

博尔塔拉河沿岸土壤重金属含量特征与有机质、pH 值的关系

陈浩¹, 吉力力·阿不都外力², 刘文², 陈京²

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 中国科学院
新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

摘要:以博尔塔拉河沿岸表层土壤中重金属 As, Cd, Ni, Cr, Pb 与有机质及 pH 为研究对象, 并对它们之间关系进行研究。结果表明: 土壤中 5 种重金属元素 As, Cd, Ni, Cr, Pb 平均含量分别为 22.37, 52.52, 27.50, 0.48, 28.92 mg/kg。土壤有机质平均含量为 27 431 mg/kg。土壤 pH 值为 6.5~7.5, 平均值为 6.94。研究区土壤性质与土壤重金属含量间关系复杂: 有机质含量与 As, Cd, Cr, Pb 含量呈显著正相关, 有机质易与重金属离子形成络合物, 从而降低重金属离子活性, 导致土壤重金属含量增加; pH 值与 As, Cd, Pb 含量之间呈显著负相关, 随 pH 值增大, 有效态 As、有效态 Cd 和有效态 Pb 在土壤含量明显减少。通过对土壤有机质、pH 与重金属含量的关系研究, 发现土壤有机质、pH 是影响土壤重金属含量的重要因素。

关键词: 重金属; 有机质; pH 值; 相关性; 博尔塔拉河

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0210-04

Correlation Between Heavy Metals Organic Matter, pH Value in the Soils Along the Bortala River

CHEN Hao¹, Jilili·Abuduwaili², LIU Wen², CHEN Jing²

(1. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: As, Cd, Ni, Cr, Pb, organic matter and pH were monitored in the surface soil of the Bortala River. The correlation of five kinds of heavy metals: As, Cd, Ni, Cr, Pb in surface soil in the studied area and the soil organic matter and pH value was analyzed. The results show that average contents of 5 kinds of soil heavy metals such as As, Cd, Ni, Cr, Pb were 22.37, 52.52, 27.50, 0.48, 28.92 mg/kg, respectively, the average soil organic matter content along the Bortala River is 27 431 mg/kg. Soil pH value range from 6.5 to 7.5, with an average of 6.94. The correlation between soil properties and heavy metal contents in the study area is complex; Organic matter content is significantly correlated with contents of As, Cr, Cd and Pb. Organic matter is easy to form a complex with heavy metal ions, thereby reducing the heavy metal ion activity, resulting in increased heavy metal contents in soil. pH value show a negative correlation with the contents of As, Cd, Pb. With the increase of pH value, the contents of available As, Cd and content of available Pb in soil significantly reduced. By analyzing the correlation between soil organic matter, pH and heavy metals, it was found that soil organic matter and pH are the important factors affecting soil heavy metal contents.

Keywords: heavy metal; organic matter; pH value; correlation; Bortala River

近年来,随着工业化与城市化的发展,土壤重金属含量日益增加超过土壤背景值,引起越来越多的人对土壤污染的关注^[1-2]。土壤重金属污染具有隐蔽性、难降解和易被富集等特点,能够在土壤中长时间累积^[3]。土壤重金属被农作物吸收进而影响农作物的产量与品

质,最终通过生物富集作用危害人类身体健康^[4]。因此,开展土壤重金属积累规律及其影响因素的研究,不仅能够阐明重金属在土壤生态系统中的迁移转化规律,而且能够为当地农产品环境建设提供科学指导。

本文在调查博尔塔拉河沿岸土壤中有有机质含量、

收稿日期: 2015-09-21

修回日期: 2015-10-10

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(41471098; 41501221)

第一作者: 陈浩(1988—), 男, 河南漯河人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区湖泊资源与环境。E-mail: chhjx@sina.com

通信作者: 吉力力·阿不都外力(1964—), 男(维吾尔族), 新疆拜城县人, 研究员, 博士, 主要从事地理生态学研究。E-mail: jilil@ms.xjb.ac.cn

pH 值及 5 种重金属含量的基础上,研究博尔塔拉河沿岸土壤 5 种重金属的污染现状。以往研究^[5-6]表明土壤酸碱度和有机质含量是控制重金属化学行为的重要因素,分析土壤重金属与有机质含量及 pH 值之间的关系,对当地的土地开发与建设以及污染防治具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 取样

