

植被恢复对黑岱沟矿区排土场土壤性质的影响

李鹏飞¹, 张兴昌², 朱首军¹, 甄庆², 张鹏辉¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 以内蒙古准格尔旗黑岱沟露天煤矿北排土场为研究对象, 为矿区的植被恢复和治理提供依据。[方法] 通过野外土壤剖面调查和采集土壤样品, 对 9 种植被恢复模式及对照区土壤理化性质进行测定和分析, 并通过土壤质量指数计算, 对不同植被恢复模式下土壤质量进行评价。[结果] 各种植被类型均能有效地改良土壤。其中沙棘的容重最小, 为 1.35 g/cm³; 油松 + 沙棘 + 锦鸡儿的含水量最大, 为 13.32%; 油松 + 杨树 + 柳有机质最高, 为 9.42 g/kg; 油松 + 沙棘 + 锦鸡儿土壤速效 N 和速效 K 含量均为最高, 分别为 21.32 和 90.21 mg/kg; 锦鸡儿土壤速效 P 含量最高, 为 6.47 mg/kg; 沙棘和锦鸡儿作为灌木的乔灌混交模式下土壤质量综合评价价值最高, 单一种植沙棘以及锦鸡儿的土壤质量综合评价价值也较高。[结论] 种植沙棘、锦鸡儿以及乔木、沙棘和锦鸡儿的乔灌混交类型对该地区土壤复垦有重要作用。

关键词: 黑岱沟矿区; 排土场; 土壤理化性质; 土壤质量综合评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0064-07

中图分类号: S151.9, X825

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.078

Effects of Vegetation Restoration on Soil Properties in Heidaigou Mine Dump

LI Pengfei¹, ZHANG Xingchang², ZHU Shoujun¹, ZHEN Qing², ZHANG Penghui¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese

Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] In order to provide the basis for vegetation restoration and management in mining area, Heidaigou opencast coal mine dump north in Zhunge'er Banner, Inner Mongolia was selected as the research object. [Methods] We investigated soil profile and collected soil samples by field surveys. Soil physical and chemical properties were analyzed and compared under 9 different vegetation restoration patterns and control plot. Soil quality was evaluated by calculating soil quality index(SQI) under different vegetation restoration patterns. [Results] All vegetation types effectively improved soil quality. Soil bulk density was the minimum in *Hippophae rhamnoides* Linn. shrub, which was 1.35 g/cm³. Soil moisture content was the maximum in forest composed of *Pinus tabulaeformis* Carr. + *H. rhamnoides* Linn. + *Caragana korshinskii* Kom., which was 13.32%. Soil organic content was the maximum in forest composed of *P. tabulaeformis* Carr. + *Populus sp* + *Salix babylonica* L., which was 9.42 g/kg. Soil available N and available K contents were the highest in forest composed of *P. tabulaeformis* Carr. + *H. rhamnoides* Linn. + *C. korshinskii* Kom., which was 21.32 and 90.21 mg/kg, respectively. Soil available P was the highest in *C. korshinskii* Kom shrub, which was 6.47 mg/kg. The best soil quality occurred in mixed vegetation composed of *H. rhamnoides* Linn. and *C. korshinskii* Kom. Single cropping *H. rhamnoides* Linn. shrub or *C. korshinskii* Kom. Shrub also improved soil quality. [Conclusion] Mixed forests of trees and shrubs composed of *H. rhamnoides* Linn., *C. korshinskii* Kom., *H. rhamnoides* Linn. and *C. korshinskii* Kom. play important role in soil reclamation.

Keywords: Heidaigou mine; dump; physical and chemical properties of soil; comprehensive evaluation of soil quality

收稿日期: 2014-05-26

修回日期: 2014-08-01

资助项目: 中国科学院西部行动计划项目“晋陕蒙能源基地受损生态系统恢复重建关键技术与示范”(KZCX2-XB3-13)

第一作者: 李鹏飞(1987—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 硕士研究生, 主要从事与水土保持工程及其相关研究。E-mail: gstslpf4334@163.com。

通信作者: 朱首军(1965—), 男(汉族), 江苏省沛县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事林业生态工程和水土保持工程方面的研究工作。E-mail: zhushoujun@nwsuaf.edu.cn。

中国是一个以煤为主要能源的国家之一,同时也是世界上最大的煤炭生产国和消费国。矿业生产给中国经济发展起到不可忽视作用的同时也是一个破坏生态环境的过程,伴随这个过程产生地貌变迁、土壤侵蚀、土壤质量下降等一系列问题。如何恢复土壤质量,是建立植被恢复体系的关键技术。研究黄土高原区植被恢复不同植物群落土壤物理性状和土壤营养状况,筛选改良土壤效果好的植物群落,可为提高恢复区土壤肥力提供技术依据^[1-2]。

