

草原矿区排土场沙障的生态保护成效

丛龙宇^{1,2}, 许丽^{1,2}, 张春良³, 王银龙¹, 胡努斯吐³, 齐海涵⁴

[1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.内蒙古自治区风沙物理学重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3.内蒙古蒙草生态环境(集团)股份有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010; 4.翁牛特旗水利局, 内蒙古 赤峰 024500]

摘要: [目的] 研究不同沙障的防风效能及其对表层土壤粒度组成、土壤养分和植被生长的影响, 为草原矿区排土场边坡沙障优选提供理论依据。[方法] 以研究区排土场边坡设置不同规格(0.5 m×0.5 m, 1.0 m×1.0 m 和 1.5 m×1.5 m)的苇帘沙障和沙柳(*Salix psammophila*)沙障为研究对象, 选取防风效能、表层土壤粒度组成、土壤养分和植被生长情况来评估排土场边坡不同沙障的生态保护成效。[结果] ① 布设沙障可降低地表风速, 0.5 m×0.5 m 苇帘沙障在 10 cm 高度处防风效能最大, 为 84.30%。防风效能总体表现为 0.5 m×0.5 m > 1.0 m×1.0 m > 1.5 m×1.5 m。② 0.5 m×0.5 m 苇帘沙障表层土壤粉粒、极细砂和细砂含量占比最多, 为 58.28%, 并且其土壤含水量、有机质、全氮、全磷含量最高, 较对照分别增加了 29.72%, 29.69%, 22.22% 和 83.33%; 0.5 m×0.5 m 沙柳沙障全钾含量最高, 较对照增加了 8.80%。③ 布设沙障促进了草本植物定居, 使沙障小区内植物种类增多并且小规格沙障的植物种类均多于大规格沙障中的植物种类。[结论] 布设沙障有利于排土场边坡生态修复, 建议在草原矿区排土场恢复初期推广设置 0.5 m×0.5 m 苇帘沙障。

关键词: 草原矿区; 沙障; 防风效能; 土壤粒度; 土壤养分; 植被生长

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)06-0193-07

中图分类号: X82, X171.1

文献参数: 丛龙宇, 许丽, 张春良, 等. 草原矿区排土场沙障的生态保护成效[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 193-199. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.024; Cong Longyu, Xu Li, Zhang Chunliang, et al. Ecological protection effects provided by sand barriers in a grassland mining area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 193-199.

Ecological Protection Effects Provided by Sand Barriers in a Grassland Mining Area

Cong Longyu^{1,2}, Xu Li^{1,2}, Zhang Chunliang³, Wang Yinlong¹, Hunusitu³, Qi Haihan⁴

[1.Inner Mongolia Agricultural University, College of Desert Management, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2.Key Laboratory of Wind and Sand Physics of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 3.Inner Mongolia Mongolian Grass Ecological Environment (Group) Limited by Share Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 4.Wengniute Banner Water Conservancy Bureau, Chifeng, Inner Mongolia 024500, China]

Abstract: [Objective] The wind protection effectiveness of different sand barriers and their effects on surface soil particle size composition, soil nutrients and vegetation growth werer studied in order to provide a theoretical basis for the optimal selection of sand barriers for dump slopes in grassland mining areas. [Methods] Reed curtain sand barriers and *Salix psammophila* sand barriers having different specifications (0.5 m×0.5 m, 1.0 m×1.0 m, and 1.5 m×1.5 m) were set up on a dump slope in the study area. Wind protection effectiveness, soil particle size composition, soil nutrients, and vegetation growth were used to evaluate the ecological protection effects of different sand barriers on the dump slope. [Results] ① The sand barrier reduced the surface wind speed, and the wind protection effectiveness of the 0.5 m×0.5 m reed curtain sand barrier was the highest at the height of 10 cm (84.30% efficiency). The overall wind protection effectiveness of the sand barriers followed the order of 0.5 m×0.5 m > 1.0 m×1.0 m > 1.5 m×1.5 m. ② The content of silt, very fine sand, and fine sand in the surface soil of the 0.5 m×0.5 m reed curtain sand

收稿日期: 2023-03-05

修回日期: 2023-03-31

资助项目: 内蒙古自治区科技重大专项“内蒙古典型矿区生态修复技术集成与示范: 内蒙古典型矿区流域水文地貌重塑与水土固持调控关键技术研究”(2020ZD0020-21)

第一作者: 丛龙宇(1998—), 女(汉族), 内蒙古自治区鄂尔多斯市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: 2279965503@qq.com。

