

低覆盖度下两种行带式固沙林内风速 流场和防风效果

梁海荣^{1,2}, 王晶莹¹, 董慧龙^{2,3}, 杨文斌^{1,2,*}, 卢琦², 赵爱国⁴

(1. 内蒙古林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 中国林业科学研究院林业新技术研究所/国家林业局/中国防治荒漠化研究与发展中心, 北京 100091

3. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010010; 4. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 研究在风速为 10m/s 和 15m/s 的风洞实验条件下, 覆盖度为 20% 和 25% 的单行一带和两行一带模式乔木固沙林内的水平和垂直空间的风速变化情况, 达到对两种不同模式的风速流场和防风效果进行比较分析的目的。通过分析得出: 两种配置模式都形成了风影区和风速加速区相互组合的复杂的水平流场结构。两种模式对垂直空间风速影响相近, 根据对不同高度风速的不同影响划分为微变化层(20—35cm)、显著变化层(6—12cm)和稳定变化层(0.4—3cm)层次, 两种模式在这几个层次风速表现出相同的变化规律。两行一带模式在第一带前降低水平空间风速的效果低于单行一带模式, 第一带后高于后者。降低垂直空间风速规律为: 对 0.4—50cm 高度的风速均有一定的降低作用, 0.4—12cm 高度的风速的降低效果较显著, 且两行一带模式降低近地表(0.4cm)风速的效果要高于单行一带模式。

关键词: 风洞实验; 单行一带模式; 两行一带模式; 风速流场; 防风效果

Wind velocity field and windbreak effects in two types of low density and belt-scheme sand-break forests

LIANG Hairong^{1,2}, WANG Jingying¹, DONG Huilong^{2,3}, YANG Wenbin^{1,2,*}, LU Qi², ZHAO Aiguo⁴

1 Inner Mongolia Institute of Forestry Research, Hohhot 010010, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China

4 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: For comparing wind velocity field and windbreak effects between the one-line-one-belt (OLOB) and two-lines-one-belt (TLOB) schemes of sand-break forests, we studied horizontal and vertical profiles of wind velocity field of the two schemes at 20% and 25% cover under simulated wind speeds of 10 and 15 m/s. It was found that in both schemes there was a complex horizontal flow field comprising wind shadows and acceleration areas. The two schemes showed similar effects on the vertical profile of wind speed. We divided the vertical space into three layers according to the different effects on vertical wind speeds: the layer with slight change (20 to 35 cm above the ground), the layer with significant change (6 to 12 cm above the ground), and the layer with steady change (0.4 to 3cm above the ground). For each of the layers, the two schemes displayed the same pattern of variation. The TLOB was less effective in reducing horizontal wind speed than the OLOB before the first belt, but the former was more effective after the first belt. The observed patterns of reduced vertical wind speed were such that wind speed was reduced at 0.4 to 50cm above the ground, with the reduction being more apparent at 0.4 to 12cm, and that the TLOB was more effective in reducing wind speed near ground surface (0.4cm) than the OLOB.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30660155, 40971283); 国家“十一五”科技支撑资助项目(2007BAC03A1003, 2006BAD26B05 和 2006BAD26B04)

收稿日期: 2008-11-13; **修订日期:** 2009-03-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nmlkyywb@163.com

Key Words: wind tunnel; one-line-one-belt (OLOB) scheme; two-lines-one-belt (TLOB) scheme; wind velocity field; windbreak effect

低覆盖度植被是我国干旱、半干旱区经过漫长的自然演替,逐步发育形成且广泛分布的植被类型,覆盖度一般在 10%—30% 之间^[1-3]。前人研究认为:植被覆盖度低于 40%,不能完全固定流沙和阻止风沙流的形成^[4-6],只能形成半固定、半流动沙地^[7,8]。但在实际观察中发现,当覆盖度低于 40% 时,灌丛在水平空间分布格局的差异,严重影响低覆盖度植被的防风效果^[9-15]。在点格局的研究中,基本上把种群的空间分布确定为 3 种类型:随机分布、均匀分布和集群分布^[16],行带式格局是一种特殊的集群分布。已有的研究表出:在覆盖度低于 20% 时,行带式配置格局的灌木群丛能够很好地固定流沙,比同覆盖度等株行距均匀分布和随机不规则分布格局的防风效果显著增高^[17-20]。但是,由于乔木与灌木的冠形差异显著,在垂直空间的分布不同,对风和沙的阻碍作用和方式不同^[13,19,21]。使得低覆盖度下乔木疏林产生与灌木群丛完全不同的流场的分布特征,进而使林分内地表蚀积的关系发生变化。因此,本文进一步针对覆盖度为 20% 和 25% 的不同分布格局的乔木固沙林,在风洞中研究单行一带式、两行一带式配置和不同带间距等水平空间分布格局的风速流场规律及降低风速的效果。探讨低覆盖度乔木行带式固沙林能够完全固定流沙的基本原理,为我国建立低覆盖度高固沙效果的人工固沙植被提供科学依据。

1 实验设备、材料及方法

1.1 实验设备

本实验在中国科学院兰州沙漠研究所的野外实验沙风洞中进行的。该风洞是直流闭口吹气式风洞,主体结构由 3mm 厚的硬质铝合金板建成,风洞全长为 37m,试验段长 21m,截面为 1.2m × 1.2m。实验采用防沙风速廓线皮托管采集仪自动采集风速,采集周期为 2s,每轮风速采集时长为 30s。模拟温度为 22℃,气压为 873hPa^[22]。

