

科尔沁沙地南缘不同植被对土壤物理性质改良作用研究

蔡楚雄, 贾玉华, 郭成久

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 试验选取科尔沁沙地南缘樟子松林地、柠条林地、狗尾草草地、裸沙地(对照)4种典型立地类型为研究对象, 通过测定各研究地土壤容重、土壤含水率、最大持水量、毛管持水量、田间持水量及沙粒粒径等物理指标, 研究分析不同植被对沙地土壤物理性质的改良作用。研究表明: 3种植被都对土壤物理性质都有一定改良作用。(1) 柠条和樟子松对沙地土的保水效果较差, 1 m深处的土壤含水率仅为2.1%和2.6%, 低于裸沙地, 而狗尾草草地1 m深处的含水率达到7.4%, 为裸沙地1 m深处的1.6倍。(2) 通过分析0—30 cm各物理指标平均值, 得出3种植被下, 土壤容重都小于裸沙地; 狗尾草草地毛管持水量和田间持水量都最高, 分别为21.7%和18.2%。其次为柠条林地和樟子松林地, 裸沙地最小; 柠条林地最大持水量最高, 为24.6%, 其次为狗尾草草地和樟子松林地, 裸沙地最小。(3) 通过对不同土层深度物理指标分析得出: 3种植被对0—10 cm和10—20 cm的土壤容重、最大持水量、田间持水量有显著影响, 而对毛管持水量没有显著影响; 对20—30 cm的土壤各指标都有显著的影响。(4) 三种植被对土壤颗粒分布异质性改良效果的大小顺序依次为狗尾草>樟子松>柠条, 其间接反映了土壤粒径分布范围的均匀程度, 其由高到低依次为狗尾草>樟子松>柠条。综上, 与裸沙地相比, 种植各植被土壤的物理指标明显好于裸沙地, 表明植被能明显改善当地土壤的物理性质。

关键词: 科尔沁沙地; 植被; 樟子松林地; 柠条林地; 狗尾草草地; 裸沙地; 改良

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0049-06

Research for Effect of Different Types of Vegetation on Physical Properties Improvement of Sandy Soil in the Sandy Land in South Horqin

CAI Chuxiong, JIA Yuhua, GUO Chengjiu

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The experiment selected four typical sites of sandy lands with *Pinus sylvestris* forest, *Caragana intermedia* forest, green bristlegrass and bare sandy land (control) in the south edge of Horqin as the research samples. Through the study of physical index determination of soil bulk density, soil moisture content, maximum water holding capacity, capillary water holding capacity, field moisture capacity and particle size analysis, the effect of different vegetation on soil physical properties were examined. The results show that three kinds of vegetation could completely improve the soil physical properties to some extent. (1) *Caragana intermedia* and *Pinus sylvestris* have poor water conservation capacity and soil moisture contents in 1 m depth was only 2.1% and 2.6%, respectively, which are lower than that of the bare sandy land. However the soil moisture content in the depth of 1 m of green bristlegrass reached to 7.4%, which is about 1.6 times more than that in the depth of 1 m in the bare sandy land. (2) By analyzing the average value of each physical index in 0—30 cm layer, we may draw the conclusion that the sandy sites with three kinds of vegetation have the lower soil bulk density than bare sandy land. The capillary water holding capacity and field moisture capacity of green bristlegrass are the highest, which are 21.7% and 18.2%, respectively. The next is *Caragana intermedia* forest and *Pinus sylvestris* forest and the smallest is bare sandy land. The maximum water holding capacity of *Caragana intermedia* forest is the highest one, which is 24.6%. The next is green bristlegrass and *Pinus sylvestris*, and the bare sandy land is the smallest one. (3) Through the analysis of

收稿日期: 2016-09-04

修回日期: 2016-09-26

资助项目: 国家农业综合开发东北黑土区水土流失重点治理科技推广项目“面源污染防治技术体系在水土保持当中的应用”

