

## 不同造林树种对铁尾矿基质结构的影响 ——以唐山迁安首钢马兰庄铁尾矿为例

黄秋娟<sup>1</sup>, 陈颖<sup>1,2</sup>, 车晓雨<sup>1</sup>, 李玉灵<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学, 河北保定 071000; 2. 廊坊市水务局, 河北廊坊 065000)

**摘要:**为了探讨不同树种对铁尾矿土壤结构的改良作用,以唐山迁安马兰庄铁尾矿区为研究地,选择在尾矿坡面造林的沙地柏、紫穗槐油松混交(简称“混交”)、紫穗槐、火炬树、沙棘为研究对象,测定其林内土壤机械组成、团聚体含量、土壤容重、土壤孔隙度及土壤水分,并与裸尾矿进行对比分析。结果表明:1)6块样地石砾的含量为火炬树(23.1%)>混交(10.4%)>裸尾矿(9.2%)>沙地柏(5.4%)>紫穗槐(4.0%)>沙棘(2.2%);2)6块样地大团聚体含量由高到低依次为沙棘(33.7%)>紫穗槐(29.3%)>沙地柏(28.7%)>裸尾矿(18.3%)>混交(13.6%)>火炬树(11.7%),与石砾含量的顺序相反;3)除火炬树样地与裸尾矿相同外,其余各样地土壤容重均有降低,其中紫穗槐的改良效果最为突出,比裸尾矿地减小12.1%;4)除沙棘样地非毛管孔隙度比裸尾矿样地降低以外,其余各样地的土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度均增加,增加效果最好的两个样地为沙地柏样地和紫穗槐样地;5)沙地柏对田间持水量、毛管持水量和饱和含水量的改善作用明显,其次为火炬树样地,混交林改善作用不显著。综上所述,采用沙地柏或油松与紫穗槐混交的模式能较好地改善土壤各个层深的物理性质和有机质进行综合改良。

**关键词:**土壤结构;铁尾矿;植被恢复模式

**中图分类号:**S714 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6622(2015)05-0110-07

**DOI:**10.13466/j.cnki.lyzyl.2015.05.019

## Effects of Different Vegetation Restoration Types on Soil Structure in Iron Tailings —A case Study of Malanzhuang Iron Tailings

HUANG Qiuxian<sup>1</sup>, CHEN Ying<sup>1,2</sup>, CHE Xiaoyu<sup>1</sup>, Li Yuling<sup>1</sup>

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Langfang Water Supplies Bureau, Langfang, Hebei 065000, China)

**Abstract:** In order to investigate the role of different vegetation restoration patterns on soil structure in iron tailings, Tangshan Qian'an Malanzhuang Iron tailings were taken as research. This paper selected 5 typical slope woodland tailings, they are *Sabina vulgaris*, *Amorpha fruticosa* and *Pinus tabulaeformis* mixed, *Amorpha fruticosa*, *Rhus typhina*, *Hippophae rhamnoides* as the research object, measured in its soil mechanical composition, aggregate content, soil bulk density, soil porosity, soil moisture, and analyzed with bare tailings. The results were as follows: 1) Gravel content of 6 plots from high to low was: *R. typhina* forest (23.1%) > mixed forest (10.4%) > bare tailings (9.2%) > *S. vulgaris* forest (5.4%) > *A. fruticosa* forest (4.0%) > *H. rhamnoides* forest (2.2%); 2) Large aggregate content of 6 plots from high to low was: *H. rhamnoides* forest (33.7%) > *A. fruticosa* forest (29.3%) > *S. vulgaris* forest (28.7%) > bare tailings (18.3%) > mixed forest (13.6%) > *R. typhina* forest (11.7%). Sequence coincides with the reverse sequence of gravel content. 3) The bulk of the *R. typhina* forest was equal to the bare tailings, and others were lower than bare tailings after revegetation. The effect of *A. fruticosa* forest to bulk seemed to be most prominent, which reduced 12.1%. 4) Except non capillary porosity of *H. rhamnoides* forest lower than bare tailings, total porosity of soil, capillary porosity and non capillary porosity of the rest fields had all increased visibly. The top two plots is *S. vulgaris* forest and *A. fruticosa* forest. 5) The most obvious improvement effect to field capacity and capillary moisture capacity was *S. vulgaris*, followed by *R. typhina*, mixed forest improvement was not significant. In summary, *S. vulgaris* and mixed forest types had better comprehensive improvement of physical properties of different deep layer of soil and organic matter.

