

# Pollution Assessment of Heavy Metals in Farming-Pastoral Ecotone of Roadside Soils

—A Case Study of S104 from Wuchuan to Zhaohe

Wenbang Gao, Hongtao Jiang\*, Chunxing Hai, Jing Shi, Yuhao Wang

Inner Mongolia Normal University, Huhhot Inner Mongolia  
Email: gaowenbang619@163.com, \*jianghongtao2003@126.com

Received: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: Feb. 18<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 26<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

With the development of economy, conduct of road traffic to an extent has resulted in soil metals pollution along the road in farming-pastoral ecotone. Selecting 0 - 200 m surface soil along the 104 road from Wuchuan to Zhaohe in farming-pastoral ecotone North China, we took 192 samples in farmland, forest, grassland and gauge the content of soil metals such as Cd, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb. Based on the content of soil heavy metals, the research assessed the pollution situation with method of geoaccumulation index and potential ecological index. Pollution assessment showed that some individual kinds of heavy metals contaminated soil in 5 - 50 m area to road, and other areas were not contaminated. The rate of ecology risk was low, but with the distance towards road increasing, the RI index decreased. The highest degree of land use is farmland; the second is forest; the degree of grassland is the lowest.

## Keywords

Soil Heavy Metal, Pollution Assessment, S104 Road, Farming-Pastoral Ecotone

---

# 农牧交错区路域表层土壤重金属污染评价

—以省道104武川-召河段为例

高文邦, 姜洪涛\*, 海春兴, 史静, 王雨浩

内蒙古师范大学, 内蒙古 呼和浩特  
Email: gaowenbang619@163.com, \*jianghongtao2003@126.com

收稿日期: 2018年2月2日; 录用日期: 2018年2月18日; 发布日期: 2018年2月26日

---

\*通讯作者。

## 摘要

随着经济的发展, 道路交通在一定程度上导致了农牧交错带道路周边土壤重金属污染。本文以北方农牧交错区内省道104武川-召河段路旁0~200 m土壤表层为研究对象, 采集农地、林地、草地土壤样品192个, 进行重金属Cd、Zn、Cr、Ni、Cu、Pb含量测定。以此为基础用地累积指数评价及潜在生态危害评价方法评价了研究区的污染状况。研究表明: 距路基5~30 m范围内个别重金属含量的地累积指数达到轻度污染状态值, 其他距离范围内为无污染状态。从潜在生态危害评价结果来看, 三种土地类型土壤重金属生态风险都属于低生态风险等级, 但是RI指数在5~10 m内都大于其他区域, 随着离路基距离越远, 生态风险指数逐渐降低。生态风险等级最高为农地, 其次为林地, 最后为草地。

## 关键词

土壤重金属, 污染评价, S104公路, 农牧交错带

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

农牧交错带是指农区与牧区之间的过渡性地带。中国北方农牧交错带不仅是我国面积最大的交错带, 同时也是世界四大农牧交错带之一[1] [2]。该区域生态结构稳定性差, 生态问题频发, 诸如土壤沙漠化, 草地退化, 盐渍化这些问题已经引起很多学者的关注[3] [4], 土壤污染研究较少, 道路交通沿线引起的土壤重金属污染更是鲜有研究。

随着经济的高速发展, 公路里程和路网密度大幅增加, 道路交通对路域土壤的污染日益突出。道路交通行为向路旁土壤中排放重金属和多环芳香烃[5], 重金属在土壤中的积累通过食物链在生物体内富集, 对食品安全、人类健康以至于生态环境造成影响[6]。王初等学者的研究表明, 即使交通流量不大, 但是公路长期运营也会导致公路两侧出现较严重的镉(Cd)、铅(Pb)污染[7]。国内外学者根据研究侧重点的不同对土壤重金属污染评价作了大量研究, 主要集中在三个方面: 土壤重金属污染程度评价、土壤重金属环境生态风险评价、土壤重金属健康风险评价。其中土壤重金属污染评价传统方法有地累积指数法[8]、单因子指数法[9]、内梅罗综合污染指数法[10]、富集因子法[11]、模糊数学法[12]、物元分析法[13]。土壤重金属传统生态风险评价方法主要有潜在生态风险评价法[14]、基于形态学的RAC (风险评价编码)法[15]。土壤重金属健康风险评价主要是基于人体健康的风险评价[16]。近年来, 基于GIS技术的地统计模型[17]、基于GIS技术的人工神经网络模型[18]、生物评价法[19]等众多方法也有大量研究。综合以上方法, 有学者对其进行分类, 陈晓燕等人将传统的重金属污染评价方法归纳为指数法和数学模型指数法[20]。谢志宜等人按照评价对象归纳为单因子指数法和综合评价法两类[21]。

