

乌兰布和沙漠流动沙丘纱网沙障防风效能研究

闫德仁, 袁立敏, 黄海广, 胡小龙, 杨制国

(内蒙古自治区林业科学研究院, 呼和浩特 010010)

摘 要:为了选择适宜规格的纱网沙障进行流动沙地治理,在乌兰布和沙漠流动沙丘设置 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ 网格或 2 m 、 4 m 、 6 m 带宽的带状纱网沙障,采用美国 HOBO 全自动风速风向仪测定其风速变化,并分析了地表粗糙度、相对风速和防风效能。结果表明: $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 网格纱网沙障地表粗糙度随着风速增加而呈现出线性降低的规律;纱网沙障主要是降低近地表 30 cm 以下高度的风速,并提高近地表粗糙度;随着风速增加,纱网沙障防风效能变化总体呈现出降低的趋势。在流动沙丘设置 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 网格或 2 m 、 4 m 带状纱网沙障可有效降低近地表风速、增加地表粗糙度,总体防风效能较好。

关键词:乌兰布和沙漠; 纱网沙障; 防风作用; 流动沙丘

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)02-0198-05

Study on Windproof Effect of Gauze Sand Barriers on Mobile Sand Dunes in Ulan Buh Desert

YAN Deren, YUAN Limin, HUANG Haiguang, HU Xiaolong, YANG Zhiguo

(Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to select suitable gauze sand barriers for control mobile sand, the effect of the gauze sand barrier on sand fixation was studied, and it's the impact on the characteristics of near-surface wind speed was evaluated. The $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, $4\text{ m} \times 4\text{ m}$, $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ grid or 2 m , 4 m , 6 m belt gauze sand barriers were set up in the mobile dunes of Ulan Buh Desert, the wind speed change of the gauze sand barriers was measured by using the HOBO wind speed anemometer. The surface roughness, relative wind speed, and wind protection effectiveness were analyzed. The results showed that the surface roughness of $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ grid gauze sand barriers decreased linearly with increase of wind speed; the gauze sand barrier mainly reduced the wind speed at a height below 30 cm near the surface, and increased the surface roughness; with the increase of wind speed, the change of wind breaking efficiency of gauze sand barriers generally showed the decreasing trend. The $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ grids or 2 m , 4 m belt gauze sand barriers set up on the mobile dunes can effectively reduce the near-surface wind speed, increase surface roughness, which has the better windproof performance.

Keywords: Ulan Buh Desert; gauze sand barrier; windproof effect; mobile sand dune

乌兰布和沙漠是在第四纪黄河洪积物、冲积物上覆盖的风成沙丘,位于内蒙古狼山和巴音乌拉山东侧、黄河西侧,沙丘密集、植被稀少、风沙危害严重。其中,沿黄河内蒙古段西侧有约 50 km 的密集流动沙丘通过风沙流或沙丘坍塌等方式直接侵入黄河河道,致使沿黄河段泥沙含量显著增加^[1]。早在 20 世纪 50 年代,在乌兰布和沙漠就开展群众造林治沙活动,并在沙漠边缘营造长 176 km 、宽 $300 \sim 500\text{ m}$ 的我国第一条大型防沙林带,有效地阻止了乌兰布和沙漠东侵,确保了包兰铁路畅通。特别是 1978 年中国

实施“三北”防护林建设工程以来,草方格沙障固沙、黏土沙障固沙、高压水打孔造林、冬贮大苗造林、梭梭造林固沙、飞播造林固沙、封沙育林等技术在乌兰布和沙漠综合治理得到了广泛应用,并取得明显成效,森林覆盖率由 0.3% 提高到 13.76% 。而直压立式纱网沙障固沙造林技术是内蒙古林业科学研究院科技人员结合沙障研究成果以及生物措施综合治理流动沙地而设计的一种新型沙障(ZL201520624846.2)。该沙障材质轻、运输方便,野外铺设施工简单、速度快、沙障使用寿命长。如果采用“直压立式带状网膜