通信作者: 许丽(1965—), 女(汉族), 内蒙古自治区巴彦淖尔市人, 博士, 教授, 主要从事矿区生态修复方面研究。Email: xulinmg@163.com。

barriers accounted for 58.28% of the total particle size fractions. Soil moisture content, organic matter, total nitrogen, and total phosphorus content were the highest for this treatment, and were 29.72%, 29.69%, 22.22% and 83.33%, respectively, greater than the values observed for the control treatment. The total potassium content of the soil with the 0.5 m×0.5 m *S. psammophila* sand barrier was the highest (8.80% greater than observed for the soil from the control treatment). ③ The placement of sand barriers promoted the establishment of herbaceous plants, resulting in an increase in the number of plant species in the sand barrier plots, and a greater number of plant species in the small-size sand barriers than in the large-size sand barriers. [Conclusion] Sand barrier construction is beneficial to the ecological restoration of dump slopes. These results suggest that the construction of 0.5 m×0.5 m reed curtain sand barriers during the early restoration of dumps in grassland mining areas.

Keywords: grassland mining area; sand barrier; wind protection effectiveness; soil particle size; soil nutrients; vegetation growth

草原生态系统具有涵养水源、防风固沙的生态功能,对维系生态平衡具有重要价值^[1]。进入 21 世纪,随着草原工业化的盲目推进,大面积天然优质草场转变为矿山建设工业园区,在矿山建设开采过程中,采矿废弃物堆积排放形成的排土场由于表层基质极不稳定且在恢复初期无植被覆盖^[2],极易受到风的侵蚀作用,造成土壤养分流失,肥力下降,地上植被功能降低,进而进一步加剧了土壤风蚀。因此草原矿区排土场生态修复亟需解决的问题是防治土壤风蚀。

机械沙障作为防治土壤风蚀的重要措施之一,其基本原理是通过增大地表粗糙度,降低近地表风速,达到防风固沙的作用,设置沙障后可以使细粒物质增多,并增加土壤含水率,对植被恢复起到促进作用^[3]。近几十年来,许多学者针对机械沙障在不同地区的防风效益、植被恢复和土壤改良等方面开展了大量的试验研究工作,提出了针对不同地区的风蚀防治措施。闫德仁等^[4]在乌兰布和流动沙丘对纱网沙障的输沙量进行连续观测后发现,随纱网沙障规格的增大其降低输沙量能力减小并且其输沙量主要集中在地表 20 cm 及以下的高度范围。韩庆杰等^[5]在沿海地区设置 HDPE 沙障,改善了土壤养分状况,为植物生长提供了优越的下垫面条件,对恢复海岸带生态系统起到重要的作用。李昌龙等^[6]在民勤荒漠草地设置机械沙障,发现该地区植物物种数量随沙障设置以及年限的增加而逐渐增大。王文彪等^[7]在库布齐沙漠对机械沙障的防风效益进行分析,结果表明芦苇秸秆、向日葵秸秆和玉米秸秆平铺式沙障防风效能平均降幅达 63%。李生宇等^[8]通过对古尔班通古特沙漠油田公路沿线的土壤和植物进行调查,得出了草方格沙障可增加公路扰动带表层细粒沙物质含量增加,形成稳定的沙面环境利于植物生长并且能促进生物结皮生物发育。目前机械沙障的应用技术和防护效益研究在流动沙丘以及公路铁路等地取得了很大的进展,

但在易受风沙侵害的草原矿区排土场研究相对比较薄弱并且鲜有报道。基于此,本文选择内蒙古锡林郭勒盟的贺斯格乌拉露天煤矿作为典型研究区,通过对不同沙障的防风效能、土壤粒度和养分状况以及植被生长状况进行综合分析,筛选出适宜的沙障设置模式,以期草原矿区排土场边坡生态修复提供依据。

