

不同配置参数下立式葵花秆沙障防护效果研究

罗祥英^{1,2}, 李锦荣², 李映坤^{1,2}, 王茹^{1,2}, 赛克², 韩兆恩^{1,2}, 董雷²

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2.中国水利水电科学研究院 内蒙古阴山北麓草原生态水文国家野外科学观测研究站, 北京 100038)

摘要: [目的] 揭示障高(H)、孔隙度(P)与行距(R)3个沙障参数对立式葵花秆沙障防护效果的影响, 为优化立式葵花秆沙障的参数配置及立式沙障防风治沙工程的开展提供理论依据。[方法] 基于风速与输沙的野外观测数据, 开展不同梯度参数配置下沙障的粗糙度、防风效果、阻沙效果变动特征研究。[结果] ①0—50 cm高度内是沙障的主要防风区, 相比裸沙丘沙障样地内的粗糙度提高了7.70~214.45倍, 各规格沙障的防风效果在11.74%~59.45%范围内, 阻沙效果在33.06%~92.23%范围内。②沙障的防风阻沙效果随障高增加而增加, 随孔隙度和行距增加而降低, 其障高对防风效果的影响大于孔隙度, 孔隙度对阻沙效果的影响大于障高。③ $H(30\text{ cm})-P(40\%) -R(2\text{ m})$, $H(30\text{ cm})-P(50\%) -R(1\text{ m})$, $H(40\text{ cm})-P(40\%) -R(2\text{ m})$, $H(40\text{ cm})-P(50\%) -R(2\text{ m})$ 这4种规格沙障的防风效果与阻沙效果达到了35%与75%以上。[结论] 立式葵花秆沙障能有效降低风速和输沙量, 沙障参数是影响其防护效果的关键, 其中影响沙障防风效果和阻沙效果的最主要参数分别是障高和孔隙度。

关键词: 立式葵花秆沙障; 障高; 孔隙度; 行距; 粗糙度; 防风效果; 阻沙效果

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)02-0148-08

中图分类号: X171.4

文献参数: 罗祥英, 李锦荣, 李映坤, 等. 不同配置参数下立式葵花秆沙障防护效果研究[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 148-155. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.02.018; Luo Xiangying, Li Jinrong, Li Yingkun, et al. Protective effect of vertical sunflower stalk sand barriers under different configuration parameters [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(2): 148-155.

Protective Effect of Vertical Sunflower Stalk Sand Barriers Under Different Configuration Parameters

Luo Xiangying^{1,2}, Li Jinrong², Li Yingkun^{1,2}, Wang Ru^{1,2}, Sai Ke², Han Zhaoen^{1,2}, Dong Lei²

(1. Institute of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Yinshanbeilu National Field Research Station of Steppe

Eco-hydrological System, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: [Objective] The influences of barrier height (H), porosity (P), and row spacing (R) on the erosion protection of a vertical sunflower sand barrier were studied in order to provide a theoretical basis for optimizing the parameter configuration of a vertical sunflower stalk sand barrier and the development of a vertical sand barrier wind and sand control project. [Methods] Based on field observations of wind speed and sand transport, research on the variation characteristics of sand barrier roughness, windproof effect, and sand blocking effect under different parameter configurations was conducted. [Methods] ① The main windproof area of the sand barrier was 0—50 cm above the soil surface. Compared with the roughness of the bare dune sand barrier, the roughness was increased by 7.70—214.45 times, the windproof effect of each specification of sand barrier was in the range of 11.74%—59.45%, and the sand barrier effect was in the range of 33.06%—92.23%. ② The wind and sand barrier effect of the sand barrier increased with an increase in barrier height, and decreased with an increase in porosity and row spacing. The influence of barrier height

收稿日期: 2022-07-24

修回日期: 2022-08-31

资助项目: 内蒙古自治区科技计划项目“乌兰布和沙漠沿黄段流动沙丘综合治理技术研究与示范”(2020GG0125)

第一作者: 罗祥英(1997—), 男(汉族), 青海省海东市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。Email: 2607507387@qq.com。

通讯作者: 李锦荣(1980—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 正高级工程师, 主要从事荒漠化防治方面的研究。Email: lijingrong918@126.com。

on the wind protection effect was greater than the influence of porosity, and the influence of porosity on the sand barrier effect was greater than the influence of barrier height. ③ The windproof effect and sand barrier effect of $H(30\text{ cm})-P(40\%) -R(2\text{ m})$, $H(30\text{ cm})-P(50\%) -R(1\text{ m})$, $H(40\text{ cm})-P(40\%) -R(2\text{ m})$, $H(40\text{ cm})-P(50\%) -R(2\text{ m})$ reached 35% and 75%, respectively. [Conclusion] A vertical sunflower stalk sand barrier can effectively reduce wind speed and sand transport amount. Sand barrier parameters are the key to affecting the protective effect of a sand barrier. The most important parameters affecting the windproof effect and sand barrier effect of a sand barrier are barrier height and porosity.

