

文章编号 :1003-8701(2013)05-0040-04

金矿区土壤特征污染物分布特征初步研究

杨春雨^{1,2}, 张刚^{2*}, 殷世忠³, 冉欣²,
王媛⁴, 王宁², 高丽双¹

(1. 吉林东北煤炭工业环保研究有限公司, 长春 130062; 2. 东北师范大学环境学院, 长春 130024;
3. 东北电力设计院, 长春 130021; 4. 吉林省环境科学研究院, 长春 130021)

摘要:为研究金矿开采区土壤典型污染物空间分布特征, 2012年4月在夹皮沟金矿区内按网格法布点, 采集了28处土壤样品, 对样品pH值、有机质、碱解氮、速效磷及土壤总汞含量进行测定, 并分析了上述各因子间相关关系。研究表明: 矿区内土壤有机质含量空间分布呈现两个数量级的宽幅波动, 该现象与区内存在的复杂的各类农田土壤侵蚀过程作用有关。土壤碱解氮和速效磷含量空间变化相对较小, 且二者间存在一定的正线性相关关系, 推断氮磷主要源于农田施肥。矿区内土壤总汞含量介于0.094~0.136 mg/kg间, 土壤汞污染程度明显降低; 且土壤总汞含量与pH值、有机质、碱解氮和速效磷之间无线性相关关系。

关键词: 矿区; 农田; 土壤; 氮磷; 汞

中图分类号: X75

文献标识码: A

A Preliminary Study on the Distribution Characteristics to Typical Pollutants of Soil in Gold Mining Area

YANG Chunyu^{1,2}, ZHANG Gang^{2*}, YIN Shi-zhong³, RAN Xin²,
WANG Yuan⁴, WANG Ning², GAO Lishuang¹

(1. *Jilin Northeast Coal Industry Environmental Protection Research Co., Ltd. Changchun 130062*; 2. *School of Environment, Northeast Normal University, ChangChun 130024*; 3. *Northeast Electric Power Design Institute, Changchun 130021*; 4. *Academy of Environmental Sciences Research of Jilin Province, Changchun 130024, China*)

Abstract: In order to study the spatial distribution characteristics of typical pollutants of soil in gold mining area, 28 soil samples had been collected according to the method of grid in Jiapigou gold mine in April, 2012. Indexes of pH, organic matter, available N, available P and total mercury content of soil (TSM) had been determined and then the linear relationships among them had been analyzed, simultaneously. The results showed that in the mining area the spatial distribution of the organic matters appeared the frequency of wide fluctuations in two orders of magnitude and it maybe relate to the phenomenon of all kinds of soil erosion processes in the area. Moreover, the contents of available N and available P of soil were relatively small in spatial variation and there was a certain positive linear relationship between them, which was inferred to application of fertilizers. In addition, the TSM in the mining area ranged from 0.094mg/kg to 0.136mg/kg, which indicated that soil mercury pollution slow down obviously and no linear relationships between that with pH, organic matter, available N and available P.

Keywords: Mining area; Farmland; Soil; Nitrogen and phosphorus; Mercury

收稿日期: 2013-04-18

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(09QNJJ024); 吉林省科技厅青年基金项目资助(2009114)

作者简介: 杨春雨(1983-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 非点源污染, 环境影响评价。

通讯作者: 张刚, 男, 博士, 副教授, E-mail: zhangg217@nenu.edu.cn

1 研究背景

汞是全球性污染物,亦是环境中毒性最强的重金属元素之一^[1]。因混汞法提金在世界范围内曾得到广泛应用,直到 20 世纪 50 年代,混汞法提取的金产量仍占世界总产量的 28%~40%;保守估计,混汞提金过程约占整个人为释汞源的 1/10;此外,由于汞在金矿体中普遍存在,即金汞成矿时具有同源性,故汞(Hg)被视为金矿区特征污染物^[2-3]。而进入环境后的汞在特定条件下会转化为毒性更大、生物有效性更强的甲基汞(MeHg),并通过各种途径进入食物链而构成对人类健康的危害^[4]。故金属矿山(尤其是金矿地区)开采活动所引发的汞污染等问题,越来越受到人们的关注。