博尔塔拉河位于新疆维吾尔自治区西北部,在博尔塔拉蒙古自治州境内,地理位置为 $79^{\circ}53' - 83^{\circ}53'E$, $44^{\circ}0' - 45^{\circ}23'N$ ^[7]。河流发源于博罗科努山洪别林达板,全长 252 km,向东流经温泉县、博乐市,在精河境内接纳大河沿子河,后注入艾比湖,流域面积 $11\ 367\ km^2$ ^[8]。对研究区进行野外实地考察,沿博尔塔拉河河岸共设置 15 个土壤采样点(图 1),并用 GPS 标记采样点位置。在每个采样点取表层土壤(0—20 cm),采集 3 个土样并混合成 1 个样品,每个土样均剔除明显的植物根茎和枝叶等杂质,然后用密封袋装好,并对所有样品进行编号,带回中国科学院新疆生态与地理研究所理化测试中心进行测定。

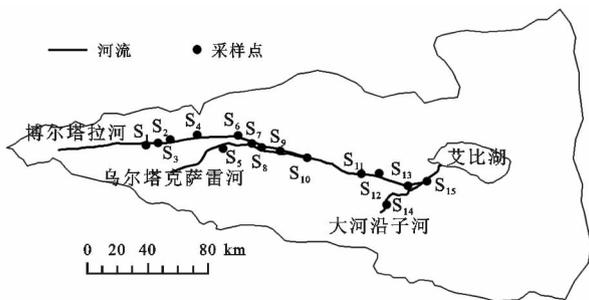


图 1 采样点分布

1.2 试验方法

土壤样品在实验室自然风干,然后过 200 目尼龙筛,存储备用。对样品进行浓 HNO_3-HClO_4-HF 混合液加热消解处理,对 As 采用原子荧光法测定,Cd 采用石墨炉(GF-990)原子吸收法测定,Ni,Cr,Pb 采用火焰原子吸收分光光度法测定。该方法得到的分析结果满足《土壤环境监测技术规范》^[9]的要求,对标准土壤样品的回收率可以达到 $84\% \sim 98\%$,说明该方法比较可靠,相对误差较小,所得的结果能反映土壤重金属含量的实际情况。土壤 pH 值的测定采用电位法,有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化—容量法,具体方法参照《土壤农业化学分析方法》^[10]。

2 结果与分析

2.1 博尔塔拉河沿岸土壤重金属统计特征

研究区土样中重金属含量统计见表 1。研究表

明:研究区表层土壤中 5 种重金属 As,Cr,Ni,Cd,Pb 的含量分别为 $1.72 \sim 60.34, 10.98 \sim 77.01, 16.47 \sim 41.2, 0.19 \sim 1.02, 7.26 \sim 69.35\ mg/kg$ 。平均含量分别为 $22.37, 52.52, 27.50, 0.48, 28.92\ mg/kg$,土壤中 5 种重金属元素平均含量大小顺序为 $Cr > Pb > Ni > As > Cd$ 。参照《土壤环境质量标准 GB15618—1995》^[11],表层土壤中 5 种重金属平均含量均未超过国家二级标准。但是,参照全国土壤元素背景值^[12],研究区土壤中 5 种重金属平均含量均超过新疆土壤背景值。样本的变异系数是衡量样本资料中各观测值变异程度的重要统计量^[13],从变异系数来看,所有样点重金属变异系数均为 $10\% \sim 80\%$,属于中等变异。其中变异系数最大的重金属离子是 As,为 73.26% ,说明 As 含量离散程度较大。Ni 变异系数最小,为 23.43% ,说明在土壤中的含量相对稳定。

利用 Origin 软件做出重金属含量空间分布图(图 2)可得,沿岸各采样点的重金属含量分布呈波折多峰型特征。样点 S_1, S_2, S_3, S_4 中 As 含量超过国家二级标准 $30\ mg/kg$ 。As 含量最高值出现在上游 S_4 点,最低值出现在中游 S_{10} 点;Cr 含量最高值出现在上游 S_1 点,最低值出现在下游 S_{12} 点;Ni 含量最高值出现在上游 S_1 点,最低值出现在中游 S_{10} 点。以上 3 种元素最高值出现在博尔塔拉河上游,说明土壤中 As,Cr,Pb 含量主要受控于自然背景和成土母质^[14]。样点 S_4, S_{13} 中 Cd 含量超过国家二级标准 $0.6\ mg/kg$ 。Cd 含量最高值出现在上游 S_4 点,最低值出现在中游 S_9 点;Pb 含量最高值出现在上游 S_4 点,最低值出现在下游 S_{12} 点。