对矿区进行土地复垦和植被恢复,可以使土地资源得到合理利用,更是对环境保护意义重大。通过对矿区排土场土壤特性的研究和分析,提出有利于改善当地生态环境的科学依据,从而维持生态环境的稳定和持续健康的发展。露天矿土地复垦的目标是重建永久稳定的景观地形,这种地形能够在环境上与未破坏土地相协调一致,从而采取将采矿中破坏的土地因地制宜地恢复到所期望状态的行动和过程,通过复垦后的土地能对其所在地区的生态稳定和生产力发展产生促进作用^[3-6]。

内蒙古准格尔旗黑岱沟露天矿区,长期采煤严重破坏了原有生态系统的平衡,植被受损,动物迁移,可耕地面积下降,农作物减产,因此土地复垦成为恢复生态和经济效益的必要手段之一。本文以准格尔旗黑岱沟露天煤矿为例,对复垦地不同恢复模式下的土壤理化性质及相关性进行测定与分析,以期对矿区生态环境可持续发展提供理论依据。

1 研究区概况

黑岱沟露天煤矿坐落于内蒙古自治区鄂尔多斯市境内,位于准格尔旗薛家湾镇东南方向约6 km处,处于黄河西岸,地理坐标为 $111^{\circ}13'—111^{\circ}20'E$, $39^{\circ}43'—39^{\circ}49'N$ 。海拔1 025~1 305 m,面积达52.11 km²,属于晋、陕、蒙接壤黄土地区一部分,地表沟壑纵横,水土流失较为严重,生态环境较差。

矿区气候属于中温带半干旱大陆性气候,四季分明,冬季气候寒冷且漫长,夏季雨量集中,秋季凉爽、短促。日内昼夜温差较大,年平均温度 $7.4^{\circ}C$,冬季极端最低温度为 $-30.7^{\circ}C$,夏季极端最高气温 $38.2^{\circ}C$, $10^{\circ}C$ 以上的年积温为 $3\ 350^{\circ}C$ 。一般年内无霜期从4月下旬开始一直持续到10月下旬。全区年蒸发量较大,达到2 082 mm,然而年总降水量仅为231~460 mm,年平均降水量为404 mm,月平均降水量为33.5 mm,年降水量分配不均匀,多集中在7、8、9月,此段时间降水量占到了全年降水量的60%~70%。

土壤主要是黄绵土和风沙土,土壤肥力低,土层深厚,结构不良,透水性、透气性差^[7-8]。

区内植被盖度低,且长势低矮,为暖温带草原地带性植被,其盖度不足30%。由于矿产开发,导致了天然植被已基本被破坏殆尽。目前矿区的植被以人工种植为主导地位,零星分布有天然植被。人工乔木林主要有杨树(*Populus sp.*)林、油松(*Pinus tabulaeformis Carr.*)林,人工灌木林以柠条(*Caragana korshinskii Kom.*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides Linn.*)最为广泛种植。草木犀(*Melilotus officinalis Ledeb.*)、冰草[*Agropyron cristatum (L.) Gaertn.*]、沙打旺(*Astragalus adsurgens Pall. cv. Shadawang*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa L.*)等牧草作为人工草地的植物种植品种^[8]。

2 研究方法

2.1 样地选择

经过实地调查后,试验样地选设在黑岱沟露天煤矿北排土场,选择了不同植被恢复类型的样地9个,以及1个对照区。分别设置在海拔为1 185 m平台,1 200 m坡,1 200 m平台,1 230 m平台,1 245 m坡以及1 275 m平台。1 185 m平台选择油松、杨树、柳(*Salix babylonica L.*)混交林;1 200 m坡选择油松、沙棘、锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)混交;1200米平台分别选择单一种类植物配置杨树(1998年)、油松、紫花苜蓿、沙棘、锦鸡儿、杨树(2004年);1 230 m平台选择杨树(2004年);1 245 m坡选择沙棘、山杏(*Armeniaca sibirica*)和紫花苜蓿混交;1 275 m平台为未复垦对照区。样地详细情况见表1。