文献分析表明,国外对金矿区汞污染报道很多^[5-6],而国内则相对较少^[7-9]。本文所述夹皮沟金矿区域环境汞污染问题先前已有较为连续的研究,但多集中于报道水环境与水生生态系统方面污染规律^[2,10-11],其诱发原因等基础性研究则涉及较少。本文研究了该金矿区内尤其是集水区内土壤主要理化性质与土壤总汞空间分布特征,以期为矿区土壤特征污染物分布和迁移及汞环境生态安全研究等工作提供科学依据与参考。

2 区域概况与研究方法

2.1 区域概况

研究区域位于松花江上游夹皮沟金矿区内(127°15'~127°30'E,42°41'~43°0'N),属温带大陆性季风气候区,年均温 1.9~4.4℃,年降雨量 650~850 mm。矿区位于长白山西北部,地势由东南逐渐向西北倾斜,地势起伏,沟谷纵横。区域内林地资源和矿产资源丰富,林地面积 106 215 hm²,多为人工与自然混交林,森林覆盖率达 90%;耕地面积 2 260 hm²,且多为坡耕地,即由河流两侧漫滩和阶地辟为耕田而来。

夹皮沟金矿区曾是我国第一大产金矿区,1940~2008 年间使用混汞法工艺提金,导致区域环境严重汞污染。区域内目前有夹皮沟金矿等大小 30 余个各类属性金矿企业。据实地调查,保守估算区域混汞提金耗汞约 20 kg·a⁻¹,其中 50%~60%进入水、土壤和大气环境^[5-6,10]。矿区开采活动所致进入生态系统中的汞,在生物地球化学过程中,不断在各环境要素间进行迁移转化,从而诱发各类环境汞污染问题。

2.2 研究方法

2012 年 4 月,在矿区内按网格法确定了 28 个采样点,网格间距约 2 km,实施了连续采样,详见图 1,其中 11# 双河屯、12# 兴安村、14# 夹皮沟镇、15# 三道岔、19# 老牛沟、20# 高丽屯和 28# 老金厂 7 处采样点现状为聚居点,其他 21 处采样点均为原状耕田。采样期间为冬末春初,矿区内地表尚无植被及作物覆盖,处于裸土状态,取土作业时原地现状标明,各随机采样点并无明显人为干扰。

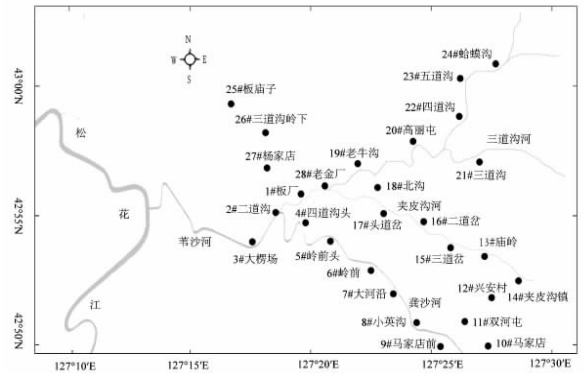


图 1 野外试验的采样点设置

各样点采集土壤表层样品约 1 kg,密封标记后送至实验室。样品经混匀风干后,依次测定 pH 值(pH 计法)、有机质(重铬酸钾容量法)、速效磷(0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法)和碱解氮(扩散皿法),每样品各指标测 5 个平行,取均值。此外,另取土壤样品经四分法缩至 100 g,粗筛过 2 mm 尼龙筛,用玛瑙研钵研磨全部通过 100 目(0.149 mm)尼龙筛后备用,使用硫酸-硝酸-高锰酸钾法消解过筛样品后,按《冷原子吸收分光光度法(GB/T 17136-1997)》测定土壤总汞含量^[7],每样品 3 个平行,亦取均值。