本研究对省道104武川-召河段一侧农田、林地、草地中的重金属含量分布特征进行测定分析, 利用地累积指数法对土壤重金属污染状况进行评价, 用潜在生态危害指数法对土壤生态安全进行评价。为未来农牧交错区公路旁土壤中重金属污染防治及土地合理利用规划提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

S104 自首府呼和浩特, 穿越武川、百灵庙, 到达包头市白云鄂博矿区。全长 212 公里, 是中西部草原腹地的一条旅游通道, 同时也是白云鄂博矿产资源的输出通道。研究区土壤属于水平地带性分布的栗钙土、棕钙土为主体土类, 局部地方因地形、母质、水分条件的差异, 发育成隐域性土壤。地带性分布土壤约占总面积的 92.7%; 非地带性土壤类型有草甸土、潮土、石质土与盐土。土壤质地多为沙壤、轻壤, 并有不同程度的砾质化。土壤肥力普遍较低, 有机质含量 1.0%~1.8%, 主要养分含量特点为氮、磷较低, 钾较高。年平均气温 3.64℃, 年日照总时数 2932.8 小时, 年平均降水量 338.32 mm, 全年大风日数 23 天。春季大风吹走表土, 夹带泥沙, 经常形成沙暴天气(图 1)。

### 2.2. 野外调查与采样

本研究以武川-召河段为研究对象, 在道路一侧选取三种典型土地类型, 进行采样。具体采样方案为: 在垂直公路方向沿路基设取样线, 在取样线上设采样点, 距公路路基分别为 5 m、10 m、20 m、30 m、40 m、50 m、100 m、200 m。在每个采样点上画一条与公路平行的 30 m 线段, 然后在线段上等距布设 5 个 1 m<sup>2</sup> 的采样单元, 每个采样单元内按“梅花形”布点分别采集不同深度(0~5 cm, 5~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm)的 5 个土壤样品(每个子样重约 200 g)。按同一深度每五个样品混合为一个样品, 最后将 5 个采样单元同一深度所采集的 25 个子样充分混合, 按“四分法”舍弃多余样品, 保留约 1 kg 样品。三种路段共采集样品 192 个。采样示意图如图 2 所示。

土壤样品经自然风干、磨碎后, 分别过 2 mm、1 mm 和 0.15 mm 尼龙筛。

### 2.3. 样品测定

土壤样品中重金属总量提取用 HCl-HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub> 消解法。土壤重金属锌(Zn)、铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)