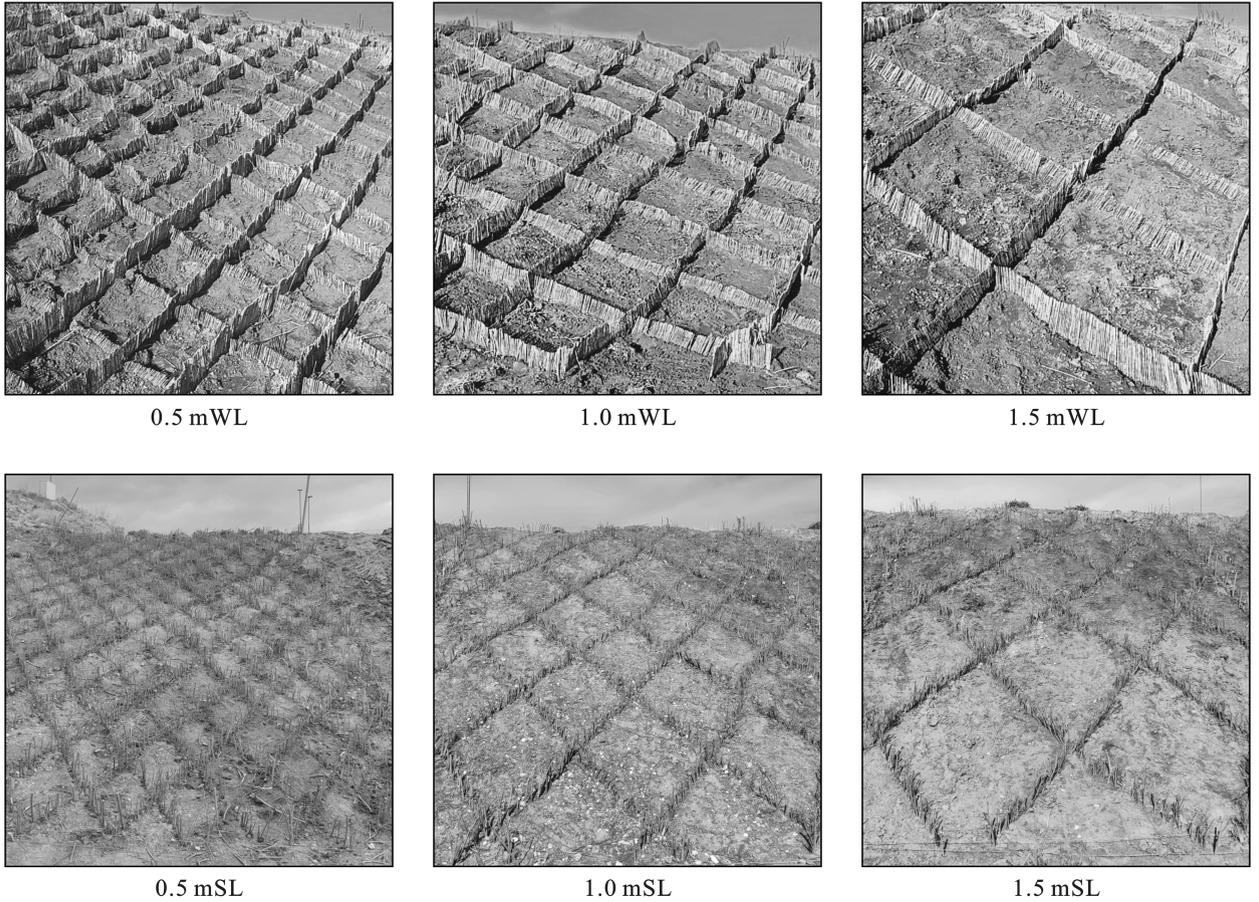
1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区贺斯格乌拉南露天煤矿排土场(东经 119°06′00″—119°14′25″,北纬 45°54′00″—46°22′30″)。研究区属于半干旱大陆性季风气候区,年平均降水量 322 mm,年际变化较大,年内分布不均。大风主要发生在春季,秋季次之,冬季最少,夏季次少^[9]。年平均风速 4~5 m/s,主导风向为西风,次风向西北风和西南偏西风,最大风速 24~28 m/s,局部瞬间风速 34 m/s。该区所处的乌拉盖草原植物种类丰富,主要植物种有线叶菊(*Filiifolium sibiricum*)、羊草(*Leymus chinensis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)及藜(*Chenopodium album*)等^[10],土壤处于黑钙土向栗钙土的过渡地段,黑钙土分布最广。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 研究区排土场于 2017 年开始堆排,2020 年进行覆土并修复,边坡表层覆土约 20 cm。表层覆土土壤是由煤矿前期开采时剥离的原表层土,经过二次倒运后,覆于排土场表层上。覆土完成后随即在试验区排土场迎风坡(坡度约 30°)设置苇帘沙障和沙柳沙障试验小区,每种沙障设置 3 个规格(0.5 m×0.5 m,1.0 m×1.0 m 和 1.5 m×1.5 m),各小区布设面积约 300 m²(图 1)。沙障插入地下部分 20 cm,外露约 30 cm。在同一边坡,选择未铺设沙障的试验小区作为对照。



注:0.5 m WL 表示 0.5m×0.5m 苇帘沙障; 1.0 m WL 表示 1.0 m×1.0 m 苇帘沙障; 1.5 m WL 表示 1.5 m×1.5 m 苇帘沙障; 0.5 m SL 表示 0.5 m×0.5 m 沙柳沙障; 1.0 m SL 表示 1.0 m×1.0 m 沙柳沙障; 1.5 m SL 表示 1.5 m×1.5 m 沙柳沙障。下同。