**Key words:** soil structure, Iron tailings, vegetation restoration types

收稿日期:2015-06-09;修回日期:2015-10-16

**基金项目:**河北省高层次人才资助项目:“基于京津冀协同发展的河北省生态安全规划研究”(B2014010);“基于植被恢复的铁尾矿废弃地基质修复技术研究”(12236726D-X);“矿区水土资源高效利用植被恢复模式构建技术试验示范”(2012BAC09B09)

**作者简介:**黄秋娟(1981-),女,河北枣强人,在读博士,主要研究方向:植物逆境生理生态。Email:lxhqx@hebau.edu.cn

**通讯作者:**李玉灵(1962-),女,内蒙古集宁人,教授,博士,主要从事植物生态学相关的教学和科研工作。

Email:liyuling0425@126.com

## 0 引言

土壤结构是由各级土壤组成物质和土壤孔隙形成的三维结构,是一个多尺度的立体概念<sup>[1]</sup>,它影响土壤中的水、气、热以及养分的保持和移动,也直接影响植物根系的生长发育,良好的土壤结构是维持基质稳定的基础。但是近年来,随着一些地区采矿数量的不断增大,大面积的地表扰动破坏了原有的土壤结构,形成了大量养分贫瘠、结构松散、坡度大并且极易发生滑坡、水土流失等灾害的矿山废弃地。植被恢复是修复矿山废弃地土壤结构的主要途径之一。

对土壤结构的研究主要为两个方面:土壤固相和土壤液相,其中土壤固相决定土壤的液相,是土壤结构的基础。土壤固相包括团聚体和土壤孔隙。土壤团聚体指的是土壤颗粒在各种自然过程的作用下形成的直径小于10 mm的土壤结构基本单元,其中直径大于0.25 mm的称为大团聚体。土壤团聚体对土壤的孔隙度、持水量、通透性和抗蚀性都有一定影响<sup>[2-3]</sup>,是决定土壤板结、压实、侵蚀等物理过程幅度和速度的关键性指标,其稳定性也是反映土壤结构状况的重要指标之一<sup>[4-6]</sup>,它在维持土地生产力和调节土壤肥力方面也具有重要的作用。土壤孔隙状况是土壤重要的物理指标,它直接影响土壤透气、透水 and 保水、保肥能力。土壤中的毛管孔隙具有明显的毛管作用,有利于土壤保持吸附水分,用于植物自身生长发育需要。非毛管孔隙因孔隙直径大,有利于土壤通气透水<sup>[7]</sup>。土壤水分通常用土壤持水量来表示,是反映森林涵养水源能力的重要指标<sup>[4]</sup>。植物在生长发育过程中,对于土壤结构的变化有极其强烈的参与作用,能够改变土壤结构影响土壤各种特性<sup>[8]</sup>。王志宏等<sup>[9]</sup>、王丽等<sup>[10]</sup>、马瑞萍等<sup>[11]</sup>、赵默涵等<sup>[12]</sup>均对植物改良土壤结构方面进行了深入研究,证明植物对提高土壤容重、含水量、孔隙度,以及改善土壤质量方面有很好的作用。

但是长期以来,人们对铁尾矿废弃地土壤的研究还不充分,对植物是否能有效地改良铁尾矿基质的性质尚不清楚。本项研究以迁安市马兰庄镇铁矿废弃地以及经过植被恢复改良后的矿山废弃地

为研究对象,通过野外观测、调查取样与室内试验分析相结合的方法,分析植被恢复措施对铁尾矿废弃地土壤结构改良产生的作用,以期为今后铁尾矿废弃地的植被恢复提供依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验地地理坐标为北纬39°51′~40°15′,东经118°26′~118°55′,其地处河北省东北部的迁安市马兰庄镇,属燕山南麓。迁安市以山地和丘陵为主,地势西北高,东南低,属暖温带、半湿润大陆季风气候,年均气温11.5℃,年均降水量711.9 mm,全年日照2 292.5 h,无霜期198 d。

马兰庄镇矿产资源丰富,镇域铁矿石总贮量达10亿t,大量开采矿产资源给当地环境带来了严重的污染。为保证生态环境与经济协同发展,马兰庄镇开展了大量的铁尾矿生态修复实践活动,进行了不同树种的造林试验,为本文研究提供了丰富的树种种类和样地类型。

### 1.2 样地设置

在首钢马兰庄矿区内选取5块分别种有不同树种的尾矿坡地作为研究样地,并选取1块裸尾矿地做为对照,分别将其编号为1,2,3,4,5及0,样地基本情况如表1所示。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 土壤取样

分别在0—5号样地内,按随机布点的方法,各设置3个取样点,作为3个重复处理。在每个取样点做60 cm深的土壤剖面,并将其分为0~10,10~20,20~40,40~60 cm等4层,对每一层分别取样。以3个取样点各层土壤物理指标的平均值表示该样地对应土层土壤的物理指标。