第一作者: 蔡楚雄(1990—), 男, 辽宁省沈阳人, 硕士, 主要研究方向土壤侵蚀规律及其治理方面的研究。E-mail: 1587868844@qq.com

通信作者: 郭成久(1964—), 男, 辽宁锦州人, 教授, 主要从事土壤侵蚀规律及其治理研究。E-mail: chengjiuguol1@163.com

the physical indexes of different soil depths, we may come to conclusion that at the depth of 0—10 cm and the depth of 10—20 cm, three kinds of vegetation have the significant impact on soil bulk density, maximum water holding capacity and field moisture capacity, but does not have the significant impact on the capillary water holding capacity. Three kinds of vegetation have the significant impact on each physical index at the depth of 20—30 cm. (4) The improvement effect caused by the three kinds of vegetation on the heterogeneity of soil distribution followed the order: green bristlegrass>*Pinus sylvestris*>*Caragana intermedia*, which indirectly indicated that the uniformity coefficient of particle size distribution in the sandy soil under different vegetation forms followed the order: green bristlegrass>*Pinus sylvestris*>*Caragana intermedia*. Compared with the bare sandy land, the soil physical indexes of various vegetation types are better than the bare sandy. The results show that vegetation can significantly improve the local soil physical properties.

Keywords: Horqin Sandy Land; vegetations; *Pinus sylvestris*; *Caragana intermedia*; green bristlegrass; bare sandy land; improvement

土地荒漠化指由于人类不合理的经济活动和脆弱的生态条件相互作用造成的土地生产潜力衰退、土地资源丧失和地表呈现荒芜状态的土地退化过程^[1],是全球备受关注的重大资源环境问题之一。沙地植被对改良沙质土,改善当地小气候有着明显的效果,其中柠条和樟子松对沙地有较强的适应性,对沙漠化的防治、保水保肥和沙地环境改善起到了重要的作用^[2-3],有利于细沙、极细沙和粉沙的截留^[4]。由于植物种类组成、物种生物学特性和空间结构不同,其土壤水文生态特征存在较大差异^[5]。土壤物理性质又直接影响到土壤中水分运动方式及途径,决定土壤层水文生态功能的强弱^[6]。其中,土壤容重可以反映植被对土壤物理性质的改良程度^[7]。土壤容重越小,孔隙度越大,说明土壤发育良好,有利于水分的保持和渗透^[8]。土壤水分是土壤养分循环和流动的载体,影响着土壤特性和植物生长,反过来,土壤水分受物种组成、郁闭度等因素的制约^[9]。王德等还对沙质土土壤质地研究表明,质地越均匀,说明绝大多数的颗粒集中在较为狭窄的粒径范围内,则土壤粒径分布曲线的异质性越大;而对于土壤粒径分布曲线而言,分布越均匀,则说明各个分级内颗粒体积百分比数值越趋向于一致,土壤颗粒分布的异质程度就越大^[10]。

2000年以前,科尔沁沙地为一块裸沙地,几乎无任何植被覆盖。随着人们对沙漠化治理的重视,2005年阿尔乡沙地移栽了大面积的樟子松、柠条并飞播种植了狗尾草,以此来改善当地沙漠化日益严重,土地贫瘠的现象,目前该地区的流沙已部分被固定。但是对科尔沁沙地在植被引种后土壤物理性质如何变化以及不同的植被对沙质土影响效果的相关研究仍较少。本试验选择科尔沁沙地典型植被,研究不同植被对沙土含水率、最大持水量、土壤容重、毛管持水量、田间持水量和粒径组成的影响,分析植被对土壤的改

良效果及其差异,旨在阐明在科尔沁沙地生境中,生态恢复和植被建设对沙土的改良效果,可为改善沙地生态环境及选择高效植物种提供借鉴^[11-13]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于辽宁省阜新市彰武县阿尔乡镇,地处辽宁省西北部,科尔沁沙地南缘,位于东经122°23',北纬42°50',该地区属温带半干旱季风气候,其主要特征是干燥,风沙大。多年平均降水量412 mm,降水量年内分布不均,夏季降水量占全年降水量的66%以上;多年平均蒸发量1 781 mm,为降雨量的4.3倍;年平均气温6.1℃,平均湿度58%~59%;年平均风速3.7~4.2 m/s,最大风速24 m/s,沙尘暴天气10~15 d,主要出现于春季;植物生长期145~150 d,无霜期154 d^[14]。樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、狗尾草(*Setaria viridis* L. Beauv)、柠条(*Caragana korshinskii*)等都为当地典型植被。

