

复垦不同年限煤矸山土壤重金属污染状况评价

亢晨宇, 贺泽好, 于亚军

(山西师范大学 地理科学学院, 山西 临汾 041000)

摘要:为研究复垦年限对煤矸山土壤重金属的影响,以山西省霍州市曹村煤矿煤矸山复垦3 a、5 a、7 a和9 a农田为研究对象,对复垦地土壤重金属Hg、Cd、Pb、As和Ni的质量分数及其污染状况进行了分析。结果表明:(1)煤矸山复垦农田0—20 cm和20—40 cm土层土壤重金属质量分数有随复垦年限增加而增加的趋势,其中Pb、Cd表现最明显,而Hg的增加趋势主要出现在20—40 cm土层;同时,煤矸山复垦农田土壤重金属质量分数均不同程度地高于当地普通农田,尤其在20—40 cm土层表现更明显;(2)单因子污染指数表明,Hg和As在0—20 cm和20—40 cm土层污染程度随年限没有变化,分别为重度污染和轻微污染,Pb和Cd在0—20 cm也没有变化,分别为轻微污染和轻度污染,但在20—40 cm土层随年限增长达到轻度污染和中度污染;综合污染指数表明,复垦农田在0—20 cm和20—40 cm土层污染指数均表现为随复垦年限增加而增加的趋势,4种复垦年限农田均达到重度污染。研究结果有助于指导煤矸山植被恢复和复垦地的合理利用。

关键词:复垦土壤; 不同年限; 煤矸山; 土壤重金属; 生态风险

中图分类号: X53; X752

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0343-04

Evaluation on Heavy Metal Contents of Soil in Coal Waste Pile After Reclamation

KANG Chenyu, HE Zehao, YU Yajun

(College of Geography Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: To evaluate the effects of reclamation years on heavy metals in coal waste pile soil, coal mine reclamation soils with reclamation years of 3 years, 5 years, 7 years and 9 years were examined in Cao village in Huozhou, Shanxi Province, the contents and pollution status of heavy metals Hg, Cd, Pb, As and Ni in reclamation soil were analyzed. The results showed that: (1) the contents of soil heavy metals in soil layers of 0—20 cm and 20—40 cm had the increasing trend over years, the contents of Pb and Cd increased most obviously, while the increasing trend of Hg content occurred in 20—40 cm soil layer; meanwhile, the heavy metal contents in coal waste pile reclamation soil were higher than those in farmland soil in different degrees, especially in 20—40 cm soil layer; (2) single factor pollution index showed that the contents of Hg and As in 0—20 cm and 20—40 cm soil layers did not change with years, which were severe pollution and slight pollution, respectively; the contents of Pb and Cd in 0—20 cm soil layers did not change, which were slight pollution and light pollution, respectively, but increased with years to light pollution and moderate pollution in the 20—40 cm soil layer; the comprehensive pollution index showed that heavy metal pollution in reclaimed land in 0—20 cm and 20—40 cm soil layers presented the increasing trend with the reclamation years, and 4 types of reclaimed lands all suffered the severe pollution. The research results are helpful to guide the rational use of coal waste pile reclamation land and vegetation restoration.

Keywords: reclaimed soil; reclamation year; coal waste pile; heavy metals in soil; ecological risk

目前,煤矸山复垦治理在黄土高原地区多采用推平覆土后进行植被绿化的方式^[1-2]。煤矸石中重金属

元素含量普遍较高,随着环境条件变化,可能会引起污染物的释放,对推平覆土形成的“重构土壤”造成污

染^[3-5]。我国矿区大部分复垦土地被用于农业生产^[6],一旦复垦土壤重金属过度累积,会在植物体内存留和积累,并可能通过食物链给人畜造成危害^[7-8]。因此,研究煤矸山复垦土壤重金属状况可有效监测复垦地土壤质量状况。研究表明,复垦煤矸山土壤重金属有随着年限增加而积累的趋势,如胡振琪等^[9]研究发现随着复垦时间的增加,复垦土壤 0—40 cm 土层重金属污染指数呈递增趋势,但不同元素在土壤中积累的程度有所不同^[10]。因此,开展不同年限煤矸山复垦土壤重金属污染状况研究,不仅可以查明复垦土壤重金属随年限变化的情况,而且可以指导煤矸山“因时制宜”地进行植被恢复。