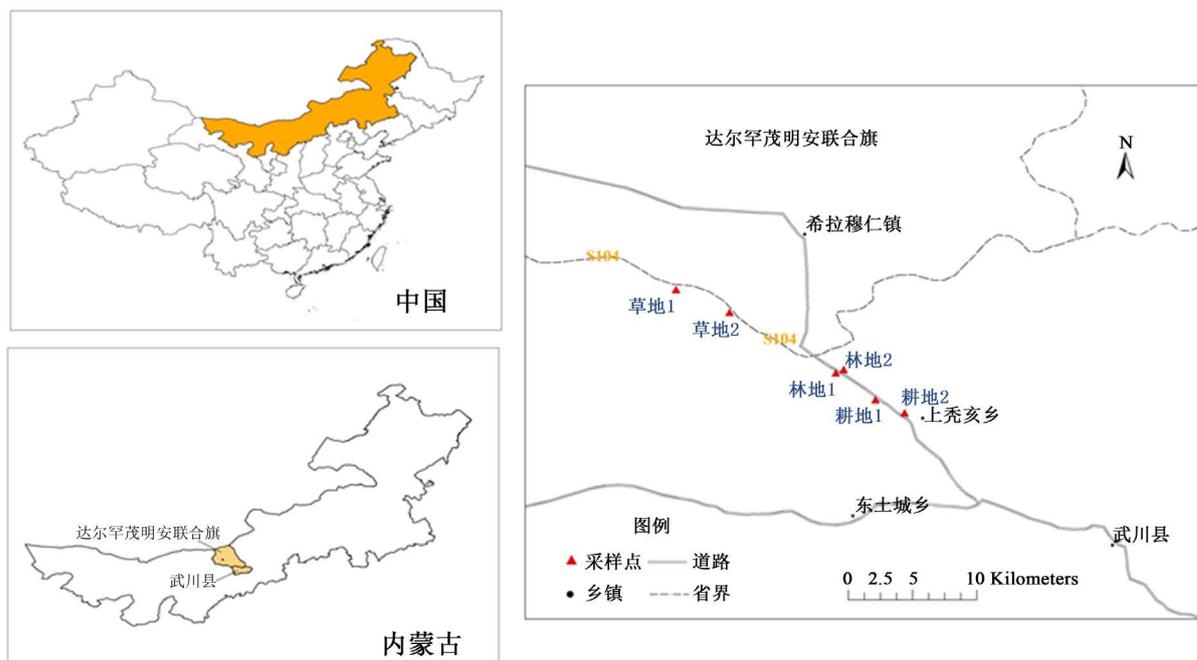


Figure 1. Location of research area and distribution of sampling points  
图 1. 研究区示意图及样点分布

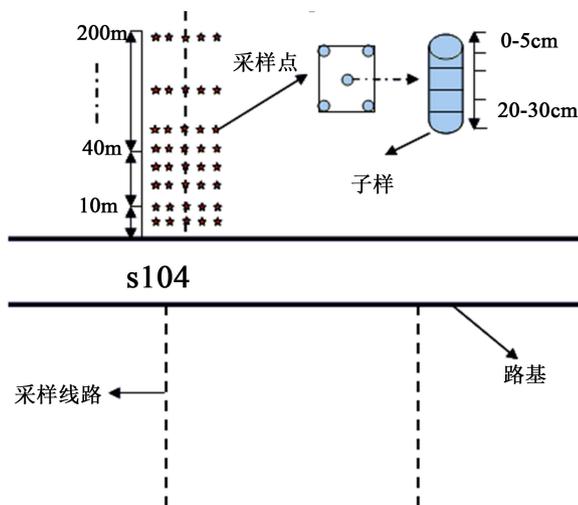


Figure 2. Route and method of sampling points  
图 2. 采样线路及采样方法示意图

利用火焰原子吸收分光光度法测定, 镉(Cd)、铅(Pb)用石墨炉原子吸收分光光度法测定, 仪器为 TAS-990 原子吸收分光光度计。所有元素的测定标准都参照国家标准。

## 2.4. 数据分析

本文重金属含量的研究采用 0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm 的三层土壤重金属含量的平均值。数据处理和统计分析运用 Excel2010 和 SPSS15.0 进行。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 公路一侧土壤重金属污染评价

#### 3.1.1. 地累积指数评价(单因子指数评价)

地累积指数是评价土壤与沉积物中化学元素积累程度的常用指数, 也是广泛应用于欧洲沉积物及其他重金属污染程度的定量方法, 这种评价方法以重金属实测值与其地球化学背景值之商的对数  $I_{geo} = \log_2 C_i - \log_2 [K \times B_n]$  [22]表示。该方法充分反映了土壤被污染引起的相对于本底背景值的变化程度, 不仅能反映出重金属分布的自然变化特征, 而且可以判别人为活动对环境的影响, 是区分人为活动影响的重要参数。

计算公式为[22]

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left[ \frac{C_i}{(K \times B_n)} \right]$$

$I_{geo}$  为某项重金属元素的地累积指数,  $K$  为考虑各地岩石差异可能引起的背景值变异而取的系数(一般取值为 1.5),  $C_i$  为表层土壤该项重金属元素浓度的实测值,  $B_n$  为粘质沉积岩中该元素的地球化学背景值, 本文以内蒙古自治区土壤环境背景值作为  $B_n$  值[23]。

表 1 为地累积指数( $I_{geo}$ )与污染程度分级[22]。

从地累积指数评价结果来看, 农地研究区公路农地 1 距路基 5~200 m 范围内重金属镉(Cd)、镍(Ni)、铜(Cu)都属于无污染状态, 铬(Cr)在距路基 30 m 处为轻度污染状态, 地累积指数为 0.11, 锌(Zn)在距路基 10 m 处为轻度污染状态, 地累积指数为 0.11, 其他区域均为无污染状态。铅(Pb)在距路基 5 m、10 m、100 m 处地累积指数都为 0.02, 50 m 处为 0.08, 均数轻度污染状态, 其他区域为无污染状态。农地 2 中 5 m 处镉(Cd)为轻度污染状态, 地累积指数为 0.18, 其他区域为无污染状态。铅(Pb)路基 5 m、10 m 处地

**Table 1.** The classification of Geo-cumulative assessment index**表 1.** 地累积指数( $I_{geo}$ )与污染程度分级

$I_{geo}$	<0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
污染分级	0	1	2	3	4	5	6
污染程度	无	轻度	中等	偏重	重	严重	极严重