1.2 试验样地选取

在研究地选取立地条件大致相同的4种样地进行试验,包括樟子松(株距3 m×5 m,平均株高1.15 m,覆盖度18%),柠条(株距1.5 m×1.5 m,平均株高1.68 m,覆盖度73%),狗尾草(株距0.05 m×0.05 m,平均株高0.15 m,郁闭度86%)和裸沙地(对照)。针对每种植被建立60 m×60 m的标准地。在每块标准地内,均匀设置10个1 m×1 m的小样方采集土壤,进行指标测定。

1.3 土壤物理性质测定

8—10月份是植被生长最为繁茂的时期,因此选择在这三个月测定4块样地沙质土的物理性质,每个月份分别在5日,15日和25日测定。根据该地区的沙地植被根系长度,所研究的土壤含水量的测定深度为1 m。

一般情况下近地表 30 cm 范围内的沙地土壤特性受植被根系及近地表气候特性影响较大,故土壤容重、土壤最大持水量、土壤毛管持水量、土壤田间持水量测定深度为 30 cm。使用 GPS 记录采样地址,确保每次测定的为同一点,用 1 m 深的土钻取土并每 10 cm 取一个土样测量不同深度的含水率,用环刀和铝盒取 0—30 cm 深土壤测定其土壤容重、土壤最大持水量、土壤毛管持水量、土壤田间持水量。每次取样根据样地选取,做 3 组重复试验,然后将所采土样带回试验站进行测量并求得均值。以上土壤理化性质的测定均采用《土壤农化分析》中的有关方法^[15]。具体方法为:先用天平对环刀进行称重(G) (包含环刀内的滤纸),然后选择四块样地土壤的剖面,用已称重的环刀采取厚状土,盖好盖立即称重(W),或用塑料袋装好,短时间内带回室内称重。再将装有湿土的环刀揭去上盖,将有孔并垫有滤纸的一端放入平底容器中,注入水,水面高度至环刀上沿为止,防止淹没。使其吸水 12 h,此时所有非毛细管孔隙和毛细管孔隙均充满水。取出环刀盖上盖,立即称重(G_1),然后再放入容器中继续浸泡 2~4 h,取出称重,两次称重差异不大即可。然后将称重(G_1)后的环刀,去掉上盖,将有孔隙并垫有滤纸的一端放在干沙上 2 h,此时环刀中土壤的非毛细管水已全部流出,但毛细管中仍充满水分,盖上盖立即称重(G_2)。再将称过的环刀(G_2),揭去上盖,继续放在干沙上一昼夜,此时环刀中土壤所保持的水分为毛管悬着水,盖上盖子立即称重(G_3),即可得出田间持水量。最后将上述环刀和土壤放入恒温箱中,105℃烘干至恒重(G_4)。其中土壤含水量 = $(W - G_4) / (G_1 - G) \times 100\%$,土壤容重 = $(G_1 - G) / 100$,最大持水量 = $(G_1 - G_4) / (G_1 - G) \times 100\%$,毛管持水量 = $(G_2 - G_4) / (G_1 - G) \times 100\%$,田间持水量 = $(G_3 - G_4) / (G_1 - G) \times 100\%$ 。

通过过筛法对 0—10 cm 土壤进行粒径组成分析,分别取 28,40,60,80,100,200,300 目筛子进行依次过筛再称重,计算出不同粒径区间所占的百分比,分析三种植被对沙质土粒径组成的影响与改良效果。

1.4 数据处理

所有的数据采用软件 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 16.0 进行绘图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 三种植被对沙质土土壤物理性质的影响效果