沙障铺设机”(授权专利 ZL201621133757.9) 进行机械化铺设作业,能够明显提高该沙障铺设效率。纱网沙障先后在科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地、浑善达克沙地、乌兰布和沙漠等进行技术示范,取得了明显的植被恢复效果^[2-3]。为更广泛地推广示范这种纱网沙障技术,在乌兰布和沙漠选择典型流动沙丘测定直压立式纱网沙障防风效果,其目的是为选择适宜规格的纱网沙障进行流动沙地治理提供依据,并大幅度降低纱网沙障设置成本,便于生产应用。

1 研究区概况

研究区位于黄河乌兰布和沙漠段刘拐子沙头,地理坐标为 $40^{\circ}09'58.75''\text{N}$, $106^{\circ}50'28.38''\text{E}$ 。本区属中温带大陆性干旱气候区,是由半干旱区向干旱区的过渡地带。年平均气温 8.0°C ,多年主风向为西风、西北风。年平均风速 2.8 m/s ,年平均大风 $10\sim 32\text{ d}$,年平均扬沙 $75\sim 79\text{ d}$,沙尘暴日数 $19\sim 22\text{ d}$ 。年平均降水量 142.7 mm ,年平均蒸发量 $2\,397.6\text{ mm}$,地下水埋深 $2\sim 3\text{ m}$ 。研究地土壤类型为流动风沙土。流动沙丘高度 $5\sim 10\text{ m}$,流动沙丘密度 $0.8\sim 0.9$ 。天然植被覆盖度小于 5% ,常见植物有人工栽种的梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)以及天然植物种芦苇(*Phragmites australis*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)和沙鞭(*Psammochloa villosa*)等。

2 材料与方法

2.1 直压立式纱网沙障铺设

纱网沙障材料为抗老化白色聚乙烯(PE)纱网环保材料。纱网网孔尺寸约 20 目,透风率 $40\%\sim 50\%$ 。纱网宽 60 cm 。PE 材料使用寿命 10 a 以上,适宜在交通不便的流动沙地铺设。

按照流动沙丘坡向、坡位相近原则,在迎风坡中下部铺设直压立式纱网沙障。沙障规格分别为带宽 $2, 4, 6\text{ m}$ 带状沙障,以及 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$, $4\text{ m}\times 4\text{ m}$, $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 网格沙障(图 1)。直压立式纱网沙障铺设时,按照沙障间距划线,将网片平铺在线上,然后用圆头铁锹或专用铺设机械沿平铺网片中线部位下压,连续两次下压之间不留空隙,每次下压深度 $15\sim 20\text{ cm}$,使网片两端向上翘起形成直立皱褶,外露地表高度 $10\sim 15\text{ cm}$ 。

2.2 风速测定

在 2019 年 4 月 4 日的 1 次大风事件中,在不同规格直压立式纱网沙障的中心部位各安置 1 台 HOBO 风速风向仪,同时在没有设置沙障的对照沙丘同样安置风速风向仪 1 台。风速传感器高度分别为 $10, 30, 200\text{ cm}$ 。风速传感器记录时间为 1 次/s。

风速测定期间($8:00\sim 20:00$), 200 cm 高处的日平均风速 5.42 m/s ,主要风向为西北风。本研究仅选择 $10, 30\text{ cm}$ 高度处风速传感器记录的 30 s 时间段风速平均值为分析数据,进行不同规格沙障、不同高度风速变化的对比分析。



图 1 设置纱网沙障

2.3 数据处理

采用 Excel 2003 表格进行数据处理。同时,用相对风速、粗糙度和防风效能等指标,评价直压立式纱网沙障地面以上 $10, 30\text{ cm}$ 高度的防风效果。

相对风速能够对沙障防风能力变化进行定量分析。其计算方法如下^[4]:

$$u = (u_z / u_{z_0}) \times 100\% \quad (1)$$

式中: u 为相对风速($\%$); u_z 为沙障内测定点 Z 高度处的风速(m/s); u_{z_0} 为旷野对照流动沙丘测定点 Z 高度处的风速(m/s)。