3 结果与讨论

3.1 土壤特征污染物空间分布

研究区域内为典型低山丘陵地带^[12],山顶及腰坡处多为次生林,林下一般发育有暗棕色森林土,沿坡向下,坡脚及沟谷底部河流两侧多辟为农田,广泛种植玉米,田间土壤类型多为新积冲积土。研究数据表明,矿区内各样点土壤 pH 值、有机质、碱解氮和速效磷统计值分别在 5.19~6.98、8.4~104.0 g/kg、30.3~96.2 mg/kg 和 14.6~94.8 mg/kg 范围内变化。

由表 1 可知,矿区内土壤 pH 值近中性并略呈酸性倾向,这与吉林省东部山区降水量较丰盈,且地势起伏,土壤层受淋溶作用影响较为显著有关,此类地带性特征明显区别于吉林省西部平原地区^[13]。

土壤有机质含量空间分布变化较为明显,在两个数量级间波动,这可能与区域土壤侵蚀过程有关,因采样期间矿区内正值冬末春初,地表土壤(尤其是农田区域)多处于裸露状态,季节性积雪消融作用下所致融雪侵蚀作用明显^[14],并兼具持续性降水淋洗侵蚀和风力搬运等侵蚀持续作用,表层土壤剥蚀现象较明显,各类作用使土壤中有机质含量在空间分布上呈现趋异特征。

土壤碱解氮也称为有效氮,能反映土壤近期内氮素供应情况,包括无机态氮(铵态氮、硝态氮)及易水解的有机态氮(氨基酸、酰胺和易水解蛋白质);故碱解氮与作物生长关系密切,在推荐施肥中意义较大^[15]。

土壤速效磷亦称有效磷,是土壤中可被植物

吸收的磷组分,包括全部水溶性磷、部分吸附态磷及有机态磷。速效磷是土壤磷素养分供应水平高低的指标,其含量高低在一定程度上反映了土壤中磷素的贮量和供应能力,故土壤中有效磷状况与施肥有着重要意义^[16]。

据表 1,与土壤有机质空间分布趋异特征相比,土壤碱解氮和速效磷两指标空间分布差异性较小,有趋同特征。研究表明^[13],氮磷肥广泛使用导致土壤中氮磷呈现较为稳定的比例组成;由此可初步推测研究区域内碱解氮和速效磷含量水平与空间分布规律可能与农田化肥施用过程密切相关,即土壤中氮磷素主要源于化肥使用。

研究区域自 1821 年有金矿开采记录以来,夹皮沟地区以金矿开采活动为中心逐渐发展起来,

表 1 矿区土壤基本理化性质统计

指标	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
pH 值	6.23	6.41	6.45	5.19	6.39	6.33	6.22	6.12	6.01	6.78	6.80	5.32	5.99	5.88
有机质(g/kg)	40.6	45.7	47.9	62.5	14.6	66.3	87.4	79.9	60.2	35.6	8.4	39.9	46.9	33.9
碱解氮(mg/kg)	59.8	35.8	40.7	34.4	47.3	57.1	58.9	61.4	66.9	74.9	70.7	62.3	90.1	80.3
速效磷(mg/kg)	35.4	33.5	35.6	40.5	28.3	38.4	39.5	23.5	41.4	24.7	30.6	18.3	15.9	17.1
指标	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#	26#	27#	28#
pH 值	6.05	6.55	6.98	5.74	5.76	5.53	5.87	6.01	6.04	5.97	5.93	5.99	5.77	5.98
有机质(g/kg)	104.0	98.9	99.9	70.4	66.4	86.8	55.9	45.9	34.9	10.9	82.7	97.9	88.2	40.7
碱解氮(mg/kg)	39.1	30.3	38.9	40.5	33.1	32.6	42.5	43.1	39.8	33.4	55.7	43.2	70.4	96.2
速效磷(mg/kg)	76.3	66.8	32.6	28.9	43.2	89.8	25.1	19.9	14.6	20.8	40.6	94.8	78.5	50.5