2.2 土壤样品采集与分析

土壤采样时间为2012年7月8日至2012年8月2日。采样设置原则为:分别在不同样地采集,每个样地面积基本一致,约为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,每个样地采用S形,随机选取5个点,采用多点混合取样法,每个采样点分别设置3个剖面,保持每个点采样深度一致,分别取0—10,10—20和20—40 cm的混合土样。采样前,首先清除样地表面处落叶与杂物,采样时为了避免上层土壤落下干扰下层取样,采用从下到上的顺序采样。将采集样品内的石块,植物根系等杂质清理后,自然风干后研磨,分别过1和0.25 mm筛,分别装入密封袋内待测。测定土壤容重和含水量时,每个样地上设一个样点,每层3次重复,用环刀取样,密封后带回实验室测定。按文献中的方法对常规项目进行测定^[5,9]。

表 1 研究区样地基本情况

| 样地编号 | 样地位置 | 植被类型 | 复垦年份 | 新构覆土 |
|------|------------|-----------|------|------|
| 1 | 1 185 m 平台 | 油松+杨树+柳 | 1998 | 黄绵土 |
| 2 | 1 200 m 坡 | 油松+沙棘+锦鸡儿 | 1998 | 黄绵土 |
| 3 | 1 200 m 平台 | 杨树 | 1998 | 黄绵土 |
| 4 | 1 200 m 平台 | 油松 | 1998 | 黄绵土 |
| 5 | 1 200 m 平台 | 苜蓿 | 2000 | 黄绵土 |
| 6 | 1 200 m 平台 | 沙棘 | 2000 | 黄绵土 |
| 7 | 1 215 m 平台 | 锦鸡儿 | 2002 | 黄绵土 |
| 8 | 1 230 m 平台 | 杨树 | 2004 | 黄绵土 |
| 9 | 1 245 m 坡 | 沙棘+山杏+苜蓿 | 2002 | 黄绵土 |
| 10 | 1 275 m 平台 | 对照区 | 未复垦 | 黄绵土 |

土壤容重采用环刀法测定;土壤含水量采用烘干法测定;pH 值采用电位法,通过酸度计直接测定(1:1水土浸提);土壤有机质采用重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)外加加热法;土壤速效 N 采用碱解扩散法;土壤速效 P 采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠($NaHCO_3$)浸提—钼锑钒比色法;土壤速效 K 采用 1 mol/L 醋酸铵(NH_4OAc)—火焰光度计法。

本试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行处理与分析。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型配置下土壤物理性质的分析

由图 1(A—C)可以看出,各样地容重在 1.35~1.68 g/cm^3 范围内,对照区容重与不同植被恢复类型下土壤容重之间差异显著。排序为:10 号地(对照区)>8 号地(杨树 2004 年)>4 号地(油松)>3 号地(杨树 1998 年)>9 号地(沙棘+山杏+苜蓿)>5 号地(苜蓿)>1 号地(油松+杨树+柳)>2 号地(油松+沙棘+锦鸡儿)>7 号地(锦鸡儿)>6 号地(沙棘)。结果表明,灌木对土壤容重的改良作用好于乔木,且以沙棘,锦鸡儿效果最佳;乔木+灌木混交的模式相对于单一乔木也有较好的改良效果;8 号地(杨树 2004 年)>3 号地(杨树 1998 年),表明随着复垦年限增加,对容重改良效果越好。