山西省煤炭资源储量大、产量高,全省煤矿企业矸石累计堆存量 8.3 亿 t,已形成 300 多座煤矸山^[11]。近年来,山西省加大了矸石山复垦治理的力度,多个煤矸山通过覆土复垦的方法得到治理。本文选取山西省霍州市曹村煤矿矸石山复垦区,以复垦 3 a,5 a,7 a 和 9 a 农田为研究对象,分析 4 种复垦年限土壤重金属 Hg, Cd, Pb, As 和 Ni 质量分数及与普通农田(CK)的差异,并对 4 种复垦年限土壤重金属可能造成的污染进行评价,有效查明矸石山复垦土壤随年限变化后重金属污染情况,为当地植被恢复和土地利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省霍州市曹村矿区,该矿距离霍州市 7 km。本区为侵蚀型黄土丘陵地貌,土壤类型为褐土,气候属温带大陆性气候,全年盛行偏南风 and 偏北风,年平均气温 12.2℃,年降水量为 353.3~688.9 mm。研究样地为曹村煤矿复垦的矸石山土地(36°30'N, 111°42'E),该矸石山自 1959 年排矸,矸石累积堆存量约为 200 万 t,占地约 1.6 万 m²,垂直高度约 50 m。该矸石山于 2006 年、2008 年、2010 年、2012 年分别对 4 座矸石山头进行推平覆土,操作时先采用厦工 50 型装载机(自重 17 t)将各山头矸石堆推平压实,再上覆 80~100 cm 厚度土壤(覆土土壤取自煤矸山附近,其表层土壤重金属含 Hg, Pb, Cd, As 量分别为 0.02 mg/kg, 15.23 mg/kg, 0.11 mg/kg, 11.3 mg/kg),然后整平土地进行植被绿化。由此形成 4 种年限的复垦样地,面积分别约为 400 m², 300 m², 600 m², 500 m²,复垦后土地利用方式为农田,种植作物主要为玉米(*Zea mays* L.)和秋葵(*Abelmoschus esculentus* L.)等。

1.2 土样采集与分析

1.2.1 土样采集 本研究以复垦 3 a, 5 a, 7 a 和 9 a 农田为样地,同时以当地普通农田为对照(CK),土壤采集时间为 2015 年 10 月,采样时为了消除因覆土作业时造成土壤性质的空间差异尽可能多选样点,结合各样地面积每样地划分 3 个样方,每个样方用对角线法取 5~9 点混合成 1 个样品,由此每样地样点数为 15~27 个点。采样工具为土钻,采集土层为 0—20 cm 和 20—40 cm。

1.2.2 土样分析 土壤中 Hg 的测定用冷原子吸收分光光度法(GB/T17136—1997),As 的测定用二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法(GB/T17134—1997),Pb, Cd 的测定用 KI-MIBK 萃取火焰原子吸收分光光度法(GB/T17140—1997),Ni 的测定用火焰原子分光光度法(GB/T17139—1997)。土壤重金属质量分数平均值采用 Excel 2007 软件进行,差异显著性分析采用 SPSS 17.0 中单因素方差分析的 LSD 法。

1.3 污染评价方法

1.3.1 评价方法 复垦煤矸山土壤重金属污染评价采用单因子污染指数法和综合污染指数法进行(国家环境保护总局)。其评价公式如下:

$$\text{单项污染指数 } P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为重金属 i 的累积指数; C_i 为重金属 i 的实测值; S_i 为重金属 i 的评价参比值,

$$\text{综合污染指数 } P = [(P_{\max}^2 + P_{\text{ave}}^2) / 2]^{1/2}$$

式中: P 为内梅罗综合指数; P_{\max} 为单项指数最大值; P_{ave} 为单项指数算数平均值。

1.3.2 评价标准 本研究单因子污染指数法评价时以山西省土壤背景值为标准^[12],分级标准按照《全国土壤污染状况评价技术规范(环发[2008]39号)》。综合评价分级标准参照国家土壤环境质量标准(HJ/T166—2004)。

