

# 大庆龙凤湿地土壤重金属空间分布特征

陈雪龙<sup>1</sup>, 齐艳萍<sup>1,2</sup>, 吴海燕<sup>1</sup>, 王忠伟<sup>1</sup>, 郭 丽<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学 动物科技学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 农业部 农产加工质量监督检验测试中心(大庆), 黑龙江 大庆 163319)

**摘 要:** 对大庆龙凤湿地土壤 Cu, Cr, Cd, Zn, Pb 和 As 六种重金属元素的空间分布特征进行了研究。结果表明: 湿地土壤表土层(0—10 cm) Cu, Cr, Cd, Zn, Pb 和 As 在水平分布上的变化较大, 除 Cr 和 Zn 外, Cu, Cd, Pb 和 As 含量均低于松嫩平原土壤重金属含量平均值; 在土壤剖面中, Cu, Cr, Cd 和 As 都随着土层深度的增加逐渐减少, 而 Pb 和 Zn 则是先增加后减少, 这与区域内土壤的理化性质、成母土质、岩石风化及淋溶作用有极大的关系。Cu, Cd, Zn, Pb, As 五种重金属元素之间, 除 Cu 和 As 间相关关系不显著外, 其余各重金属元素之间均呈极显著的正相关关系, 而 Cr 只与 Cu 呈显著正相关, 与其他各重金属元素之间均未表现出显著的相关性, 由此推测 Cu, Cd, Zn, Pb, As 元素的来源可能相同, 且具有一定的共生组合性, 而 Cr 则受湿地周边复杂环境及人为随机因素的影响较大。

**关键词:** 大庆龙凤湿地; 重金属; 空间分布

中图分类号: X142

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0141-04

## Spatial Distribution Characteristics of Soil Heavy Metals of Longfeng Wetlands in Daqing

CHEN Xue-long<sup>1</sup>, QI Yan-ping<sup>1,2</sup>, WU Hai-yan<sup>1</sup>, WANG Zhong-wei<sup>1</sup>, GUO Li<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. Agricultural Product Testing Center(Daqing), Ministry of Agriculture, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** The content and distribution characteristics of soil heavy metals such as Cu, Cr, Cd, Zn, Pb, As in Daqing Longfeng wetlands were investigated. The results showed that the average contents of Cu, Cr, Cd, Zn, Pb and As in top soil of 0—10 cm depth had significant changes in the horizontal distribution, the average contents of these soil heavy metals were lower than those in Songnen Plain except Cr and Zn. In the soil profile, the contents of Cu, Cr, Cd and As gradually declined, while the contents of Pb and Zn increased first and then decreased with the increase of soil depth, there was great relationship between the physical and chemical properties of the soil in the region, the parent soil, rock weathering and leaching. Among the five heavy metal elements (Cu, Cd, Zn, Pb and As), there was no significant relationship between Cu and As, but significant positive correlation existed among the rest heavy metal elements, while Cr had only a significant positive correlation with Cu, and did not exhibit a significant correlation between the other heavy metal elements. Therefore, it was speculated that Cu, Cd, Zn, Pb, As may originate from the same source, and present the symbiotic combination, and Cr was mainly influenced by the surrounding complex environment of wetlands and human random factors.

**Key words:** Daqing Longfeng wetland; heavy metals; spatial distribution

湿地作为地球上水陆交互作用形成的独特生态系统, 是生物的重要生存环境, 也是生物多样性最为丰富的生态景观之一, 在水土保持、污染控制等方面有着其他生态系统难以替代的重要作用<sup>[1]</sup>。

近年来, 随着地方经济的快速发展, 工农业以及日常生活造成的重金属污染物逐渐增多, 大量污染物汇集于湿地内, 使得湿地面临着严重的重金属污染的威胁<sup>[2]</sup>。重金属污染已成为湿地环境中主要的污染

收稿日期: 2012-11-16

修回日期: 2013-01-28

资助项目: 黑龙江省博士后科研启动基金项目(LRB10-229); 黑龙江省教育厅面上项目(12531474)