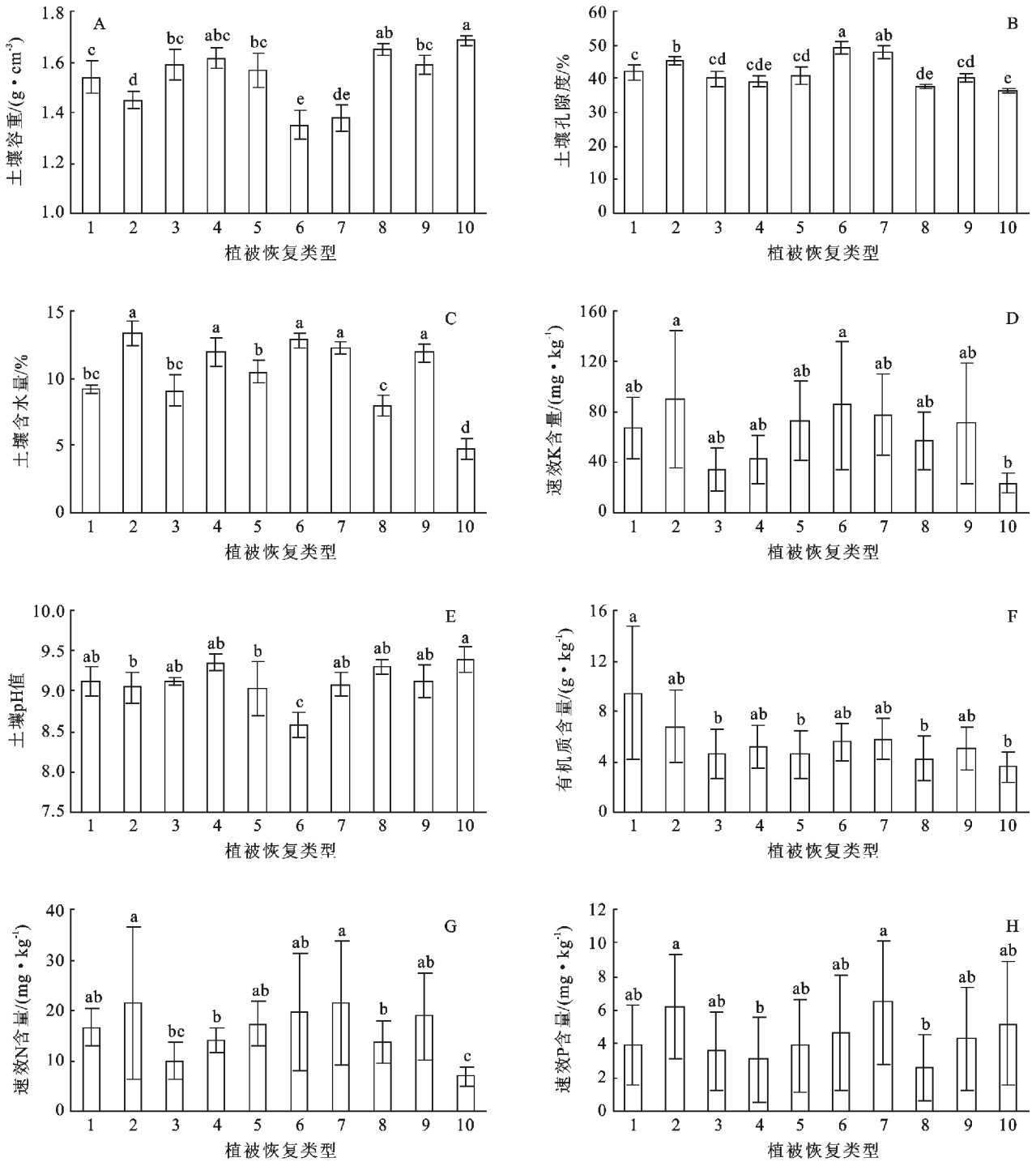
各样地土壤孔隙度在 36.47%~49.10% 范围内,对照区与不同植被恢复类型下土壤孔隙度孔隙度之间差异显著。排序为:6 号地(沙棘)>7 号地(锦鸡儿)>2 号地(油松+沙棘+锦鸡儿)>1 号地(油松+杨树+柳)>5 号地(苜蓿)>9 号地(沙棘+山杏+苜蓿)>3 号地(杨树 1998 年)>4 号地(油松)>8 号地(杨树 2004 年)>10 号地(对照区)。结果表明,种植沙棘和锦鸡儿对土壤容重和土壤孔隙度有着明显

的改善作用,同时乔木+灌木混交模式对比与单一乔木种植也对改善土壤特性产生良好效果,随着复垦年限增加,植被恢复对土壤改良效果更明显。

油松+沙棘+锦鸡儿样地、沙棘、锦鸡儿、沙棘+山杏+苜蓿样地之间土壤含水量差异不显著,各样地与对照区含水量差异显著。各样地土壤含水量在 4.74%~13.32%,排序为:2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>6 号样地(沙棘)>7 号样地(锦鸡儿)>4 号样地(油松)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>5 号样地(苜蓿)>1 号样地(油松+杨树+柳)>3 号样地(杨树 1998 年)>8 号样地(杨树 2004 年)>10 号样地。结果表明:对照区内含水量最低,说明经过不同植被类型的恢复作用,土壤含水量均有不同程度改善。2 号样地乔木+灌木混交模式的(油松+沙棘+锦鸡儿)含水量最高,单一灌木沙棘,锦鸡儿由于具有较强的抗逆性和抗旱性,也有较高的含水量,对黄土高原丘陵沟壑区土壤含水量具有明显的改善作用。单一乔木含水量普遍较低,可能是由于其强烈的蒸腾作用导致其需水量较大。