2 结果与分析

2.1 不同复垦年限土壤重金属质量分数分析

表 1 是复垦 3 a, 5 a, 7 a 和 9 a 样地土壤重金属质量分数及超出普通农田(CK)的比例。首先,从各样地重金属质量分数来看,在 0—20 cm 土层,4 种复垦年限农田含 Hg, As 量均无明显差异,但含 Pb, Cd 量在 7 a 和 9 a 农田中显著高于 3 a 和 5 a 农田,而含 Ni 量在 9 a 农田中显著低于 3 a, 5 a, 7 a 农田;在 20—40 cm 土层,4 种复垦年限农田 As 和 Ni 含量均

无明显差异,但 Hg,Cd 含量在 9 a 农田中显著高于 3 a,5 a,7 a 农田,Pb 含量随年限变化与 0—20 cm 一致。其次,从各样地重金属质量分数高出 CK 的比例来看,0—20 cm 土层 4 种复垦年限农田除 Cd,As 质量分数偏高外,其余重金属质量分数均低于或等于 CK 样地;但 20—40 cm 土层 4 种复垦年限农田均高于 CK。

整体来看,复垦农田中 Pb,Cd 含量在 0—40 cm 土层中呈现随复垦年限增加而增加的趋势,Hg 在 20—40 cm 也呈现类似趋势;与 CK 的对比来看,复垦农田 0—20 cm 土层只有 Cd,As 质量分数超出当地普通农田,但 20—40 cm 土层 4 种复垦年限农田重金属质量分数均超出当地普通农田。

表 1 4 种复垦年限土壤重金属质量分数及高出普通农田(CK)的比例

土层/cm	样地	重金属质量分数/(mg·kg ⁻¹)					高出普通农田(CK)比例/%				
		Hg	Pb	Cd	As	Ni	Hg	Pb	Cd	As	Ni
0—20	3a	0.31b	17.15c	0.24a	10.10a	31.97a	—35.4	—46.4	26.3	14.6	—2.3
	5a	0.35b	15.61c	0.21a	10.40a	28.32a	—27.1	—51.2	10.5	18.0	—17.4
	7a	0.36b	23.56b	0.28b	11.50b	29.29a	—25.0	—26.3	47.3	30.5	—14.6
	9a	0.37b	24.97b	0.29b	9.39a	24.89b	—22.9	—21.9	52.6	6.6	—27.4
	CK	0.48a	31.97a	0.19a	8.81a	34.28a	—	—	—	—	—
20—40	3a	0.33b	21.86b	0.26b	12.00a	28.63a	26.9	34.6	52.9	12.1	2.8
	5a	0.35b	16.65c	0.25b	10.20a	30.32a	34.6	4.3	47.1	—4.7	8.9
	7a	0.36b	31.88a	0.27b	11.60a	32.32a	38.5	96.3	58.8	8.4	16.1
	9a	0.47a	39.87a	0.31c	11.10a	26.92a	80.8	145.5	82.4	3.7	—3.3
	CK	0.26c	16.24c	0.17a	10.70a	27.84a	—	—	—	—	—