Keywords: vertical sunflower stalk sand barrier; barrier height; porosity; line spacing; roughness; windproof effect; sand blocking effect

中国西北地区干旱少雨,风沙危害严重,机械沙障成为了干旱区防风固沙工程的重要措施之一^[1-2]。在西北地区大面积种植秸秆作物(如小麦、玉米、葵花等),秸秆资源丰富。研究发现作物秸秆中富含纤维素与果胶,因而具有较好的韧性,是理想的沙障材料^[3-4]。将秸秆废弃物制成沙障用于治沙,既可解决秸秆焚烧带来的环境污染问题,也可达到治理风沙,培肥土壤的目的。秸秆沙障由于造价低,来源广,便于就地取材与施工,后期更替修补方便等优点,已经在中国沙区得到了广泛的应用,在 20 世纪 60—70 年代就已投入使用^[5]。在实际应用中麦草沙障治沙成效显著,1.5 m×1.5 m 规格麦草沙障的固沙效益最为突出^[6-7]。但有效防护期只有 3~5 a,需要及时修复^[8]。为此,前人对各种秸秆进行了尝试,发现胡麻秆中纤维素与果胶含量远高于麦草,抗分解和抗吹蚀能力较强,有更长的使用寿命^[9]。巨菌草留茬也能起到理想的防风阻沙效果^[10]。以芦苇与棉秆为材料制成不同结构的沙障,在公路治沙、流沙治理方面有较好的应用前景^[11-14]。以上各种秸秆沙障有较好防护效果,但在应用中受种植区域限制,推广使用受到较大挑战。

乌兰布和沙漠沿黄河段,风沙危害严重,春季风沙以沙丘前移和风沙流形式进入黄河。粒径大于 0.1 mm 的沙粒在黄河河道淤积,威胁三盛公库区,影响行洪安全^[15]。该地区地处河套灌区,周边玉米秸秆与葵花秸秆资源丰富^[16],为秸秆沙障的应用提供了理想条件。考虑到玉米秸秆营养价值高于葵花秸秆,一般用于饲料加工,且葵花秸秆纤维素含量远高于玉米秸秆^[1],有很好的韧性,不易腐烂,将其制成沙障,有更长的使用寿命。综合考虑沙障的防护效果、成本、运输以及使用寿命等,葵花秸秆是研究区内最具潜力的沙障材料^[17-19]。秸秆沙障已有广泛应用,但系统揭示不同障高、孔隙度、行距等参数对沙障防风阻沙影响的研究尚有不足^[20]。为此,本文以葵花秸秆作为原材料,通过障高、孔隙度、行距 3 个参

数相互组合配置,在乌兰布和沙漠黄河沿岸研究不同规格立式葵花秸秆沙障的防风阻沙效果,优化参数配置,以期为立式葵花秆沙障应用及推广提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区磴口县与乌海市之间,乌兰布沙漠沿黄段西岸刘拐沙头入黄风沙观测站(40°19'12"N,107°0'11"E)。该区气候干燥,年平均降水量 138.8 mm,降雨主要集中在 7—10 月,年平均相对湿度 49%,年均蒸发量 2 258.8 mm,属于典型的暖温带大陆性季风气候。全年无霜期 140~160 d,年平均气温 9.7℃,最高气温 38.2℃,最低气温 -34.2℃,年光照时间 3 181 h,≥10℃的有效积温 3 289℃。风沙活动频繁,主要集中在冬春季节,以西风、西北风为主,年平均风速 3.8 m/s,起沙风速 4.8 m/s,多年平均扬沙日数 75~79 d,沙丘类型以 WN-ES 走向的新月形为主。

2 材料与方法

2.1 沙障样地的铺设

依据障高(H)、孔隙度(P)、行距(R)3 个参数的相互组合配置,共设置 11 种规格 12 个立式葵花秆沙障样地。详细参数详见表 1。选择迎风坡沙丘的坡中部位铺设沙障。铺设时先在沙丘挖一条与主害风垂直的 20 cm 浅沟,将葵花秸秆插于沟内,用沙土将沟填平,并在两侧堆起小沙埂,每种规格沙障样地铺设 6 排,每排长 6 m。

2.2 研究方法

野外风沙观测于 2021 年 4 月大风日进行,正值当地风沙活动较为剧烈的主害风向时段(图 1),期间对 11 种规格立式葵花秆沙障样地和裸沙丘(CK)进行风沙观测。沙障样地观测点设置在 3~4 排沙障之间,对照组观测点设置于裸沙丘坡中部位。

表1 沙障配置参数

Table 1 Sand barrier configuration parameters

序号	障高(H)/cm	孔隙度(P)/%	行距(R)/m
No.01		60	2
No.02	20	50	2
No.03		40	2
No.04		60	2
No.05(1)	30	50	2
No.06		40	2
No.07		60	2
No.08	40	50	2
No.09		40	2
No.10		50	3
No.05(2)	30	50	2
No.11		50	1

注:No.05(1),No.05(2)为同一种规格,1 m,3 m 行距规格的沙障布设在同一沙丘上,为避免受地形的影响,多布设了一个 No.05 规格的沙障样地[No.05(2)],以便分析不同行距之间的差异。

(1) 风速观测。在上述风沙观测点分别布设小型移动 HOBO 气象站,气象站主要由三杯风速仪与 HOBO 数采仪组成。三杯风速仪进行风速测定,HOBO 数采仪进行数据采集,设定在 0.2,0.5,1.0 和 2.0 m 共 4 个高度处进行风速观测,其数据采集频率为 20 s,记录数据间隔为 5 min。每场风持续观测 3 h,观测期起沙风向为西、西北风。

(2) 输沙观测。与风速观测同步,在沙障样地和裸沙丘内布设立式旋转集沙仪进行输沙测定。其中沙障样地的集沙仪高 100 cm,共有 50 层集沙盒组成,进沙口大小 2 cm×2 cm,裸沙丘样地的集沙仪高 30 cm,共有 15 层集沙盒组成,进沙口大小 2 cm×2 cm。根据风速大小及集沙仪集沙盒容量,设置观测时间为 3 h。观测结束后,将采集的沙物质用密封袋收集带回实验室,用 0.01 g 电子天平进行分层称重。