粗糙度是指平均风速等于 0 的高度。粗糙度是衡量治沙防护效益的最重要指标之一。其计算方法如下^[5]:

$$\lg Z_0 = (\lg Z_2 - A \lg Z_1) / (1 - A) \quad (2)$$

式中: Z_0 为粗糙度(cm); Z_1 为平均风速 V_1 处的高度(cm); Z_2 为平均风速 V_2 处的高度(cm); A 为风速比,通常 $A = V_2 / V_1$, $Z_1 = 10\text{ cm}$, $Z_2 = 200\text{ cm}$ 。

防风效能是指设置沙障后削弱近地表风速能力的大小。通常用来评价沙障防护效益一个较直观的指标。其计算方法如下^[6]:

$$E_h = (V_{h_0} - V_h) / V_{h_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中: E_h 为沙障内测定点高度 h 处的防风效能; V_{h_0} 为旷野对照流动沙丘测定点 h 高度处的风速(m/s); V_h 为沙障内测定点 h 高度处的风速(m/s)。

3 结果与分析

3.1 纱网沙障地表粗糙度变化特征

地表粗糙度体现了地面结构的特征,地面越粗糙,摩擦阻力就越大,相应地风速的零点高度就越高,这样避免地表风蚀不起沙的作用就越大。因此,粗糙度不仅是衡量地表性质的尺度,更是衡量治沙技术措施防护效益的最重要指标之一。从图2可以看出,在不同风速条件下,2 m×2 m 网格纱网沙障地表粗糙度最大,并随着风速增加而呈现出逐渐降低的变化特征,且表现出明显的线性变化($Y = -0.6408X + 7.3263, R^2 = 0.8809$)规律。同时,其他规格的纱网沙障则没有类似的变化特征。说明,在一定的环境条件下,设置特定规格的沙障,其地表粗糙度和风速变化具有一定的关联性。

如果从近地表粗糙度及平均风速变化特征判断,平均风速从4.24 m/s增加到10.06 m/s时,2 m×2 m 网格纱网沙障的平均粗糙度为4.76 cm。而2 m带状沙障为1.77 cm,4 m×4 m 网格、4 m带状、6 m×6 m 网格和6 m带状纱网沙障的平均粗糙度分布为0.74,0.85,0.04,0.06 cm。表明随着纱网沙障设置规格的增大,其近地表粗糙度降低。其中,在流动沙丘设置2 m×2 m 网格或带状纱网沙障具有良好的防风效果,其次是设置4 m带状或4 m×4 m 网格纱网沙障也具有一定的防风效果,而设置6 m带状或6 m×6 m 网格纱网沙

障几乎没有发挥降低风速的作用。通常,在旷野流动沙丘平均粗糙度约为0.024 cm^[7]。

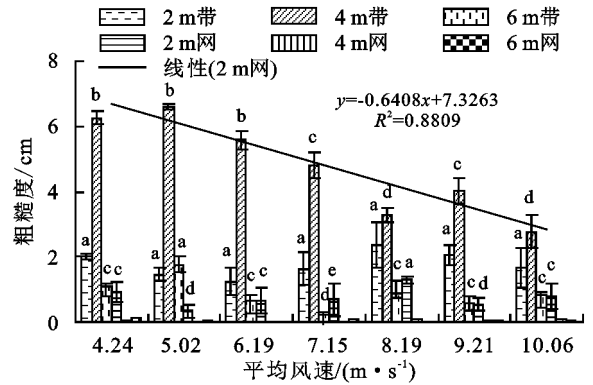


图2 纱网沙障近地表粗糙度变化

此外,从图3还可以看出风速比值变化特征。尽管风速不同,但对照区风速比值几乎没有变化,其平均为1.18,其变化范围为1.12~1.21。而2 m×2 m 网格纱网沙障的风速比值变化范围在3.33~8.23,其平均值为5.46;2 m带状沙障风速比值变化范围为2.44~3.09,其平均值为2.74;而4 m×4 m 网格、4 m带状、6 m×6 m 网格和6 m带状纱网沙障的平均风速比值分别为2.15,2.20,1.56,1.50。同样反映出2 m×2 m 网格沙障表现出较好的防风效果。因为同近地表粗糙度指标一样,200 cm和10 cm高度的风速比越大,其降低风速效果也越明显,也就越有利于减少风对流动沙丘地表的直接吹蚀作用,其隔绝风蚀不起沙的作用也就越大。