2.1.1 三种植被对近地表 1 m 深沙质土含水率的影响 图 1 为不同样地三个月的平均含水率,三种植被中狗尾草 0—10 cm 的土壤含水率最低,且狗尾草

草地近 0—100 cm 的土壤含水率大体趋势会随着深度变大而显著增加,在 1 m 处的土壤含水量达到了 7.5%,约为 0—10 cm 的三倍。裸沙地 0—20 cm 的土壤含水率明显低于种植作物的样地,可能是裸沙地表层有机质及枯落物含量非常少,粉粒及黏粒的含量都少于其他几块样地,且孔隙度较大。当发生降雨,水分会迅速下渗到深层。樟子松和柠条林地 0—30 cm 的土壤含水率均高于裸沙地,对沙地保水起到较好的效果,但裸沙地 30—100 cm 的土壤含水率大于樟子松和柠条林地,可能由于裸沙地表层近似于流动沙地,而樟子松和柠条的根系比较长,对近地表的土壤都有一定的固持作用,其两片样地可被近似看成固定沙地,流动沙地地表干沙层以下的土壤含水量一般大于同深度固定沙地,特别是在根系密集分布的土层。固定沙地上在植物繁茂、降雨较少时,固定沙地的土壤含水量会随着植物的蒸腾消耗而变低,约在 1% 到 2% 左右,而流动沙地不受或受此影响较小^[16]。对土壤持水能力的分析表明,土壤结构影响降水的有效性。固定沙地相对粘重的表土层影响降雨对灌木根系层土壤水分的补充。从图 1 可以看出,狗尾草草地 30—100 cm 的土壤含水量随着深度的增加而增加,且会明显高于其余三块样地的含水率。进而验证了郭柯、董学军等说法,由于深层土水分较低,无法补给较深的植物根系,所以固定沙地土壤结构对根系分布较深的灌木和半灌木的生长不利,而有利于其庇护下草本植物的生长^[16]。

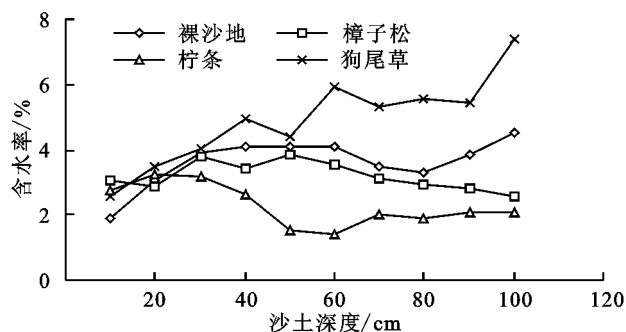


图 1 四块样地中 0~1 m 内土壤含水率的变化情况

2.1.2 三种植被对 0—30 cm 土壤容重的影响 沙质土的容重大小间接反映了沙土的密实程度,影响着土壤结构的排列和土壤水分的固持,进而影响土壤风蚀的作用^[17]。由图 2 可知 4 块样地中裸沙地有机质及植物的枯落物最少,土壤容重最高,其次是樟子松林地。柠条根系较长,一般可达到 2 m,而且根系分布比较密集,三种植被中柠条对沙质土容重改良效果最为明显。4 块样地容重随深度变化规律为:裸沙地和狗尾草草地土壤容重随深度增加逐渐降低,而樟子松和柠条林地土壤容重随深度增加逐渐升高。4

块样地 0—30 cm 土壤容重分别为:裸沙地 1.666 g/cm³、樟子松 1.613 g/cm³、狗尾草 1.576 g/cm³、柠条为 1.553 g/cm³。4 块样地的容重存在较大的差异,这与植物的根系长度及根系密度有着密切关系,植物的根系密度越大,土壤的有机质含量越高,土壤容重越低。