#### 1.3.2 土壤物理性质的测定

##### 1.3.2.1 土壤颗粒粒径分布的测定

采用筛分法来测量土壤中粒径大于1 mm的石砾所占的比例;使用Bettersize2000激光粒度分布仪测定土壤颗粒粒径小于1 mm的粒径分布,并进行比较、分析。本文中所涉及到的土壤粒级划分标准参考文献[13-14]进行划分。

表 1 样地概况

Tab. 1 The basic situations of the survey samples

| 样地<br>编号 | 植被类型  | 树龄<br>/a | 株行距<br>/cm            | 坡度<br>/(°) | 坡向 | 平均树高<br>/m | 覆盖率<br>/% | 土壤基质               | 地表植被                         |
|----------|---|----------|-----------------------|------------|----|------------|-----------|--------------------|------------------------------|
| 1        | 沙地柏 <i>Sabina vulgaris</i>                                      | 6        | 50 × 100              | 40         | 北坡 | 0.5        | 20        | 矿砂                 | 地表枯落物少,无草本                   |
| 2        | 混交 紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i><br>油松 <i>Pinus tabuliformis</i> | 5        | 50 × 100<br>120 × 150 | 30         | 东坡 | 1.6<br>2.0 | 95        | 矿砂                 | 坡面由六孔砖固定两种植被混交<br>地表枯落物厚,有草本 |
| 3        | 紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>                                    | 6        | 50 × 100              | 40         | 南坡 | 1.6        | 80        | 矿砂                 | 地表枯落物少,无草本                   |
| 4        | 火炬树 <i>Rhus typhina</i>   | 3        | 200 × 200             | 30         | 西坡 | 4.0        | 95        | 覆剥岩 15cm,<br>以下为矿砂 | 地表枯落物厚,<br>无草本               |
| 5        | 沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>                                  | 2        | 50 × 100              | 30         | 南坡 | 1.0        | 60        | 矿砂                 | 地表枯落物少,<br>无草本               |
| 0        | 裸尾矿   | —        | —                     | 30         | 西坡 | —          | —         | 矿砂                 | 无植被                          |

1.3.2.2 土壤团聚体含量的测定

将采回来的土样自然风干,参考文献[15]进行筛分。

先称取风干的土样  $M_0$ , 然后将其倒入 0.25 mm 的筛子进行筛分, 收集未通过筛孔的土壤, 将其完全碾碎, 再次放入孔径分别为 1 mm 和 0.25 mm 的套筛进行筛分, 未通过 1 mm 筛子的为石砾, 称取其质量, 记作  $M_1$ ; 未通过 0.25 mm 筛子土壤即大团聚体, 称取其质量, 记作  $M_2$ 。

$$\text{石砾比例} = \frac{M_1}{M_0} \times 100\%$$

$$\text{团聚体比例} = \frac{M_2}{M_0} \times 100\%$$

1.3.2.3 土壤容重 孔隙度及持水量的测定

土壤容重、孔隙度和持水量采用环刀法, 参考文献[16-19]进行测定。

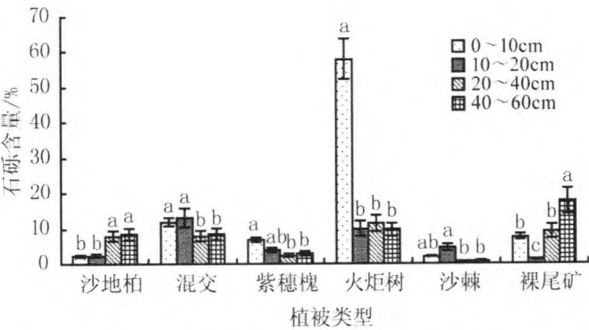
1.4 试验数据处理

用 Excel 2003 对本试验所采集数据进行处理、作图, 用 SPSS 13.0 软件对数据进行相关性分析 ( $P < 0.05$ )。

2 结果分析

2.1 不同造林树种对铁尾矿基质粒径组成的影响

图 1 为不同样地、不同土层之间石砾含量的对比图。6 块样地的 0 ~ 60 cm 土层总石砾含量由高到低依次为火炬树(23.1%) > 混交(10.4%) > 裸尾矿(9.2%) > 沙地柏(5.4%) > 紫穗槐(4.0%) > 沙棘(2.2%), 火炬树样地和混交林样地的石砾含



注:不同小写字母表示同一样地、不同土层之间的差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 1 石砾含量比较图(均值 ± 标准误)