注:同列不同小写字母表示数据间差异显著($p<0.05$),下同。

2.2 不同复垦年限土壤重金属污染评价

表 2 是复垦 3 a,5 a,7 a 和 9 a 农田重金属单因子污染指数和综合污染指数的评价结果。首先,从单因子污染指数的差异来看,在 0—20 cm 土层,4 种复垦年限农田中 Hg,As 和 Ni 均无明显差异,但 Pb,Cd 在 7 a,9 a 农田中显著高于 3 a,5 a 农田。其污染程度表现为 Hg,Pb,Cd 和 As 在 4 种复垦年限农田中一致,分别为重度污染、轻微污染、轻度污染和轻微污染,Ni 在 3 a 农田中为轻微污染,5 a,7 a,9 a 农田中为未污染,尤其在 9 a 农田中污染指数最低。在 20—40 cm 土层,4 种复垦年限农田中 Cd,As 和 Ni 污染指数均无明显差异,而 Hg 在 9 a 农田中显著高于 3 a,5 a 和 7 a 农田,Pb 在 7 a 和 9 a 农田中明显高于 3 a 和 5 a 农田。在污染程度上,Hg 和 As 在 4 种

复垦年限农田中均相同,并且与 0—20 cm 土层一致,Pb 在 3 a 和 5 a 农田中为轻微污染,在 7 a 和 9 a 农田中为轻度污染,Cd 在 3 a,5 a 和 7 a 农田为轻度污染,在 9 a 农田中为中度污染,Ni 在 5 a 和 7 a 农田中为轻微污染,9 a 农田中未污染。4 种复垦年限农田单因子污染状况总体表现为:Pb 在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层均表现为随复垦年限增加的趋势;Cd 在 0—20 cm 呈现随复垦年限加重的趋势,Hg 在 20—40 cm 也呈现此种趋势;As 在 4 种复垦年限两个土层中均无明显差异;Ni 在 4 种复垦年限两个土层中均呈现随复垦年限降低趋势。其次,从综合污染指数来看,4 种复垦年限农田 0—20 cm 和 20—40 cm 土层污染指数均表现为随复垦年限增加而增加的趋势,并且污染程度均达到重度污染。

表 2 4 种复垦年限单因子污染指数和综合污染指数评价结果

土层/cm	样地	单项污染指数					综合污染指数
		Hg	Pb	Cd	As	Ni	
0—20	3a	13.48a	1.17a	2.35a	1.11a	1.07b	9.91a
	5a	15.22a	1.06a	2.06a	1.14a	0.95a	11.14a
	7a	15.65a	1.60b	2.75b	1.26a	0.98a	11.50b
	9a	16.09a	1.70b	2.84b	1.03a	0.83a	11.81b
20—40	3a	14.35a	1.49b	2.55a	1.32a	0.96a	10.56a
	5a	15.22a	1.13a	2.45a	1.12a	1.01a	11.16b
	7a	15.65a	2.17c	2.65a	1.27a	1.08a	11.53b
	9a	20.43b	2.71c	3.04a	1.22a	0.90a	14.99c

3 讨论

3.1 年限和矸石中重金属迁移对复垦农田 20—40 cm 土层重金属质量分数影响明显

煤矸山复垦 3 a, 5 a, 7 a 和 9 a 农田土壤重金属质量分数及超出对照差异显示, 煤矸山复垦农田土壤重金属质量分数均不同程度地高于当地普通农田, 尤其在 20—40 cm 土层中表现更明显。并且其超出对照的比例也随年限增长而加大, 其中表现最为明显的是 Pb, 其次为 Cd 和 Hg, 这说明, 复垦年限对土壤重金属积累有明显影响; 除此之外, 复垦农田的 0—20 cm 土层只有 Cd, As 含量超出对照, 20—40 cm 土层中 5 种重金属元素全部超过对照, 这同时也说明底层矸石内重金属元素随年限增长有逐渐向上迁移趋势, 其他研究也有类似情况^[13-14]。

3.2 矿区干湿沉降导致普通农田土壤 0—20 cm 重金属质量分数高于复垦农田

研究发现, 此样区普通农田(CK) 0—20 cm 土层重金属质量分数明显高于复垦农田, 其中表现最为明显的是 Pb, 高出普通农田 51.2%, 其次为 Hg 和 Ni, 分别为 35.4%, 27.4%。同时, 研究测得 CK 中含 Hg, Pb, Ni 量明显高于山西省土壤背景值(分别为 20 倍、2 倍、1 倍), 但这种趋势在 20—40 cm 土层并未出现。研究表明, 土壤中 Hg, Pb 和 Ni 主要来自采矿和燃煤等产生的粉尘以及运煤排出的尾气和矸石自燃、风化和淋溶^[15-16], 因此, 造成本区普通农田土壤表层重金属质量分数较高的原因可能是重金属颗粒物通过干湿沉降的形式积累在土壤表层。而在复垦地, 原有土壤层次结构被打乱, 重金属分布状况可能变化, 同时煤矸山复垦地由于接受粉尘时间短, 因而污染相对较轻, 所以复垦地表层土壤重金属质量分数低于普通农田。

