

刘雪冉,朱琦,胡振琪,等.生态脆弱草原区露天煤矿排土场边坡复垦土壤的质量变化特征[J].江苏农业科学,2017,45(9):242-244.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.065

# 生态脆弱草原区露天煤矿排土场边坡复垦土壤的质量变化特征

刘雪冉,朱琦,胡振琪,许涛

[中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所/矿山生态安全教育部工程研究中心,北京 100083]

**摘要:**以内蒙古自治区神华宝日希勒煤矿排土场边坡复垦土壤为试验对象,分析复垦年限分别为1、2、3、4、5年的边坡土壤养分含量,以揭示排土场边坡复垦土壤养分的时空演变规律。结果表明,随复垦时间的增加,排土场中坡土壤的营养元素变异系数相对最低,上坡、下坡营养元素含量变化较大;有机质、全氮、碱解氮含量整体呈下降趋势,速效钾含量呈增加趋势,有效磷含量呈先减小后增加趋势。

**关键词:**草原区;露天煤矿;土地复垦;土壤质量;变化特征;内蒙古

**中图分类号:** S153.6;X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0242-03

为满足中国经济快速发展的需要,煤炭采掘业以前所未有的速度迅猛发展,新中国成立以来,全国累计生产煤炭761亿t,其中2015年全国煤炭产量为37.5亿t,比2010年增长15.9%,而露天煤矿的煤炭产量约占煤炭总产量的11%。有研究表明,露天开采煤炭1万t,破坏土地面积约0.22 hm<sup>2</sup>,包括挖掘损坏土地面积0.12 hm<sup>2</sup>,外排土场占用土地面积约0.10 hm<sup>2</sup>,土地损毁面积是井工开采损毁土地面积的2~11倍<sup>[1-2]</sup>。我国大型的露天煤矿多处在于旱、半干旱的生态脆弱区,同时也是我国重要的草原生长区,煤炭资源的开采造成严重的生态环境破坏问题。

内蒙古东部草原区位于我国生态安全“两屏三带”的北方防沙带,具有土壤瘠薄、严寒、半干旱等生态脆弱特点,排土场平台、边坡土地复垦露天成为煤矿开采挖掘损坏土地复垦的主要内容。目前,对排土场土地复垦的研究主要针对复垦后土壤质量评价、土壤重构基本特性等方面<sup>[3-10]</sup>,对当前草原区露天煤矿排土场边坡土壤养分变化的研究相对较少。本试验通过研究内蒙古自治区神华宝日希勒露天煤矿排土场边

坡的土壤养分动态演变规律,为露天煤矿排土场边坡生态环境的恢复与重建提供理论依据,对矿区治理有一定的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

内蒙古自治区神华宝日希勒露天煤矿位于陈旗煤田宝日希勒勘探区中部,隶属内蒙古自治区呼伦贝尔市陈巴尔虎旗宝日希勒镇管辖。该矿南距呼伦贝尔市海拉尔区20 km,北距额尔古纳市100 km,西距陈旗旗府所在地巴彦库仁镇22 km,东距哈尔滨市约800 km,为略有起伏的高平原,北部及东北部与低山丘陵相接,地势北东高而南西低;海拔最高为724.09 m,最低为601.88 m。矿区属大陆性亚寒带气候,经常遭受西伯利亚寒流的袭击,春秋两季风较多,风力较大,夏季较热,冬季严寒;年平均气温-2.6℃,最高气温37.7℃,最低气温-48℃;年平均降水量315.0 mm,年平均蒸发量1344.8 mm;春季多东南风,冬季多西北风,风力3~5级,风速最大17 m/s;植被为寒温带草甸草原,地带性植被为羊草,植被覆盖度70%;矿区范围内主要分布土壤类型为淡黑钙土、暗栗钙土,水土流失类型为水力、风力侵蚀。

### 1.2 供试土壤样品的采集

2016年,在内蒙古自治区神华宝日希勒煤矿分别采集复垦5、4、3、2、1年,即2011年、2012年、2013年、2014年、2015

收稿日期:2016-11-16

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0501103-4)。

作者简介:刘雪冉(1984—),女,山东济宁人,博士,主要从事土地复垦与生态重建、土地整理研究。E-mail:liuxueran1221@163.com。

及发展趋势[J]. 化工环保,2015,35(4):363-369.