1.2 实验材料及方法

1.2.1 实验材料

本实验以白榆为原形,以单株白榆株高 H_0 6.5m,冠幅 5.1m × 5.5m,枝下高 2.5m。实验模型实物比为 1:50。采用现采的桤柳枝条制成白榆样株,模型株高 H 13cm,树干高度为 4—6cm,冠幅为 10.2cm × 11cm。

1.2.2 模型设置

本实验模型的覆盖度为 20% 和 25% 两种情况,同时按照林带不同配置模式对相同覆盖度进行分类,分别设置了 2 个单行一带模式和 3 个两行一带模式。其中覆盖度为 20% 的模型为带间距 D 为 $4H$ 的单行一带模式 (OLOB $D = 4H$) 和带间距 D 为 $5H$ 且行距 L 为 4cm 的两行一带模式 (TLOB $D = 5H$, $L = 4\text{cm}$) 两种,覆盖度为 25% 的模型为带间距 D 为 $3H$ 的单行一带模式 (OLOB $D = 3H$)、带间距 D 为 $4H$ 且行距 L 为 4cm 的两行一带模式 (OLOB $D = 4H$, $L = 4\text{cm}$) 和带间距 D 为 $5H$ 且行距 L 为 8cm 的两行一带模式 (TLOB $D = 5H$, $L = 8\text{cm}$)。

1.2.3 平面测点分布

平面测点呈网格状分布,在模式内设置规格为 10cm × 10cm 的网络测点,测量高度为 4cm。在空洞条件下测定风洞中部某点 4cm 高度的风速作为对照风速。

1.2.4 剖面测点布设

在模式中央纵剖面轴线上,沿迎风方向每隔 10cm 布设一个测点,同时测定 0.4、0.8、1.2、1.6、3、6、12、20、35、50cm 这 10 个高度处的风速。在空洞条件下测定风洞中部某点上述各高度的风速作为对照风速。

1.2.5 数据采集及制图

在设定的 10m/s 和 15m/s 两种实验风速条件下采集风速资料,同一测点的平行风速值 10—12 个,求出算术平均值后采用 Sufer8.0 进行制图,采用 SAS 软件进行结果分析。

2 结果与分析

2.1 覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式比较

2.1.1 水平空间风速流场变化特征

如图 1 所示,在 10m/s 和 15m/s 的实验风速下,两种模式都形成了风影区(即背风侧形成的风速显著降低区)和风速加速区相互组合的流场结构,其中两行一带模式中流场以形成风影区为主,而单行一带模式形成了多个风速加速区。在两种实验风速下,单行一带模式在第一带前一定范围都形成了风速加速区,在加速区前端为分布较规则的减速区,而两行一带模式在第一带前形成了风影区和风速加速区相互组合的流场结构,这说明两行一带模式对林带前端的影响范围要大于单行一带模式。在两种实验风速下,单行一带模式在第一带 $X=50\text{cm}$ 处都出现了两个相互连接的风速加速区,而两行一带模式在整个模式内没有出现类似的流场分布。这说明由于两行一带模式林带密度增大导致其挡风作用加强,穿过林带的风速受到林带的影响增大,通过林带在局部未出现风速加强的现象(即“狭管效应”),而单行一带模式林带稀疏,对穿过林带的风速影响低于两行一带模式,在第一带林带处出现了局部风速加强的现象。从整体上来看两行一带模式在林带前后风速变化(图中颜色的深度变化)较小,而单行一带模式在第一带后的风速变化较大,这说明了两行一带模式降低风速的能力更为稳定。