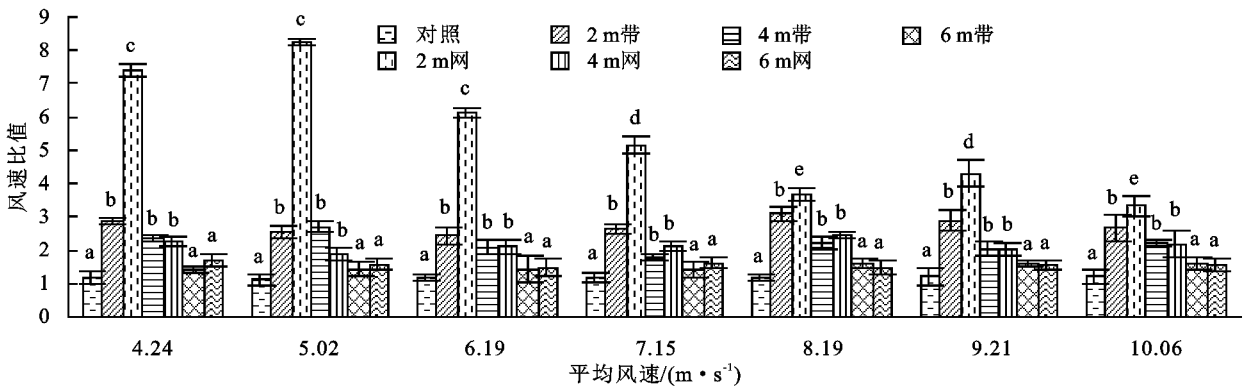


图3 纱网沙障风速比值的变化

3.2 纱网沙障相对风速变化特征

相对风速反映了沙障防风能力变化的特征,相对风速越低,沙障防风效能则越高,或者说设置沙障对降低风蚀危害的效果越好。从图4可以看出,不同风速条件下,随着风速或设置纱网沙障网格的加大,10 cm高度处相对风速值呈现出增加的趋势。例如,平均风速从4.24 m/s增加到10.06 m/s时,2 m带状纱网沙障相对风速平均值为43.18%;2 m×2 m 网状纱网沙障相对风速平均值为23.89%,4 m带状或4 m×4 m 网状纱网沙障相对风速平均值分别为54.59%,53.11%,而6 m

带状或6 m×6 m 网状纱网沙障相对风速平均值高达78.99%,75.48%。说明不同风速、不同规格的纱网沙障对相对风速变化的影响程度存在差异,或者说2 m×2 m 网状、4 m带状或4 m×4 m 网状纱网沙障对相对风速变化影响的波动性更大一些,相应的对近地表风沙流扰动也较大。

另外,从30 cm高处相对风速变化(图5)看,不同风速、不同规格的纱网沙障对相对风速变化影响程度明显降低(图4),表明设置这种纱网沙障主要是降低近地表30 cm以下高度的风速。例如,平均风速从4.24 m/s增

加到 10.06 m/s 时, 2 m 带状或 2 m×2 m 网状纱网沙障相对风速平均值分别为 72.26%, 74.93%, 4 m 带状或 4 m×4 m 网状纱网沙障相对风速平均值分别为 79.90%, 78.69%, 6 m 带状或 6 m×6 m 网状纱网沙障相对风速平均值高达 90.34%, 83.23%。因此, 可以根据 10 cm 高度处相对风速变化值量化评估纱网沙障的防风效果。