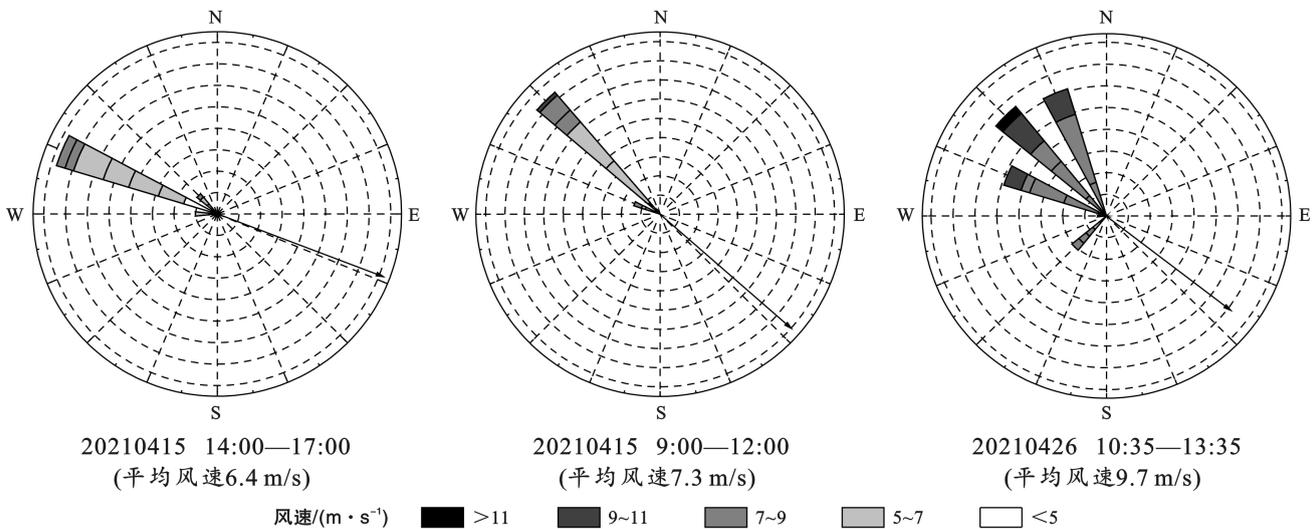


图1 观测期风速与风向的变化

Fig.1 Changes in wind speed and direction during the observation period

2.3 数据处理

(1) 粗糙度。研究采用运用最小二乘回归得到风速廓线拟合公式。将观测点处(20,50,100和200 cm)4个高度处的风速进行模拟风速廓线方程,进而测得观测样地的粗糙度^[21-22],计算公式为:

$$U_z = a + b \ln(Z) \quad (1)$$

式中: a, b 均为回归系数; U_z 为 Z 高度处的风速(m/s)。令 $U_z = 0$ 可求出地面粗糙度(cm)。

$$Z_0 = \exp(-a/b) \quad (2)$$

(2) 防风效果。计算公式为:

$$E = \frac{V_{ck} - V_s}{V_{ck}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: E 为葵花秆沙障的防风效果(%)^[23]; V_{ck}, V_s 分别代表同一高度层裸沙丘与葵花秆沙障内的平均风速(m/s)。

(3) 输沙率。计算公式为:

$$Q = \sum_{n=1}^n \left(\frac{q_n}{A \Delta t} \right) \quad (4)$$

式中: Q 为输沙率[g/(cm²·min)]^[24]; Δt 为观测总时长(min); A 为进沙口截面积(cm²); q_n 为第 n 层集沙盒内收集的输沙量(g), $n=1,2,\dots,30$ 。

(4) 阻沙效果。计算公式为:

$$D = \frac{Q_{ck} - Q_s}{Q_{ck}} \times 100\% \quad (5)$$

式中: D 为葵花秆沙障的阻沙效果(%)^[25]; Q_{ck}, Q_s

分别代表裸沙丘与立式葵花秆沙障样地内 0—30 cm 高度范围各高度层输沙率的总和 $[\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})]$ 。

