39.41 mg·kg⁻¹); L_2 最高值在 15 m 处 (62.09 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (32.25 mg·kg⁻¹); L_3 最高值在 10 m 处 (74.55 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (46.14 mg·kg⁻¹)。

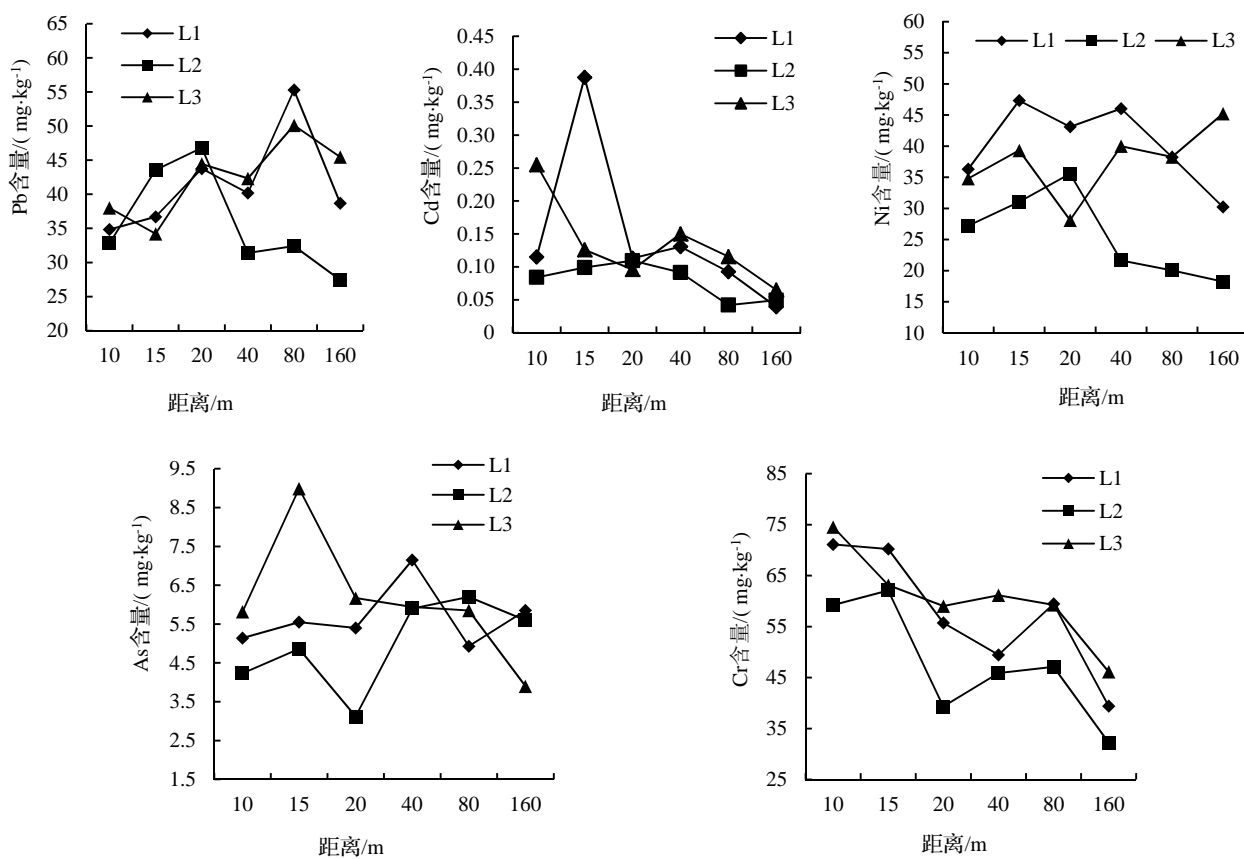


图 1 模环乡路段土壤重金属含量与距路基距离的关系

Figure 1 Relationship between soil heavy metal content and distance at Huanmo village