作者简介: 陈雪龙(1978—), 男, 黑龙江甘南县人, 硕士, 讲师, 主要从事生态学及动物疾病研究。E-mail: cxlandqyp@163.com

通信作者: 齐艳萍(1979—), 女, 副教授, 主要从事生态与环境毒理研究。E-mail: qianping79@163.com

物之一,是典型的难降解、累积性的污染物,并且还可通过食物链的传递,对动植物产生危害并逐渐积累,在某些条件下可以转变为金属有机化合物而使得毒性增加,对湿地生态系统安全构成直接或潜在的危害<sup>[3]</sup>。重金属在土壤中累积,不仅可以降低土壤生物活性、影响土壤理化性质、阻碍植物的生长,而且会进入食物链直接或间接对人体健康造成威胁<sup>[4]</sup>。大庆龙凤湿地是亚洲最大的城中湿地,因此,其生态环境对城市影响较为显著,但目前尚未对龙凤湿地土壤重金属空间分布进行过研究,为此,本文以龙凤湿地土壤为研究对象,对湿地土壤中的 Cu, Cr, Cd, Zn, Pb 和 As 六种典型重金属元素含量和空间分布特征进行分析,以期对龙凤湿地的生态环境保护提供基础资料和决策依据。

## 1 研究区概况

大庆龙凤湿地自然保护区(下文简称龙凤湿地)位于大庆龙凤区境内东南面,距离市中心仅 8 km,是一处位于城区中的湿地,属于扎龙湿地边缘地区。地理坐标为东经 125° 07'—125° 15', 北纬 46° 28'—46° 32', 总面积 5 050.39 hm<sup>2</sup>, 处于中纬度地带,属温带大陆性季风气候区,四季明显,温差较大。年平均气温 4.5℃, 极端最高气温 39.8℃, 极端最低气温 -39.2℃。年均 4 月中下旬解冻开泡, 11 月上旬结冰, 无霜期 149 d, 结冰期 176 d。年平均降水量为 435 mm。保护区内地势低洼平坦, 泡沼相间, 自然坡降小于千分之一。土壤由草甸土和沼泽土组成, 其中沼泽土是其主要的土壤类型, 分布面积约占自然保护区总面积的 80% 左右。湿地内的植被主要是沼泽植被, 包括芦苇群落、菖蒲群落、碱蓬碱蒿群落和星星草群落。芦苇群落覆盖度一般为 40%~90%, 高度 1.5~2.5 m; 菖蒲群落覆盖度一般为 60%~90%, 高度 50~80 cm; 碱蓬碱蒿群落覆盖度一般为 40%~60%, 高度 30~50 cm; 星星草群落覆盖度一般为 30%~80%, 高度 30~70 cm。

## 2 样品采集与测定

### 2.1 土壤样品采集

于 2011 年夏季在龙凤湿地内采集土壤样品, 采样过程中, 采用塑料小铲作为工具, 避免使用金属器具带来的交叉污染。根据龙凤湿地保护区的特点, 将其划分为 4 个采样区(编号为 1—4), 每个样区随机选择 5 个采样点(编号为 a—e), 每个样点均按照表层(0—10 cm)、次表层(10—20 cm)、中层(20—40 cm)和深层(40—60 cm)4 个层次进行土样的采集, 共

采集土壤样品 80 个(图 1)。其后将土壤样品自然风干后, 磨碎、过筛, 进行土壤重金属含量测定。

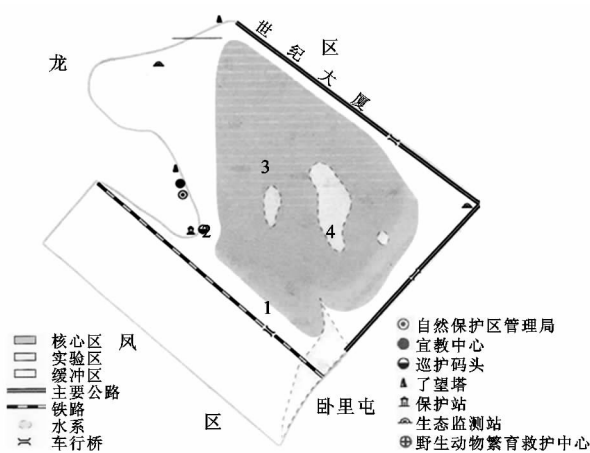


图 1 采样点分布图

注: 其中 1—4 为采样区编号, 虚线为各个样区的大致分界, a—e 代表每个样区中的具体采样地点。

### 2.2 土壤重金属含量测定

采用原子吸收分光光度法测定土壤中 Cu, Cr, Cd, Zn, Pb, As 六种重金属元素的含量<sup>[5]</sup>。

### 2.3 数据的统计分析

利用 Microsoft Excel 和 SPSS 13.0 数据统计软件对数据进行分析处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 表层土壤(0—10 cm)重金属含量特征