累积指数分别为 0.1、0.08，属轻度污染状态，其他区域都为无污染状态。

林地研究区林地 1 距路基 5 m、10 m 处镉(Cd)的地累积指数分别为 0.11、0.29，达到轻度污染状态，铬(Cr)在距路基 5 m、10 m 地累积指数为 0.65、0.61，也达到轻度污染状态。铅(Pb)在同样位置的地累积指数分别为 0.29、0.39，达到轻度污染状态。锌(Zn)在 5~30 m 都为轻度污染状态，地累积指数分别为 0.57、0.15、0.18、0.03。其他区域为无污染状态。镍(Ni)、铜(Cu)都为无污染状态。林地 2 有镉(Cd)、铅(Pb)在距路基 5 m 处达到轻度污染状态，地累积指数分别为 0.03、0.32。铬(Cr)、锌(Zn)、镍(Ni)、铜(Cu)在其他区域都为无污染状态。

草地研究区草地 1 中镉(Cd)、铬(Cr)、镍(Ni)在距路基 5 m 处的地累积指数分别为 0.36、0.16、0.01，达到轻度污染状态，其他区域为无污染状态。铜(Cu)在距路基 5 m、10 m 处为轻度污染状态，地累积指数分别为 0.95、0.01，其他区域为无污染。铅(Pb)在该研究区都未达到污染状态。草地 2 除铅(Pb)在 50 m 处到达轻度污染状态，地累积指数为 0.01，其他重金属都为无污染状态。

### 3.1.2. 潜在生态风险评价(综合指数评价)

潜在生态风险评价指数由 Lars Hakanson 于 1980 年提出，该指数法不仅反映了某一特定环境中各种污染的影响，也反映了多种污染物的综合影响，并以定量的方法划分出潜在生态危害的程度，是目前国内外土壤(沉积物)中重金属污染评价研究的先进方法之一。

潜在生态风险评价公式[24]

$$E_i = T_i \times C_i / C_{0i}$$

$E_i$  为某项重金属元素的潜在生态风险指数， $T_i$  为生态潜在风险系数，其中，Cd = 30，Pb = Cu = Ni = 5，Cr = 2，Zn = 1。 $C_i$  为表层土壤该重金属元素浓度的实测值， $C_{0i}$  为参比值，本文以内蒙古自治区土壤环境背景值作为参比值。综合指数[24]

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i$$

$n$  为重金属种类。当  $RI$  值 < 150 时，生态风险等级为低风险，150 <  $RI$  < 300 时，为中等风险，300 <  $RI$  < 600，为高风险， $RI$  > 600，为极高风险[24]。

依据潜在风险评价指数评价结果来看(表 2)，公路旁 5~200 m 范围内三种土地类型土壤重金属生态风险都处于低生态风险等级。但  $RI$  指数随着离路基距离的增大而降低，表明路基附近土壤生态风险有上升的趋势。 $RI$  指数在农地 1 中 5~10 m 内都大于其他区域。农地 2 中一个最高值和一个较高值分别出现在离路基 5 m 和 50 m 处。林地 1  $RI$  指数最高值出现在离路基 10 m 处，5 m 处出现第二高值，且 5~10 m 处的  $RI$  指数显著大于其他区域。林地 2 情况与林地 1 类似，但 10 m 处  $RI$  指数较林地 1 低很多。草地 1 最高值出现在离路基距离 5 m 处，第二高值出现在离路基 10 m 处，5 m 处  $RI$  指数显著高于其他区域。草地 2  $RI$  指数普遍较低，但是 5 m 处高于其他区域。从  $RI$  指数均值来看，生态风险等级从高到低的顺序依次为农地 2 > 草地 1 > 林地 1 > 林地 2 > 农地 1 > 草地 2，农地 2 生态风险等级最高，草地 2 生态风险等级最低。综合各用地类型的  $RI$  指数均值来看，生态风险等级最高为农地，其次为林地，最后为草地。

**Table 2.** The assessment results of potential ecological risk  
**表 2.** 潜在生态风险评价结果

		5 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	100 m	200 m	RI	综合 均值
农 地	农地 1	63.97	55.82	51.29	45.67	50.05	51.98	47.88	42.5	51.15	55.29
	农地 2	70.56	57.23	58.71	59.92	60.53	63.14	50.19	55.19	59.43	
林 地	林地 1	76.46	82.55	50.26	49.14	52.25	41.74	50.94	40.4	55.47	54.67
	林地 2	72.31	55.53	52.77	49.93	53.49	52.71	47.3	47	53.88	
草 地	草地 1	92	61.7	49.7	51.25	50.23	53.6	52.68	50.26	57.68	51.08
	草地 2	53.16	44.25	47.16	44.49	45.14	41.01	41.57	39.03	44.48	