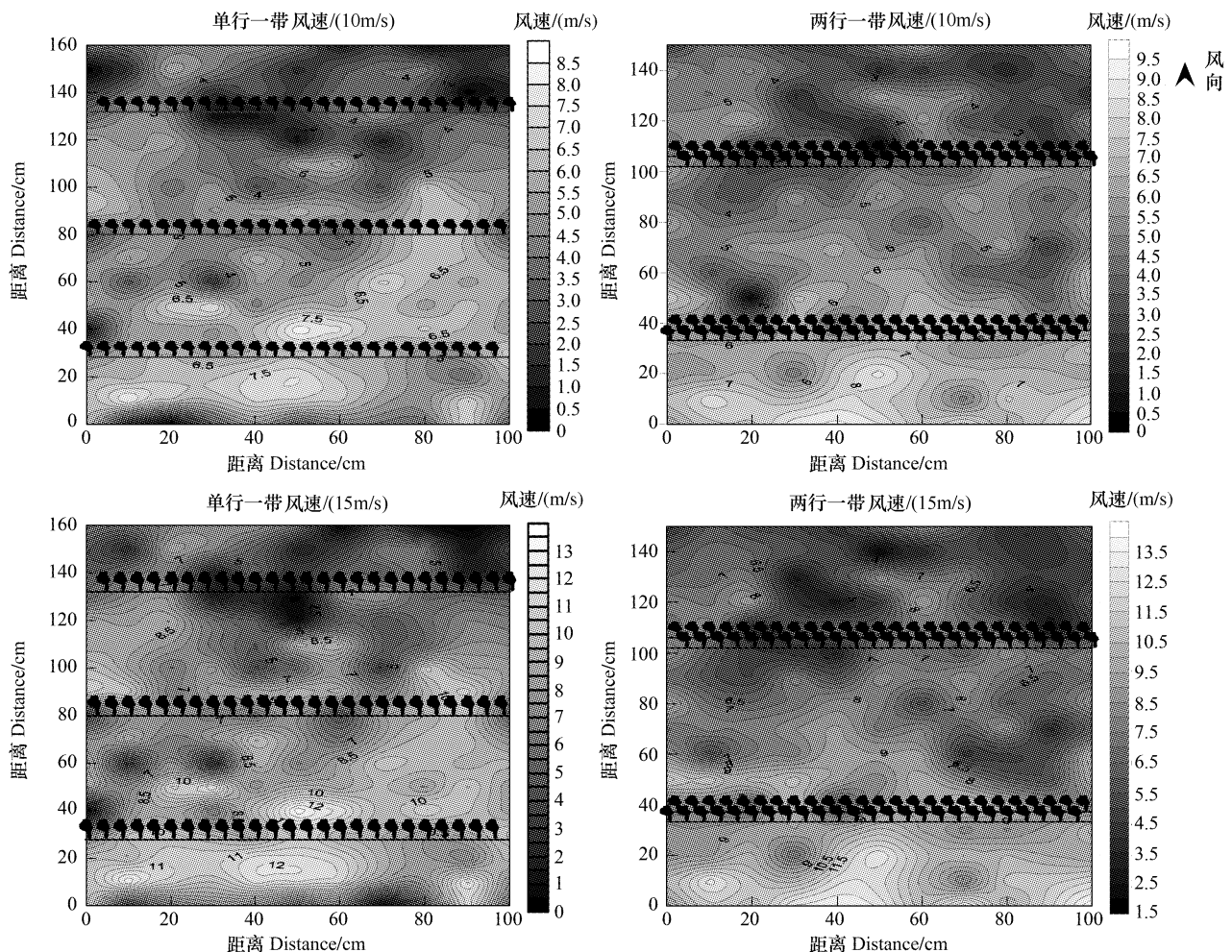


图 1 覆盖度为 20% 的两种模式水平空间风速流场图

Fig. 1 Horizontal wind velocity field in two schemes of windbreak forests at 20% cover

观察图 1 中两行一带模式第二带后的风速值,在 10m/s 和 15m/s 的实验风速下,两行一带第二带后的风速值都低于单行一带模式第二带后的风速值,因此可以看出覆盖度为 20% 的两行一带模式林带降低风速的

能力要高于单行一带模式。

2.1.2 垂直空间风速变化特征

从图 2 可以看出,在 10m/s 和 15m/s 两种实验风速下,覆盖度为 20% 的单行一带模式垂直空间风速变化规律如下:在距地表 35cm 高度风速无变化;在 20cm 高度的风速变化为先增加后减少,但变化较少;在 12cm 和 6cm 高度上,风速在第一带处出现峰值,通过第一带后风速显著降低,在第二带处也出现峰值,通过第二带后风速变化较平缓;3—0.4cm 高度沿风速方向风速变化相近,整体上表现出逐渐降低的趋势,且在第一带和第二带出现峰值,在第三带前后风速变化较平缓。两行一带模式垂直空间风速变化规律如下:在距地表 35cm 和 20cm 高度的风速变化与单行一带相似;12cm 和 6cm 高度的风速在第一带前一定距离出现显著降低,在一二带间有一定的增加,在第二带前同样出现显著降低的趋势;3—0.4cm 高度风速变化相似,在第一带和第二带出现峰值,但第一带出现峰值后风速降低的幅度较缓慢,这与单行一带模式不同。