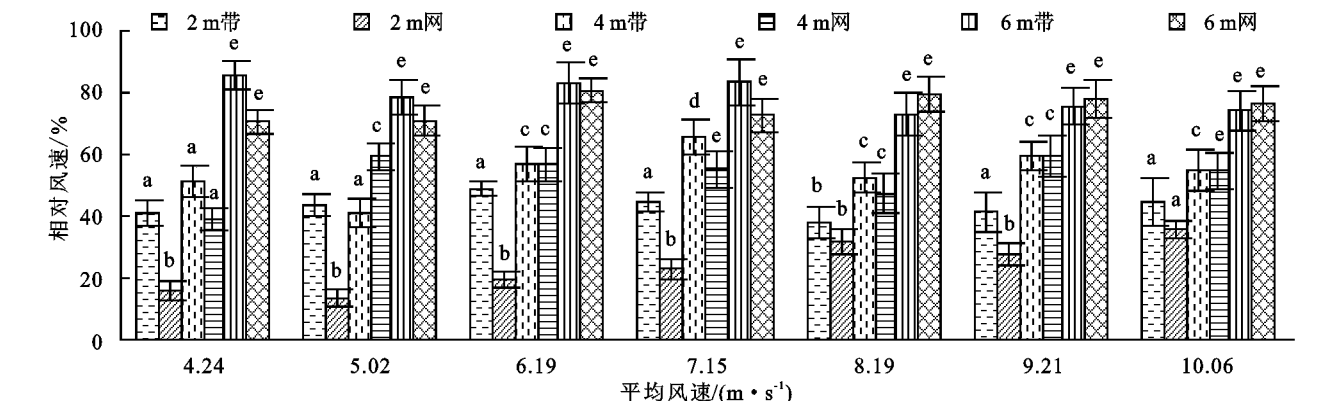


图 4 纱网沙障 10 cm 高处相对风速变化

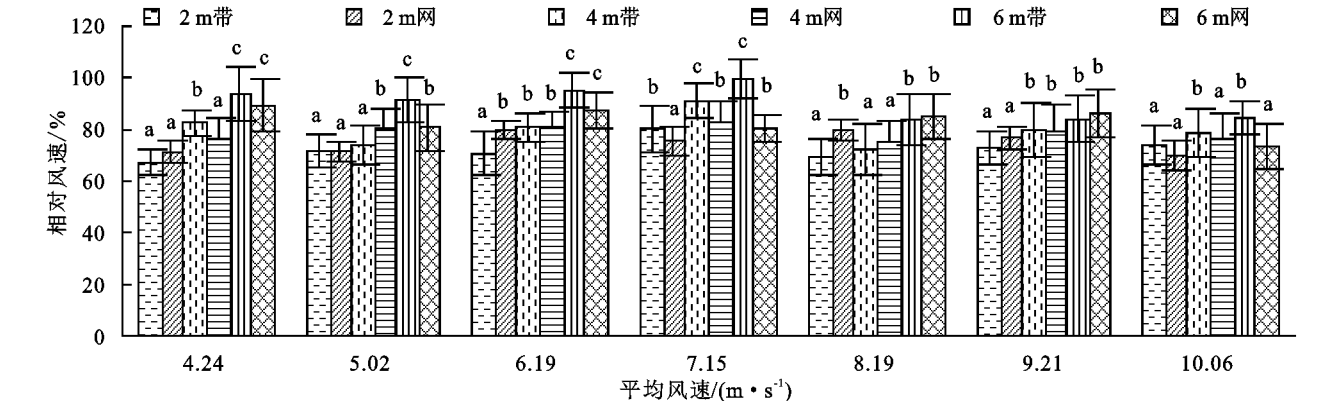


图 5 纱网沙障 30 cm 高处相对风速变化

3.3 纱网沙障防风效能变化

防风效能是指设置沙障后削弱近地表风速能力的较直观指标。通常, 防风效能数值越高, 其削弱近地表风速能力也越强。从图 6 同样可以看出, 在相同风速下, 随着纱网沙障规格的增加, 其防风效能逐渐降低, 且随着风速增加, 不同规格纱网沙障防风效能变化总体呈

现出降低的趋势。例如, 2 m×2 m 网状纱网沙障平均防风效能为 76.11%, 2 m 带状纱网沙障平均防风效能为 56.82%; 4 m 带状或 4 m×4 m 网状纱网沙障平均防风效能分别为 45.41%, 44.89%, 而 6 m 带状或 6 m×6 m 网状纱网沙障平均防风效能分别为 21.63%, 25.52%, 说明纱网沙障设置规格是影响其防风效能的重要因素。