Fig. 1 Comparison of gravel content(The mean ± standard error)

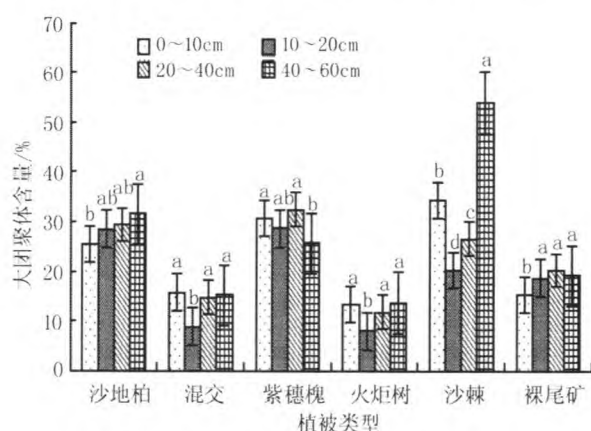
量高于裸尾矿地, 其它的都比裸尾矿地低, 其中沙棘样地的石砾含量最低, 仅为 2.2%。

同一样地不同土层中石砾的含量经 SPSS 13.0 差异性分析 ( $P < 0.05$ ) 得出: 1) 沙地柏样地 0 ~ 20 cm 层的石砾含量显著低于 20 ~ 60 cm 层的, 表现出随深度的增加而增大的趋势; 混交林样地中的石砾含量正好与其相反, 表现为随深度的增加而减小的趋势。2) 与混交林的趋势相同, 紫穗槐样地、火炬树样地和沙棘样地中, 土壤的石砾含量也表现为随土壤深度的增加而减小趋势。其中火炬树样地的为 0 ~ 10 cm 层明显高于其余三层, 并且含量超过了 50%, 原因在于火炬树样地的表层进行了客土, 所客土壤为采矿的剥岩, 因此颗粒较大的石砾较多。3) 裸尾矿地土壤的石砾含量则表现出了随土壤深度的增加而增大的趋势。

前苏联土壤学家卡钦斯基认为粒径小于1 mm的土壤颗粒有明显的塑形、胀缩性、吸湿性和粘结性,有利于土壤水、肥、气、热状况的调节和植物根系活动。使用 Bettersize 2000 激光粒度分布仪测定土壤颗粒粒径小于1 mm的粒径分布可知,各样地中的土壤的粒径集中分布于大于100 $\mu\text{m}$ 的范围内。各样地中,除沙地柏和混交样地是0~10 cm层粒径小于1 mm的土壤含量大于下层外,其他样地都是下层大于表层。火炬树样地中,由于表层土进行了客土处理,其0~10 cm层的土壤粒径分布明显小于其它层次,另外三层土壤的粒径分布差别不明显。

## 2.2 不同造林树种对铁尾矿基质团聚体含量的影响

团聚体在维持土地生产力和调节土壤水、气、肥方面具有重要作用。本文中的大团聚体含量为排除石砾的干扰后团聚体所占粒径小于1 mm的土壤的比例。图2为6块样地不同土层中的大团聚体含量。



注:不同小写字母表示同一样地、不同土层之间的差异显著 ( $P < 0.05$ )

图2 土壤大团聚体含量比较图(均值 $\pm$ 标准误)

Fig.2 Comparison of soil aggregate content(The mean $\pm$ standard error)

经过计算得出,6块样地中0~60 cm土层总的大团聚体含量由高到低依次为沙棘(33.7%)>紫穗槐(29.3%)>沙地柏(28.7%)>裸尾矿(18.3%)>混交(13.6%)>火炬树(11.7%)。混交林、火炬树样地中大团聚体含量低于裸尾矿地,说明这两个树种对大团聚体含量无明显改善作用。沙地柏、紫穗槐和沙棘样地中大团聚体的含量高于裸尾矿地,选择这些树种造林会使土壤有机质的含量提升,增加土壤中大团聚

体的含量,但由于植被恢复对有机质含量的增加作用也是有限的,所以团聚体的增加也不太明显。6块样地中土壤大团聚体含量的顺序恰好与石砾含量相反,说明土壤的机械组成和物理挤压对土壤中大团聚体的含量影响较大。

