

沟谷地不同植被下土壤重金属纵向分异研究

刘晓辉^{1, 2}, 吕宪国^{1*}, 刘惠清³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要:研究了长春市君子兰公园孟家河沟谷地纵向剖面不同植被(乔木、灌木、菜地和裸地)下土壤重金属的分异规律.沿沟谷地纵向剖面自上游向下游方向,在距离沟边 2 m 处的谷地坡面上,采集不同植被覆盖下的土壤样方,通过对各样点的土壤表层重金属(Zn、Pb、Cu)的全量分析,得出沟谷地不同植被类型下土壤重金属的分异特征.结果显示,在不同的植被类型覆盖下,土壤重金属含量值有明显差异,Zn 的变化范围在 70.3 ~ 290.9 mg·kg⁻¹, Pb 在 39.8 ~ 79.3 mg·kg⁻¹, Cu 在 20.3 ~ 63.4 mg·kg⁻¹, Zn、Pb、Cu 全量具有裸地高于菜地土壤、菜地土壤高于乔木土壤、乔木土壤高于灌木土壤的特征.不同植被下土壤重金属实测平均值与吉林省土壤背景值的对比表明,沟谷地不同植被下土壤中 Zn、Pb、Cu 的含量均高于吉林省土壤背景值,土壤重金属含量有不断富集的趋势.

关键词:元素迁移;土壤重金属;纵向分异;沟谷地

中图分类号:X53; X131.3 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2007)12-2766-05

Longitudinal Variation of Heavy Metals Contents in Topsoil Covered with Different Vegetation in Gully Area

LIU Xiao-hui^{1, 2}, LÜ Xian-guo¹, LIU Hui-qing³

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: This paper, taking the Mengjia River gully area of Junzilan Park in Changchun City of Jilin Province as an example, studied the longitudinal differentiation regularity of heavy metals in topsoil covered with different vegetation in gully area. The soil samples were collected from the gully slope, 2 m away from the gully bank, covered with arbor, shrub, vegetable and barren land along longitudinal profile in parallel with the flow direction, which was used to analyze the contents of Zn, Pb and Cu in the topsoil. The results indicate that the contents of these heavy metals have obvious difference. The content of Zn ranges from 70.3 mg·kg⁻¹ to 290.9 mg·kg⁻¹, the content of Pb from 39.8 mg·kg⁻¹ to 79.3 mg·kg⁻¹, and the content of Cu from 20.3 mg·kg⁻¹ to 63.4 mg·kg⁻¹. They all follow the declined order: barren, vegetable, arbor, and shrub. Moreover, the contents of these heavy metals were higher than their soil background values respectively. Thus, it can be assumed that they have accumulation tendency.

Key words: elements migration; soil heavy metals; longitudinal variation; gully area

沟谷地是水力、重力和潜流侵蚀综合作用的集中地^[1],由相邻的水生态系统和陆地生态系统相互作用而成^[2],也是 1 种典型的水陆交错带.具有过滤和屏障功能.但相比而言,它往往宽度较窄、水系结构较简单.

国际上对水陆交错带元素迁移的研究集中在汇水区结构变化对河岸-河流水体间元素迁移的影响^[3~10];国内对水陆交错带的研究主要集中于岸边带对进入河流元素的截流、吸纳(充当“汇”)作用和元素迁移规律的研究^[11~14].而对于土壤重金属的研究,内容多集中在重金属对土壤微生物的影响^[15,16]、重金属在植物体内的积累及植物对重金属毒害的生理生态效应等方面^[17~20].目前,国内外对沟谷地不同植被覆盖下元素(包括重金属)迁移的研究尚鲜见

报道.

本研究以君子兰公园沟谷地为实验区,通过野外考察和室内样品分析的方法,研究沟谷坡面不同植被(乔木、灌木、菜地和裸地)重金属元素(Zn、Pb、Cu)的吸纳作用,得出重金属元素(Zn、Pb、Cu)在沟谷坡面纵向分异的规律,为河流廊道的设计和沟谷地治理提供理论依据.

1 研究区概况

君子兰公园位于长春市宽城区,地理位置在

收稿日期:2006-12-27;修订日期:2007-04-09

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-YW-N-46-06)

作者简介:刘晓辉(1978~),女,博士研究生,主要研究方向为湿地变化与环境效应, E-mail: liuxh@neigae.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: luxg@neigae.ac.cn

125°19′55.49″~ 125°20′51.48″E, 43°54′48.02″~ 43°55′04.90″N.年平均气温 4.9℃;降水集中在 7~8 月^[21].