[2]李紫薇,李小敏,袁圣银.棉秆对水中碱性品红的吸附研究[J]. 水处理技术,2015,41(4):66-70.

[3]孙绪兵,吴彩文,何柏琼.柠檬皮渣对亚甲基蓝吸附性能研究[J]. 工业用水与废水,2014,45(6):62-66.

[4]丁春生,毛凌俊,吴杰,等.微波改性活性炭深度处理亚甲基蓝染料废水的研究[J]. 工业水处理,2015,35(1):68-71,96.

[5]彭元,张利平,程先忠.柿叶粉对亚甲基蓝吸附性能的研究[J]. 武汉轻工大学学报,2015,34(1):47-51.

[6]刘茹,王春英.环氧氯丙烷改性花生壳粉对孔雀绿染料的吸附性能[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):389-391.

[7]李勤,黄亚继,金保昇,等.生物质活性炭对亚甲基蓝的吸附平衡和动力学研究[J]. 热能动力工程,2010,25(4):450-454.

[8]刘健,李耀威,王刚,等.改性废报纸纤维对水中Cr(VI)的吸附研究[J]. 中国环境科学,2015,35(5):1368-1374.

[9]李瑞月,陈德,李恋卿,等.不同作物秸秆生物炭对溶液中Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>的吸附[J]. 农业环境科学学报,2015,34(5):1001-1008.

[10]朱灵峰,吴洁琰,郝丹迪,等.柚子皮对孔雀石绿的吸附性能[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):366-368.

[11]刘新,冷言冰,谷仕艳,等.油菜秸秆外壳对水溶液中六价铬的吸附作用[J]. 中国环境科学,2015,35(6):1740-1748.

年采用相同模式复垦的排土场边坡土壤,以矿区区内未受影响的区域土壤为对照;每个采集区划分为上坡、中坡、下坡,间距为5~8 m,同一坡度取3个大小的样点,间距为50 m,用土钻垂直钻取表层土壤,每个样点取3个土样。将9个样点土壤充分混合,用“四分法”去除多余土壤。复垦模式为排土场边坡,在混排土上直接覆盖20~30 cm表土,种植披碱草,播种量为25 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 测定内容与与方法

分别采用油浴加热K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub>容量法、半微量凯氏定氮法、碱解扩散法、浸提-火焰光度法、钼锑抗比色法测定土壤的有机质、全氮、碱解氮、速效钾、有效磷含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同复垦年限边坡土壤营养元素的变异性分析

土壤营养元素的变异性一般按照变异系数(CV)大小进行分级,CV≤0.10为弱变异性,0.10<CV≤0.30为中等变异性,CV>0.30为强变异性。由表1可见,排土场边坡同一坡度土壤各营养元素的变异性大小顺序为速效钾<有机质<碱解氮<全氮<有效磷,其中有效磷变异性最强,且上坡、中坡、下坡的变异系数均超过0.30,达到强变异性;对不同边坡位置而言,中坡的变异性相对最低,变异系数低于上坡、下坡,这表明随覆土年限的变化,中坡土壤营养成分含量较为稳定,不易发生剧烈的波动。

表1 不同复垦年限3种边坡位置土壤的营养元素变异系数

边坡位置	变异系数				
	有机质	全氮	碱解氮	速效钾	有效磷
上坡	0.25	0.42	0.34	0.23	0.67
中坡	0.21	0.24	0.22	0.10	0.47
下坡	0.32	0.38	0.37	0.09	0.78