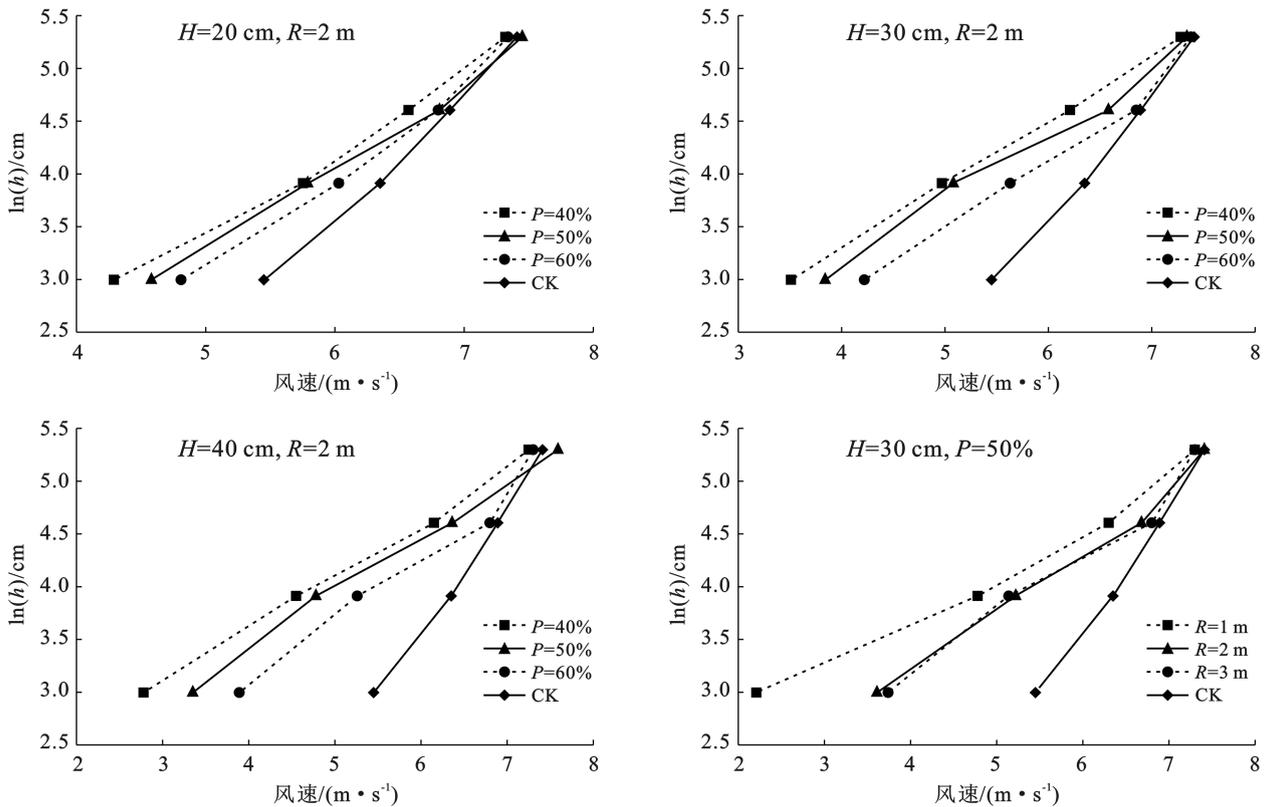
3 结果与分析

3.1 不同规格沙障风速变化特征

3.1.1 风速廓线 风速廓线分布形式反映了近地地表气流在垂直方向上的变化趋势^[26]。由图 2 可知,各样地内风速随着高度的升高而增大,其风速廓线遵循对数函数($U_z = a + b \ln Z$)规律^[27-28], R^2 均大于 0.961。20 和 50 cm 高度处,沙障内的风速显著小于流动沙丘($p < 0.05$);100 和 200 cm 高度处,沙障内的风速略低于流动沙丘,但差异不显著($p > 0.05$)。可见沙障具有一定降低风速的作用,其中 0—50 cm 高度范

围内防风作用更为明显。

3.1.2 粗糙度变化特征 通过公式(1)–(2)计算出裸沙丘与各沙障样地内的粗糙度,其中裸沙丘样地的粗糙度约为 0.031 cm(图 3),与前人得出的结果 0.024 cm 接近^[29],各沙障样地内粗糙度相比裸沙丘均显著增大,是裸沙丘的 7.70~214.45 倍。不同规格沙障之间有明显差异,当障高一定,行距为 2 m 时,粗糙度随着孔隙度的增大而减小;当孔隙度一定,行距为 2 m 时,粗糙度随着障高的增高而增大;当障高为 30 cm,孔隙度为 50% 时,粗糙度随着行距的扩宽而减小,其中 1 m 行距的粗糙度明显高于 2 和 3 m 行距。由此可知,粗糙度与孔隙度、行间距呈负相关,与障高呈正相关。



注: $\ln(h)$ 为距地高度的对数化处理; H 为障高, R 为行距, P 为孔隙度。下同。

图 2 沙障及裸沙丘样地内的风速廓线

Fig.2 Wind speed profiles in sand barriers and bare dune-like plots

3.1.3 防风效果对比分析 由前文分析可知,距地 0—50 cm 高度段是沙障对风的主要阻滞区,所以防风效果重点关注距地 20 cm 和 50 cm 高度处。障高、孔隙度、行距对立式葵花秆沙障防风效果的影响(图 4—5)。当孔隙度与行距一定时,距地 20 cm 高度处 20, 30 和 40 cm 障高的平均防风效果分别为 16.33%, 29.23% 和 38.74%, 随障高增加呈递增趋势, 其递减速率无明显变化, 20 和 50 cm 高度处防风效果存在显著差异($p < 0.05$)(图 4); 当障高与行距一

定时,距地 20 cm 高度处 40%, 50%, 60% 孔隙度的平均防风效果分别为 35.26%, 28.04% 和 21.00%, 随孔隙度增加呈现线性递减趋势, 其递减速率无明显变化, 20 和 50 cm 高度处防风效果无显著差异($p > 0.05$)(图 4)。当障高为 30 cm、孔隙度为 50% 时,距地 20 cm 高度处 1, 2 和 3 m 行距的防风效果分别为 59.45%, 33.76% 和 31.28%, 随行距扩宽呈递减趋势, 其递减速率有降低趋势, 20 cm 高度处 1 m 与 2 m 行距的防风效果差异明显($p < 0.05$), 50 cm 高度处不

同行距的防风效果无明显差异($p>0.05$)(图 5)。由此可知,障高对 20 和 50 cm 处的防风效果有显著影响,而孔隙度对 20 和 50 cm 处的防风效果无显著影响。行距对 20 cm 处的防风效果有显著影响,对 50 cm 处防风效果影响不显著。以距地 20 cm 高度处的防风效果为准进行分析得出,11 种规格沙障的防风效果在 11.74%~59.45%(图 4—5)。20,30 和

40 cm 障高的防风效果分别为 12%~21%,23%~36%和 29%~49%;其中,60%孔隙度的防风效果均在 30%以下,防风效果相对较差;40 cm 障高 40%,50%孔隙度,30 cm 障高 40%孔隙度这 3 种规格的沙障防风效果均在 35%以上,防风效果较好;1,2 和 3 m 行距防风效果均在 30%以上,其中 1 m 行距防风效果最优,高达 59.45%。