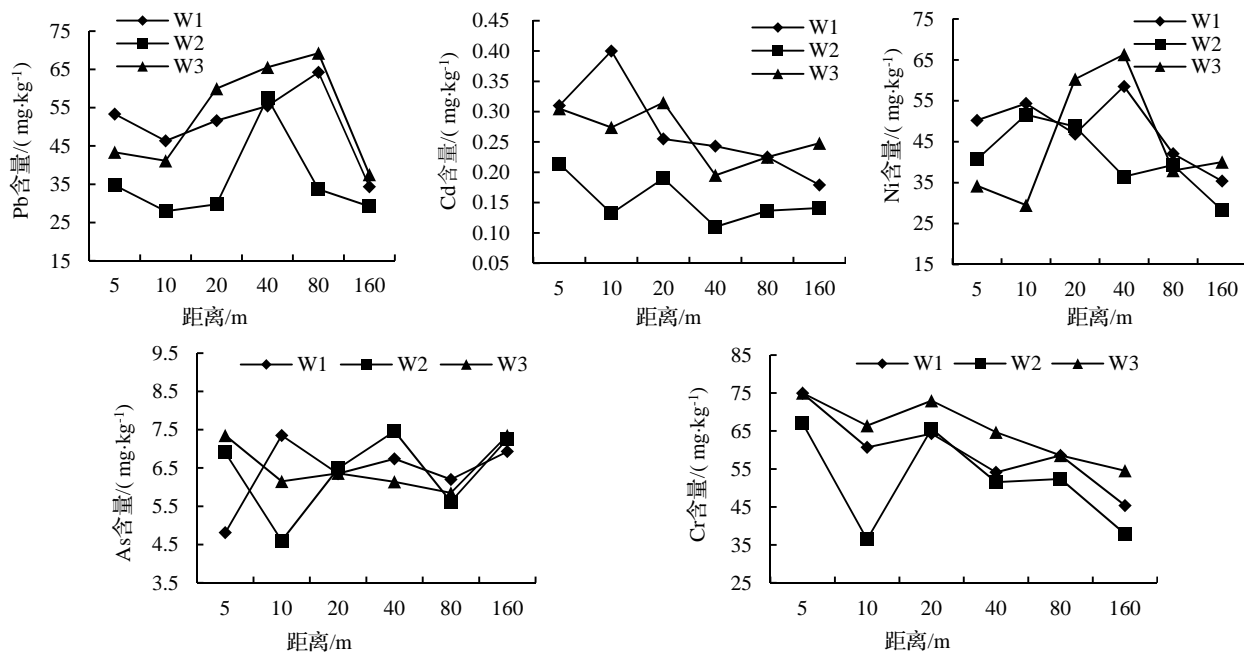


图 2 罗埠镇路段土壤重金属含量与距路基距离的关系

Figure 2 Relationship between soil heavy metal content and distance at Luobu village

在罗埠镇路段, 随距离变远, 3 个断面的土壤 Pb 含量总体均呈先升高后降低趋势, W₁ 最高值在距路基 80 m 处 (64.25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 最低值在 160 m 处 (34.35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); W₂ 最高值在 40 m 处 (57.53 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 最低值在

10 m 处 (27.96 mg·kg⁻¹); W₃最高值在 80 m 处 (69.23 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (37.53 mg·kg⁻¹)。土壤 Cd 含量 W₁断面总体呈先升高后降低趋势,其余 2 个断面总体呈逐步降低趋势,W₁最高值在距路基 10 m 处(0.40 mg·kg⁻¹),最低值在 160 m 处(0.18 mg·kg⁻¹);W₂最高值在 5 m 处(0.21 mg·kg⁻¹),最低值在 40 m 处(0.11 mg·kg⁻¹); W₃最高值在 20 m 处 (0.32 mg·kg⁻¹), 最低值在 40 m 处 (0.20 mg·kg⁻¹)。3 个断面土壤 Ni 含量总体均呈先升高后降低趋势, W₁最高值在距路基 40 m 处 (58.52 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (35.38 mg·kg⁻¹); W₂最高值在 10 m 处 (51.59 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (28.25 mg·kg⁻¹); W₃最高值在 40 m 处 (66.32 mg·kg⁻¹), 最低值在 10 m 处 (29.51 mg·kg⁻¹)。