2.2 博尔塔拉河沿岸土壤有机质统计特征

土壤有机质基本统计值见表 1。对 15 个不同样点表层土壤有机质进行统计分析,博尔塔拉河沿岸表层土壤有机质平均含量为 $27\ 431\ mg/kg$ 。其中最大值是 S_5 点,为 $44\ 082\ mg/kg$,最小值点是 S_{15} 点,为 $20\ 280\ mg/kg$ 。利用 Excel 软件绘制不同样点有机质含量分布条形图(图 3)可得,研究区样本有机质较高的有 $S_5 > S_4 > S_2 > S_7 > S_3 > 30\ g/kg$ 。参照我国第二次土壤普查^[15],样品中 $S_1, S_6, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}$ 有机质含量均介于 $20 \sim 30\ g/kg$,在土壤有机质含量分级表中归于第三级($20 \sim 30\ g/kg$);样品中 S_2, S_3, S_7 有机质含量均介于 $30 \sim 40\ g/kg$,归于第二级; S_4, S_5 在土壤有机质含量分级表中归于第一级($>40\ g/kg$)。从表 1 中还可以看出,表层土壤有机质变异系数为 28% ,较小,说明博尔塔拉河沿岸表层土壤有机质含量比较稳定。

表 1 土壤重金属、有机质及 pH 基本统计量 (N=15)

项目	As	Cr	Ni	Cd	Pb	pH 值	有机质
S ₁	30.71	77.01	41.20	0.8	44.08	7.02	25069
S ₂	52.53	76.48	26.04	0.65	41.22	6.62	31910
S ₃	35.53	54.17	19.15	0.44	43.01	6.91	30426
S ₄	60.34	76.24	27.96	1.02	69.35	6.81	43009
S ₅	20.57	73.53	23.32	0.32	25.07	6.60	44082
S ₆	14.10	52.48	29.69	0.29	21.17	7.07	24785
S ₇	13.86	54.05	32.25	0.52	23.09	7.21	30922
S ₈	15.73	50.22	29.34	0.21	22.32	7.00	21171
S ₉	12.02	43.27	21.13	0.19	21.80	7.09	29527
S ₁₀	1.72	26.55	16.47	0.35	14.78	7.29	23094
S ₁₁	13.67	39.24	24.42	0.48	20.28	6.84	21799
S ₁₂	3.84	10.98	30.09	0.58	7.26	6.89	23196
S ₁₃	22.45	35.25	36.64	0.76	25.11	6.91	20286
S ₁₄	20.70	56.80	29.74	0.20	24.94	7.00	21908
S ₁₅	17.73	61.56	24.99	0.33	30.33	6.89	20280
平均值	22.37	52.52	27.50	0.48	28.92	6.94	27431
最小值	1.72	10.98	16.47	0.19	7.26	6.60	20280
最大值	60.34	77.01	41.20	1.02	69.35	7.29	44082
标准差	16.39	19.36	6.44	0.25	15.10	0.19	7646
变异系数/%	73.26	36.86	23.43	51.79	52.22	3.00	28