区域内人口变化及一、二、三产业亦围绕采矿行为呈现自组织分布态势,该过程与区域环境质量变化过程保持相对的一致性。故除了金矿生产开采引起的工艺释汞之外,供暖和生活用化石燃料燃烧及三产服务业等过程亦可大量释汞,在各类人为汞源叠加矿区自然汞源综合作用下,土壤介质则成为重要的汞汇和贮存库。

本研究中实验数据表明,矿区内土壤总汞含量分布于 0.094~0.136 mg/kg 范围之内,显著高于吉林省域土壤总汞背景值 0.041 mg/kg^[7],表明矿区内土壤汞污染问题仍较为严重。但与先前研究相比,即 2009 年 4 月笔者所在研究团队报道的区域内土壤总汞含量均值 0.9131 ± 0.0408 mg/kg^[7],本次实

验所得矿区土壤总汞含量则显著地降低。推测其原因:首先,2006~2008 年矿区主要金矿选冶工艺均已由混汞法改为全泥氰化法,工艺释汞源基本被禁止;第二,先前已有研究表明,矿区内土壤中的汞极易挥发而进入大气环境^[16-17],并随气流迁移扩散;第三,山区起伏地表导致土壤易受降水侵蚀和积雪融雪侵蚀等持续作用^[18],故土壤中汞可以非点源形式进入水环境而发生迁移。基于以上多因共同作用,而导致出现矿区土壤总汞含量呈现随年季而递减的特征。另外,分析比较相关文献报道^[19-20],作为金矿开采区,与省域范围内其他县域进行比较,研究区域土壤中总汞含量仍处于较高水平,矿区土壤污染问题仍不容小觑。

表 2 土壤总汞含量统计

项目	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
总汞	0.105	0.113	0.113	0.112	0.115	0.110	0.094	0.107	0.104	0.116	0.109	0.106	0.109	0.116
项目	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#	26#	27#	28#
总汞	0.111	0.107	0.120	0.108	0.106	0.095	0.121	0.136	0.111	0.107	0.098	0.101	0.099	0.106

mg/kg

3.2 相关性分析

对土壤总汞含量、pH 值、有机质、碱解氮和速效磷各因子间进行线性相关分析,统计所得 Pearson 系数于表 3,表明土壤总汞含量与土壤 pH 值、有机质、碱解氮和速效磷间无线性相关性。上述结果一方面说明,研究区域内总汞含量空间分布与上述土壤诸理化因子间没有明显协同或拮抗关系,其迁移规律异于土壤氮磷素等农田施肥等因子^[20],土壤汞对作物生长影响及农作物富集规律尚需深入研究予以揭示;另一方面,考虑到作为重金属的汞生物地球化学行为,同时结合本实验研究分析,可再次印证,土壤中汞的迁移过程并不是简单的单相过程,而是受大气、降水、地表径流、壤中流、植被、微生物等多相多因子共同作用的复杂过程,其机理尚需大量的研究工作予以解释和证实。此外,值得注意的是,土壤碱解氮和速效磷含量间存在一定的正线性相关关系,也进一步证实了文 3.1 中的推测,即矿区内本研究所采集的土壤样品中氮磷素应该是来源于农田施肥过程。

表 3 土壤各指标间相关性分析

项目	总汞	pH 值	有机质	碱解氮
pH 值	0.053	--		
有机质	-0.292	-0.089	--	
碱解氮	-0.098	-0.041	-0.294	--
速效磷	-0.204	-0.096	0.370	0.526