3.2 不同植被类型配置下土壤化学性质的分析

通过图 1(D—H)可以看出,所有样地的土壤 pH 值均在 8.0 以上,均属于碱性土壤,对照区 pH 值与不同植被类型下土壤 pH 值差异显著。pH 值在 8.58~9.40 范围内变化,变化范围不大,6 号样地(沙棘)的 pH 值最小,为 8.58;对照区的 pH 值最大,为 9.40。总体来说,该地区土壤呈碱性,由于影响土壤 pH 值变化的因素较多,诸如气候,水文,地质,土壤生物等因素,所以 pH 值的变化并没有表现出一定规律性。相比于对照区,其他经过植被恢复的样地土壤 pH 值较低,说明经过植被恢复,对土壤酸碱度有了一定的改良。



注:在 LSD 多重比较中,相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著($p=0.05$)。1 为油松+杨树+柳类型;2 为油松+沙棘+锦鸡儿类型;3 为杨树(1998 年)类型;4 为油松类型;5 为苜蓿类型;6 为沙棘类型;7 为锦鸡儿类型;8 为杨树(2004 年)类型;9 为沙棘+山杏+苜蓿类型;10 为对照区。

图 1 不同植被类型下土壤理化性质

各样地土壤有机质含量在 3.62~9.42 g/kg 范围内,对照区土壤有机质含量与 3 号样地(杨树 1998 年)、5 号样地(苜蓿)以及 8 号样地(杨树 2004 年)之间差异不显著,与其他植被类型样地差异显著。1 号样地最大,为 9.42 g/kg;10 号样地最小,为 3.63 g/kg。各样地土壤有机质含量排序为:1 号样地(油松+杨树

+柳)>2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>7 号样地(锦鸡儿)>6 号样地(沙棘)>4 号样地(油松)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>3 号样地(杨树 1998 年)>5 号样地(苜蓿)>8 号样地(杨树 2004 年)>10 号样地。1 号样地(油松+杨树+柳)和 2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)的土壤有机质含量状况良好,说明

油松作为一种乔木,对土壤有机质含量有着较好的改良作用,而且乔木+灌木的混交模式改良效果较好;沙棘和锦鸡儿是改良土壤有机质比较有效的两种灌木;1998年种植杨树有机质含量高于2004年种植杨树,说明随着复垦年限增加,有机质含量也随之增加。各类型植被恢复模式下土壤有机质相比于对照区均有增加,说明植被恢复对于提高土壤有机质含量有着不同程度的效果。

各样地土壤速效 N 含量在 6.84~21.32 mg/kg 范围内,对照区土壤速效 N 含量与其他植被类型土壤速效 N 含量差异显著。排序为:2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>7 号样地(锦鸡儿)>6 号样地(沙棘)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>5 号样地(苜蓿)>1 号样地(油松+杨树+柳)>4 号样地(油松)>8 号样地(杨树 2004 年)>3 号样地(杨树 1998 年)>10 号样地。由此说明通过植被恢复,土壤速效 N 含量得到提高,油松+沙棘+锦鸡儿的乔木+灌木混交对于提高土壤速效 N 含量效果最好;锦鸡儿、苜蓿等豆科植物也具有较好的固氮能力,沙棘虽然不是豆科植物,但也与某些固氮菌共生,这些固氮菌在沙棘的根系上生长,形成根瘤,从而具有较强的固氮能力。这种特性,对于沙棘在恶劣境地生存具有重要的生态学意义。

各样地土壤速效 P 含量在 2.58~6.47 mg/kg 范围内,对照区土壤速效 P 含量与油松+杨树+柳、杨树(1998)、苜蓿、沙棘、沙棘+山杏+苜蓿样地土壤速效 P 含量差异不显著,与其他植被样地土壤速效 P 含量差异显著($p=0.05$)。排序为:7 号样地(锦鸡儿)>2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>10 号样地>6 号样地(沙棘)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>1 号样地(油松+杨树+柳)>5 号样地(苜蓿)>3 号样地(杨树 1998 年)>4 号样地(油松)>8 号样地(杨树 2004 年)。7 号样地(锦鸡儿),2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)以及 6 号样地(沙棘)速效 P 含量明显高于

其他样地,说明油松+沙棘+锦鸡儿的乔灌混交模式、锦鸡儿以及沙棘对改善速效 P 含量有良好效果。通过植被恢复,对于土壤中速效 P 含量有一定改善,然而能够看出对照区土壤速效 P 含量并没有处在最低水平,可能是由于对照区植被稀少,仅有少量草本植物,对 P 的吸收利用较少,且较易死亡,导致了 P 的归还速率较快。杨树的土壤速效 P 含量低说明根系对 P 的利用程度较高,且难以归还。