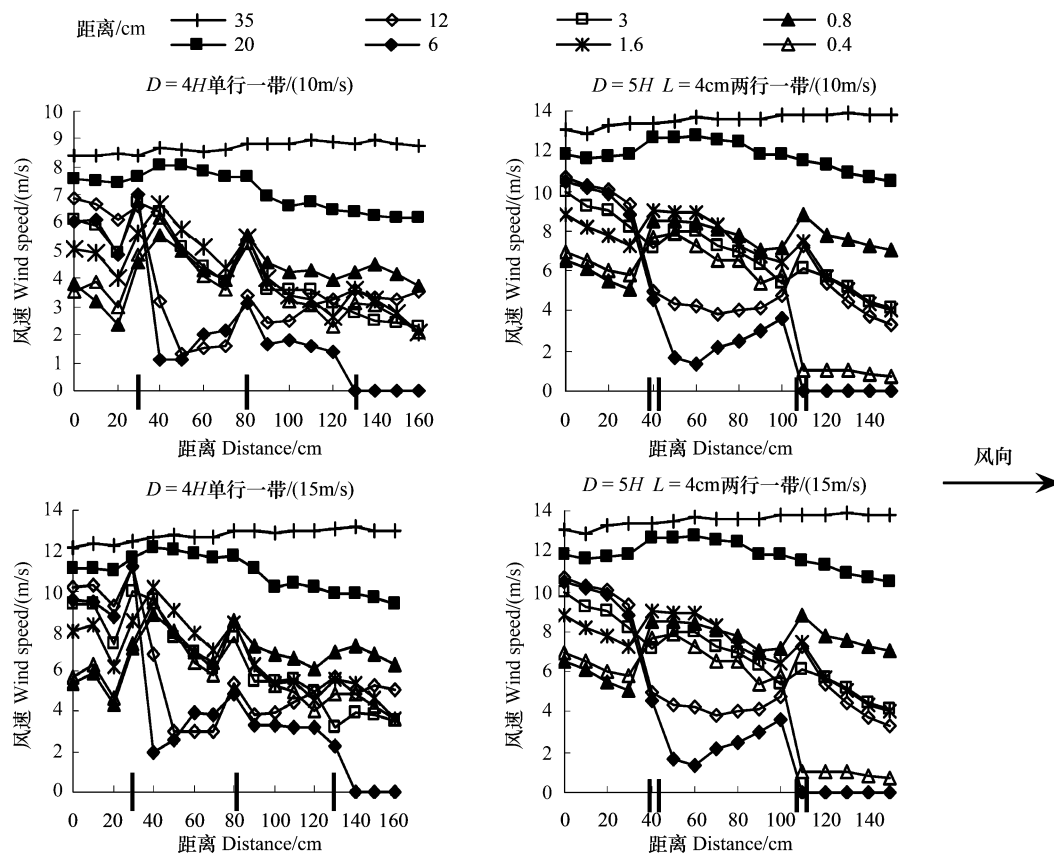


图 2 覆盖度为 20% 的两种模式垂直空间风速变化图

Fig. 2 Vertical wind velocity profile in two schemes of windbreak forests at 20% cover

前人研究表明,粗糙元素的平均高度 H 、植被覆盖率 σ 和叶面积指数 LAI 是垂直风速廓线的最基本参数^[23]。因此可知,上述两种模式对 20cm 以上高度影响较低主要是受到林带高度的制约;而 6cm 和 12cm 的风速变化主要是由于树冠层(距地表 6—13cm)的阻挡,单行一带模式由于来风通过树冠层时出现了“狭管效益”,因而在第一带和第二带均出现峰值,而两行一带模式树冠层的阻风能力要强于单行一带模式,主要表现为风速林带前就出现了显著的降低。

从图 2 中可以看出,在 10m/s 和 15m/s 两种实验风速下,虽然进入两行一带模式风速略高于单行一带模式同一高度风速,但是两行一带模式第二带后的风速均低于单行一带模式第二带后同一高度风速,这说明覆盖度为 20% 的两行一带模式对垂直空间风速的影响要大于单行一带模式。

2.1.3 降低风速效果比较

(1) 降低水平空间风速效果

在分析覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式降低水平空间风速效果时,采用 SAS 软件对两种模式在 10m/s 和 15m/s 的实验风速下的水平空间模式进行方差分析。

在 10m/s 的实验风速下,两种模式降低水平空间风速的效果相同,单行一带模式和两行一带模式平均风速分别为 5.41m/s 和 5.09m/s;在 15m/s 风速下两种模式的显著水平为 0.03,单行一带模式和两行一带模式平均风速分别为 8.33m/s 和 7.72m/s,即在 15m/s 的实验风速下两行一带模式降低水平空间风速的效果要高于单行一带模式。

对两种模式在 10m/s 和 15m/s 的实验风速下的水平空间风速与对照风速进行处理后绘制出表 1。通过对表中数据分析可以看出:在 10m/s 的实验风速下,两种模式降低整个模式内的水平空间风速的效果相同,但是在一二带间和第二带后两行一带模式降低水平空间风速的效果却高于单行一带模式。进一步分析可以看出,导致这一现象的原因为两行一带在一二带间和第二带后降低最大风速的能力高于单行一带模式。在 15m/s 的实验风速下,两行一带模式降低整个模式内的水平空间风速的效果要高于单行一带模式,这主要体现在一二带间和第二带后降低水平空间风速的效果高于单行一带模式,而第一带前降低水平空间风速的效果却低于单行一带模式。导致这一现象的原因同样是两行一带在一二带间和第二带后降低最大风速的能力高于单行一带模式。

通过以上的分析可知,虽然在低风速下(10m/s)单行一带与两行一带模式降低水平空间风速的效果相同,但风速升高到高速(15m/s)后,两行一带模式降低水平空间风速的效果要优于单行一带模式。

表 1 覆盖度为 20% 的两种模式水平空间风速与对照风速比较

Table 1 Horizontal wind speed of two schemes of windbreak forests compared with control site at 20% cover

实验风速 Wind speed	模式 Scheme	项目 Project	第一带前 Before first belt	一二带间 Between the two belts	第二带后 Behind two belts
10m/s	两行一带 TLOB	平均风速 AS/(m/s)	5.98 ± 1.1	4.98 ± 1.32	3.73 ± 1.4
		降低对照比率/% The ratio of wind speed reduction over control	9.4	24.6	43.5
		最大风速 MS/(m/s)	9.18	7.57	6.21
		最小风速 IS/(m/s)	2.47	0.07	0.14
	单行一带 OLOB	平均风速 AS/(m/s)	6 ± 1.3	5.61 ± 1.29	4.57 ± 1.33
		降低对照比率/%	9.1	15	30.8
		最大风速 MS/(m/s)	8.76	9	7.18
		最小风速 IS/(m/s)	3.3	1.72	1.08
15m/s	两行一带 TLOB	平均风速 AS/(m/s)	9.56 ± 1.68	7.57 ± 1.89	5.68 ± 1.78
		降低对照比率/% The ratio of wind speed reduction over control	3.0	23.2	42.4
		最大风速 MS/(m/s)	13.99	11.43	9.18
		最小风速 IS/(m/s)	3.76	3.13	1.56
	单行一带 OLOB	平均风速 AS/(m/s)	9.3 ± 2.52	8.52 ± 1.31	7.29 ± 1.84
		降低对照比率/% The ratio of wind speed reduction over control	5.6	13.5	26.0
		最大风速 MS/(m/s)	13.1	13.53	10.96
		最小风速 IS/(m/s)	3.71	1.87	1.3