图 1 不同规格沙障铺设效果

Fig.1 Laying effects of different sand barriers

1.2.2 风速测定及计算

(1) 风速测定方法。本研究风速风向数据的采集使用美国生产的 HOBO 风速采集仪(图 2), 风杯风速计间隔 2 s 计数一次, 所测风速均为瞬时风速。2022 年 10 月 14—16 日在铺设完成的沙障区域设置观测点, 同时以未铺设沙障的同一边坡设置观测点作

为对照, 测定其防风效益指标。在每个观测点设置一套风速采集仪同时测定距地表 10, 20, 30, 50 和 200 cm 共 5 个高度处的风速及风向, 每次观测时间不少于 40 min, 共测定 3 次。观测结束后, 结合风向标从中选择来风方向与沙障铺设方向垂直并且风速稳定时刻的风速数据进行处理分析。

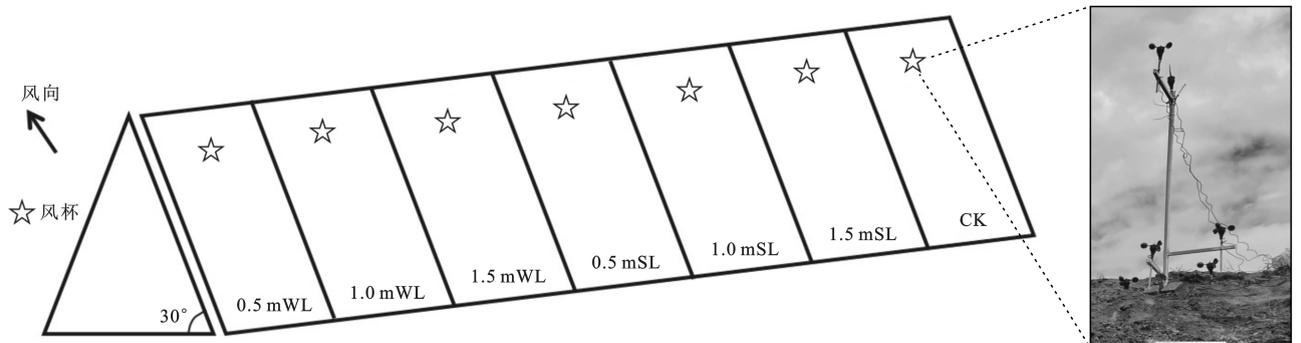


图 2 风杯布设示意图

Fig.2 Wind cup layout diagram

(2) 防风效能计算。防风效能是衡量防风效益的重要指标,以降低风速的比例来表示^[11]。计算公式为:

$$E_h = \frac{(V_{h_0} - V_h)}{V_{h_0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: E_h 为高度 h 处的防风效能(%); V_{h_0} 为对照高度为 h 处平均风速(m/s); V_h 为沙障内高度为 h 处平均风速(m/s)。

1.2.3 土壤采样与测定 风速观测结束后,利用对角线五点法在分别采集 6 个沙障小区和对照内 0—2 cm 以及 0—20 cm 土壤样品,将 5 个采样点同一土层的土壤混合均匀装入塑封袋,每个样地重复取样 3 次,带回实验室自然风干后将杂质剔除。土壤粒度测定使用 0—2 cm 土层土壤样品,用激光粒度仪 (Analysette22 MicroTecPlus) 测定土壤粒径的体积分数,土壤粒度分级标准依据美国制 (US-DA) 标准划分;使用 0—20 cm 土壤样品测定土壤含水量、pH 值、有机质、全氮、全磷和全钾,其中土壤含水量采用烘干法测定,土壤 pH 值使用 MIK-PH173 型 pH 计测定,土壤有机质、全氮、全磷和全钾分别采用重铬酸钾氧化—外加加热法、全自动凯氏定氮法、NaOH 熔融—钼锑抗比色法和 NaOH 熔融—火焰光度法进行测定^[12]。

1.2.4 植被调查 2022 年 8 月在试验小区进行植被调查,在每个小区内随机设置 3 个 1 m×1 m 草本样方(试验区内无灌木出现故不设置灌木调查样方),调查内容包括植物物种名、数量、高度、盖度。植被种数量采用计数法,植被高度采用卷尺测量,植被盖度采用目估法。

1.3 数据处理

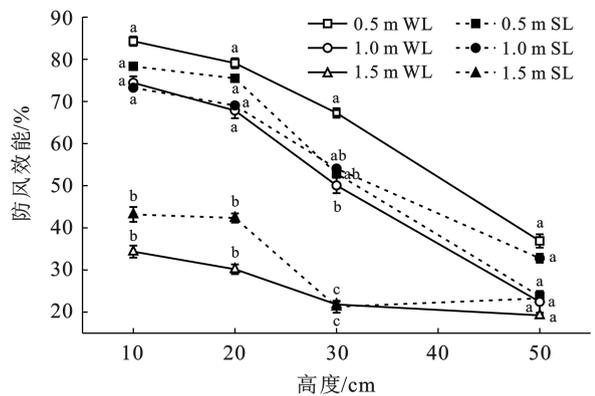
使用 Microsoft Office Excel 2016 整理数据,使用 SPSS 24(one-way ANOVA) 进行方差分析,并使用 Duncan 法进行差异显著性检验,利用 Origin 2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 近地表防风效能分析