龙凤湿地表层土壤 Cu 含量为 15.46~12.76 mg/kg、Cr 含量 68.45~97.96 mg/kg、Cd 含量 0.046~0.082 mg/kg、Zn 含量为 49.78~63.55 mg/kg、Pb 含量为 13.22~17.02 mg/kg、As 含量为 6.12~8.14 mg/kg, 在水平分布上变化较大, 即使是同种元素在不同样区、不同样点的含量变化幅度也很大(表 1), 其中样区 1 和样区 4 表土层土壤各种重金属含量稍低, 恰好这两个样区距离人为活动地点较远, 这也可以说明人为活动对湿地土壤重金属的累积程度影响较大。

中国幅员辽阔, 各地土壤环境本底值并不一致<sup>[6]</sup>, 通过表 1 与表 2 的对比分析可知, 龙凤湿地土壤表土层 Cu, Cd, Zn, Pb 和 As 含量均低于全国土壤环境背景值, 只有 Cr 高于全国土壤环境背景值。由于大庆位于松嫩平原中部, 如果以低于全国土壤环境背景值的松嫩平原全区域土壤重金属含量平均值作为背景值, 则龙凤湿地土壤表土层 Cu, Cd, Pb 和 As 含量均较低, 而 Cr 和 Zn 含量稍高于背景值, 这一方面说明龙凤湿地除了 Cr 和 Zn 外并没有明显的重金属的累积, 另一方面也说明, 由于松嫩平原地域广阔,

土壤类型分布复杂,单纯用某一区域的环境背景值的平均值来评价部分土壤重金属的污染水平并不符合实际。

根据国家《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)的规定,土壤环境质量共分三类,其中第一类主要适用于国家规定的自然保护区(原有背景重金属含量达到除外)、集中式生活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤、土壤质量基本上保持自然背景水平。一类土壤环境质量执行一级标准,其中  $Cu \leq 35$  mg/kg、 $Cr \leq 90$  mg/kg、 $Cd \leq 0.20$  mg/kg、 $Zn \leq 100$  mg/kg、 $Pb \leq 35$  mg/kg、 $As \leq 15$  mg/kg。依据此标准中的规定,龙凤湿地土壤中除 Cr 含量稍高外,Cu,Cd,Zn,Pb 和 As 含量均符合一级土壤环境质量标准,而且湿地的四个样区的表土层 20 个随机样点中,有 8 个样点的 Cr 出现了不同程度的超标,超标率为 40%。所有重金属,包括 Cr 在内,均符合国家二级土壤环境质量标准,说明土壤重金属含量未对环境和植物造成危害和污染,环境状况良好。

表 1 表层土壤(0—10 cm)重金属含量特征 mg/kg						
采样点编号	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb	As
1—a	16.40	67.88	0.053	55.82	13.51	6.02
1—b	16.21	70.51	0.049	60.31	12.92	6.01
1—c	15.30	55.81	0.056	65.22	11.87	5.95
1—d	13.60	79.11	0.030	54.16	14.02	5.82
1—e	15.81	68.92	0.043	50.90	13.77	6.79
样区 1 均值	15.46	68.45	0.046	57.28	13.22	6.12
2—a	14.08	81.00	0.077	60.51	17.09	8.11
2—b	12.92	82.14	0.082	62.15	16.91	8.65
2—c	13.43	79.46	0.090	59.98	17.83	7.99
2—d	10.84	70.51	0.075	70.01	18.17	8.98
2—e	12.53	90.23	0.087	65.10	15.10	6.95
样区 2 均值	12.76	80.67	0.082	63.55	17.02	8.14
3—a	12.83	95.42	0.074	42.13	15.67	7.36
3—b	12.95	92.44	0.070	45.56	16.03	7.24
3—c	11.67	88.63	0.069	40.86	15.90	6.98
3—d	12.72	85.23	0.063	55.26	14.86	6.01
3—e	13.62	95.31	0.059	65.10	16.24	6.24
样区 3 均值	12.76	91.41	0.067	49.78	15.74	6.77
4—a	11.58	102.24	0.062	59.98	15.41	7.88
4—b	12.32	101.95	0.060	60.23	15.27	8.98
4—c	14.13	105.89	0.054	55.48	14.59	6.92
4—d	11.37	98.24	0.059	70.56	12.50	6.86
4—e	10.70	81.47	0.046	68.72	11.93	7.09
样区 4 均值	12.02	97.96	0.056	62.99	13.94	7.55