4 结 论

4.1 研究区域土壤略呈酸性,土壤有机质含量空间分布呈现两个数量级的宽幅波动,该现象与区内存在的复杂的各类土壤侵蚀过程作用有关。

4.2 土壤碱解氮和速效磷含量空间变化相对较小,且二者间存在一定的正线性相关关系,推断氮素磷素主要源于农田施肥过程。

4.3 研究期间矿区内土壤总汞含量介于 0.094 ~ 0.136 mg/kg,与先前的研究报道相比,土壤汞污染程度明显降低;并且相关性分析表明土壤总汞与 pH 值、有机质、碱解氮和速效磷间无线性相关关系。

参考文献:

[1] Li P, Feng X B, Qiu GL, et al. Mercury pollution in Asia: A

- review of the contaminated sites [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 168(2-3): 591-601.
- [2] 张刚,王宁,王艺等.中国金矿开采区环境汞污染[J].*环境科学与管理*, 2012, 37(11): 54-60.
- [3] Gustin M, Lindberg S E, Austin K, et al. Assessing the contribution of natural sources to regional atmospheric mercury budgets [J]. *The Science of the Total Environment*, 2010, 259(1-3): 61-71.
- [4] 胡海燕,冯新斌,曾永平等.汞的微生物甲基化研究进展[J].*生态学杂志*, 2011, 30(5): 874-882.
- [5] Suzana Z, Milena H, Darija G, et al. Bioaccumulation of mercury in benthic communities of a river ecosystem affected by mercury mining [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 377(2-3): 407-415.
- [6] Ikingura J R, Akagib H, Mujumba J. Environmental assessment of mercury dispersion, transformation and bioavailability in the Lake Victoria Goldfields, Tanzania[J]. *Journal of Environmental Manage*, 2006, 81(2): 167-173.
- [7] 张刚,王宁,王媛等.松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征[J].*环境科学*, 2012, 33(9):2953-2959.
- [8] Xinbin Feng, Qianqin Dai, Guangle Qiu, et al. A Gold mining related mercury contamination in Tongguan, Shaanxi Province, PR China [J]. *Applied Geochemistry*, 2006(21): 1955-1968.
- [9] 徐友宁,张江华,刘瑞平等.金矿区农田土壤重金属污染的环境效应分析[J].*中国地质*, 2007, 34(4): 716-722.
- [10] 王宁,朱颜明,盛连喜等.松花江上游苇沙河河段中国林蛙的汞污染[J].*科学通报*, 2005, 50(15): 1589-1593.
- [11] 邹婷婷,王宁,张刚等.松花江上游金矿开采区环境中汞污染的空间分布特征 [J]. *环境科学*, 2010, 31(9): 2228-2233.
- [12] 王宁,朱颜明.松花湖水源地重金属非点源污染调查[J].*中国环境科学*, 2000, 20(5): 419-421.
- [13] 王媛,张刚,朱显梅等.吉林省西部新增灌区水田非点源污染负荷估算[J].*环境科学与管理*, 2012, 37(4): 35-39.
- [14] 张刚,王宁,艾建超等.积雪雪控制下土壤大气间汞交换通量特征[J].*环境科学*, 2013, 34(2): 468-475.
- [15] 王晓岚,卡丽毕努尔,杨文念.土壤碱解氮测定方法比较[J].*北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(1): 76-78.
- [16] 梁烜赫,曹铁华,张磊等.吉林省农田重金属含量及其在作物中的累积[J].*吉林农业科学*, 2011, 36(6): 59-62.
- [17] 王占华,张刚,王艺等.季节性积雪环境雪/气间汞通量特征初步研究[J].*农业环境科学学报*, 2013, 32(3): 601-606.
- [18] 杨春雨,张刚,王艺等.金矿区冬季环境气态汞分布特征研究[J].*农业环境科学学报*, 2013, 32(3): 607-611.
- [19] 张刚,王宁,艾建超等.持续性降水气象条件下土壤/大气间汞通量特征[J].*中国环境科学*, 2013, 33(3): 409-415.
- [20] 彭畅,牛红红,李强等.县域玉米测土配方施肥应用技术研究[J].*吉林农业科学*, 2011, 36(6): 28-32.