2.1.3 三种植被对 0—30 cm 土壤最大持水量的影响 土壤最大持水量是土壤全部孔隙充满水时所保持的水量,它的多少与土壤质地、结构、紧密程度有着密切的关系,可反映土壤在雨季时最大的贮水能力^[18]。由图 2 可知裸沙地和樟子松林地的土壤最大持水量与土层深度成反比,而狗尾草草地的最大持水量随着土层深度的增加而升高,柠条地则是先增加后降低。4 块样地 0—30 cm 的土壤最大持水量分别为:狗尾草为 21.7%、柠条林地 21.4%、樟子松为 18.8%、裸沙地为 16.1%,表明土壤最大持水量与植物的种类有着密切的关系,相比裸沙地,植被可以有效地提高沙地土的最大持水量,这可能与植被的根系、密度、结构有一定的关系。

2.1.4 三种植被对 0—30 cm 土壤毛管持水量的影响 毛管持水量可作为鉴定地下水对根系分布层土壤含水量的影响及其对作物生长利弊的依据,可近似认为土壤在枯水季节的贮水量^[19]。由图 2 可知,裸沙地和狗尾草草地毛管持水量在 0—30 cm 范围内变化趋势一致,两者均随深度的增加而增大,而樟子松林地的毛管持水量在 0—30 cm 范围内随土层深度的增加而明显下降,柠条林地 0—30 cm 的土壤毛管持水量随深度的增加则呈现先升高后降低的趋势。4 块样地 0—30 cm 的土壤毛管持水量分别为:狗尾草 21.7%、柠条 21.4%、樟子松 18.8%、裸沙地 16.1%,可以看出土壤毛管持水量与植物的种类有着密切的关系,相比裸沙地植被可以有效地提高沙地土的毛管持水量,可能是因为不同植被的根系、密度、结构都存在一定的差异,根系的不同影响着毛管持水量的大小。

2.1.5 三种植被对 0—30 cm 土壤田间持水量的影响 田间持水量被认为是土壤所能稳定保持的最高土壤含水量,也是土壤中所能保持悬着水的最大量,通常认为是一个常数,常用来认定灌溉上限和计算灌水定额的指标。同时,有学者研究发现,土壤质地、有机质含量、土壤剖面结构以及地下水埋深等因素对田间持水量有一定的影响。由图 2 可知,在 0—30 cm 范围内,裸沙地土壤田间持水量随深度的增加变化较小,樟子松林地和柠条林地土壤田间持水量随土层深度的增加而减小,但狗尾草草地土壤田间持水量随深

度的增加则有小幅度的上升。4 块样地 0—30 cm 土壤田间持水量分别为:狗尾草 18.2%、柠条 17.8%、樟子松 14.8%、裸沙地 12.5%,不同植被在一定程度上可以提高沙地的田间持水量,植被根系覆盖面积的大小会影响着田间持水量的大小,根系覆盖面积越大,沙地田间持水量越大。

韩路等曾对塔里木河上游不同植被土壤水文特性进行了研究。研究表明:土壤最大持水量均值由大到小依次为乔木>灌木林地>草地>裸地;田间持水量均值由大到小依次为灌木林地>草地>乔木林地>裸地。毛管持水量的均值由大到小依次为灌木林地>乔木林地>草地>裸地^[20]。这与本试验存在一定的差异,原因与试验场地的气候环境、植被种类及生长状况有关。

由组间方差分析得出,在 0—10 cm 的土壤容重($F=7.120, p<0.05$)、最大持水量($F=15.215, p<0.05$)、田间持水量($F=5.851, p<0.05$)的 p 值均小于 0.05,可以认为不同植物对 0—10 cm 的土壤容重、最大持水量、田间持水量有显著影响;在 10—20 cm 的土壤容重($F=6.884, p<0.05$)、最大持水量($F=12.324, p<0.05$)、田间持水量($F=9.061, p<0.05$)的 p 值均小于 0.05,可以认为不同植物对 10—20 cm 的土壤容重、最大持水量、田间持水量有显著影响;在 20—30 cm 的土壤容重($F=16.617, p<0.05$)、最大持水量($F=29.636, p<0.05$)、毛管持水量($F=12.150, p<0.05$)和田间持水量($F=25.754, p<0.05$)的 p 值均小于 0.05,说明不同植被对 20—30 cm 的土壤容重、最大持水量、毛管持水量和田间持水量都有显著影响。影响沙地物理性质不仅与植被有关,可能还与土层深度和植物根系的结构有关。