表 2 全国、松嫩平原重金属含量背景值 mg/kg						
地区名称	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb	As
松嫩平原	17.78	42.46	0.073	52.05	20.23	9.14
全国	22.60	61.00	0.080	68.00	26.00	9.60

### 3.2 剖面土壤(0—60 cm)重金属含量特征

龙凤湿地土壤中重金属元素的垂直剖面分布特征见表 3。统计结果显示,Cu,Cr,Cd 和 As 的含量都随着土层深度的增加逐渐减少,而 Pb 和 Zn 的含量在土壤剖面上的变化规律则是先增加后减少,这种随土壤剖面发生的变化与区域内土壤本身的理化性质、成母土质、岩石风化及淋溶作用有着极大的关系<sup>[7-8]</sup>。随着土层深度的增加,一方面 Cu,Cr,Cd 和 As 的含量在淋溶作用下会在剖面中产生迁移,因而导致其随着土层深度的增加含量逐渐降低,另一方面由于人为活动、大气沉降等原因,造成了这些元素的表层累积。对于 Pb 和 Zn 来说,在 10—20 cm 范围内有聚集现象,主要是由于 Pb 和 Zn 发生了淋溶积累,这两种元素在水分较多的厌氧环境中极易溶于水并向下淋溶,使得在 10—20 cm 的土层中形成累积,而后随着土壤深度的增加其含量逐渐下降。这种现象产生的原因可能与湿地生态环境的特殊性、水体温度及水体的扰动、循环方式促进重金属的解析有一定的关系<sup>[9]</sup>。本研究结果与对北固山湿地的研究结果基本一致<sup>[10]</sup>,即在湿地土壤中的所有重金属元素,无论是随着土壤剖面的改变含量逐渐递减的,还是含量先增加后减少的,都会在 0—15 cm 左右的土层中富集,因此,在湿地生态系统中,如果要清除重金属污染而又不破坏或少破坏湿地原有生境,最可行的方法就是进行生态清淤<sup>[11]</sup>,而且清淤深度应该为 15 cm 左右。从整体来看,除 Cr 外,龙凤湿地土壤不同深度的 Cu,Cd,Zn,Pb 和 As 含量均在国家《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)规定的一级标准值以下,可以判断龙凤湿地土壤基本没有受到重金属污染。尽管目前龙凤湿地的环境状况很好,但由于该地区位于城市中,周边人为干扰较多,人类活动比较频繁,因此应加大环境保护力度,以避免湿地环境污染及生态系统的破坏。

### 3.3 土壤重金属之间的相关性

龙凤湿地土壤重金属元素之间的相关系数见表 4。由表 4 可知,龙凤湿地土壤 Cu,Cd,Zn,Pb,As 五种重金属元素之间,除 Cu 和 As 间的相关关系不显著外,其余各重金属元素之间均呈极显著的正相关关系( $p < 0.01$ )。土壤重金属元素之间的显著相关性说明在重金属元素沉积的过程中,这些重金属元素的运移情况、蓄积量及影响蓄积量的因素等具有相同的变化趋势,还可以说明重金属的来源可能相同<sup>[12]</sup>,因此,从 Cu,Cd,Zn,Pb,As 五种重金属的相关性可以推测其来源有可能相同,且具有一定的共生组合性,其中 Cd 和 Pb 之间的相关性最高(相关系数为

0.802),而 Cu 和 Zn 的相关性最小(相关系数为 0.503)。重金属元素之间的这种相关性也说明在自然条件下,重金属元素之间具有极其密切的伴生性,并且这种伴生性会表现在土壤状况较好的地区<sup>[13]</sup>。在所检测的重金属元素中,Cr 只与 Cu 呈显著正相关( $p<0.05$ ),而与其他各重金属元素之间均未表现出显著的相关性,这说明 Cr 的来源与其他重金属元素的来源不同,这是受到湿地周边复杂环境及人为随机因素的影响所致。