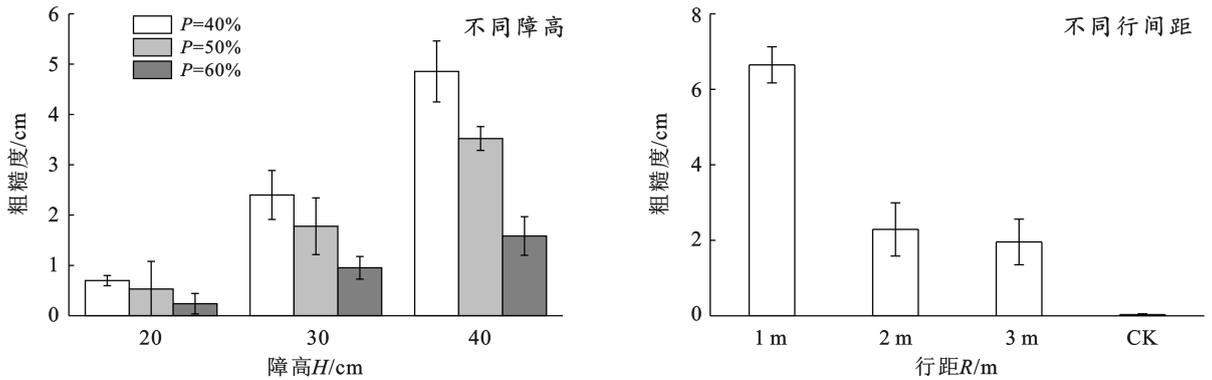


图 3 粗糙度随沙障规格的变化

Fig.3 The roughness varies with the specifications of the sand barrier

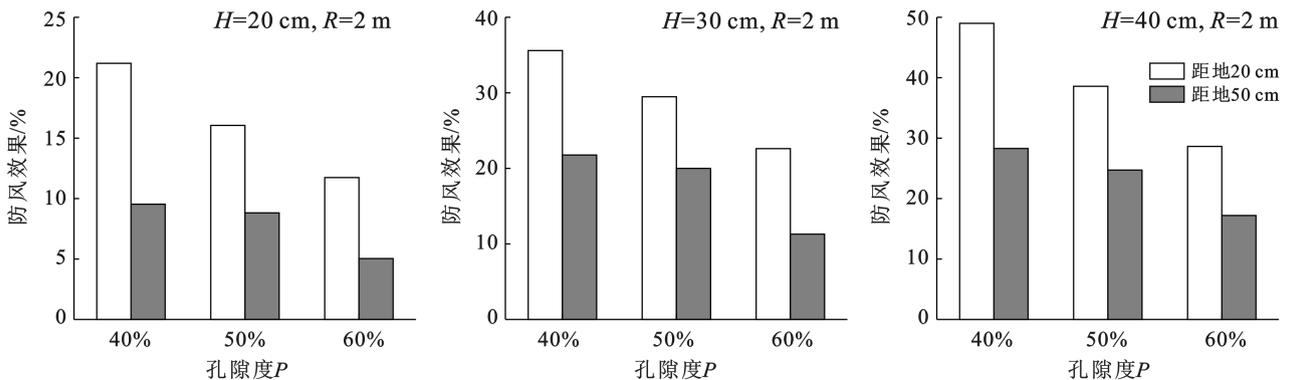


图 4 不同距地高度防风效果随障高、孔隙度的变化

Fig.4 The windproof effect at different heights varies with the height of the barrier and the porosity

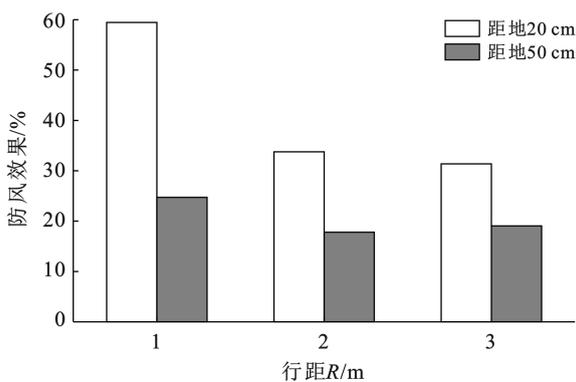


图 5 不同距地高度防风效果随行距的变化

Fig.5 The windproof effect at different ground heights changes with the distance travel

3.2 不同规格沙障输沙变化特征

3.2.1 阻沙效果对比分析 对 3 种风速下 11 种规格

沙障的阻沙效果分析结果如图 6—8 所示。同风速下随着障高增高,孔隙度减小,行距缩短沙障的阻沙效果有增大趋势。其中,障高和行间距一定时,40%,50%,60%孔隙度的平均阻沙效果分别为 82.45%,66.83%和 49.38%。随孔隙度增加呈现线性递减趋势,其递减速率无明显变化(图 6);当孔隙度与行距一定时,20,30 和 40 cm 障高的平均阻沙效果分别为 54.17%,70.11%和 74.38%,随障高的增加呈递增趋势,其递增速率有降低趋势(图 7);障高与孔隙度一定时,1,2 和 3 m 行距的平均阻沙效果分别为 90.33%,74.03%和 64.86%,随行距扩宽呈递减趋势,其递减速率有降低趋势(图 8)。随着风速的增加,各规格沙障的阻沙效果表现为:20 cm 障高阻沙效果随风速的增加,呈减小趋势(图 6);30 和 40 cm 障高阻

沙效果随风速的增加,呈增大趋势。6.4, 7.3 和 9.7 m/s 风速条件下,11 种规格沙障的阻沙效果分别在 40.39%~87.13%, 37.26%~92.22%, 38.68%~92.31% 范围内(图 6—8)。具体表现为: 30 cm, 40 cm 障高与 40%, 50% 孔隙度交互配置下的 4 种规格沙障, 及 20 cm 障高 40% 孔隙度规格的沙障, 这 5 种规格沙障的平均阻沙效果均在 70% 以上; 1 和 2 m