2.2 三种植被对沙地粒径组成的影响

沙质土土壤粒径分布影响着土壤的水力特性、土壤肥力状况以及土壤侵蚀等,是重要土壤物理特性之一。图 3 为沙粒不同大小粒径所占的百分比,表 1 为 4 块样地土壤粒径组成分析。由图和表可以看出,4 块样地的粒径百分比曲线近似服从正态分布,4 块样地土壤颗粒分布的异质程度由小到大依次为:裸沙地<柠条林地<樟子松林地<狗尾草草地,表明沙地表土在粒径组成方面,狗尾草改良作用最好,而柠条和樟子松较为明显。柠条林地的沙质土粒径百分比在 0.1 cm 到 0.2 cm 之间达到峰值,峰值为 42%,而裸沙地、樟子松林地、柠条林地在 0.2 cm 到 0.3 cm 之间达到峰值,峰值分别为 42%,37%,30%。综上所述,沙地上不同植被对沙地的粒径组成影响不同,应根据不同需求种植适地草本植物。

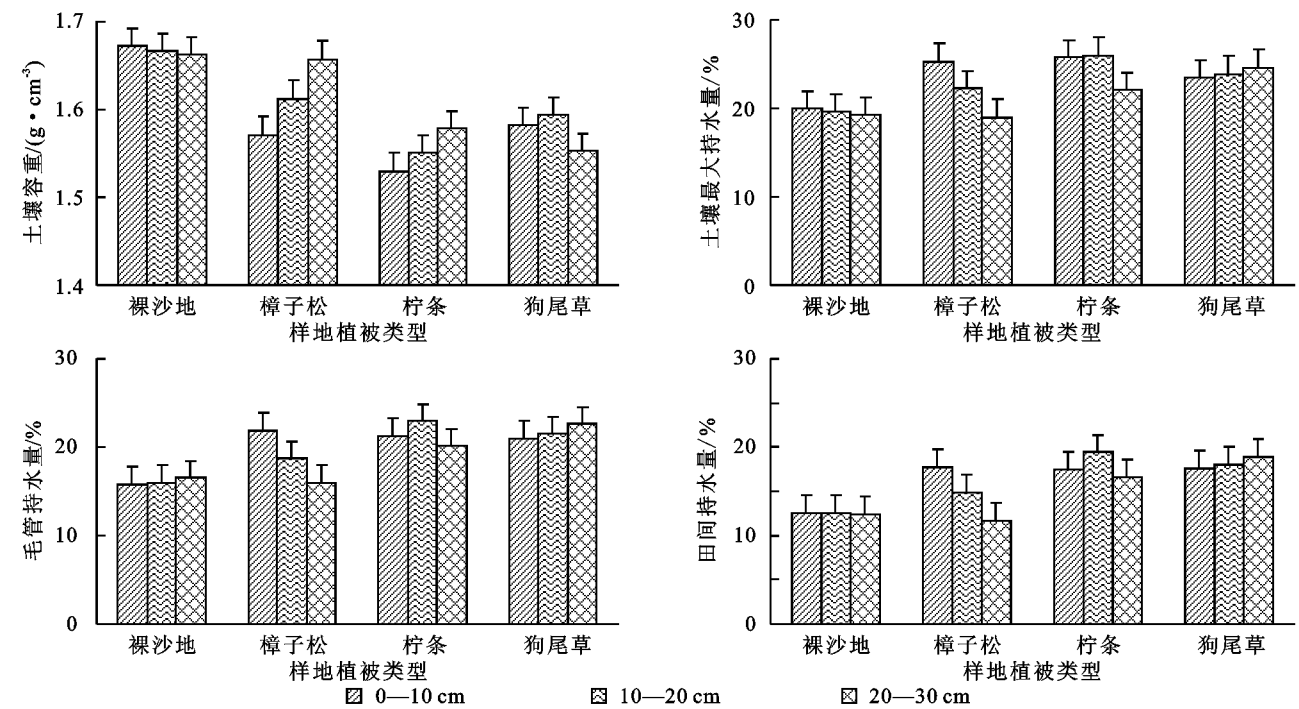


图 2 4 块样地 0—30 cm 内的土壤容重、最大持水量、毛管持水量、田间持水量情况

表 1 4 块样地土壤粒径组成								%
试验	小于 300 目	300~200 目	200~100 目	100~80 目	80~60 目	60~40 目	40~28 目	大于 28 目
用地	<0.050 mm	0.050~0.074 mm	0.074~0.154 mm	0.154~0.180 mm	0.180~0.280 mm	0.280~0.450 mm	0.450~0.630 mm	>0.630 mm
裸沙地	0.09	0.23	7.72	15.70	41.57	31.05	3.50	0.12
樟子松	2.00	1.73	13.44	18.24	36.73	24.17	3.21	0.50
柠条	1.07	0.88	20.04	41.76	30.08	5.31	0.42	0.43