#### 4. 结论

1) 从地累积指数评价结果来看,道路交通行为主要导致距路基 5~30 m 范围内重金属含量轻度污染, 50 m、100 m 处只有个别重金属达到轻度污染状态, 其他区域为无污染状态。

2) 从潜在生态危害评价结果来看, 三种土地类型土壤重金属生态风险都属于低生态风险等级, 但是 RI 指数在 5~10 m 内都大于其他区域, 随着离路基距离的增大, 生态风险指数逐渐降低。生态风险等级最高为农地, 其次为林地, 最后为草地。

#### 基金项目

内蒙古师范大学大学与蒙古国合作研究项目(批准号 2015MGHZ011)资助。

#### 参考文献 (References)

- [1] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 周瑞莲. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.
- [2] 肖鲁湘, 张增祥. 农牧交错带边界判定方法的研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(2): 104-111.
- [3] 高志强, 刘纪远, 曹明奎, 李克让, 陶波. 土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2004, 34(10): 946-957.
- [4] 王静爱, 徐霞, 刘培芳. 中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 21-26 + 10.
- [5] 朱梦杰, 汤琳, 刘丹青. 交通干道沿线土壤重金属监测与评估综述[J]. 中国环境监测, 2015, 31(3): 84-91.
- [6] 李吉锋. 关中公路土壤重金属污染及潜在生态危害分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 744-747.
- [7] 王初, 陈振楼, 王京, 周乃晟, 许世远. 上海崇明岛交通干线两侧农田土壤和蔬菜 PbCd 污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2007(2): 634-638.
- [8] Forstner, U. (1989) Lecture Notes in Earth Sciences (Contaminated Sediments). Springer Verlag, Berlin, 107-109.
- [9] 朱晓东, 韦朝阳, 杨芬. 包头-白云鄂博地区重金属基线值的厘定及其在重金属污染分级评价中的应用[J]. 自然资源学报, 2016, 31(2): 310-320.
- [10] 李晓婷, 刘勇, 王平. 基于支持向量机的城市土壤重金属污染评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1359-1365.
- [11] 卞凯, 于瑞莲, 胡恭任, 江嵩鹤. 安溪铁观音茶园垂直剖面土壤中稀土元素的地球化学特征[J]. 地球与环境, 2017, 45(2): 145-150.
- [12] 孔德秀, 姜守俊. 用模糊数学法评价高速公路两侧土壤的污染程度[J]. 环境研究与监测, 2008(2): 6-9 + 28.

- [13] 苏海民, 何爱霞, 袁新田. 应用物元分析法评价矿区周边土壤重金属污染的变化[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 173-178.
- [14] 杨净, 王宁. 夹皮沟金矿开采区土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(3): 595-600.
- [15] 庞文品, 秦樊鑫, 吕亚超, 等. 贵州兴仁煤矿区农田土壤重金属化学形态及风险评估[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1468-1478.
- [16] Liu, E., Yan, T., Birch, G., *et al.* (2014) Pollution and Health Risk of Potentially Toxic Metals in Urban Road Dust in Nanjing, a Mega-City of China. *Science of the Total Environment*, **476**, 522-531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.055>
- [17] 谢百峰, 杜平, 曹百者, 等. 基于地统计条件模拟的土壤重金属污染范围预测方法研究[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(1): 1-6.
- [18] 胡大伟, 卞新民, 许泉. 基于 ANN 的土壤重金属分布和污染评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 475-479.
- [19] 郑丽萍, 工国庆, 林上锁, 等. 贵州省典型矿区土壤重金属污染对蛆州的毒性效应评估[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(2): 258-265.
- [20] 陈晓燕, 范成五, 瞿飞, 王文华, 秦松. 土壤重金属污染评价方法概述[J]. 浙江农业科学, 2017(10): 1801-1804 + 1810.
- [21] 谢志宜, 张雅静, 陈丹青, 杨剑军, 梁耀杰. 土壤重金属污染评价方法研究——以广州市为例[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7): 1329-1337.
- [22] 许柏宁, 王鹏, 王建壹, 王崇臣. 北京某环路两侧土壤重金属污染风险评价[J]. 环境化学, 2014, 33(12): 2152-2161.
- [23] 王再岚, 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(2): 15-19.
- [24] Hakanson, L. (1980) An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control Asedimentological Approach. *Water Research*, **14**, 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)