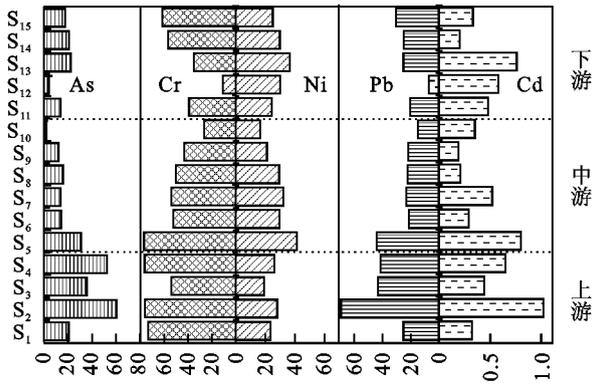


图 2 博尔塔拉河沿岸土壤重金属分布

2.3 博尔塔拉河沿岸土壤 pH 值统计特征

土壤 pH 值是土壤重要的理化参数,对土壤微量元素的有效性和肥力有重要影响^[16]。对博尔塔拉河沿岸 15 个样点的土壤样品 pH 值进行了统计,结果见表 1。结果表明:样点的 pH 值均为 6.5~7.5。土壤 pH 值平均值为 6.94;最大值是 S₁₀ 点, pH 值为 7.29;最小值点为 S₅ 点, pH 值为 6.60。区域内 pH 值的变化值为 0.69,变异系数为 3%,较小。说明博尔塔拉

河沿岸土壤 pH 值波动性小,酸碱度差异性较小。

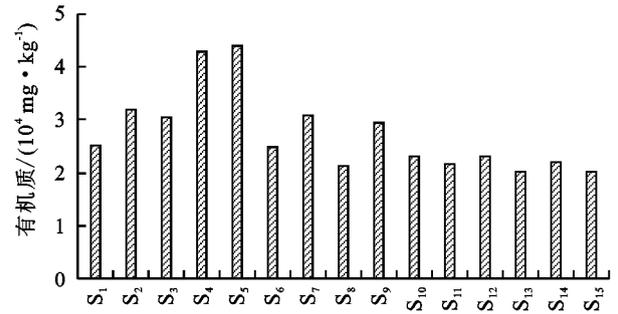


图 3 博尔塔拉河沿岸采样点有机质含量

2.4 博尔塔拉河沿岸土壤不同重金属含量与有机质、pH 值之间的关系

土壤有机质和 pH 值是土壤重要理化性质,分析其与重金属之间的相关性不仅能够解释各形态重金属的迁移转化规律^[17],而且可以为博尔塔拉河沿岸土地开发及污染防治提供科学依据。运用 SPSS 软件对不同重金属含量以及有机质、pH 值进行相关性分析,结果见表 2。

表 2 土壤重金属含量与土壤有机质和 pH 值的相关系数矩阵

项目	As	Cr	Ni	Cd	Pb	有机质	pH 值
As	1						
Cr	0.739**	1					
Ni	0.132	0.184	1				
Cd	0.638*	0.247	0.473	1			
Pb	0.931**	0.753**	0.128	0.641**	1		
有机质	0.563*	0.566*	-0.212	0.308	0.553*	1	
pH	-0.693**	-0.470	-0.453	-0.699**	-0.695**	-0.171	1

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

由表 2 可知,土壤的有机质含量与不同重金属含量呈正相关,与 As,Cd 含量在 0.01 水平上达到显著相关,与 Cr,Pb 含量在 0.05 水平上达到显著相关。表明土壤中 Cd,Cr,Pb 含量随有机质含量的增加而增加,这一结果可能是由以下原因造成^[18-19]:土壤有机质易与重金属离子形成络合物而降低了重金属离子的生物有效性和移动性,从而使重金属离子活性极大的降低,导致土壤中重金属含量增加。杨西飞^[20]对稻田重金属污染的研究表明:在弱酸性条件下,水溶态重金属离子活性更强,更容易被植物吸收和富集。但是,文章在做 pH 值与重金属含量的相关性时发现,由表 2 所得的土壤 pH 值与 As,Cd,Pb 含量之间呈显著负相关,似乎与前人的研究相悖。张江华等^[21]对土壤 Pb 和 Cd 生物有效性的影响因素研究表明,pH 对 Cd 和 Pb 离子活性的影响主要表现为:随着土壤 pH 值增大,有效态 Cd(水溶态+离子交换态+腐殖酸态+强有机态)与有效态 Pb(水溶态+离子交换态+腐殖酸态+强有机态)在土壤中的含量明显减少。这也就解释了本文中土壤 pH 值与 Cd,Pb 总含量之间呈显著负相关这一现象。