由图 3 可知,不同沙障设置规格对风速的减弱程度差异明显。在 10 cm, 20 cm 和 30 cm 高度处沙障规格为 0.5 m×0.5 m 和 1.0 m×1.0 m 时防风效能均高于 1.5 m×1.5 m ($p < 0.05$), 防风效能总体表现为: 0.5 m×0.5 m > 1.0 m×1.0 m > 1.5 m×1.5 m。对比两种材料沙障,沙障规格为 0.5 m×0.5 m 时苇帘沙障防风效能平均值为 66.88%, 同规格沙柳沙障防风效能小于苇帘沙障,平均值为 57.61%, 二者相差 9.27% ($p > 0.05$)。沙障规格为 1.0 m×1.0 m 时苇帘

沙障与同规格沙柳沙障防风效能相差较小,为 2.18 ($p > 0.05$)。沙障规格为 1.5 m×1.5 m 时,沙柳沙障防风效能大于苇帘沙障,防风效能平均值相差 6.13% ($p > 0.05$)。通过对沙障内距离地表不同高度处风速观测发现,沙障的防风效能随观测高度的增加而减小。6 种规格沙障防风效能均在 10 cm 高度处表现为最大,其中 0.5 m×0.5 m 苇帘沙障在 10 cm 高度处防风效能达 84.30%。随着高度增加,防风效能逐渐降低。50 cm 以上各种规格沙障的防风效能无明显差异。



注:同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

图 3 不同沙障在不同观测高度下的防风效能

Fig.3 Windproof efficiency of different sand barriers at different observation heights

2.2 表层土壤粒度组成分析

图 4 为试验区内的土壤粒度组成情况。可以看出,沙障小区内表层土壤颗粒组成主要以粉粒和极细砂为主,粉粒含量为 13.61%~27.58%,极细砂含量为 9.81%~19.04%。在经过 2 个春季和 1 个秋季大风吹蚀后,未铺设沙障的排土场边坡,细颗粒物含量降低,极粗砂含量为 22.50%。可见铺设沙障可有效控制沙障内易蚀颗粒被吹蚀。由图 4 可知,0.5 m×0.5 m 苇帘沙障极细砂含量为 19.04%,比同规格沙柳沙障极细砂含量高 3.67%,中砂含量低 1.54%,二者其他颗粒含量相差较小。1.0 m×1.0 m 两种类型沙障粉粒含量相差最大,为 3.57%,表现为苇帘沙障 > 沙柳沙障,其次为粗砂含量,相差 2.66%,表现为苇帘沙障 < 沙柳沙障。1.5 m×1.5 m 苇帘沙障黏粒、粉粒、极细砂和细砂含量均大于同规格沙柳沙障,平均相差 12.88%。总体来看,苇帘沙障内 2~250 μm 颗粒百分含量大于沙柳沙障,苇帘沙障的防风蚀效果更好。其中,黏粒、粉粒和极细砂含量占比随沙障规格的增大而减小,粗砂含量比例随沙障规格的增大而增大。

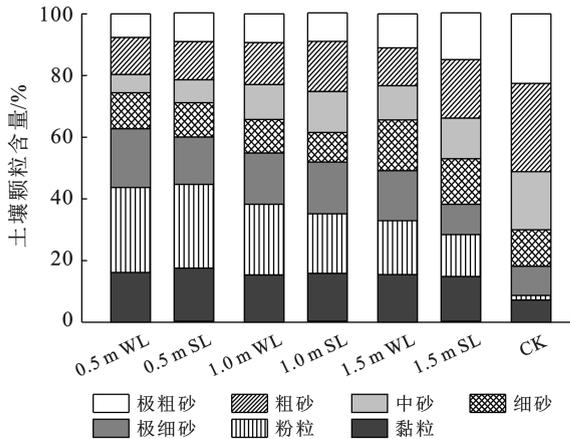


图 4 试验区内表层土壤粒度组成

Fig.4 Particle size composition of topsoil in test area

2.3 土壤养分分析

由表 1 可知,布设沙障可以提高土壤含水量、有机质、全氮、全磷和全钾含量,降低 pH 值。0.5 m×0.5 m 苇帘沙障含水量、有机质、全氮和全磷含量最高,较未铺设沙障的对照边坡分别增加了 29.72%,29.69%,22.22%和 83.33%;0.5 m×0.5 m 沙柳沙障全钾含量最高,较未铺设沙障的对照边坡分别增加了 8.80%。对比两种材料沙障,0.5 m×0.5 m 和 1.0 m×1.0 m 苇帘沙障其含水量、有机质、全氮和全磷含量均大于同规格沙柳沙障,但差异不显著($p>0.05$)。土壤含水量和有机质含量随沙障规格的增加呈现降低的趋势,但土壤 pH、全氮、全磷和全钾含量在各沙障间差异不显著($p>0.05$)。总体而言,不同材料和规格沙障在排土场恢复初期差异较小,但与对照相比,差异显著($p<0.05$)。