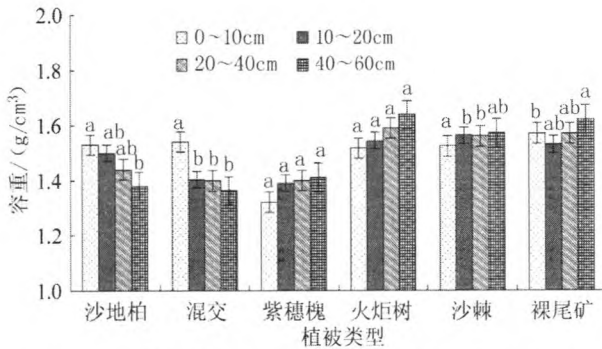
同一样地不同土层之间的大团聚体含量经 SPSS 13.0 差异性显著分析 ( $P < 0.05$ ) 得出,沙地柏、沙棘样地的土壤大团聚体含量与裸尾矿地一致,有随着土壤深度增加而增大的趋势,说明这两种植物对深层土壤大团聚体的改善效果比较好。紫穗槐样地中土壤大团聚体含量的趋势是随土壤深度的增加而减小的,说明该树种对浅层土壤大团聚体含量的改善效果好。混交和火炬树样地的土壤大团聚体含量没有明显趋势。

## 2.3 不同造林树种对铁尾矿基质容重的影响

土壤容重指自然状态下(包括土粒之间的孔隙),单位体积土壤的质量。具有团粒结构的土壤,其孔隙度高,容重就相对较低,如苗圃地耕作层容重在1.0~1.3 g/cm<sup>3</sup>之间。而沙土的孔隙粗大,但数量较少,总孔隙度较低,容重较大,沙质土容重多在1.4~1.7 g/cm<sup>3</sup>之间<sup>[20]</sup>。

图3为不同样地、不同深度之间土壤容重的比较。不同样地之间各层容重的平均值由大到小依次为裸尾矿(1.57 g/cm<sup>3</sup>)=火炬树(1.57 g/cm<sup>3</sup>)>沙棘(1.55 g/cm<sup>3</sup>)>沙地柏(1.46 g/cm<sup>3</sup>)>混交(1.43 g/cm<sup>3</sup>)>紫穗槐(1.38 g/cm<sup>3</sup>)。火炬树样地的土壤容重与裸尾矿地相同,说明火炬树对降低铁尾矿容重作用不明显,其它样地对其均有不同程度的改善作用。

同一样地不同土层之间经 SPSS 13.0 差异性检验分析 ( $P < 0.05$ ) 得出,不经改良的裸尾矿地的土壤容重的分布是有随土层深度增加而增大的趋势,与此相同,沙棘样地也有这样的趋势。沙地柏样地0~10 cm层的土壤容重显著高于40~60 cm层,混交样地0~10 cm层的土壤容重也显著高于其它三层,都表现出随深度增加而降低的趋势,说明这两种植物对深层土壤容重的改良效果明显。紫穗槐、火炬树和沙棘样地的土壤容重随着深度的增加而增加,但是这种趋势并不显著,火炬树样



注:不同小写字母表示同一样地、不同土层之间的差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 3 土壤容重比较图(均值  $\pm$  标准误)

Fig. 3 Comparison of soil bulk density (The mean  $\pm$  standard error)

地由于表层覆盖了剥岩细料,会导致土壤表层容重相对较高。

#### 2.4 不同造林树种对铁尾矿基质土壤孔隙度的影响

表 2 显示不同林地对铁尾矿孔隙度的改善状况。由表 2 可知,除沙棘样地外,其它各样地的土壤总孔隙度和非毛管孔隙度与裸尾矿地相比均有明显的提高。沙地柏、紫穗槐、火炬树和混交样地的总孔隙度分别提高了 28.3%, 22.9%, 28.2%, 25.7%, 非毛管孔隙度分别提高了 86.1%, 164.2%, 147.1%, 55.2%。沙地柏和火炬树样地的毛管孔隙度比裸尾矿地分别提高了 22.9% 和 27.4%。

同一样地不同土层之间经 SPSS 13.0 差异性检验分析( $P < 0.05$ )得出,裸尾矿地各层之间的土壤孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度的差别都不明显;沙地柏样地中 0 ~ 10 cm 土层的总孔隙度和非毛管孔隙度显著低于其它各层,并且土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度都有随土壤深度增加而增大的趋势,原因在于沙地柏为深根性植物,扎根较深且侧根发达,对深层土壤孔隙度的改良作用更为明显;混交林样地各层之间孔隙度的差别不明显;紫穗槐样地的土壤总孔隙度是 0 ~ 40 cm 层显著高于 40 ~ 60 cm 层,非毛管孔隙度 0 ~ 10 cm 层显著高于 20 ~ 60 cm 层,与沙地柏样地相反,该样地的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度都有随土