土壤 As 含量 3 断面变化规律不明显, W₁最高值在距路基 10 m 处 (7.35 mg·kg⁻¹), 最低值在 5 m 处 (4.81 mg·kg⁻¹); W₂最高值在 40 m 处 (7.46 mg·kg⁻¹), 最低值在 10 m 处 (4.60 mg·kg⁻¹); W₃最高值在 5 m 处 (7.35 mg·kg⁻¹), 最低值在 80 m 处 (5.85 mg·kg⁻¹)。土壤 Cr 含量 W₂总体呈先降低后升高再降低趋势, 其余 2 个断面呈逐渐降低趋势, W₁最高值在距路基 5 m 处 (74.94 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (45.36 mg·kg⁻¹); W₂最高值在 5 m 处 (67.05 mg·kg⁻¹), 最低值在 10 m 处 (36.43 mg·kg⁻¹); W₃最高值在 5 m 处 (75.00 mg·kg⁻¹), 最低值 160 m 处 (46.14 mg·kg⁻¹), 最低值在 160 m 处 (54.54 mg·kg⁻¹)。

2.3 高速公路沿线土壤重金属污染评价

基于金衢盆地土壤重金属背景值, 各断面不同距离采样点的重金属污染评价结果见表 4。

表 4 土壤重金属污染评价
Table 4 Assessment on soil heavy metal pollution at sampled sites

路段	断面	距路基/m	P_i					P_N	综合污染等级
			Pb	Cd	Ni	As	Cr		
模环乡	L ₁	10	1.03	0.72	2.17	0.67	1.57	1.55	轻度
		15	1.09	2.42	2.82	0.72	1.55	2.73	中度
		20	1.30	0.71	2.57	0.70	1.23	2.08	中度
		40	1.19	0.82	2.75	0.93	1.09	2.34	中度
		80	1.64	0.58	2.28	0.64	1.31	1.72	轻度
		160	1.15	0.25	1.80	0.76	0.87	1.05	轻度
		平均值	1.23	0.91	2.40	0.74	1.27	1.91	轻度
	L ₂	10	0.97	0.53	1.62	0.55	1.31	0.91	警戒级
		15	1.29	0.62	1.85	0.63	1.37	1.19	轻度
		20	1.39	0.68	2.12	0.41	0.87	1.42	轻度
		40	0.93	0.57	1.29	0.77	1.01	0.63	警戒级
		80	0.96	0.26	1.20	0.81	1.04	0.54	安全
		160	0.81	0.31	1.09	0.73	0.71	0.43	安全
		平均值	1.06	0.50	1.53	0.65	1.05	0.85	警戒级
	L ₃	10	1.13	1.59	2.08	0.76	1.64	1.60	轻度
		15	1.01	0.79	2.35	1.17	1.39	1.83	轻度
		20	1.32	0.60	1.68	0.80	1.30	1.03	轻度
		40	1.25	0.94	2.39	0.77	1.35	1.87	轻度
		80	1.48	0.72	2.28	0.76	1.31	1.73	轻度
		160	1.35	0.41	2.70	0.51	1.02	2.18	中度
		平均值	1.26	0.84	2.24	0.80	1.33	1.71	轻度
罗埠镇	W ₁	5	1.58	1.94	3.00	0.63	1.65	3.02	重度
		10	1.37	2.50	3.24	0.96	1.34	3.52	重度
		20	1.53	1.59	2.80	0.83	1.42	2.62	中度
		40	1.64	1.52	3.49	0.88	1.19	3.81	重度
		80	1.90	1.41	2.51	0.81	1.29	2.20	中度
		160	1.02	1.12	2.11	0.90	1.00	1.49	中度
		平均值	1.51	1.68	2.86	0.83	1.32	2.78	中度
	W ₂	5	1.03	1.34	2.43	0.90	1.48	1.99	轻度
		10	0.83	0.83	3.08	0.60	0.80	2.74	中度
		20	0.88	1.25	2.91	0.84	1.44	2.65	中度
		40	1.70	0.69	2.18	0.97	1.14	1.63	轻度
		80	1.00	0.85	2.35	0.73	1.15	1.75	轻度
		160	0.87	0.88	1.69	0.95	0.84	0.98	警戒级
		平均值	1.05	0.97	2.44	0.83	1.14	1.96	轻度
	W ₃	5	1.28	1.91	2.04	0.96	1.65	1.66	轻度
		10	1.22	1.71	1.76	0.80	1.46	1.26	轻度
		20	1.78	1.97	3.60	0.83	1.61	4.19	重度
		40	1.94	1.22	3.96	0.80	1.43	4.79	重度
		80	2.05	1.41	2.27	0.76	1.29	1.89	轻度
		160	1.11	1.55	2.39	0.75	1.20	1.92	轻度
		平均值	1.56	1.63	2.67	0.82	1.44	2.62	中度