3 结论

(1) 博尔塔拉河沿岸表层土壤属于中性土壤,土壤有机质平均含量为 27 431 mg/kg。样品中 S₂,S₃,S₇ 有机质含量在土壤有机质分级表中处于第二级;S₄,S₅ 土壤有机质含量在土壤有机质分级表中处于第一级;其他多数样点中有机质含量在土壤有机质分级表中处于第三级。

(2) 土壤中 5 种重金属元素 As,Cd,Ni,Cr,Pb 平均含量分别为 22.37,52.52,27.50,0.48,28.92 mg/kg,平均含量大小顺序为 Cr>Pb>Ni>As>Cd。研究区表层土壤中 5 种重金属平均含量均未超过国家二级标准,但平均含量均超过新疆土壤背景值。重金属 As 有 4 个点含量超过《土壤环境质量标准 GB15618—1995》二级标准限值,重金属 Cd 有 2 个点含量超过《土壤环境质量标准 GB15618—1995》二级标准限值,属中等变异强度。

(3) 土壤有机质含量与不同重金属含量呈正相关,与 As,Cd,Cr,Pb 含量显著相关,有机质与重金属离子形成络合物,从而使重金属离子活性降低,导致土壤中重金属含量增加;pH 值与 As,Cd,Pb 含量之间呈显著负相关,随着 pH 值增大,有效态 As、有效态 Cd 和有效态 Pb 在土壤中含量明显减少。通过对土壤有机质、pH 值与重金属含量关系研究,发现土壤有机

质、pH 值是影响土壤重金属含量的重要因素。

参考文献:

- [1] 赵庆龄,路文如.土壤重金属污染研究回顾与展望:基于 webofscience 数据库的文献计量分析[J].环境科学与技术,2010,33(6):105-111.
- [2] 宋伟,陈百明,刘琳.中国耕地土壤重金属污染概况[J].水土保持研究,2013,20(2):293-298.
- [3] 蔡立梅,马瑾,周永章,等.东莞市农业土壤重金属的空间分布特征及来源解析[J].环境科学,2008(12):3496-3502.
- [4] 李元.环境生态学导论[M].北京:科学出版社,2009.
- [5] 殷丽萍,张博,李昂,等.土壤酸碱度对重金属在土壤中行为的影响[J].辽宁化工,2014(7):865-867.
- [6] 孙花,谭长银,黄道友,等.土壤有机质对土壤重金属积累、有效性及形态的影响[J].湖南师范大学自然科学学报,2011,34(4):82-87.
- [7] 朱永生,张莉萍.博尔塔拉河流域水文水资源分析[J].现代农业科技,2010(7):295-296.
- [8] 王凯博.博河、精河流域防洪减灾对策探讨[J].水土保持研究,2004,11(3):260-264.
- [9] 国家环境保护总局.土壤环境监测技术规范 HJ/T166—2004[S].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [10] 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,2000.
- [11] 国家环保总局科技标准司.土壤环境质量标准 GB15618—1995[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [12] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国科学出版社,1990.
- [13] 吴媚,顾赛赛.变异系数的统计推断及其应用[J].铜仁学院学报,2010,12(1):139-141.
- [14] 陈雪龙,齐艳萍,吴海燕,等.大庆龙凤湿地土壤重金属空间分布特征[J].水土保持研究,2013,20(4):141-144.
- [15] 唐近春.全国第二次土壤普查与土壤肥料科学的发展[J].土壤学报,1989,26(3):234-240.
- [16] 奚旦立,孙裕生.环境监测[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [17] 李福燕,李许明,吴鹏飞,等.海南省农用地土壤重金属含量与土壤有机质及 pH 的相关性[J].土壤,2009,41(1):49-53.
- [18] 吴曼.土壤性质对重金属铅镉稳定化过程的影响研究[D].山东青岛:青岛大学,2011.
- [19] 陈岭啸,宋垠光,袁旭音,等.长江三角洲典型地区土壤—水稻系统中 Cd 的分布及其迁移制约因素[J].地球科学与环境学报,2011,33(3):288-295.
- [20] 杨西飞.铜陵矿区农田土壤及水稻的重金属污染现状研究[D].合肥:合肥工业大学,2007.
- [21] 张江华,王葵颖,李皓,等.陕西潼关金矿区土壤 Pb 和 Cd 生物有效性的影响因素及其意义[J].地质通报,2014,33(8):1188-1195.