表 1 试验区内土壤养分比较

Table 1 Comparison of soil nutrients in test area

试验区	含水量	pH 值	有机质	全氮	全磷	全钾
0.5 mWL	7.90±0.06 ^a	7.69±0.51 ^b	14.24±0.10 ^a	0.33±0.03 ^a	0.66±0.04 ^a	55.16±1.75 ^{ab}
1.0 mWL	7.38±0.22 ^b	7.60±0.45 ^b	13.31±0.40 ^b	0.33±0.04 ^a	0.48±0.02 ^b	54.10±3.36 ^{ab}
1.5 mWL	6.68±0.14 ^c	7.85±0.22 ^b	12.04±0.26 ^c	0.31±0.03 ^{ab}	0.45±0.03 ^b	55.04±1.22 ^{ab}
0.5 mSL	7.86±0.11 ^a	7.58±0.10 ^b	14.16±0.21 ^a	0.31±0.02 ^{ab}	0.45±0.10 ^b	60.72±0.76 ^a
1.0 mSL	7.26±0.49 ^b	7.67±0.26 ^b	13.09±0.89 ^b	0.31±0.03 ^{ab}	0.47±0.01 ^b	58.57±3.30 ^a
1.5 mSL	6.53±0.24 ^{cd}	7.79±0.12 ^b	11.78±0.44 ^{cd}	0.28±0.03 ^{ab}	0.40±0.08 ^{bc}	56.72±7.06 ^{ab}
CK	6.09±0.33 ^d	8.40±0.11 ^a	10.98±0.60 ^d	0.27±0.02 ^b	0.36±0.05 ^c	50.70±4.22 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

2.4 植被生长状况分析

从各试验区内植物的重要值(表 2)来看,对照试验区经过一年的自然恢复后,物种数量较少,仅 6 种,基本由对土壤条件要求较低具有较强适应性的植物组成。其中藜科的藜、灰绿藜占据了植物群落的主要地位,重要值分别为 0.33 和 0.21,占群落总重要值的 54%,其他伴生种有冷蒿、羊草、黑蒿和西伯利亚蓼等。在布设沙障 1 a 后,沙障小区内植物种类增多,开始出现草地风毛菊、芦苇和菊叶委陵菜等多年生草本,藜和灰绿藜的比重呈下降趋势。从沙障内植物重要值来看,苇帘沙障中主要的植物种是多年生草本冷蒿,重要值为 0.27,沙柳沙障中主要的植物种是一年生草本藜,重要值为 0.23。从植物科、属、种分布特征来看,苇帘沙障内共有植物 15 种,属于 7 科 11 属,沙柳沙障内共有植物 16 种,属于 8 科 12 属,沙柳沙障植物种数略多于苇帘沙障。总体上看,小规格沙障的植物种类均多于大规格沙障中的植物种类。

3 讨论

排土场边坡布设沙障后能增加地表粗糙度,可以

有效地减弱地表风速。通过对不同沙障防风效能的比较分析,发现沙障能很大程度地降低风速,但随着沙障规格的增加,防风效能呈现降低趋势,该结果与党晓宏等^[13]在流动沙丘布设聚乳酸(PLA)和草方格沙障所研究的结果一致。并且防风效能的最大值均出现在 10 cm 观测高度处。研究发现苇帘沙障的防风效能大于沙柳沙障,这可能是由于苇帘沙障制作时是将轧制后的芦苇卷帘切成长段后垂直放于沟内,轧制后的芦苇卷帘沙障孔隙度小于沙柳沙障,气流在经过苇帘沙障时有一部分被阻挡,并消耗一部分动能,使经过沙障的气流流速减弱。但 1.5 m×1.5 m 苇帘沙障防风效能小于同规格沙柳沙障,实地调查后发现此规格苇帘沙障破损程度较大,这可能是造成 1.5 m×1.5 m 苇帘沙障防风效能降低的主要原因,因此在下一步的工作中,还应考虑沙障破损率对生态修复成效的影响。

土壤机械组成是影响土壤养分的关键因子。在本研究中,沙障小区内表层土壤颗粒组成主要以粉粒和极细砂为主,粉粒含量为 13.61%~27.58%,极细砂含量为 9.81%~19.04%。这与陈琦等^[14]在锡林郭