研究区内主要分为 2 类地貌单元,一是微起伏台地,地形平坦,地表组成物质主要为 Q₂ 黄土状亚粘土,台地边缘常有坡度较大的斜坡、陡坎;二是沟谷地,沟谷地地表组成物质为 Q₄ 亚砂土、亚粘土.沟谷地局部排水良好的地段有菜田,灌木和人工林,排水较差的地段多为裸地.

2 材料与方法

2.1 采样方案

土壤样品采集的实验场地为长 200 m、宽 3 m 的狭长条带状沿河分布的沟谷地.4 类样地(乔木林地、灌木林地、菜地、裸地)沿沟谷北岸水平距离不足 200 m 的范围内镶嵌分布,每一样地用 GPS 定位.取土壤样品 16 个,每种类型的样品取 4 个,呈十字形,单个土壤样方 20 cm×20 cm.示意如图 1 所示.

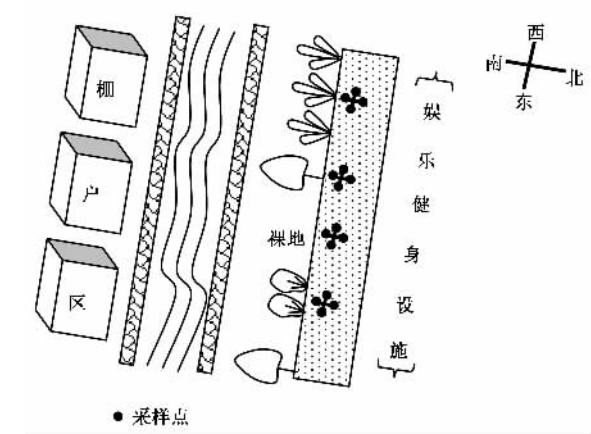


图 1 采样点位置示意

Fig.1 Sketch of sampling sites

土壤样品采集尽量避开雨季.本研究选择在 2005-10-18 采样,此时元素迁移达到相对稳定状态,可以获得相对准确的监测数据.每一土壤样品重 300 g 左右,装入密封袋中带回室内.

2.2 样品处理方法

土壤样品经风干(自然风干或冷冻干燥)后,除去土样中石子和动植物残体等异物;细小已断的植物须根,可用静电吸附的方法清除^[22].用玛瑙研钵将土样研磨至全部通过 100 目(孔径 0.149 mm)尼龙筛,混匀.重金属采用原子吸收法测定,准确称量 0.5 g 过筛后的样品,采用 HNO₃-HCl-HClO₄ 消化,用美国 220FS 原子吸收分光光度计测定 Zn、Pb、Cu 含量(GB/T 17138-1997).

2.3 数据分析方法

对野外监测获得的数据和实验室分析获得的数据,首先进行量纲的统一,即标准化处理;对整理后的数据运用 SPSS 和 Microsoft Excel 软件进行分析.

地积累指数(I_{geo})^[23,24],计算公式如下:

$$I_{geo} = \log_2 [c_n / (1.5 \times B_n)]$$

式中, I_{geo} 为地积累指数, c_n 为重金属的实测值, B_n 为重金属的背景值.

3 结果与分析

3.1 不同植被覆盖下土壤表层重金属含量特征

在沟谷立地条件基本相似的情况下,元素迁移的各项指标应大致相同.但由于植被覆盖类型不同,元素迁移强度则会有所不同.表 1 是不同植被下土壤重金属特征的描述性统计,可以看出,不同植被下重金属含量的变幅不同: Zn 在 70.3 ~ 290.9 mg•kg⁻¹, Pb 在 39.8 ~ 79.3 mg•kg⁻¹, Cu 在 20.3 ~