(2) 降低垂直空间风速效果

同样在分析覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式降低垂直空间风速效果时,为了避免林带累加效益的影响,只分析单行一带模式沿来风方向上 0—120cm 范围内的数据,然后对两种模式在 10m/s 和 15m/s

的实验风速下的水平空间模式采用 SAS 软件进行方差分析。

对两种模式在 10m/s 的实验风速下 0.4—50cm 高度的垂直空间风速值检验可知,当 $F=0.05$ 时显著水平为 0.82。单行一带模式垂直空间风速平均值为 5.46m/s,两行一带模式垂直空间风速平均值为 5.53m/s,即在 10m/s 实验风速下两种模式对垂直空间风速降低的效果无显著差异;两种模式在 15m/s 实验风速下 0.4—50cm 高度的垂直空间风速值检验可知,当 $F=0.20$ 时显著水平为 0.66,单行一带模式垂直空间风速平均值为 8.4m/s,两行一带模式垂直空间风速平均值为 8.2m/s,即在 15m/s 实验风速下两种模式对垂直空间风速降低的效果同样无显著差异。

根据两种实验风速下,覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式与对照风速比较结果得出表 2。在两种风速条件下,两种模式各个高度的风速对对照风速(空洞条件下各个高度的风速)均有一定的降低作用,而随着风速的增大这种降低作用没有减弱。从两种模式降低对照风速的比率来看,两种模式在距地表 12cm 高度向下,降低对照风速的比率都达到了 20% 以上,有显著的降低作用。在两种实验风速下,两行一带模式与单行一带模式降低对照风速的比率基本相近,但是在 0.4cm 高度前者要要于后者。

由以上分析得出,在 10m/s 和 15m/s 的两种实验风速下两种模式降低垂直空间风速的效果均无显著差异,但是两行一带模式对近地表风速的降低作用要高于单行一带模式。

表 2 覆盖度为 20% 的两种模式垂直空间降低对照风速的比率

Table 2 The ratio of wind speed reduction in vertical space in two schemes of windbreak forests at 20% cover

实验风速 Wind speed	项目 Project	垂直空间高度 Vertical space/cm									
		50	35	20	12	6	3	1.6	1.2	0.8	0.4
降低对照风速比率/% (10m/s) The ratio of wind speed reduction over control	对照风速 Control wind speed /(m/s)	9.95	9.92	9.3	9.21	8.61	7.92	7.35	6.96	6.42	6.41
	两行一带 TLOB	4.8	6.1	16.1	58.9	67.8	40.5	35.8	36.8	23.2	47.8
	单行一带 OLOB	7.7	12.8	20.5	59.4	64.3	39.1	36.7	31.3	23.5	37.6
降低对照风速比率/% (15m/s) The ratio of wind speed reduction over control	对照风速 Control wind speed /(m/s)	14.86	14.72	13.83	13.78	13.06	12.02	11.09	10.52	9.76	9.66
	两行一带 TLOB	4.4	8	14.9	57	65.7	42.2	35.6	36.4	24.8	50.1
	单行一带 OLOB	9.1	13.9	19	55.7	59.3	38.8	33.8	30.7	24.2	34.1

2.2 覆盖度为 25% 的单行一带和两行一带模式比较

2.2.1 水平空间风速流场变化特征

在观察覆盖度为 25% 的 3 种模式在 10m/s 风速下的风速流场图(图 3)可以看出:3 种模式都形成了风影区(即背风侧的风速显著降低区)和风速加速区相互组合的水平空间流场结构,其中两行一带模式中流场以形成风影区为主,且风速流场中的风速曲线变化较平缓,而单行一带模式内风速曲线变化较紧密。这说明两行一带模式在整个模式内的风速影响的稳定性要强于单行一带模式。在 10m/s 的实验风速下,单行一带模式在第一带前一定范围都形成了风速加速区,在加速区前端为分布较规则的减速区,而两行一带模式在第一带前形成了风影区和风速加速区相互组合的流场结构。因此可以说明,在 10m/s 风速下,两行一带模式在第一带前的风速影响范围要大于单行一带模式。

当风速增加到 15m/s 后,3 种模式内同样形成了风影区(即背风侧的风速显著降低区)和风速加速区相互组合的水平空间流场结构,两行一带模式与单行一带模式风速流场中的风速曲线变化舒缓程度相同。在 15m/s 的实验风速下,单行一带和两行一带模式在第一带前都形成了风影区和风速加速区相互组合的流场结构。

2.2.2 垂直空间风速变化特征

从图 4 中可以看出:在 10m/s 和 15m/s 两种实验风速下,覆盖度为 25% 的 3 种模式内,在距地表 35cm 高度的风速变化较小;在 20cm 高度风速变化为先增大后减小;在 6cm 和 35cm 高度风速通过第一带林带后降低