表 3 土壤剖面(0—60 cm)重金属含量		mg/kg					
样区	土层深	土壤重金属含量均值/					
编号	度/cm	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb	As
1	0—10	15.46	68.45	0.046	57.28	13.22	6.12
	10—20	13.95	70.20	0.041	65.31	14.49	5.79
	20—40	13.82	65.74	0.034	50.10	12.97	5.21
	40—60	10.28	50.25	0.032	40.85	11.22	5.03
2	0—10	12.76	80.67	0.082	63.55	17.02	8.14
	10—20	14.03	70.61	0.067	70.66	17.95	7.99
	20—40	11.57	70.99	0.060	56.89	16.42	7.31
	40—60	9.83	63.82	0.049	49.15	15.99	6.28
3	0—10	12.76	91.41	0.067	49.78	15.74	6.77
	10—20	11.81	82.77	0.062	51.02	16.02	6.11
	20—40	9.79	69.97	0.053	45.63	14.78	5.85
	40—60	7.20	50.55	0.045	42.45	12.06	4.87
4	0—10	12.02	97.96	0.056	62.99	13.94	7.55
	10—20	10.99	89.30	0.052	65.11	14.97	6.96
	20—40	9.81	71.23	0.042	60.08	13.25	6.34
	40—60	6.68	57.42	0.037	55.29	11.78	5.93

表 4 土壤重金属元素间的相关性						
金属元素	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb	As
Cu	1	0.429*	0.539**	0.503**	0.662**	0.235
Cr		1	0.201	0.056	-0.158	-0.134
Cd			1	0.741**	0.802**	0.737**
Zn				1	0.694**	0.625**
Pb					1	0.611**
As						1

注: \*\* 表示极显著相关,即  $p<0.01$ ; \* 表示显著相关,即  $p<0.05$ 。

## 4 结论

(1) 龙凤湿地土壤表土层(0—10 cm)Cu,Cd,Pb 和 As 含量均低于松嫩平原背景值,而 Cr 和 Zn 含量稍高于背景值,说明龙凤湿地除了 Cr 和 Zn 外并没有明显的重金属的累积。龙凤湿地土壤中的重金属含量基本符合一级土壤环境质量标准(GB15618—1995),只有 Cr 出现少量的超标,超标率为 40%,因此土壤重金属含量尚未对本地区环境和植物造成污染,环境状况良好。

(2) 龙凤湿地土壤中,Cu,Cr,Cd 和 As 的含量

都随着土层深度的增加逐渐减少,而 Pb 和 Zn 的含量在土壤剖面上的变化规律则是先增加后减少,并且在 0—15 cm 左右的土层中富集,因此,要清除重金属污染而又不破坏或少破坏湿地原有生境最可行的方法就是进行深度约 15 cm 的生态清淤。

(3) 龙凤湿地土壤 Cu,Cd,Zn,Pb,As 五种重金属元素之间,除 Cu 和 As 间的的相关关系不显著外,其余各重金属元素之间均呈极显著的正相关关系( $p<0.01$ ),而 Cr 除与 Cu 呈显著正相关( $p<0.05$ )外,与其他各重金属元素之间均未表现出显著的相关性。由此可推测 Cu,Cd,Zn,Pb,As 的来源有可能相同,具有一定的共生组合性,而 Cr 可能与其他重金属元素的来源不同。

### 参考文献:

- [1] 赵如金,高晶,王晓静,等. 北固山湿地土壤氮磷及重金属空间分布[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):10-12.
- [2] Masson M, Blanc G, Schafer J. Geochemical signals and source contributions to heavy metal (Cd, Zn, Pb, Cu) fluxes into the Gironde Estuary via its major tributaries [J]. Sci. Total Environ., 2006,370(1):133-146.
- [3] 张耀方,江东,史东梅,等. 重庆市煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持模式研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):94-99.
- [4] 汪霞,南忠仁,武文飞,等. 干旱区绿洲土壤中重金属的形态分布及生物有效性研究[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1663-1666.
- [5] 邢光熹,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.
- [6] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [7] 孟昭虹,周嘉,郑元福. 哈尔滨市城市土壤重金属生态风险评价[J]. 水土保持研究,2009,16(2):152-155.
- [8] 王旭. 青海湖流域土壤元素背景值及其分异规律[D]. 西安:中国科学院地球环境研究所,2009:28-32.
- [9] 张耀方,江东,史东梅,等. 重庆市煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持模式研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):94-99.
- [10] 赵如金,高晶,王晓静,等. 北固山湿地土壤氮磷及重金属空间分布[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):10-12.
- [11] 余海龙,顾卫. 太原市绕城高速公路路域土壤特性与重金属污染评价研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):49-52.
- [12] Galley F A, Lloyd O L. Spatial and temporal patterns of airborne metal pollution: the value of low technology sampling to an environmental epidemiology study [J]. Sci. Total Environ., 1993,133(3):201-219.
- [13] 芦宝良,陈克龙,曹生奎,等. 青海湖典型湿地土壤重金属空间分布特征[J]. 水土保持研究,2012,19(3):190-194.