4 结论

(1) 煤矸山复垦农田土壤重金属质量分数随复垦时间增加而增加, 其中 Pb, Cd 表现最为明显, 而 Hg 的增加趋势主要出现在 20—40 cm 土层; 其次, 煤矸山复垦农田土壤重金属质量分数均不同程度地高于当地普通农田, 尤其在 20—40 cm 土层表现更明显。

(2) 从单因子污染指数看, Hg 和 As 在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层污染程度随年限增长均没有变化, 分别为重度污染和轻度污染, Pb 和 Cd 在 0—20 cm 土层也没有变化, 分别为轻度污染和轻度污染, 但 Pb 和 Cd 在

20—40 cm 土层随年限增长发生改变, 其中 Pb 在 3 a 和 5 a 农田为轻度污染, 在 7 a 和 9 a 农田为轻度污染, Cd 在 3 a, 5 a 和 7 a 农田为轻度污染, 在 9 a 农田为中度污染; 再从综合污染指数来看, 4 种复垦年限农田在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层污染指数均表现为随复垦年限增加而增加的趋势, 并且均达到重度污染。

参考文献:

- [1] 苏光全, 何书金, 郭焕成. 矿区废弃土地资源适宜性评价[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 41-48.
- [2] 卞正富. 我国煤矿区土地复垦与生态重建研究[J]. 资源与产业, 2005, 7(2): 18-24.
- [3] 董霁红, 卞正富, 王贺封. 矿山充填复垦场地重金属含量对比研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(4): 531-536.
- [4] Bukowski P, Bromek T, Augustyniak. Using the drastic system to assess the vulnerability of groundwater to pollution in mined areas of the upper silesian coal basin[J]. Mine Water and the Environment, 2006, 25(1): 15-22.
- [5] Bhuiyan M A H, Parvez L, Islam M A, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh[J]. J. Hazard. Mater., 2010, 173(13): 384-392.
- [6] 卞正富, 翟广忠. 矿区土地复垦规划的理论和实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [7] 李小飞, 陈志彪, 陈志强, 等. 南方稀土采矿地土壤和蔬菜重金属含量及其健康风险评价[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 146-151.
- [8] 常学秀, 施晓东. 土壤重金属污染与食品安全[J]. 云南环境科学, 2001, 20(Z1): 21-24.
- [9] 胡振琪, 戚家忠, 司继涛. 不同复垦时间的粉煤灰充填复垦土壤重金属污染与评价[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 214-218.
- [10] 马建军, 张树礼, 王金满, 等. 复垦地土壤重金属及类重金属的时间累积效应[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(12): 69-74.
- [11] 武冬梅, 张建红, 赵景逵, 等. 山西矿区矸石山复垦种植施肥措施[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 333-336.
- [12] 史崇文, 赵玲芝, 郭新波, 等. 山西土壤元素背景值及其特征[J]. 华北地质矿产杂志, 1994, 9(2): 188-196.
- [13] 郑永红, 张治国, 等. 煤矿复垦区土壤重金属含量时空分布及富集特征研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(3): 1476-1483.
- [14] 邵群. 新庄孜矿塌陷区煤矸石中重金属迁移对覆土影响[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(6): 34-36.
- [15] 陈同斌, 黄铭洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 228-236.
- [16] 冯启言, 刘桂建. 兖州煤田矸石中的微量有害元素及其对土壤环境的影响[J]. 中国矿业, 2002, 11(1): 67-69.