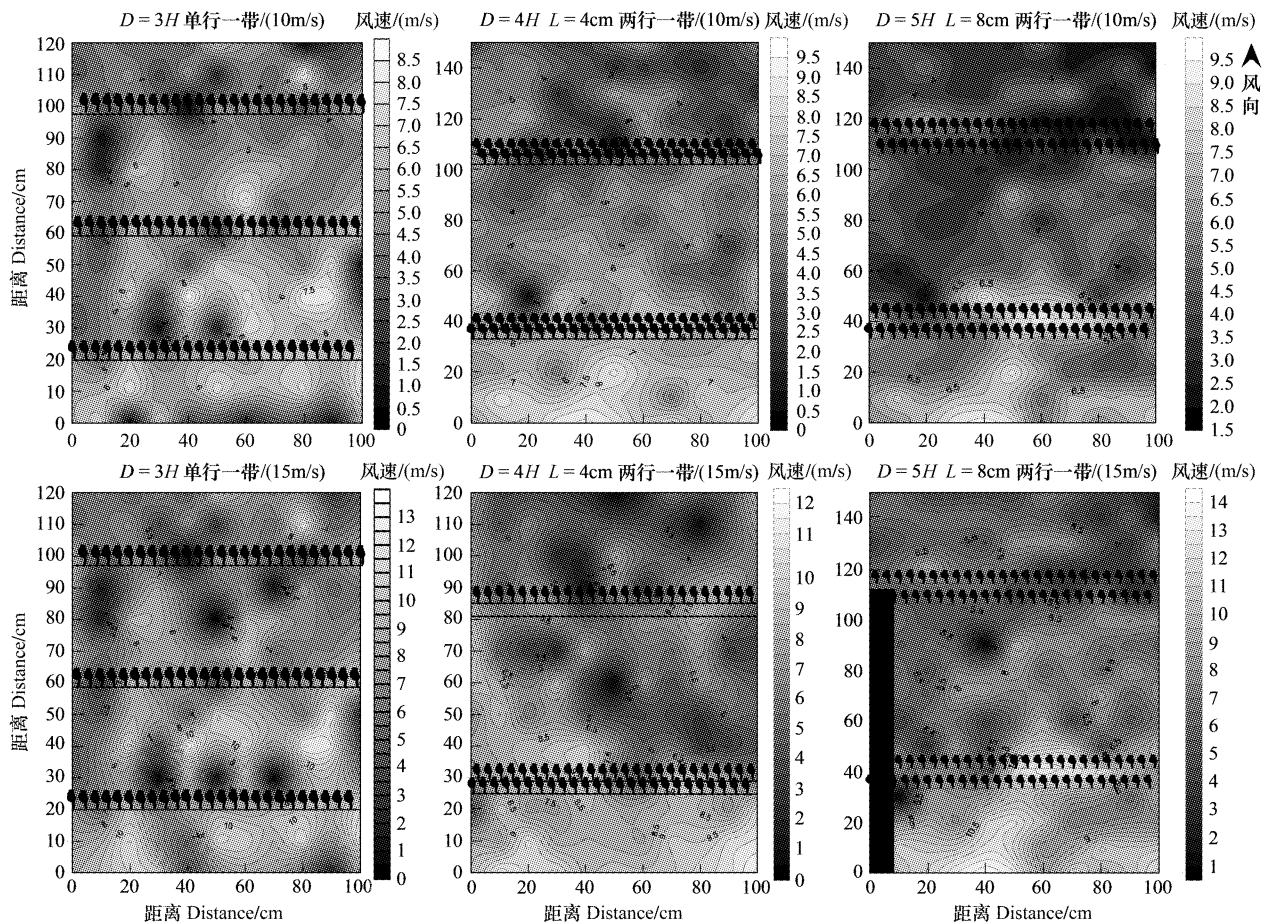


图3 覆盖度为25%的3种模式水平空间风速流场图

Fig. 3 Horizontal wind velocity field in three schemes of windbreak forests at 25% cover

幅度较大,且在林带处均出现了峰值;0.4—3cm 各个高度的风速沿风速方向为降低的过程,在林带处均出现一个较小的峰值。

为了避免林带“累加效应”对结果分析的影响,因此比较两行一带模式第二带后与单行一带模式二三带中部(图中长线表示的位置)的风速值。从图中可以看出两行一带模式0.4—12cm 高度的风速在第二带后低于单行一带模式二三带中部同一高度风速,且这几个高度的风速值趋于一个定值,而单行一带模式未趋于一个定值。这说明两行一带模式对垂直空间风速影响高于单行一带,且在两行一带模式后将不同高度的风速都降低到一个稳定的风速范围内,因而两行一带模式降低风速的稳定性要高于单行一带模式。

2.2.3 降低风速效果比较

(1) 降低水平风速效果

对 10m/s 实验风速下相同覆盖度下 3 种模式水平空间风速观测值采用 SAS 软件进行方差分析,分析采用 F 检验过程。通过检验可知当 $F=4.59$ 时,显著水平为 0.01,根据检验结果可知 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式与另外两种模式内的水平空间风速有显著差异,而后两种模式内的水平空间风速无显著差异。检验给出了 3 种模式内的平均风速,其中 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式的平均风速为 4.21m/s,单行一带模式的平均风速为 4.74m/s, $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式的平均风速为 4.77m/s。

对 15m/s 实验风速下相同覆盖度下 3 种模式水平空间风速观测值采用 SAS 软件进行方差分析,分析采用 F 检验过程。通过检验可知当 $F=2.24$ 时,显著水平为 0.11,即 3 种模式的水平空间风速均无显著差异。检验给出了 3 种模式内的平均风速,其中 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式的平均风速为 6.63m/s,单行一带