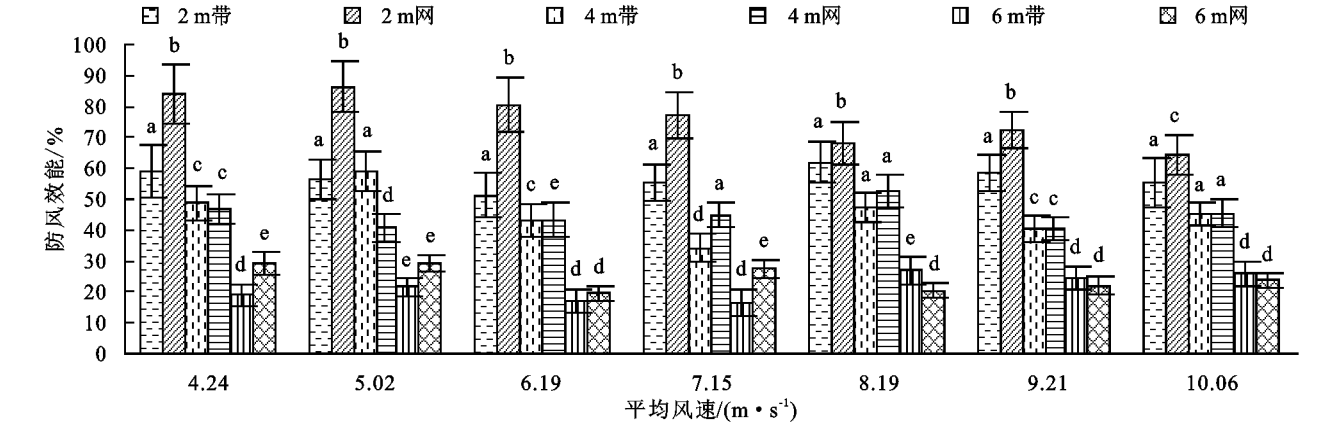


图 6 纱网沙障 10 cm 高处防风效能变化

4 讨论

乌兰布和沙漠沿黄河段以高大密集的流动沙丘为主, 因风蚀或黄河水对河岸流动沙丘的侵蚀, 每年都有大量泥沙通过风沙流或沙丘坍塌的形式进入黄河河道。罗风敏等^[8]研究表明, 乌兰布和沙漠东北缘沙

物质的输移方向主要东南偏东方向,其输沙率为 $35.11 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$,且春季输沙率最高。杜鹤强等^[9]测定结果表明,石嘴山—巴彦高勒段年均入黄风沙量高达 $9.31 \times 10^6 \text{ t/a}$,建立完善黄河沿岸风沙防护体系是解决黄河泥沙淤积问题的主要途径。而设置沙障是治理流动沙地最有效的技术措施。但是,近些年来由于稻草沙障材料因采用机械化收割作业,材料质量明显下降,铺设草方格沙障的固沙效果受到直接影响,所以选择新型 PE 纱网材料进行固沙实践具有现实意义。

由于直压立式纱网沙障也具有随风运动而进行前后摆动的特性,同样兼有疏透通风功能,对近地表风速扰动作用加强。所以,本研究结果表明在流动沙丘设置不同规格纱网沙障对近地表风速的减弱作用明显。张克存等^[10]对不同孔隙度的尼龙网沙障进行了风洞模拟研究,表明孔隙不同不仅对沙物质颗粒的穿透能力有影响,而且对通过尼龙网沙障的气流具有显著的紊动作用,最终影响沙障的防护效益。高天笑等^[11]研究了不透风羽翼沙障对削弱风速的影响,由于羽翼沙障翼片随风摆动,其防风效果明显增加。袁立敏等^[12]研究表明不同埋深沙袋沙障对过境风沙的拦截能力与裸露状态的差异,表明浅埋或深埋的沙障其拦截能力显著降低。