### 2.2 不同复垦年限土壤营养元素含量的变化

**2.2.1 有机质** 土壤有机质含量是表征土壤肥力高低的重要指标,是土壤肥力的物质基础,也是各种营养元素特别是氮、磷的主要来源,直接影响土壤结构的形成。由图1可见,随着复垦年限的增加,土壤表面有机质的含量整体呈下降趋势,复垦1年的边坡有机质含量(上坡、中坡、下坡有机质含量之和)为9.78%,而复垦5年的边坡有机质含量仅为4.89%;随复垦年限的增加,不同边坡位置的土壤有机质含量呈不同的变化规律,上坡、下坡有机质含量呈先减少后增加再减少的趋势,中坡有机质含量呈逐年下降趋势;对同一复垦年份不同边坡位置而言,复垦2、3年的上坡有机质含量相对较高,复垦1、4年的下坡有机质含量相对较高,而复垦5年的中坡有机质含量相对较高。

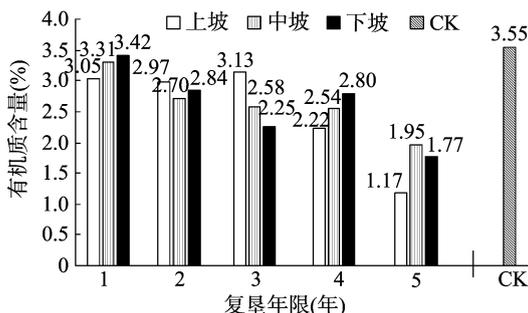


图1 不同复垦年限边坡土壤的有机质含量变化

**2.2.2 全氮** 土壤全氮包括有机态氮和无机态氮,是土壤肥力的重要指标,也是土壤氮素肥力的源泉。全氮大部分来自有机质,来源于动植物残体的分解、土壤微生物和大气降水带入的氮及有机、无机肥料的施用。由图2可见,全氮含量的变化与边坡有机质含量的变化规律基本一致,随复垦年限的增加,边坡土壤全氮含量呈下降趋势,复垦1年的边坡土壤全氮含量(上坡、中坡、下坡全氮含量之和)相对最高,为5.53 g/kg,而复垦5年的边坡土壤全氮含量仅为2.08 g/kg;对照区表层土壤的全氮含量为1.72 g/kg,而复垦1年的下坡土壤全氮含量达到2.46 g/kg,明显高于对照。

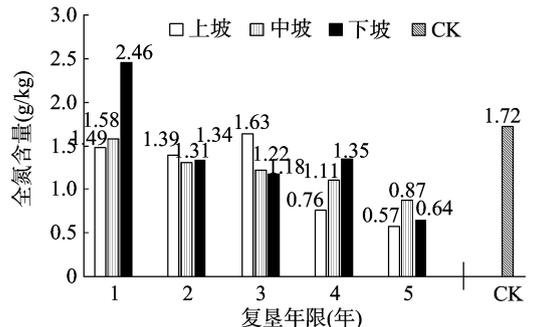


图2 不同复垦年限边坡土壤的全氮含量变化

**2.2.3 碱解氮** 碱解氮别称水解氮、速效氮,包括无机态氮和结构简单、能被植物直接吸收利用的有机态氮,在土壤中含量不稳定,易受土壤水热条件和动植物、微生物活动影响而发生变化,仅能反映近期土壤氮素的供应情况。由图3可见,随复垦年限的增加,边坡碱解氮含量(上坡、中坡、下坡碱解氮含量之和)呈下降趋势,复垦1年的边坡土壤碱解氮含量为358.92 mg/kg,复垦5年的边坡土壤碱解氮含量仅为163.12 mg/kg,占复垦1年边坡土壤碱解氮含量的45.45%;随复垦时间的增加,中坡土壤的碱解氮含量不断下降;复垦3年上坡土壤的碱解氮含量为121.71 mg/kg,比复垦2年的上坡土壤碱解氮含量增加18.91 mg/kg,而复垦4年的上坡土壤碱解氮含量仅为54.07 mg/kg,这可能是由于复垦3年的边坡相对比较缓,淋溶、风吹不是太严重,植被腐烂分解成的有机质引起表土有机质富集,从而造成碱解氮含量猛增。