勒盟胜利矿区研究结果基本相同,但胜利矿区其粉粒和黏粒含量均高于本研究,这是由于胜利矿区生态修复时间较长,而本研究区为排土场恢复初期。由此可以说明,随着修复年限的增加,沙障内土壤细粒物质占比会得到进一步提升。未铺设沙障的对照排土场边坡,经过吹蚀,土壤颗粒组成主要以粗砂为主,其次为极粗砂,说明沙障布设后截留了较细的土壤颗粒,使较粗的土壤颗粒在障格内占比减小,从而反映出沙障对于风沙流的阻滞作用,此结果与李丽红^[15]、贾瑞庭等^[16]在流动沙丘和沙区光伏电站等地研究结果相似。由于不同沙障对风速的降低程度不同,因此地表颗粒的粒度分布也不相同。研究发现,同规格苇帘沙障障内土壤 2~250 μm 细粒物质百分含量大于同规格沙柳沙障,这是由于通过苇帘沙障的气流流速削减程度较大,其携带的细粒物质的能力减弱,使苇帘沙障的防风蚀效果更好。研究发现,布设不同沙障可以

提高土壤含水量、有机质、全氮、全磷和全钾含量,降低 pH 值,这与卢立强等^[17]研究栅栏式葵花和玉米秸秆沙障对土壤养分影响的结果一致。王逸敏等^[18]研究发现随着机械沙障布设年限的增加,对土壤养分含量影响更为显著,因此,本研究后期还需要对土壤理化性质进行长期观测并对不同土层深度土壤理化性质进行分析。从试验区植被调查总体结果来看,布设沙障为植物种子的保留、萌发和生长提供了相对稳定的生态环境。试验区内藜科植物物种数量最多,藜科植物具有发育迅速的深根系,对自然条件有很强的适应性,因此成为排土场恢复初期的先锋植物。草原矿区排土场植物生活型组成主要以一年生和多年生草本植物为主。齐雪等^[19]在锡林郭勒盟胜利露天矿排土场进行调查时也发现排土场主要以草本植物为主,很少出现灌木半灌木等,这是由于胜利矿区和本研究区均属于典型草原区,更适宜草本植物生长。

表 2 试验区内植物的重要值

Table 2 Important values of plants in test area

种 类	试验区						
	0.5 mWL	1.0 mWL	1.5 mWL	0.5 mSL	1.0 mSL	1.5 mSL	CK
藜	0.14	0.18	0.24	0.06	0.32	0.31	0.33
灰绿藜	0.05	0.11	0.05	0.17	0.03	0.17	0.21
猪毛菜	0.22	0.14	0.23	0.07	0.27	0.13	—
刺沙蓬	—	—	—	—	0.03	0.04	—
地肤	0.02	—	—	—	—	—	—
冷蒿	0.25	0.24	0.31	0.23	0.11	0.08	0.20
黑蒿	0.05	0.02	—	0.04	0.04	0.04	0.05
大籽蒿	—	0.07	0.01	0.03	—	—	—
草地风毛菊	0.07	0.08	0.01	0.06	—	—	—
冰草	—	—	—	0.03	0.02	—	—
羊草	0.07	0.10	0.04	0.18	0.02	0.13	0.16
芦苇	0.05	—	0.07	—	0.09	0.04	—
西伯利亚蓼	0.02	0.01	—	0.05	0.03	0.03	0.05
黄花草木樨	—	0.01	0.01	0.02	—	—	—
骆驼蓬	—	—	—	0.01	0.02	0.01	—
菊叶委陵菜	0.02	—	—	0.02	—	0.02	—
独行菜	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	—	—
植物科数量合计	6	6	5	8	6	6	4
植物属数量合计	10	8	8	12	9	8	4
植物物种数量合计	12	11	10	14	12	11	6

注:“—”表示样地内未出现该植物种。

4 结 论

(1) 在草原矿区排土场边坡生态修复初期布设沙障可有效降低地表风速,减弱地表风蚀,还可以改善土壤情况,促进草本植物定居。

(2) 苇帘沙障和沙柳沙障防风效能随规格的减小均呈现增大的趋势,其中 0.5 m \times 0.5 m 苇帘沙障在 10 cm 高度处防风效能最大,并且其表层土壤粉粒、极细砂和细砂含量所占比例最多,土壤含水量、有机质、全氮、全磷含量最高。

[参 考 文 献]