狗尾草	0.93	1.10	23.19	27.49	30.74	11.14	2.96	2.45

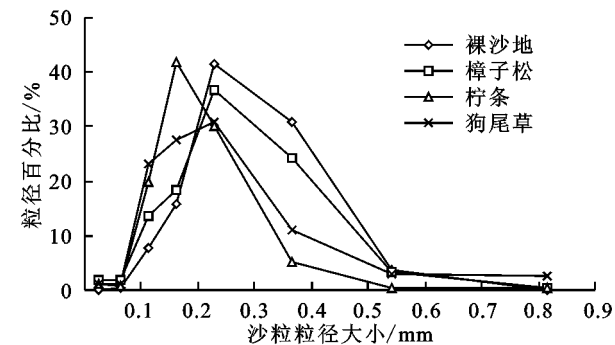


图 3 试验区 0—10 cm 沙土粒径大小所占百分比

3 结论与讨论

(1) 三种植被中,狗尾草草地在 0—100 cm 的土壤含水率均高于裸沙地,对保水起到了最好的效果,在 1 m 深处土壤含水率达到 8%,达到了同深度下裸沙地含水率的 2 倍;樟子松和柠条林地 0—30 cm 土壤含水率均高于裸沙地,而在 30—100 cm,樟子松和柠条林地的含水率却小于裸沙地,说明樟子松和柠条仅在 0—30 cm 对沙地保水起到较好的效果。何玉惠等研究表明,在沙地环境下,狗尾草将发挥“泵”的作用吸收更多的水分与养分,缓解地表严重缺水的情

况,而当环境条件较好时,狗尾草将更好地吸收水分和养分,从而减少水分和养分的损失,表明狗尾草有较好的保水效果^[21]。潘占兵等通过对柠条林土壤水分分层调查,研究表明,各层土壤含水量相比,土壤表层由于受蒸散影响较大,该层土壤含水量最低,随着土层的变深,土壤含水量增加,尤其在 0—80 cm 范围内土壤含水量显著($p<0.05$)增加,由于降水量少,植物蒸散、土壤蒸散等,大气降雨对深层土壤含水量影响不大,因此,60—100 cm 内土壤含水量虽然增加,但变化并不显著^[22],与本文研究结果一致。

(2) 三种植被中,柠条改善 0—30 cm 土壤容重效果最为明显,狗尾草次之,樟子松效果不明显。4 块样地中,狗尾草草地的狗尾草根系密度最高,其次是柠条林地,樟子松由于间距较大,其根系最为稀疏。鉴于根系为固着土壤最好的媒介,在当地沙漠化治理过程中,狗尾草对土壤固定具有更好的作用。任蔓莉等研究表明,草地植被根系多集中在表层,而且以细根为主,而樟子松和柠条粗根系所占的比例比较大且细根系较少。李钢铁研究认为与大面积森林和樟子