壤深度增加而减小的趋势;火炬树样地中 0 ~ 10 cm 层的非毛管孔隙度显著小于 40 ~ 60 cm 层的,表现出随深度增加而增大的趋势,而总孔隙度和毛管孔隙度各层之间差别不明显;沙棘样地中的土壤毛管孔隙度和非毛管孔隙度表现出相反的趋势,总孔隙度各层之间变化也不明显,说明沙棘对铁尾矿土壤的形成有一定的干扰,但是效果不明显。

表 2 不同样地 不同层深土壤孔隙度比较

Tab. 2 Comparison of soil porosity of different samples in different depth

| 样地类型 | 深度 /cm  | 土壤总孔隙 /% | 毛管孔隙 /%  | 非毛管孔隙 /% |
|------|---------|----------|----------|----------|
| 沙地柏  | 0 ~ 10  | 38.39 b  | 30.35 a  | 7.01 b   |
|      | 10 ~ 20 | 42.22 a  | 31.08 a  | 10.13 a  |
|      | 20 ~ 40 | 42.98 a  | 31.23 a  | 10.72 a  |
|      | 40 ~ 60 | 44.05 a  | 31.38 a  | 11.65 a  |
|      | 平均      | 41.91 A  | 31.01 A  | 9.88 A   |
| 混交   | 0 ~ 10  | 41.09 a  | 25.57 a  | 14.68 a  |
|      | 10 ~ 20 | 39.97 a  | 24.93 a  | 14.19 a  |
|      | 20 ~ 40 | 38.82 a  | 24.56 a  | 13.42 a  |
|      | 40 ~ 60 | 40.66 a  | 26.00 a  | 13.82 a  |
|      | 平均      | 40.13 A  | 25.27 B  | 14.03 B  |
| 紫穗槐  | 0 ~ 10  | 41.32 a  | 31.44 a  | 14.85 a  |
|      | 10 ~ 20 | 42.87 a  | 28.83 a  | 13.01 ab |
|      | 20 ~ 40 | 42.34 a  | 27.94 a  | 12.37 b  |
|      | 40 ~ 60 | 41.00 b  | 27.71 a  | 12.25 b  |
|      | 平均      | 41.88 A  | 28.98 AB | 13.12 B  |
| 火炬树  | 0 ~ 10  | 41.57 a  | 35.14 a  | 6.51 b   |
|      | 10 ~ 20 | 40.52 a  | 32.28 a  | 7.32 ab  |
|      | 20 ~ 40 | 41.10 a  | 31.12 a  | 9.05 ab  |
|      | 40 ~ 60 | 41.05 a  | 31.06 a  | 10.07 a  |
|      | 平均      | 41.06 A  | 32.40 A  | 8.24 A   |
| 沙棘   | 0 ~ 10  | 34.74 a  | 32.65 a  | 1.16 b   |
|      | 10 ~ 20 | 34.00 a  | 29.56 ac | 3.45 ab  |
|      | 20 ~ 40 | 32.71 a  | 27.56 bc | 4.16 ab  |
|      | 40 ~ 60 | 31.09 a  | 24.02 b  | 5.08 a   |
|      | 平均      | 33.14 B  | 28.44 AB | 3.46 C   |
| 裸尾矿  | 0 ~ 10  | 33.41 a  | 26.06 a  | 5.66 a   |
|      | 10 ~ 20 | 34.50 a  | 27.34 a  | 5.32 a   |
|      | 20 ~ 40 | 31.48 a  | 24.43 a  | 5.21 a   |
|      | 40 ~ 60 | 31.24 a  | 23.94 a  | 5.06 a   |
|      | 平均      | 32.66 B  | 25.44 B  | 5.31 C   |

注:不同小写字母表示同一样地不同土层之间的差异显著;不同大写字母表示不同样地均值间的差异显著 ( $P < 0.05$ )。



2.5 不同造林树种对铁尾矿基质水分的影响

表3 为不同样地、不同土层土壤持水量的比较。由表3 可知,沙地柏和火炬树样地的田间持水量、毛管持水量和饱和含水量均显著大于裸尾矿地,分别提高了47.5%,31.0%,38.4%和45.8%,26.5%,27.4%,表现出良好的改善效果。