- [1] 沈贝贝,魏一博,马磊超,等.内蒙古草原植被覆盖度时空格局变化及驱动因素分析[J].农业工程学报,2022,38(12):118-126.
- [2] 张琳,陆兆华,唐思易,等.露天煤矿排土场边坡植被组成特征及其群落稳定性评价[J].生态学报,2021,41(14):5764-5774.
- [3] 袁立敏,高永,汪季,等.沙袋沙障对流动沙丘地表风沙及植被恢复的影响[J].水土保持通报,2014,34(1):46-50.
- [4] 闫德仁,杨制国,高海燕,等.直压立式纱网沙障不同取样季节输沙量变化特征[J].水土保持通报,2022,42(4):129-134,152.
- [5] 韩庆杰,倪成君,屈建军,等.不同防沙工程措施对海岸带沙地植被恢复和土壤养分的影响[J].干旱区资源与环境,2009,23(2):155-163.
- [6] 李昌龙,张永虎,段晓峰,等.民勤荒漠草地机械沙障对草地结构及物种多样性的影响[J].中国草地学报,2021,43(12):100-106.
- [7] 王文彪,党晓宏,张吉树,等.库布齐沙漠北缘不同作物秸秆平铺式沙障的防风效能[J].中国沙漠,2013,33(1):65-71.
- [8] 李生字,雷加强.草方格沙障的生态恢复作用:以古尔班通古特沙漠油田公路扰动带为例[J].干旱区研究,2003,20(1):7-10.
- [9] 张英华.1991—2020 年乌拉盖大风变化特征分析[J].农业灾害研究,2021(3):35-36.
- [10] 包乌云,邢旗,张健,等.乌拉盖草原植物群落多样性现状[J].草原与草业,2018,30(3):13-20.
- [11] 庞营军,屈建军,谢胜波,等.高立式格状沙障防风效益[J].水土保持通报,2014,34(5):11-14.
- [12] 靳灵娜,党晓宏,高永,等.库布齐沙漠北缘机械沙障对地表土壤可蚀性的影响[J].水土保持通报,2021,41(3):50-55.
- [13] 党晓宏,高永,虞毅,等.新型生物可降解 PLA 沙障与传统草方格沙障防风效益[J].北京林业大学学报,2015,37(3):118-125.
- [14] 陈琦,锡林郭勒草原煤矿排土场植被恢复措施应用效果初步评价[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [15] 李红丽,万玲玲,董智,等.沙柳沙障对沙丘土壤颗粒粒径及分形维数的影响[J].土壤通报,2012,43(3):540-545.
- [16] 贾瑞庭.沙区光伏电站不同植被恢复措施对土壤理化性质的影响[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [17] 卢立强.栅栏式葵花和玉米秸秆沙障防风固沙效应研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [18] 王逸敏,刘康,屈建军.沙障对流沙地植被和土壤养分的影响[J].中国沙漠,2019,39(3):56-65.
- [19] 齐雪,锡林郭勒盟露天煤矿排土场植被重建与恢复效果研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [23] 刘利花,张丙昕,刘向华.粮食安全与生态安全双视角下中国省域耕地保护补偿研究[J].农业工程学报,2020,36(19):252-263.
- [24] Zhang Junfeng, Zhang Anlu, Song Ming. Ecological benefit spillover and ecological financial transfer of cultivated land protection in river basins: a case study of the Yangtze River Economic Belt, China [J]. Sustainability, 2020,12(17):7085.
- [25] 党昱譔,孔祥斌,温良友,等.中国耕地生态保护补偿的省级差序分区及补偿标准[J].农业工程学报,2022,38(6):254-263.
- [26] 张宇,张安录.基于生态安全视角的耕地生态补偿财政转移支付研究:以湖北省为例[J].中国农业资源与区划,2021,42(11):220-232.
- [27] 阮熹晟,李坦,张藕香,等.基于生态服务价值的长江经济带耕地生态补偿量化研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(1):68-76.
- [28] 钱风魁,于洋,孙福军,等.不同地貌区县域耕地质量与耕地景观格局关联性特征分析[J].土壤通报,2020,51(6):1282-1289.
- [29] 张显源,蔡忠亮,李桂娥,等.耕地景观破碎化成因及对农村收入影响分析[J].测绘科学,2020,45(4):134-141.
- [30] 蔡汉,朱权,罗云建,等.快速城镇化地区耕地景观生态安全格局演变特征及其驱动机制[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):181-188.
- [31] 朱文娟,李建兵,高阳,等.基于经济—社会—生态价值的耕地价值量核算研究:以 Y 市为例[J].长江流域资源与环境,2022,31(9):2086-2095.
- [32] 崔宁波,生世玉.粮食安全视角下的东北黑土区耕地生态补偿研究[J].浙江农业学报,2021,33(9):1759-1769.
- [33] 吴兆娟,丁声源,魏朝富,等.丘陵山区地块尺度耕地生态价值测算与提升[J].农机化研究,2013,35(11):1-8.

(上接第 192 页)