各样地土壤速效 K 含量在 23.52~90.21 mg/kg 范围内,对照区土壤速效 K 含量与其他植被类型下土壤速效 K 含量差异显著。排序为:2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>6 号样地(沙棘)>7 号样地(锦鸡儿)>5 号样地(苜蓿)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>1 号样地(油松+杨树+柳)>8 号样地(杨树 2004 年)>4 号样地(油松)>3 号样地(杨树 1998 年)>10 号样地。10 号样地土壤速效 K 含量最低,说明经过植被恢复,对土壤中速效 K 含量已经产生改良效果;油松+沙棘+锦鸡儿的乔灌混交模式依然具有最好的效果,沙棘、锦鸡儿、苜蓿等也有较好的改良效果;油松较杨树具有明显改良效果。

3.3 不同植被类型配置下土壤综合质量评价

土壤质量指数(SQI)能够反映出土壤的综合特性,因此采用了土壤质量综合指数(SQI)计算不同利用下的土壤综合质量。

3.3.1 评价指标的选择 根据之前的研究结果并结合本试验的研究目的,选择的指标分别为:容重(X_1)、含水量(X_2)、孔隙度(X_3)、有机质(X_4)、pH 值(X_5)、速效 N(X_6)、速效 P(X_7)、速效 K(X_8)。

3.3.2 评价指标权重的确定 在本研究中选用相关系数法确定权重^[10]。具体的计算方法为:首先计算单项评价指标之间的相关系数(表 2),然后求某评价指标之间相关系数的平均值,并以该平均值占有评价指标相关系数平均值总和的比作为该单项评价指标的权重(表 3)。

表 2 土壤指标间相关系数

| 指标 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 |
|-------|----------|---------|----------|--------|--------|--------|-------|-------|
| X_1 | 1 | | | | | | | |
| X_2 | -0.736* | 1 | | | | | | |
| X_3 | -1.000** | 0.736* | 1 | | | | | |
| X_4 | -0.426 | 0.345 | 0.426 | 1 | | | | |
| X_5 | 0.822** | -0.595 | -0.822** | -0.260 | 1 | | | |
| X_6 | -0.795** | 0.868** | 0.795** | 0.488 | -0.620 | 1 | | |
| X_7 | -0.568 | 0.333 | 0.568 | 0.162 | -0.271 | 0.483 | 1 | |
| X_8 | -0.783** | 0.566 | 0.783** | 0.480 | -0.631 | 0.729* | 0.269 | 1 |

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

表 3 单项评价指标的权重系数

| | | | | | | | | |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 评价指标 | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ |
| 权重/% | 15.68 | 12.77 | 15.68 | 7.91 | 12.29 | 14.6 | 8.11 | 12.96 |

3.3.3 各评价指标隶属度

(1) 正相关 S 型隶属度函数。这类因子的指标值越高表明评价对象的质量越好,但到一定临界值后,其效用也趋于稳定,其中含水量、孔隙度和养分属于这类函数。其中 x 为实测指标值, x_1 为实测指标值下限, x_2 为实测指标值上限。

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & (x \geq x_2) \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ 0.1 & (x < x_1) \end{cases}$$

(2) 梯形隶属度函数。属于这种类型的因子,其指标在一定范围内,评价对象质量最好。pH 值属于这类函数。

$$f(x) = \begin{cases} 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3)+0.1 & (x_3 < x < x_4) \\ 1.0 & (x_2 < x < x_3) \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & (x_1 < x < x_2) \\ 0.1 & (x < x_1; x > x_4) \end{cases}$$

参考中华人民共和国农业行业标准(NY/T391—

2000)以及前人研究结果^[11],确定该地区土壤 pH 值转折点: x_1 为 8.5, x_2 为 8.6, x_3 为 8.8, x_4 为 8.9。

(3) 负相关 S 型隶属度函数。这种类型因子的其指标越高,评价对象质量越差,土壤容重属于此类函数。

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & (x \leq x_1) \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & (x_1 < x < x_2) \\ 0.1 & (x \geq x_2) \end{cases}$$

3.3.4 土壤质量指数(soil quality index, SQI)的计算采用如下公式:

对不同植被恢复下土壤各评价指标的隶属值和权重分别进行计算,然后将两者乘积进行累加,即可得到土壤质量指数及排序(表 4)。

$$SQI = \sum_{i=1}^n K_i \times C_i$$

式中:SQI——土壤质量评价指数; C_i ——各个评价指标的隶属度值; K_i ——第 i 个评价指标的权重; n ——评价指标的个数。

表 4 土壤综合质量指数 SQI 及排序

| 植被类型 | 油松+杨树+柳 | 油松+沙棘+锦鸡儿 | 杨树 1998 年 | 油松 | 苜蓿 | 沙棘 | 锦鸡儿 | 杨树 2004 年 | 沙棘+山杏+苜蓿 | 对照区 |
|------|---------|-----------|-----------|-------|-------|------|-------|-----------|----------|-------|
| SQI | 0.602 | 0.732 | 0.387 | 0.489 | 0.552 | 0.71 | 0.681 | 0.415 | 0.589 | 0.291 |
| 排序 | 4 | 1 | 9 | 7 | 6 | 2 | 3 | 8 | 5 | 10 |

根据表 4 可知,各样地按土壤综合质量指数得分排序为:2 号样地(油松+沙棘+锦鸡儿)>6 号样地(沙棘)>7 号样地(锦鸡儿)>1 号样地(油松+杨树+柳)>9 号样地(沙棘+山杏+苜蓿)>5 号样地(苜蓿)>4 号样地(油松)>8 号样地(杨树 2004 年)>3 号样地(杨树 1998 年)>10 号样地。1~9 号样地土壤质量指数均大于 10 号样地,说明不同植被恢复对土壤质量产生了改良作用。油松+沙棘+锦鸡儿的乔灌混交土壤质量评价综合得分最高,沙棘、锦鸡儿也有较高的评价价值,说明乔木与沙棘、锦鸡儿、苜蓿等固氮能力强的灌木混交模式有利于提高土壤质量。乔木样地得分较低,说明该区域并不适宜大面积种植单一乔木。

4 讨论

4.1 植被恢复对土壤物理性质的影响

土壤容重是表征土壤紧实度的重要参数,是土壤的一项重要物理特性,它会对土壤孔隙度和土壤渗透能力以及土壤水、肥、气、热交换能力产生影响^[12-13]。

土壤孔隙状况影响土壤通透性,从而影响植被生长状况,是体现土壤肥力的重要指标。土壤水分是陆地生态系统健康发展的重要保证,是土壤生物赖以生存的基础,植物生长需要从土壤中获取水分,同时所需营养物质也是通过土壤水分作为媒介吸收利用^[14-15]。

沙棘和锦鸡儿对土壤容重和土壤孔隙度有着明显的改善作用,同时乔木+灌木混交模式对比与单一乔木种植也对改善土壤特性产生良好效果。这主要是由于沙棘和锦鸡儿具有较好的固氮作用,且具有较多根系,对土壤起到一定的疏松作用,从而降低土壤容重,提高土壤孔隙度。乔木土壤孔隙度普遍偏低,可能是由于地上枯枝落叶是土壤有机质的主要来源,而乔木根系发达,死亡后进入土壤较少,导致有机质含量偏低,使土壤容重增大,孔隙度降低。林地土壤含水量较低是因为林地树冠蒸腾及耗水量较大所致;而灌木的土壤含水量较高主要是因为灌木与林木相比具有较浅的根系和较小的冠层,故其蒸腾和耗水较小,另外,随着植被恢复的不断进行,植被盖度不断增加和大量枯枝落叶层的累积,就像盖了一层地膜,减少了地

表径流和地表蒸发,增加了土壤的入渗和保水能力。

4.2 植被恢复对土壤化学性质的影响

土壤 pH 值是一个基本化学指标,是土壤肥力的影响因子之一。土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮、磷的重要来源。它也是土壤微生物必不可少的碳源和能源。一般来说,土壤有机质含量的多少,是土壤肥力高低的一个重要指标^[16]。土壤速效 N 就是可以直接被植物根系吸收的 N,能够反映土壤近期内氮素的供应情况,以及植被的利用情况。P 是构成植物生命不可或缺的重要元素,它可参与构成核酸核蛋白,磷脂以及生化反应所需要的酶。K 有利于植物的光合作用,增强对氮的吸收能力,加速氮素、有机质的代谢和转化,还可增强植物抗逆性^[16]。

不同恢复措施对土壤肥力质量提高差异明显,结果表明,沙棘、锦鸡儿以及以沙棘和锦鸡儿作为灌木的乔灌混交种植模式对提高该地区土壤速效 N,P,K 含量有良好效果,单一乔木林的效果稍差。这是由于该地区气候条件基本能够满足一般旱生植物的需要,且生长较为旺盛,生物量较大,低矮灌木每年都有大量枯枝落叶归还给土壤,经过腐殖化作用形成土壤有机质,矿化分解释放出速效养分。而多年生乔木主要是吸收土壤中的大量养分来维持自身生长发育,构成活的生命有机体,归还给土壤的枯枝落叶和营养物质较少,根系的死亡腐解较少,致使营养元素有所降低。