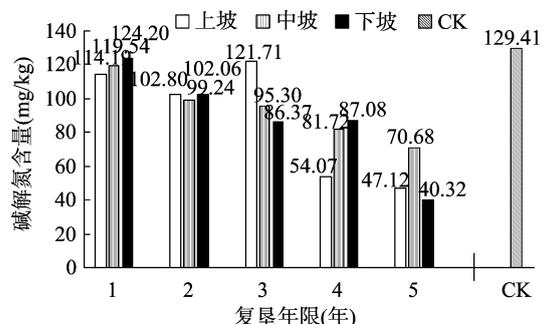


图3 不同复垦年限边坡土壤的碱解氮含量变化

**2.2.4 速效钾** 土壤中的速效钾主要包括土壤溶液中游离的钾离子和胶体上吸附的交换性钾,可以被植物直接吸收利用,仅占土壤全钾含量的0.1%~2.0%,受基质、气候条件及施肥等因素的影响较大。由图4可见,随复垦时间的增加,土壤速效钾含量(上坡、中坡、下坡速效钾含量之和)整体呈增

加趋势,复垦1年的边坡土壤速效钾含量为509.17 mg/kg,复垦5年时已增加到667.04 mg/kg,这可能是受气候、基质等因素影响,缓效性钾转换为速效钾的速率提高,速效钾的增量高于植被吸收利用和淋溶消耗掉的速效钾含量;相对于中坡、下坡而言,复垦2~5年的上坡土壤速效钾含量相对较高,且高于对照区表层土壤速效钾含量(170.08 mg/kg);复垦5年的上坡土壤速效钾含量相对最高,为284.38 mg/kg,是对照区土壤速效钾含量的1.67倍;随复垦时间的增加,中坡、下坡土壤的速效钾含量变化相对稳定,基本没有大幅度增减。

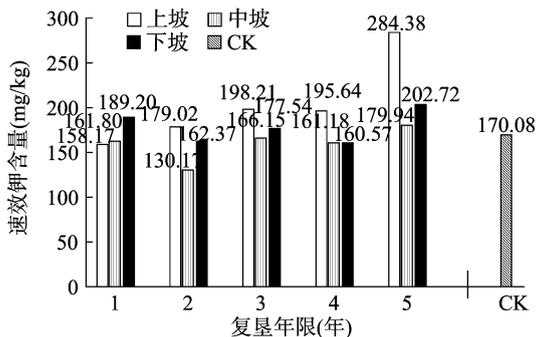


图4 不同复垦年限边坡土壤的速效钾含量变化

2.2.5 有效磷 土壤有效磷含量是土壤磷素养分供应水平高低的指标,土壤磷素含量高低反映土壤磷素的贮量和供应能力。由图5可见,经复垦的边坡土壤有效磷含量均明显高于对照区土壤(2.43 mg/kg),且随复垦时间的增加,边坡土壤有效磷含量呈先减少后增加趋势,复垦1年的边坡土壤有效磷含量(上坡、中坡、下坡有效磷含量之和)为15.55 mg/kg,复垦3年的边坡土壤有效磷含量相对最低,为11.76 mg/kg,而复垦5年的边坡土壤有效磷含量达到39.25 mg/kg,是复垦1年边坡土壤有效磷含量的2.52倍;复垦2、3、4年的边坡土壤有效磷含量变化呈现相同的规律,中坡土壤有效磷含量相对最低,其次是下坡,上坡有效磷含量相对最高;复垦5年的中坡土壤有效磷含量相对最低,为8.81 mg/kg,而上坡、下坡有效磷含量分别达到13.79、16.65 mg/kg。