行距平均阻沙效果均在 74% 以上; 20 cm 障高 60% 孔隙度规格沙障的平均阻沙效果仅为 36.88%; 其余规格沙障的平均阻沙效果均在 52%~66% 范围内。方差分析结果显示, 不同障高的阻沙效果存在显著差异 ($p < 0.05$); 不同孔隙度的阻沙效果存在极显著差异 ($p < 0.01$); 1 m 与 2 m 行距存在显著差异 ($p < 0.05$), 2 m 与 3 m 行距无显著差异 ($p > 0.05$)。

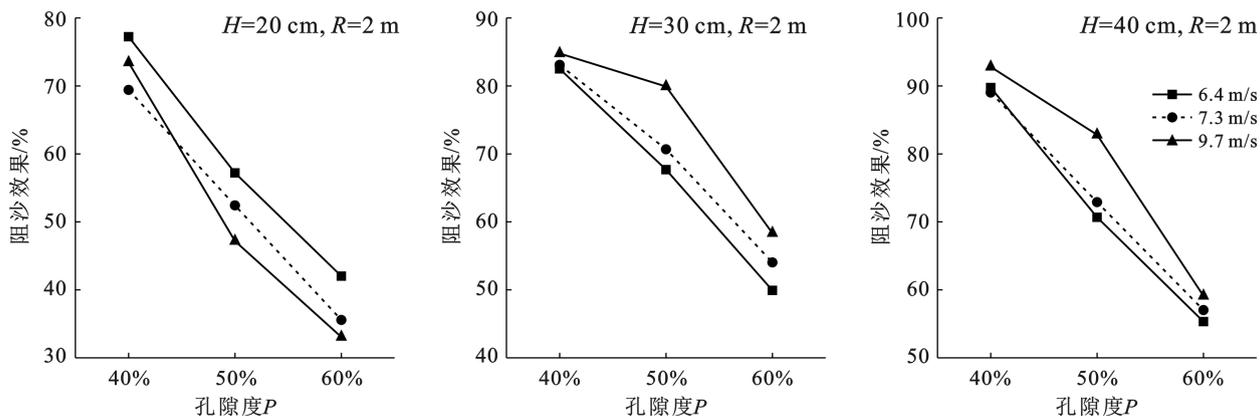


图 6 各风速下阻沙效果随孔隙度的变化

Fig.6 The sand blocking effect changes with porosity at each wind speed

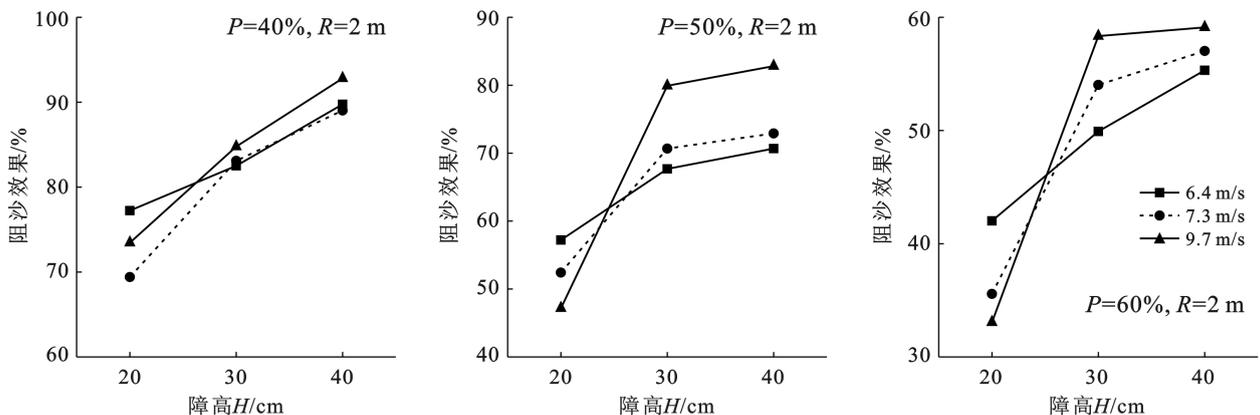


图 7 各风速下阻沙效果随障高的变化

Fig.7 The effect of sand blocking under each wind speed changes with the height of the barrier

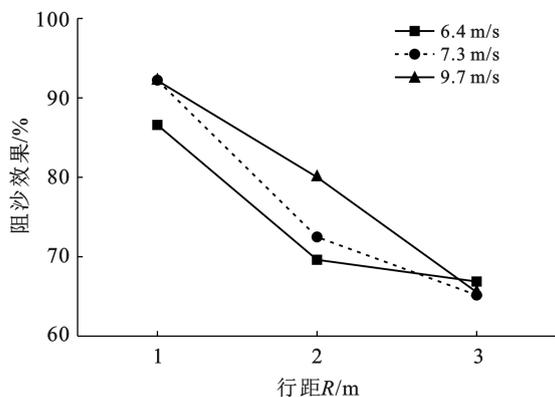


图 8 各风速下阻沙效果随行距的变化

Fig.8 The sand blocking effect changes with the travel distance under each wind speed

3.2.2 粗糙度与阻沙效果的关系拟合 立式葵花秆沙障的布设能增加地表粗糙度,减小近地表气流速度,影响气流对沙粒的搬运能力。对各沙障样地内的粗糙度与阻沙效果进行拟合,发现粗糙度与阻沙效果之间符合对数函数关系: $y = b \ln(x) + a$ 分布,在 6.4, 7.3 和 9.7 m/s 这 3 种风速下,阻沙效果与粗糙度的拟合结果 R^2 分别为 0.610, 0.805 和 0.820,显著性水平 ($p < 0.05$),可见阻沙效果与粗糙度显著相关(图 9)。