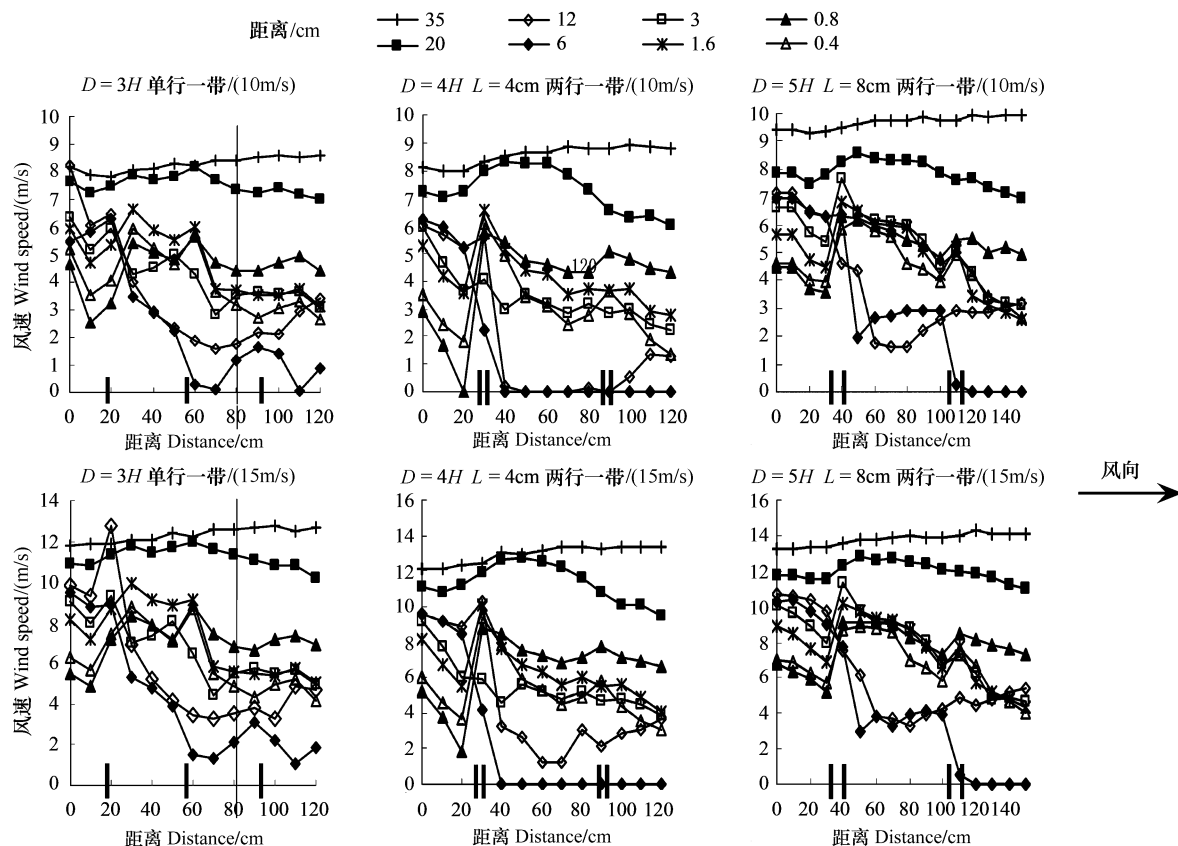


图4 覆盖度为25%的3种模式垂直空间风速变化图 vertical

Fig. 4 Vertical wind velocity field in three schemes of windbreak forests at 25% cover

模式的平均风速为7.24m/s, $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式的平均风速为7.2m/s。

对两种模式在10m/s和15m/s的实验风速下的水平空间风速与对照风速进行处理后绘制出表3。通过对表4中数据分析可以看出:在10m/s实验风速下, $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式不仅降低整个模式内的水平空间风速的效果高于另外两种模式,在不同林带前后降低水平空间风速的效果也同样高于另外两种模式。另外两种模式在降低整个模式内的水平空间风速的效果相同,但 $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式除第一带前降低水平空间风速的效果低于单行一带模式外,一二带间和第二带后的降低水平空间风速的效果均低于单行一带模式。在15m/s的实验风速下,3种模式降低整个模式内的水平空间风速的效果相同,但两种两行一带模式除第一带前降低水平空间风速的效果低于单行一带模式外,一二带间和第二带后降低水平空间风速的效果都高于单行一带模式,且 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式降低水平空间风速的效果高于 $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式。进一步分析可以看出,导致这一现象的原因为两行一带模式在二带间和第二带后降低最大风速的能力高于单行一带模式。

(2) 降低垂直风速效果

同样在分析覆盖度为25%的单行一带和两行一带模式降低垂直空间风速效果时,为了避免林带累加效益的影响,只分析单行一带模式沿来风方向上0—80cm范围内的数据,然后对两种模式在10m/s和15m/s的实验风速下的水平空间模式采用SAS软件进行方差分析。

对两种模式在10m/s的实验风速下0.4—50cm高度的垂直空间风速值检验可知,当 $F=3.45$ 时显著水平为0.03, $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式降低垂直空间风速的效果高于单行一带模式与 $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式,后两种模式降低垂直空间风速的效果相同。 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式垂直空间风速平均值为4.93m/s,单行一带模式垂直空间风速平均值为5.33m/s, $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式垂直