关于沙障设置规格对近地表风速变化的影响,韩致文等^[13]认为,采用 HDPE 纱网材料,设置方格型沙障后,随着沙障高度的增加,其降低风速的效果也相对随着提高;而沙障设置高度相同时,网格越小其防风效应也相对越显著,且愈接近地面,沙障削弱风速的作用越明显。何志辉等^[6]研究表明,尼龙纱网不同大小的孔隙分布密度和降低风速效果密切,且孔隙分布均匀的纱网能够更好地发挥其防风阻沙作用。本研究表明,纱网沙障设置规格是影响其防风效能的重要因素,且主要是降低近地表 30 cm 以下高度的风速,其中降低近地表 10 cm 以下高度风速的效果更好。李锦荣等^[14]认为沙障规格对风速影响不显著,而沙障高度则显著影响风速的变化。杜鹤强等^[15]测定结果表明,乌兰布和沙漠流动沙丘不同部位 10 cm 高度范围内,其输沙量占 90% 以上,这和本研究纱网沙障显著降低近地表 10 cm 以下高度风速,减少风沙危害的结论是一致的。

5 结论

在不同风速条件下,2 m×2 m 网格纱网沙障地表粗糙度随着风速增加而呈现出线性降低的规律,而其他规格的纱网沙障则没有类似的变化特征。而在

不同风速条件下,尽管不同规格的纱网沙障对相对风速变化的影响程度存在差异,但主要是降低近地表 30 cm 以下高度的风速变化。随着风速增加,不同规格纱网沙障防风效能变化总体呈现出降低的趋势。

在流动沙丘设置 2 m,4 m 带状或 2 m×2 m,4 m×4 m 网格状纱网沙障能够有效降低风速效能,并提高近地表粗糙度,而 6 m 带状或 6 m×6 m 网格状纱网沙障降低风速效能相对较低。因此,在生产中不建议使用 6 m 带状或 6 m×6 m 网格状纱网沙障。

参考文献:

- [1] 何京丽,郭建英,邢恩德,等.黄河乌兰布和沙漠段沿岸风沙流结构与沙丘移动规律[J].农业工程学报,2012,28(17):71-77.
- [2] 闫德仁,胡小龙,黄海广,等.纱网沙障对植被恢复的影响[J].内蒙古林业科技,2017,43(3):1-4.
- [3] 闫德仁,胡小龙,黄海广,等.直压立式纱网沙障风洞模拟研究[J].防护林科技,2017,117(12):1-4.
- [4] 魏翔鸿,左合君,闫敏,等.尼龙网方格沙障防风效应复变规律[J].干旱区研究,2019,36(6):1584-1591.
- [5] 闫德仁,郭中,胡小龙,等.沙漠沙地治理技术与原理[M].呼和浩特:内蒙古大学出版社,2019.
- [6] 何志辉,李生宇,王海峰,等.塔克拉玛干沙漠 4 种结构尼龙阻沙网的防风阻沙效益对比[J].干旱区研究,2014,31(2):369-374.
- [7] 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):41-45.
- [8] 罗凤敏,高君亮,辛智鸣,等.乌兰布和沙漠东北缘起沙风况及输沙特征[J].农业工程学报,2019,35(4):145-152.
- [9] 杜鹤强,薛嫻,王涛,等.1986—2013 年黄河宁蒙河段风蚀模数与风沙入河量估算[J].农业工程学报,2015,31(10):142-151.
- [10] 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试验[J].水土保持通报,2004,24(3):1-4.
- [11] 高天笑,王涛,杨文斌,等.低覆盖度羽翼袋沙障防风积沙效应的风洞试验[J].中国沙漠,2019,39(6):177-183.
- [12] 袁立敏,黄海广,闫德仁,等.不同沙埋程度下带状沙障的防风固沙效果研究[J].农业工程学报,2019,35(16):172-179.
- [13] 韩致文,郭彩霞,钟帅,等.库布齐沙漠 HDPE 网和植物纤维网沙障防沙试验效应[J].中国沙漠,2018,38(4):681-689.
- [14] 李锦荣,孙保平,高永,等.基于空气动力学的沙袋沙障气流场模拟[J].北京理工大学学报,2010,30(6):749-752.
- [15] 杜鹤强,薛嫻,孙家欢.乌兰布和沙漠沿黄河区域下垫面特征及风沙活动观测[J].农业工程学报,2012,28(22):156-165.