在模环乡路段, 3 个断面不同距离各采样点的 Pb, Ni, Cr 均基本超过土壤背景值, 受到污染, 其他 2 种重金属仅有个别采样点受到污染; 从内梅罗综合污染指数来看, L_1 断面的 10, 80, 160 m 处为轻度污染, 15, 20, 40 m 处为中度污染, L_1 整体处于轻度污染; L_2 的 80, 160 m 处为安全清洁, 10, 40 m 处为警戒级别, 15, 20 m 处为轻度污染, L_2 整体处于警戒级别; L_3 除 160 m 处为中度污染外, 其余各采样点为轻度污染, L_3 整体处于轻度污染。在罗埠镇路段, 各断面不同距离采样点也不同程度受到 Pb, Ni, Cr 的污染, W_1 , W_3 均受到 Cd 污染。从综合污染指数来看, W_1 的 20, 80, 160 m 处为中度污染, 5, 10, 40 m 处为重度污染, W_1 整体处于中度污染; W_2 的 5, 40, 80 m 处为轻度污染, 160 m 处为警戒级别, 10, 20 m 处为中度污染, W_2 整体为轻度污染; W_3 除 20, 40 m 处为重度污染外, 其余各采样点为轻度污染, W_3 整体处于中度污染。

3 讨论与结论

3.1 距离变化对土壤重金属分布的影响

2 个路段的 6 个断面, 随着采样点距离变远, 土壤 Pb 含量总体均呈先升高后降低趋势; 除 L_3 外, 其余 5 个断面土壤 Ni 含量总体呈先升高后降低趋势。除 W_2 外, 其余 5 个断面土壤 Cr 含量呈逐渐下降趋势。土壤 Cd 则有 4 个断面总体呈逐渐降低趋势。有研究表明, 公路两侧土壤重金属含量随距路基垂直距离的增加逐渐降低^[12], 其它研究则表明, 路侧土壤一些重金属随距离增加而先升高后降低, 即并不是越靠近公路含量越高, 而是在一定距离区域最高^[13-15]。可见, 本研究中 Pb, Ni, 及 Cd, Cr 分别对应着上述两种变化情况。Viard 等^[16]研究表明, 公路产生的重金属进入沿线土壤的扩散方式, 是影响不同距离土壤重金属含量变化的主要原因。胡晓荣等^[17]研究认为, 汽车尾气排放的 Pb, Ni 扩散模型遵从无线线源正态分布, 尾气携带的重金属扩散至一定距离后才与地面接触, 并出现最大值后逐渐下降。Cr 主要来自于车体腐蚀, 主要通过扬尘扩散或地表径流进入路测^[18], Cd 则以路面径流和溅散为主要方式进入土壤^[19], 因此, Cr 和 Cd 在近距离处含量较高。As 的变化规律不是很明显, 可能是其受多种因子综合影响的缘故, 如路侧农田灌溉、施肥的影响^[20]。