4 讨论

4.1 沙障参数对防风效果的影响

立式葵花秆沙障是一种疏透式沙障,沙区风沙流

经过障体时,一部分气流穿过障体,另一部分受到障体阻碍气流会被抬升或者分流^[13],这将减缓过境气流的动能,使沙丘原有的近地表气流场发生改变^[30]。本研究通过对野外风速观测发现,裸沙丘与沙障样地内风速廓线均符合对数函数 $[U_z = a + b \ln(Z)]$ 分布规律,风速廓线的分布形式并没有因沙障的存在而发生明显改变。本研究中不同规格的沙障均能一定程度削减风速,明显增大样地内的粗糙度,可见沙障能改变近地表空间结构,增加近地表粗糙度,影响近地表风速流场^[31-32],进而避免近地表被直接吹蚀^[33],起到防风作用。沙障障高、孔隙度与其影响下的防风效果和粗糙度建立多元线性回归模型,对其标准化系数分析得出(表 2),20 cm 高度处,障高对防风效果、粗糙度的影响远大于孔隙度。本研究中 20,30 和 40 cm 高度的沙障直接阻碍了 0—20 cm 高度内气流的通过,而不同孔隙度只是起到了控制气流通过率的作用,因此障高是影响沙障防风效果的最主要参数。

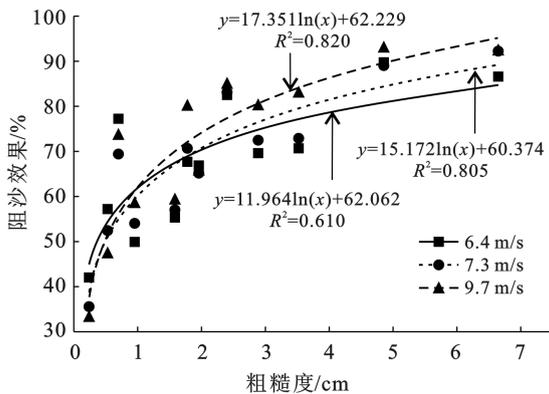


图 9 不同风速下沙障粗糙度与阻沙效果的关系

Fig.9 The relationship between sand barrier roughness and sand barrier effect at different wind speeds

4.2 沙障参数对阻沙效果的影响

风沙运动是指风力作用下流沙表面沙粒发生搬运的现象,当风沙流经过障体时,动能损耗,携沙能力降低,出现沙粒沉积现象^[14],这一过程同时受下垫面类型的影响^[34]。本研究中沙障的障高、孔隙度、行距直接影响下垫面粗糙度,进而对阻沙效果起到不同程度影响(图 9)。研究表明,沙障能够将携沙气流抬升至更高处,且随着风速的增大抬高效果更加明显^[33,35-36]。使得 20 cm 障高无法拦截高于自身高度的沙粒,30 和 40 cm 障高却能有效地进行拦截。因此,障高在 20—30 cm 区间阻沙效果仍有很大的提升空间,且风速增大时 20 cm 障高阻沙效果有减小趋势,30 和 40 cm 障高阻沙效果有增大趋势(图 6)。回归分析可知(表 2),孔隙度对阻沙效果的影响大于障高,由

于沙区风沙流结构中 90% 的输沙集中于 0—20 cm 高度^[19],而本研究中设置的障高分别为 20,30 和 40 cm,均高于 20 cm,不同障高对输沙的影响接近,因而此时孔隙度成为了影响沙障拦沙的最主要参数。

表 2 孔隙度与障高在各指标回归方程下的标准化系数绝对值

Table 2 The absolute values of the normalized coefficients of porosity and barrier height under the regression equation for each index

沙障参数	防风效果/%	粗糙度/cm	阻沙效果/%
障高	0.829	0.874	0.572
孔隙度	0.528	0.439	0.708

5 结论

(1) 铺设立式葵花秆沙障后,各样地内的风速廓线均呈对数分布($R^2 \geq 0.95$),0—50 cm 高度段为沙障的主要防风区,粗糙度相较于裸沙丘提高了 7.70~214.45 倍,各规格沙障的防风效果在 11.74%~59.45% 之间,阻沙效果在 33.06%~92.23% 之间。

(2) 随障高增加沙障的防风效果与阻沙效果呈递增趋势,其防风效果递增速率均无明显变化,阻沙效果递增速率有降低趋势;随孔隙度增加沙障的防风效果与阻沙效果呈递减趋势,其防风效果与阻沙效果递增速率均无明显变化;随行距扩宽沙障的防风效果与阻沙效果呈递减趋势,其防风效果与阻沙效果递减速率均有降低趋势。其中,障高是影响防风效果的最主要参数,孔隙度是影响阻沙效果的最主要参数。

(3) $H(40 \text{ cm})-P(40\%)-R(2 \text{ m})$, $H(40 \text{ cm})-P(50\%)-R(2 \text{ m})$ 与 $H(30 \text{ cm})-P(40\%)-R(2 \text{ m})$, 及 1 m, 2 m, 3 m 行距这 6 种规格沙障的防风效果均在 30% 以上,有较好的防风效果;30 cm, 40 cm 障高与 40%, 50% 孔隙度规格, 20 cm 障高与 40% 孔隙度规格, 1 m, 2 m 行距这 7 种规格沙障的阻沙效果均在 70% 以上,能起到良好的阻沙效果,且随着风速增加防护效果也在增加。其中, $H(30 \text{ cm})-P(40\%)-R(2 \text{ m})$, $H(30 \text{ cm})-P(50\%)-R(1 \text{ m})$, $H(40 \text{ cm})-P(40\%)-R(2 \text{ m})$, $H(40 \text{ cm})-P(50\%)-R(2 \text{ m})$ 这 4 种规格沙障的防风效果与阻沙效果达到了 35% 与 75% 以上,其防护效果更为突出。

[参 考 文 献]

- [1] 韩致文,王涛,董治宝,等.风沙危害防治的主要工程措施及其机理[J].地理科学进展,2004,23(1):13-21.
- [2] 屈建军,凌裕泉,俎瑞平,等.半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J].中国沙漠,2005,25(3):329-335.
- [3] 赵蒙蒙,姜曼,周祚万.几种农作物秸秆的成分分析[J].