表3 不同样地、不同土层持水量比较

Tab.3 Comparison of soil water-holding capacity of different samples in different depth

| 样地类型 | 深度<br>/cm | 田间持水量<br>/% | 毛管持水量<br>/% | 饱和含水量<br>/% |
|------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 沙地柏  | 0~10      | 15.46 a     | 21.01a      | 25.8 b      |
|      | 10~20     | 15.81 a     | 21.19 a     | 28.74 ab    |
|      | 20~40     | 16.15 a     | 22.67 a     | 30.64 ab    |
|      | 40~60     | 16.34 a     | 23.59 a     | 32.86 a     |
|      | 平均        | 15.94 A     | 22.12 A     | 29.51 AB    |
| 混交   | 0~10      | 11.31 a     | 17.33 a     | 28.02 a     |
|      | 10~20     | 12.39 a     | 18.63 a     | 29.94 a     |
|      | 20~40     | 12.63 a     | 18.09 a     | 29.97 a     |
|      | 40~60     | 11.90 a     | 18.49 a     | 30.00 a     |
|      | 平均        | 12.06 B     | 18.14 C     | 29.48 AB    |
| 紫穗槐  | 0~10      | 14.73 a     | 20.12 a     | 37.34 a     |
|      | 10~20     | 12.06 b     | 19.86 a     | 32.93 ab    |
|      | 20~40     | 11.78 b     | 18.45 a     | 32.14 ab    |
|      | 40~60     | 11.51 b     | 18.23 a     | 31.15 b     |
|      | 平均        | 12.52 B     | 19.17 ABC   | 33.39 A     |
| 火炬树  | 0~10      | 18.06 a     | 23.90 a     | 28.80 a     |
|      | 10~20     | 16.55 a     | 21.63 ab    | 26.98 a     |
|      | 20~40     | 14.31 b     | 20.26 b     | 26.54 a     |
|      | 40~60     | 14.10 b     | 19.64 b     | 26.35 a     |
|      | 平均        | 15.76 A     | 21.36 AB    | 27.17 BC    |
| 沙棘   | 0~10      | 15.87 a     | 22.16 a     | 26.84 a     |
|      | 10~20     | 13.83 ab    | 19.63 ab    | 25.69 a     |
|      | 20~40     | 12.43 b     | 18.38 bc    | 24.91 a     |
|      | 40~60     | 9.70 c      | 15.99 c     | 23.06 a     |
|      | 平均        | 12.96 AB    | 19.04 BC    | 25.12 CD    |
| 裸尾矿  | 0~10      | 10.86 a     | 16.93 a     | 20.43 a     |
|      | 10~20     | 11.75 a     | 17.60 a     | 19.73 a     |
|      | 20~40     | 10.36 a     | 17.04 a     | 21.08 a     |
|      | 40~60     | 10.27 a     | 16.03 a     | 24.04 a     |
|      | 平均        | 10.81 B     | 16.89 C     | 21.32 D     |

注:不同小写字母表示同一样地不同土层之间的差异显著;不同大写字母表示不同样地均值间的差异显著( $P<0.05$ )。

同一样地不同土层之间经 SPSS 13.0 差异性检验分析( $P<0.05$ )得出,沙地柏样地中0~10 cm 层的饱和含水量显著低于40~60 cm 层的,田间持水量和毛管持水量也表现出随深度增加而增大的趋势,反应出沙地柏深根性的特点;紫穗槐、火炬树和沙棘样地各层之间的田间持水量、毛管持水量和饱和含水量与沙地柏样地相反,随深度的增加而减小。

3 结论与讨论

植被恢复措施除了能够有效改良土壤的化学性质、增加土壤养分含量和显著改良矿山废弃地地表景观外<sup>[21-22]</sup>,对土壤物理结构的改善,尤其是对矿山废弃地的水土保持和减小发生滑坡等地质灾害的风险作用也是明显的。

土壤颗粒是土壤最基本的组成成分,土壤颗粒的粒径分布对土壤孔隙、土壤水分和土壤团聚体都有着巨大的影响。6 块样地中石砾的含量顺序为火炬树(23.1%)>混交(10.4%)>裸尾矿(9.2%)>沙地柏(5.4%)>紫穗槐(4.0%)>沙棘(2.2%),而大团聚体含量由高到低依次为沙棘(33.7%)>紫穗槐(29.3%)>沙地柏(28.7%)>裸尾矿(18.3%)>混交(13.6%)>火炬树(11.7%),顺序恰好与石砾含量的顺序相反,但不同造林树种与裸尾矿并没有明显的差别,说明土壤颗粒的细化是一个长久而缓慢的过程,年际尺度上的植被恢复对成土和土壤颗粒的细化的影响微乎其微,而土壤的机械组成和物理挤压对土壤中大团聚体的含量影响较大。直接影响尾矿粒径的是采矿技术和采矿过程。

土壤容重、孔隙度、持水量等是评价土壤物理性质好坏的重要指标,土壤良好的物理性质是植物生长的先决条件,也是土壤涵养水源,减少水土流失的基础。本文研究表明,土壤容重除火炬树样地与裸尾矿相同外,其余各样地相对裸尾矿样地均有降低,可见植被恢复措施有降低土壤容重的作用。不同树种的改良效果各不相同,紫穗槐样地的整体水平最低(图3),说明紫穗槐对铁尾矿的容重改良效果最为突出。沙地柏和混交样地的土壤容重有随着深度的增加而降低的趋势(图3),原因在于沙