表 1 土壤重金属特征的描述性统计¹⁾

Table 1 Descriptive statistics for heavy metals properties

植被类型	项目	重金属/mg•kg ⁻¹		
		Zn	Pb	Cu
	国家三级标准值 ²⁾	500	500	400
	吉林省土壤背景值	51.83	8.08	16.50
	实测最大值	290.9	79.3	63.4
	实测最小值	70.3	39.8	20.3
	实测平均值	71.7	40.8	21.2
乔木	标准差	0.183	0.374	0.183
	变异系数	0.002 6	0.009 2	0.008 6
	实测平均值	70.3	39.8	20.3
灌木	标准差	0.141	0.271	0.183
	变异系数	0.002 0	0.006 8	0.009 0
	实测平均值	277.6	76.8	60.0
菜地	标准差	0.183	0.183	0.183
	变异系数	0.000 7	0.002 4	0.003 0
	实测平均值	290.9	79.3	63.4
裸地	标准差	0.183	0.141	0.216
	变异系数	0.000 6	0.001 8	0.003 4

1)每种植被类型下的土壤样品 4 个; 2)GB 15618-1995

63.4 mg•kg⁻¹. 重金属含量平均值的排序为: 裸地 > 菜地 > 乔木 > 灌木.

从重金属浓度的分布曲线(图 2)明显可见, 同

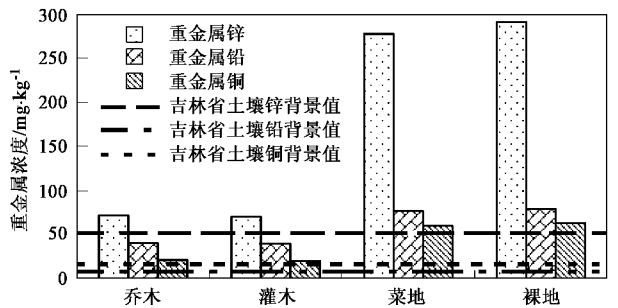


图 2 重金属含量及其背景值示意

Fig.2 Sketch of heavy metals contents and background values

表 2 土壤重金属纵向分析结果

Table 2 Results of longitude variation of heavy metals contents in topsoil

植被类型	项目	重金属/mg•kg ⁻¹		
		Zn	Pb	Cu
乔木	超出吉林省土壤背景值的倍数	0.38	4.05	0.28
	地积累指数	-0.12	1.75	-0.22
	地积累指数分级	0	2	0
灌木	超出吉林省土壤背景值的倍数	0.36	3.93	0.23
	地积累指数	-0.15	1.72	-0.29
	地积累指数分级	0	2	0
菜地	超出吉林省土壤背景值的倍数	4.36	8.51	2.63
	地积累指数	1.84	2.66	1.28
	地积累指数分级	2	3	2
裸地	超出吉林省土壤背景值的倍数	4.61	8.81	2.84
	地积累指数	1.90	2.71	1.36
	地积累指数分级	2	3	2

重金属含量的另一个表征量是地积累指数, 指数分级见表 3.

表 3 地积累指数分级

Table 3 Grades of geoaccumulation indices

污染程度	地积累指数	地积累指数分级
极强	> 5	6
强 ~ 极强	> 4 ~ 5	5
强	> 3 ~ 4	4
中 ~ 强	> 2 ~ 3	3
中	> 1 ~ 2	2
无 ~ 中	> 0 ~ 1	1
无	< 0	0

从表 3 可见, 乔木下 Pb 为中污染, 灌木下 Pb 为

一植被覆盖下, Zn 的含量普遍高于 Pb 和 Cu.

3.2 土壤表层重金属含量与土壤背景值的对比分析

土壤重金属实测平均值与吉林省土壤背景值(表 1)^[25]的对比结果显示, 研究区沟谷地纵向土壤中 Zn、Pb、Cu 的含量均高于吉林省土壤背景值(图 2), 土壤重金属含量有不断富集的趋势.

从灌木、乔木、菜地到裸地土壤, Cu 的含量分别超出吉林省土壤背景值 0.23 倍、0.28 倍、2.63 倍和 2.84 倍; Pb 的含量分别超出 3.93 倍、4.05 倍、8.51 倍和 8.81 倍; 而 Zn 的含量分别超出 0.36 倍、0.38 倍、4.36 倍和 4.61 倍(表 2). 这表明重金属的富集量已大大超过了吉林省土壤背景值, 但 Cu 的变化幅度最小.

中污染; 菜地 Zn 和 Cu 为中污染, Pb 为中 ~ 强污染; 裸地也是如此. 然而, 3 种重金属的实测平均值均介于吉林省土壤背景值与国家三级标准之间. 可见, 乔木、灌木、菜地和裸地土壤中的重金属有不同程度的富集, 由此可能给附近居民的生存环境带来危害.