3.2 林带对土壤重金属污染的防护效应

在模环乡 3 个断面, L_1 无林带断面 6 个采样点中有 3 个采样点综合污染等级为轻度污染, 3 个点为中度污染, 路段整体处于轻度污染; L_2 40 m 林带断面中有 2 个点综合污染等级为安全级别, 2 个点为警戒级别, 还有 2 个为轻度污染, 路段整体处于警戒级别; L_3 5 m 林带断面中有 5 个点综合污染等级为轻度污染, 1 个点为中度污染, 路段整体处于轻度污染。可见, 40 m 宽度的林带能对重金属起到有效的防护作用。在罗埠镇 3 个断面, L_1 2 m 林带断面的 6 个采样点中有 3 个点综合污染等级为中度污染, 3 个点为重度污染, 路段整体处于中度污染; L_2 15 m 林带断面中有 2 个点的综合污染等级处于中度污染, 4 个点为轻度污染, 路段整体处于轻度污染; L_3 无林带断面中有 4 个点综合污染等级为轻度污染, 2 个点为重度污染, 路段整体处于轻度污染。相比而言, 有 15 m 林带的防护作用最好。综上表明, 林带越宽土壤重金属污染程度越轻。许多学者认为, 在路侧林带一方面通过树叶、枝、皮等吸收、吸附空气中的重金属, 起到净化大气的作用, 另一方面通过降低近地风速, 拦截粉尘及颗粒物中重金属的在近距离沉降, 再经根系吸收减轻土壤污染^[4]。研究路段经过林带“过滤”后, 在距路基 160 m 处大部分土壤重金属已低于区域背景值。因此, 为确保食品生产质量安全, 建议在研究区距高速公路 160 ~ 200 m 范围内不种植农作物。

3.3 高速公路沿线防护林带配置建议

林带宽度是影响重金属污染防治效应的重要因素, 本研究中由湿地松、马尾松、杉木、樟组成的 40 m 混交防护林带起到了很好的防护效果, 相比无林带和有较窄林带的断面, 土壤重金属含量的峰值和平均值都降低, 即林带的防护效应表现在既缩小污染范围又降低污染程度。建议高速公路林带建设宽度 40 m 左右。另外, 选择高抗污染和高富集能力的植物, 建设乔、灌、草相结合的近自然复层群落结构, 在保障林带防护功能的前提下, 形成良好的绿化景观。

参考文献:

- [1] SINGH G, MAITI S K, GHOSH S P. Heavy metal contamination in roadside soil and vegetation: a review[J]. Ind J Environ Protect, 2009, 29 (4) : 334 – 341.
- [2] BANERJEE A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India[J]. Environ Pollut, 2003, 123 (1) : 95 – 105.
- [3] JEROME O N. A history of global metal pollution[J]. Science, 1996, 272 (5259) : 223 – 224.
- [4] 王荣芬, 邱尔发, 唐丽清. 道路林带对重金属的监测及防护作用研究现状[J]. 世界林业研究, 2013, 26 (3) : 46 – 51.
- [5] NABULO G, ORYEMORIGA H, DIAMOND M. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda[J]. Environ Res, 2006, 101 (1) : 42 – 52.
- [6] 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.
- [7] 马建华, 谷蕾, 李文军. 连霍高速郑商段路旁土壤重金属积累及潜在风险[J]. 环境科学, 2009, 30 (3) : 894 – 899.
- [8] 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, 47 – 211.
- [9] 李祚泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004, 19 – 21.
- [10] 范允慧, 王艳青. 浙江省四大平原区土壤元素背景值特征[J]. 物探与化探, 2009, 33 (2) : 132 – 134.
- [11] 马军, 刘爱琴, 侯晓龙, 等. 福州城市边缘区森林土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (3) : 149 – 153.
- [12] 郭广慧, 雷梅, 陈同斌, 等. 交通活动对公路两侧土壤和灰尘中重金属含量的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28 (10) : 1937 – 1945.
- [13] 秦莹, 娄翼来, 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.
- [14] 王初, 陈振楼, 王京, 等. 上海市崇明岛公路两侧土壤重金属污染研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17 (1) : 105 – 108.
- [15] 朱建军, 崔保山, 杨志峰, 等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J]. 生态学报, 2006, 28 (10) : 146 – 153.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] HJORTENKRANS D, BERGBACK B, HAGGERUD A. New metal emission patterns in road traffic environments[J]. Environ Monit Assess, 2006, 117 (1/3) : 85 – 98.
- [19] 王天巍, 蔡崇法, 李朝霞, 等. 道路边际土壤重金属分布格局的神经网络模拟——以现代黄河三角洲为例[J]. 生态学报, 2009, 29 (6) : 3154 – 3162.
- [20] 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.