地柏和油松均为深根性针叶树种,对深层土壤的改良作用较为明显。在改良土壤孔隙度方面,沙棘样地的土壤孔隙度与裸尾矿地相当,其它样地均比裸尾矿地有所提高,沙地柏和火炬树的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度都显著大于裸尾矿地(表2),说明这两个树种对铁尾矿的孔隙度有明显改善作用。由于沙地柏的深根特性,其对深层土的改良效果更为明显。沙地柏对田间持水量、毛管持水量和饱和含水量的改善作用也非常明显,其次为火炬树样地,混交林改善作用不显著(表3)。植被恢复过程对增加尾矿总孔隙度、毛管孔隙度,尤其是非毛管孔隙度的作用明显,可降低土壤容重,相应的,对土壤田间持水量、毛管含水量和饱和持水量都有明显的提升。这与其他人的研究成果一致<sup>[10-12]</sup>。

不同树种对铁尾矿基质的物理性质和不同深度的改良效果是不一样的,通过对5块样地的比较,采用紫穗槐、火炬树和沙棘进行植被恢复的样地,土壤浅层物理性质的改良效果更明显;采用油松、沙地柏进行植被恢复的样地,土壤深层物理性质的改良效果更为明显。在恢复植被的选用上,紫穗槐的综合恢复效果最强,其密集根系加上一定的种植密度能有效降低土壤容重,增大土壤孔隙度和持水量,其较强的萌生能力和落叶的特性也能显著提升土壤有机质含量。此外采用火炬树作为恢复树种也是比较迅速和高效的恢复方式,其强大的萌蘖能力能保证其迅速地生长和郁闭,在改良土壤物理性质的同时减小降雨对地面的冲刷作用,有效地减少水土流失。在实际恢复过程中,采用沙地柏或油松与紫穗槐混交造林能较好地对土壤各个层次的物理性质进行综合改良,并加以构筑六孔砖等水土保持工程措施能够达到较好的恢复效果。

## 参考文献:

- [1] Letey J. The study of soil structure: science or art[J]. Aust. J. Soil Res., 1991, 29: 699 - 770.
- [2] 卢金伟, 李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 81 - 85.
- [3] 史奕, 陈欣, 闻大中. 东北黑土团聚体水稳定性研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 95 - 98.
- [4] 胡淑萍, 余新晓, 岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 146 - 150.
- [5] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体的稳定性[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 91 - 95.
- [6] 李阳兵, 谢德体. 不同土地利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 22 - 125.
- [7] 续海龙, 魏忠义. 抚顺西露天矿复垦碎石不同植被类型水分入渗研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(9): 169 - 170.
- [8] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982: 89 - 94.
- [9] 王志宏, 李爱国. 矿山废弃地生态恢复基质改良研究[J]. 中国矿业, 2005, 14(3): 198 - 201.
- [10] 王丽, 梦丽, 张金池, 等. 不同植被恢复模式下矿区废弃地土壤水分物理性质研究[J]. 中国水土保持, 2010(3): 5 - 8.
- [11] 马瑞萍, 刘雷, 安韶山, 等. 黄土丘陵区不同植被群落土壤团聚体有机碳及其组分的分布[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 189 - 192.
- [12] 赵默涵. 矿山废弃地土壤基质改良研究[J]. 农业基础科学, 2008, 24(12): 128 - 131.
- [13] 贾三春, 徐延文. 土壤环境机械组成特征及其分布规律[J]. 中国环境检测, 1997, 13(3): 24 - 26.
- [14] 王忠科. 植被盖度及地面坡度影响降雨入渗过程的试验研究[J]. 河北水利水电技术, 1994(4): 63 - 64.
- [15] 严昶升. 土壤肥力研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 278 - 281.
- [16] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980: 146 - 158.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 178 - 182.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 25 - 282.
- [19] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1983: 8 - 11.
- [20] 李惠卓, 张丽娟. 土壤学[M]. 保定: 河北农业大学, 2004: 87 - 89.
- [21] 王岩等, 石娟华, 李晨光, 等. 沙棘-桑树人工混交林对铁尾矿土壤的改良效益分析[J]. 蚕业科学, 2012, 38(4): 596 - 602.
- [22] 王岩, 李玉灵, 石娟华, 等. 不同植被恢复模式对铁尾矿物种多样性及土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 113 - 117.