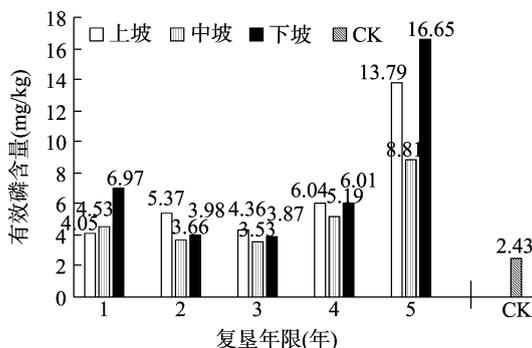


图5 不同复垦年限边坡土壤的有效磷含量变化

### 3 结论与讨论

生态脆弱区露天煤矿排土场边坡,由于淋溶、风蚀及植被对土壤养分的吸收,随复垦时间的增加,不同边坡位置的土壤养分发生不同变化,中坡变异系数相对最低,养分变化相对稳定,而上坡、下坡养分含量变化较为剧烈。一般而言,随复垦年限的增加,越来越多的植物凋落、腐烂、分解转化成有机质而聚集于表层土壤,导致土壤表层有机质含量增加,但试验结果表明,随复垦年限的增加,土壤表面有机质含量整体呈下降趋势,这可能是由于边坡土壤受水土流失造成有机质减少的影响,远大于表层植被腐烂转换成的有机质。试验表明,复垦边坡土壤中的有机质、全氮、碱解氮含量多数低于对照区表层土壤;随复垦年限的增加,有机质、全氮、碱解氮含量整体呈下降趋势,土壤速效钾含量整体呈增加趋势,且复垦边坡土壤中速效钾含量大部分高于对照区土壤;经复垦的边坡土壤有效磷含量均明显高于对照区土壤,且随复垦时间的增加,边坡土壤有效磷含量呈先减少后增加趋势,这是由于边坡受淋溶、风吹等外界环境影响及植被生长吸收,有效磷含量不断减少,而存在无机磷条件下,无机磷和有机磷相互竞争本来难溶的Ca、Fe、Al等元素,从而导致矿化的增加,进一步导致速效磷含量的增加。

#### 参考文献:

- [1] 樊文华,李惠峰,白中科. 黄土区大型露天煤矿不同复垦模式和年限下土壤肥力的变化[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2006,26(4):313-316.
- [2] 王同智,薛焱,包玉英,等. 不同复垦方式对黑岱沟露天矿排土场土壤有机碳的影响[J]. 安全与环境学报,2014,14(2):174-178.
- [3] 刘美英. 马家塔复垦区土壤质量评价及其平衡施肥研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009:1-136.
- [4] 李树志,高荣久. 塌陷地复垦土壤特性变异研究[J]. 辽宁工程技术大学学报,2006,25(5):792-794.
- [5] 孙海运,李新举,胡振琪,等. 马家塔露天矿区复垦土壤质量变化[J]. 农业工程学报,2008,24(12):205-209.
- [6] 王金满,杨睿璇,白中科. 草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型[J]. 农业工程学报,2012,28(14):229-235.
- [7] 闫靖华,张风华,谭斌,等. 不同恢复年限对土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 土壤学报,2013,50(6):1183-1190.
- [8] 梁利宝,洪坚平,谢英荷,等. 不同培肥处理对采煤塌陷地复垦不同年限土壤熟化的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(3):140-144.
- [9] 黄晓娜,李新举,刘宁,等. 煤矿塌陷区不同复垦年限土壤颗粒组成分形特征[J]. 煤炭学报,2014,39(6):1140-1146.
- [10] 刘子壮,赵晶,高照良. 高速公路边坡不同恢复年限土壤性质及生态防护模式研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(12):100-106.