松种植来防止沙漠化的效果来比,下层由发达的旱生草本植物具有更好的生态效益^[23]。该试验中的土壤毛管持水量、田间持水量和土壤粒径的改良效果最好的为狗尾草,这与任蔓莉等说法一致,根系分布越密集,改良效果越明显。而土壤容重和最大持水量改良效果最为明显的为柠条,造成这种结果的原因可能是:植被对沙地物理性质的改良效果不仅与植被根系密集程度有关,还与根系的长度有关。所以在以后的研究中要综合考虑根系密度和根系长度对沙地物理性质改良的共同效果。

(3) 通过单因素方差分析,三种植被对 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤容重、最大持水量、田间持水量均有显著影响,而对毛管持水量没有显著影响,但三种植被对 20—30 cm 层的土壤容重、最大持水量、田间持水量和毛管持水量都有显著的影响。

参考文献:

- [1] 连杰,赵学勇,王少昆,等. 科尔沁沙地风蚀作用对土壤碳、氮分布的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 529-535.
- [2] 苏永中,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地不同年代小叶锦鸡儿人工林植物群落特征及其土壤特征[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 93-100.
- [3] 康宏樟,朱教君,许美玲. 科尔沁沙地樟子松人工林幼树水分生理生态特性[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 15-22.
- [4] 王利兵,胡小龙,余伟莅,等. 沙粒粒径组成的空间异质性及其与灌丛大小和土壤风蚀相关性分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 688-693.
- [5] 党宏忠,周泽福,赵雨森,等. 祁连山水源涵养林土壤水文特征研究[J]. 林业科学, 2006, 19(1): 39-44.
- [6] 夏江宝,陆兆华,高鹏,等. 黄河三角洲滩地不同植被的土壤贮水功能[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 79-83.
- [7] 魏强,张秋良,代海燕,等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 111-115.
- [8] 李德生,张萍,张水龙,等. 黄前库区森林地表径流水移动规律的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 78-81.
- [9] 夏江宝,曲志远,朱玮,等. 鲁中山区不同人工林土壤水分特征[J]. 水土保持科学, 2005, 3(3): 45-50.
- [10] 王德,傅伯杰,陈利顶. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析:以黄土丘陵沟壑区为例[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 3081-3089.
- [11] 张光辉,梁一民. 植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 104-110.
- [12] Thomas F M. Growth and water relations of four deciduous tree species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Sorbusaria*) occurring at central-European tree-line site on shallow cal ~ careous soil: physiological reaction of seedlings to severe drought[J]. Flora, 2000, 195: 104-115.
- [13] Lambers H, Chapin F S, Pons T L. Plant Physiological Ecology[M]. New York: Springer Verlag, 1998.
- [14] 冯琳,宓永宁,赵琳. 彰武县阿尔乡不同沙地类型土壤质量的灰色关联度评价研究[J]. 现代农业科技, 2007, (6): 133-135.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 郭柯,董学军,刘志茂. 毛乌素沙地沙丘土壤含水量特点:兼论老固定沙地上油蒿衰退原因[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 275-279.
- [17] 李卓,吴普特,冯浩,等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 611-620.
- [18] 柴亚凡,王恩姐,陈祥伟,等. 植被恢复模式对黑土贮水性能及水分入渗特征的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 60-64.
- [19] 饶良懿,朱金兆,毕华兴. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33-37.
- [20] 韩路,王海珍,于军. 塔里木河上游不同植被土壤水文特性研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 124-129.
- [21] 何玉惠,赵哈林,刘新平,等. 不同类型沙地狗尾草的生长特征及生物量分配[J]. 生态学杂志, 2008, 27(4): 504-508.
- [22] 潘占兵,李生宝,郭永忠,等. 不同种植密度人工柠条林对土壤水分的影响[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 265-267.
- [23] 任蔓莉,魏晨辉,裴忠雪,等. 松嫩平原沙土区不同植被类型对土壤相关指标的影响[J]. 植物研究, 2015, 35(5): 765-771.