4 讨论

在不同植被(乔木、灌木、菜地和裸地)下, 3 种重金属的实测平均值均超过吉林省土壤背景值, 这从一个侧面说明了不同植被下土壤中的重金属含量已有了显著的积累. 有关研究^[26]显示, 在自然条件下, 含量在正常范围以内的重金属元素, 主要来源于母质, 远高于背景含量的重金属可能来源于人为排放的污染. 同时, Zn、Pb、Cu 等又是人类活动引起的

金属污染的重要指示元素^[27,28]。根据这一原则,将不同植被下重金属的实测平均值与相应的土壤背景值进行对比分析得出,裸地、菜地重金属含量的平均值远超过其背景值,如裸地铅的平均值超过背景值 8 倍还多,表明其量值受外来污染的影响。乔木和灌木的重金属全量值虽然总体上看与吉林省的土壤背景值接近,但仍就高于背景值。综上,在不同植被下此 3 种重金属全量均受到外源影响。

通过对重金属含量变异系数(表 1)的分析亦可发现,除了 Zn 的变异系数稍小外,其余重金属含量的变异系数都较大,尤其是 Pb,乔木覆盖的土壤下其变异系数达到了 0.009 2,说明其含量分布除了受沟谷水体元素迁移的影响外,还受到公路附近人为干扰的影响。主要是君子兰公园的西南侧为第一热电厂,降尘量较大^[29];西侧是亚泰大街,南侧为台北大街,来往车辆较多,使用的含 Pb 汽油在风等扩散作用下,在某种程度上可加重 Pb 的富集。同时,汽车轮胎磨损产生的含锌粉尘等在土壤中的累积成为了重金属的来源之一。

裸地土壤重金属富集趋势最明显,原因在于均受沟谷水体影响的前提下,由于地表缺失植被,排出重金属的途径少;而菜地虽通过每年的收获,输出部分重金属,但化肥农药的输入量,往往抵消了其输出的量^[30],因而也就成为重金属的“汇”,其土壤中重金属的含量略低于裸地,高于乔木和灌木。公园内灌木相对乔木而言较茂密,乔木以人工林为主,林下无灌木和草本,且较稀疏,生物循环速度相对慢,重金属排出少,故乔木中土壤重金属含量高于灌木。

5 结论

(1)不同植被下土壤重金属含量的变化规律是:裸地 > 菜地 > 乔木 > 灌木。

(2)研究区沟谷地纵向土壤中 Zn、Pb、Cu 的含量均高于吉林省土壤背景值,土壤重金属含量有不断富集的趋势。

参考文献:

- [1] 陈浩,方海燕,蔡强国,等.黄土丘陵沟壑区沟谷侵蚀演化的坡向差异[J].资源科学,2006,28(5):176~184.
- [2] 卢宏伟,曾光明,金相灿,等.湖滨带生态带恢复与重建的理论、技术及其应用[J].城市环境与城市生态,2003,16(6):91~93.
- [3] Dillaha T A, Reneau R B, Mostaghimi S, *et al.* Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32: 513~519.
- [4] Smith C M, Mar N Z J. Riparian pasture retirement effects on sediment, phosphorus and nitrogen in channelised surface run off from pastures[J]. Freshwater Resource, 1989, 23: 139~146.
- [5] Muscutt A D, Harris G L, Bailly S W, *et al.* Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1993, 45: 59~77.
- [6] Sheridan J M, Lowrance R, Bosch D D. Management effects on runoff and sediment transport in riparian forest buffers[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(1): 55~64.
- [7] Huang K M, Lin S. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan[J]. Chemosphere, 2003, 53: 1113~1121.
- [8] Zanders I P, Rojas W E. Salinity effects on cadmium accumulation in various tissues of the tropical fiddler crab UCA PAPAX[J]. Environmental pollution, 1996, 94(3): 293~299.
- [9] Mander U, Kuusemets V, Ivask M. Nutrient dynamics of riparian ecotones: a case study from the Porijogi River catchment, Estonia[J]. Landscape and Urban Planning, 1995, 31: 333~348.
- [10] Christopher P C, Jeffrey J M. Linking the hydrologic and biogeochemical controls of nitrogen transport in near-stream zones of temperate-forested catchments: a review[J]. Journal of Hydrology, 1997, 199: 88~120.
- [11] 李勇,王超,汤红亮.小流域坡地表土层营养物质输运规律研究进展[J].河海大学学报,2004,32(6):627~631.
- [12] 李勇,张晴雯,李璐,等.黄土区植物根系对营养元素在土壤剖面中迁移强度的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(4):427~434.
- [13] 梁涛,王浩,张秀梅,等.不同土地类型下重金属随暴雨径流迁移过程及速率对比[J].应用生态学报,2003,14(10):1756~1760.
- [14] 翟金良,邓伟,何岩.洪泛区湿地生态环境功能及管理对策[J].水科学进展,2003,14(2):203~208.
- [15] 龙健,黄昌勇,滕应,等.重金属污染矿区复垦土壤微生物生物量及酶活性的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):146~148.
- [16] Pennanen T, Frostegård Å, Fritze H, *et al.* Phospholipid fatty acid composition and heavy metal tolerance of soil microbial communities along two heavy metal-polluted gradients in coniferous forests[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1996, 62: 420~428.
- [17] 张金彪,黄维南.镉对植物的生理生态效应的研究进展[J].生态学报,2000,20(3):514~523.
- [18] Windham L, Weis J S, Weis P. Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 56: 63~72.
- [19] Muchuweti M, Birkett J W, Chinyanga E, *et al.* Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implication for human health [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 112: 41~48.
- [20] Reboreda R, Cacador I. Halophyte vegetation influences in salt marsh retention capacity for heavy metals[J]. Environmental Pollution, 2007, 146(1): 147~154.