不同植被类型的土壤理化性质有一定的差别,各种植被类型中,以种植单一高大乔木植被类型对土壤的改良效果最差。综合各项指标,锦鸡儿和沙棘以及同其他植被混交对土壤性质的改良作用优于乔木纯林,因此,在露天煤矿复垦地进行植被恢复时,引进豆科或具有固氮作用的植物,根据植被特性,实行适当比例的乔、灌混交十分重要。

5 结论

(1) 通过植被恢复,黑岱沟露天煤矿北排土场土壤各项物理化学指标均有改善。说明经过植被恢复,排土场内土壤特性已经得到了改良。

(2) 不同植被恢复类型均对土壤酸碱度产生了改良效果。有机质含量处于 3.62~9.42 g/kg,(油松+杨树+柳)样地含量最高,为 9.42 g/kg;速效 N 含量处于 6.84~21.32 mg/kg,(油松+沙棘+锦鸡儿)样地含量最高,为 21.32 mg/kg;速效 P 含量处于 2.58~6.47 mg/kg,(锦鸡儿)样地含量最高,为 6.47 mg/kg;速效 K 含量处于 23.52~90.21 mg/kg,(油松+沙棘+锦鸡儿)样地含量最高,为 90.21 mg/kg。

(3) 各样地土壤容重处于 1.35~1.68 g/cm³,其

中(沙棘)样地的容重最小,为 1.35 g/cm³;土壤含水量处于 4.74%~13.32%,(油松+沙棘+锦鸡儿)样地的含水量最大,为 13.32%。

(4) 通过 SQI 公式对土壤质量进行综合评价,得知:沙棘,锦鸡儿以及乔木和沙棘和锦鸡儿的乔灌混交种植模式对于提高该地区土壤综合质量有良好效果。

[参 考 文 献]

- [1] 陈洪祥,张树礼,马建军. 煤矿复垦地不同恢复模式下土壤特性研究:以黑岱沟露天煤矿为例[J]. 内蒙古环境科学,2007,19(4):63-67.
- [2] 李勇,张建辉,杨俊诚,等. 陕北黄土高原陡坡耕地土壤侵蚀变异的空间格局[J]. 水土保持学报,2000,14(4):17-21.
- [3] Tumer B L, Meyer W B. Land-use and land-cover in global environmental change considerations for study [J]. Journal of International Social Science, 1991, 43 (130):669-679.
- [4] 李青丰,曹江营,张树礼,等. 准格尔煤田露天矿植被恢复的研究:排土场植被自然恢复的观察研究[J]. 中国草地,1997(2):23-25,66.
- [5] Marshall C E. The Physical Chemistry and Mineralogy of soil[M]. New York: Wilry, 1964.
- [6] 张雅楠,于铁柱,陆阳,等. 黑岱沟矿区排土场土壤化学性质研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2012, 33(5):116-120.
- [7] 李青丰,曹江营,张树礼,等. 黑岱沟露天煤矿排土场植被人工恢复的研究[J]. 中国草地,1996(1):60-63.
- [8] 内蒙古工业大学. 黑岱沟露天煤矿排土场生态恢复植被调查报告[R]. 黑岱沟露天煤矿排土场生态恢复植被调查与信息数据库建设项目,2009.
- [9] 吴彦,刘庆,乔永康,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6):648-655.
- [10] 张汪寿,李晓秀,黄文江,等. 不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法[J]. 农业工程学报,2010(12):311-318.
- [11] 李强,许明祥,赵允格,等. 黄土高原坡耕地沟蚀土壤质量评价[J]. 自然资源学报,2012,27(9):1001-1012.
- [12] 王思成,王月玲,许浩,等. 半干旱黄土丘陵区不同植被恢复方式下土壤理化特性及相关分析[J]. 西北农业学报,2009,18(01):295-299.
- [13] 范春梅. 黄土高原丘陵沟壑区放牧对林草地土壤性质的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [14] 庄恒扬,刘世平,沈新平,等. 长期少免耕对稻麦产量及土壤有机质与容重的影响[J]. 中国农业科学,1999,19 (4):39-44.
- [15] 许淑青. 不同农作方式对耕层土壤理化性质的影响 [D]. 兰州:甘肃农业大学,2008.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.