- 材料导报,2011,25(16):122-125.
- [4] 牛文娟.主要农作物秸秆组成成分和能源利用潜力[D].北京:中国农业大学,2015.
- [5] 徐峻龄,裴章勤,王仁化.半隐蔽式麦草方格沙障防护带宽度的探讨[J].中国沙漠,1982,2(3):20-27.
- [6] 张登山,吴汪洋,田丽慧,等.青海湖沙地麦草方格沙障的蚀积效应与规格选取[J].地理科学,2014,34(5):627-634.
- [7] 肖巍,乔保军,范海朋.乌兰布和沙漠东北部麦草沙障防风阻沙效果研究[J].农业与技术,2020,40(14):106-109.
- [8] 蒋仁山.浅析草方格沙障在防风固沙中的应用[J].农业灾害研究,2020,10(9):126-127,129.
- [9] 徐呈祥.胡麻秆沙障的设置技术阻沙效果及对沙土性质的影响[J].甘肃林业科技,1986(3):7-13.
- [10] 王强,左合君,李钢铁,等.巨菌草留茬沙障防风固沙效益及其适宜模式研究[J].干旱区研究,2018,35(5):1234-1241.
- [11] 晓国.直立式芦苇栅栏阻沙机理的数值模拟研究[D].兰州大学,2021.
- [12] 李瑞军,王继和,李毅,等.栅栏式棉秆沙障的防风固沙效益研究[J].甘肃农业大学学报,2009,44(4):99-102,119.
- [13] 李瑞军.棉秆沙障防风固沙效益比较[D].甘肃兰州:甘肃农业大学,2009.
- [14] 马瑞,王继和,屈建军,等.不同结构类型棉秆沙障防风固沙效应研究[J].水土保持学报,2010,24(2):48-51.
- [15] 李锦荣,王健,王茹,等.基于无人机技术黄河沿岸沙丘移动速度监测及影响因素分析[J].农业工程学报,2021,37(19):57-64.
- [16] 贺涛.《巴彦淖尔年鉴》创刊[J].年鉴信息与研究,2001(1):28.
- [17] 卢立强,崔向新,高永,等.由葵花秸秆和玉米秸秆制作的沙障防风效能比较[J].土壤通报,2020,51(5):1218-1223.
- [18] 刘世增,詹科杰,方峨天,等.草基高立式葵花秸秆沙障的压制方法及防风固沙效能研究[J].水土保持研究,2016,23(6):98-101.
- [19] 李锦荣,郭建英,董智,等.乌兰布和沙漠沿黄段不同治理措施的风沙运移特征及其防护效果[J].干旱区资源与环境,2016,30(8):113-119.
- [20] 韩雪莹,王涛,杨文斌,等.中国沙障研究进展与热点分析:基于 Vosviewer 和 Citespace 的图谱量化分析[J].中国沙漠,2021,41(2):153-163.
- [21] Sharratt B, Feng G. Friction velocity and aerodynamic roughness of conventional and undercutter tillage within the Columbia Plateau, USA[J]. Soil & Tillage Research, 2009,105(2):236-241.
- [22] Wiggs G F S, Livingstone I, Thomas D S G, et al. Airflow and roughness characteristics over partially vegetated linear dunes in the southwest Kalahari Desert [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2015,21(1):19-34.
- [23] 牛存洋,阿拉木萨,宗芹,等.科尔沁沙地流动沙丘塑料防沙网防风阻沙效果试验[J].水土保持学报,2013,27(4):12-16,22.
- [24] 蒙仲举,任晓萌,高永.半隐蔽式沙柳沙障的防风阻沙效益[J].水土保持通报,2014,34(3):178-180,206.
- [25] 王玉才,张恒嘉.5种机械沙障的阻沙效果研究[J].中国水运(下半月),2016,16(8):314-315,318.
- [26] Anderson R S, Haff P K. Wind modification and bed response during saltation of sand in air [J]. Springer Verlag, 1991,1(1):21-51.
- [27] 郭彩赞,韩致文,钟帅,等.库布齐沙漠新材料沙障的风速廓线特征[J].水土保持通报,2017,37(5):260-265.
- [28] 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.
- [29] 贾丽娜,丁国栋,吴斌,等.几种不同材料类型带状沙障防风阻沙效益对比研究[J].水土保持学报,2010,24(1):41-44.
- [30] Hagen L J, Armbrust D V. Aerodynamic roughness and saltation trapping efficiency of tillage ridges [J]. Transactions of the Asae, 1992,35(4):1179-1184.
- [31] 张克存,屈建军,俎瑞平.下垫面条件对风沙活动层气流紊动性影响的风洞模拟[J].水土保持通报,2004,24(3):1-4.
- [32] 郑钦,张娜,屈一帅,等.粗糙度的物理与实践意义[J].科技传播,2014,6(18):111-112.
- [33] 石涛,蒙仲举,崔向新,等.库布齐沙漠光伏电站内芦苇沙障的防风固沙效益[J].水土保持通报,2020,40(5):166-171.
- [34] 梅凡民,江姗姗,王涛.粗糙床面风廓线的转折特征及其物理意义[J].中国沙漠,2010,30(2):217-227.
- [35] Panebianco J E, Buschiazio D E, Zobeck T M. Comparison of different mass transport calculation methods for wind erosion quantification purposes [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2010,35(13):1548-1555.
- [36] Namikas S L. Field measurement and numerical modeling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach [J]. Sedimentology, 2003,50(2):303-326.