- [21] 苗雅杰. 长春城市绿地、湖泊小气候效应[J]. 吉林林业科技, 2002, **31**(6): 46 ~ 47.
- [22] 李春鸣. 土壤样品的采集和处理[J]. 西北民族大学学报, 2003, **24**(50): 74 ~ 75.
- [23] 张菊, 陈振楼, 许世远, 等. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价[J]. 环境科学, 2006, **27**(3): 519 ~ 523.
- [24] 陈孝杨, 黄河, 桑宏庆. 应用地积累指数法评价淮河淮南段沉积物中重金属污染[J]. 安徽科技学院学报, 2006, **20**(2): 35 ~ 38.
- [25] Insam H. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols [J]. Soil Biochemistry, 1991, **23**(5): 45 ~ 464.
- [26] 邢光喜, 朱建国. 土壤微量元素和稀土元素化学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1 ~ 328.
- [27] 刘南威. 自然地理学[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 471 ~ 473.
- [28] Martín J A R, Arias M L, Corbí J M G. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geochemical methods to study spatial variations[J]. Environmental Pollution, 2006, **144**: 1001 ~ 1012.
- [29] Colgan A, Hankard P K, Spurgeon D J, *et al.* Closing the loop: a spatial analysis to link observed environmental damage to predicted heavy metal emissions[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2003, **22**: 970 ~ 976.
- [30] 王国平, 刘景双, 汤洁, 等. 洪泛作用下沼泽湿地化学元素空间分布结构研究[J]. 沉积学报, 2003, **21**(4): 688 ~ 694.

欢迎订阅 2008 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年, 由中国科学院主管, 中国科学院生态环境研究中心主办, 是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来, 始终坚持“防治污染, 改善生态, 促进发展, 造福人民”的宗旨, 报道我国环境科学领域内具有创新性高水平, 有重要意义的基础研究和应用研究成果, 以及反映控制污染, 清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行, 并在国内外科技界有较大影响, 被国内外一些重要检索系统收录, 如美国医学索引 MEDLINE; 美国工程索引 EI; 美国化学文摘 CA; 俄罗斯文摘杂志 AJ; 美国生物学文摘预评 BP; 美国医学索引 IM; 日本科学技术情报中心数据库 JICST; 英国动物学记录 ZR; 剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences; 剑桥科学文摘(CSA): Pollution Abstracts; 剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等; 国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD); 中文科技期刊数据库(维普); 中国期刊全文数据库(CNKI); 数字化期刊全文数据库(万方); 中国科学引文数据库(CSCD); 中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅, 如有漏订的读者可直接与编辑部联系, 办理补订手续。

《环境科学》2008 年为大 16 开本, 60 元/册, 全年 12 期。

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号: M 0205 国内邮发代号: 2-821

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编: 100085

电话: 010-62941102; 传真: 010-62849343; E-mail: hjkx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjkx.ac.cn