空间风速平均值为 5.81 m/s 。对两种模式在 15 m/s 的实验风速下 $0.4\text{—}50\text{ cm}$ 高度的垂直空间风速值检验可知,当 $F = 1.83$ 时显著水平为 0.16 ,单行一带模式与两种两行一带模式降低垂直空间风速的效果相同。 $D = 4H$, $L = 4\text{ cm}$ 的两行一带模式垂直空间风速平均值为 7.89 m/s ,单行一带模式垂直空间风速平均值为 8.15 m/s , $D = 5H$, $L = 8\text{ cm}$ 的两行一带模式垂直空间风速平均值为 8.75 m/s 。

表 3 覆盖度为 25% 的 3 种模式水平空间风速与对照风速比较

Table 3 Horizontal wind speed of three schemes of windbreak forests compared with the control site at 25% cover

风速 Wind speed	模式 Pattern	项目 Project	第一带前 Before first belt	一二带间 Between two belts	第二带后 Behind two belts
10m/s	两行一带 TLOB $D = 4H, L = 4\text{ cm}$	平均风速 AS/(m/s)	5.71 ± 1.17	3.89 ± 1.46	3.42 ± 1.41
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	13.5	41.1	48.2
		最大风速 MS/(m/s)	7.41	6.6	5.49
		最小风速 IS/(m/s)	1.28	1.08	0.26
	两行一带 TLOB $D = 5H, L = 8\text{ cm}$	平均风速 AS/(m/s)	6.34 ± 1.37	4.77 ± 1.56	3.53 ± 1.2
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	3.9	27.7	46.5
		最大风速 MS/(m/s)	9.3	9.07	6.41
		最小风速 IS/(m/s)	4.06	1.76	1.6
	单行一带 OLOB	平均风速 AS/(m/s)	5.87 ± 1.29	5.39 ± 1.74	4.93 ± 1.15
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	11.1	18.3	25.3
		最大风速 MS/(m/s)	7.68	8.66	7.79
		最小风速 IS/(m/s)	2.61	2.21	1.67
	两行一带 TLOB $D = 4H, L = 4\text{ cm}$	平均风速 AS/(m/s)	9.05 ± 1.62	6.38 ± 2.15	5.02 ± 2.24
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	8.1	35.2	49.0
		最大风速 MS/(m/s)	12.18	9.93	8.34
		最小风速 IS/(m/s)	3.71	1.75	0.16
15m/s	两行一带 TLOB $D = 5H, L = 8\text{ cm}$	平均风速 AS/(m/s)	9.59 ± 2.35	7.12 ± 2.22	5.39 ± 1.59
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	2.6	27.7	45.3
		最大风速 MS/(m/s)	13.94	12.97	9.33
		最小风速 IS/(m/s)	0.17	0.21	1.58
	单行一带 OLOB	平均风速 AS/(m/s)	9.02 ± 1.68	7.89 ± 2.94	5.02 ± 2.24
		降低对照风速比率/% The ratio of wind speed reduction over control	8.4	20.0	49.04
		最大风速 MS/(m/s)	11.8	12.96	10.41
		最小风速 IS/(m/s)	5.28	1.08	1.22

根据两种实验风速下,覆盖度为 25% 的单行一带和两行一带模式与对照风速比较结果得出表 4。从表 4 中可以看出,在两种风速条件下 3 种模式各个高度的风速均有一定的降低,对 $0.4\text{—}12\text{ cm}$ 高度风速的降低效果显著,且近地表(0.4 cm)降低风速的效果更显著。进一步观察可以看出, $D = 4H$, $L = 4\text{ cm}$ 模式各个高度降低风速的效果都高于另外两种模式,这符合粗糙元素的平均高度 H 、植被覆盖率 σ 和叶面积指数 LAI 是垂直风速廓线的最基本参数^[23] 这个研究结果。

3 结果与讨论

3.1 对于覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式,在 10 m/s 和 15 m/s 的实验风速下都形成了风影区和风速加速区相互组合的水平风速流场结构。在两种实验风速下,单行一带模式在第一带出现了两个相互连接的风速加速区,在两行一带模式内没有出现类似的流场分布,且从整体上来看两行一带模式中风速变化(图中颜色的深度变化)较小,这说明了两行一带模式林带挡风作用更大,对风速影响更稳定。覆盖度为 25% 的单

行一带和两行一带模式,在 10m/s 和 15m/s 实验风速下同样形成了风影区(即背风侧的风速显著降低区)和风速加速区相互组合的流场结构,两行一带模式中的风速曲线变化较平缓,而单行一带模式中的风速曲线变化较紧密。这说明两行一带模式在整个模式内的风速影响的稳定性要强于单行一带模式。

表 4 覆盖度为 25% 的 3 种模式垂直空间降低对照风速比率

Table 4 The ratio of wind speed reduction in vertical space in two schemes of windbreak forests at 25% cover

风速 Wind speed	项目 Project	垂直空间 Vertical space/cm									
		50	35	20	12	6	3	1.6	1.2	0.8	0.4
10m/s	对照风速 Controlwind speed	9.95	9.92	9.3	9.21	8.61	7.92	7.35	6.96	6.42	6.41
	TLOB $D=4H$, $L=4\text{cm}$	8.87	13.76	21.84	74.29	67.46	56.75	43.91	46.62	37.11	51.65
	TLOB $D=5H$, $L=8\text{cm}$	6.95	2.5	15.54	58.86	55.98	32.53	33.48	35.06	19.83	29.88
	OLOB	7.42	17.77	17.54	57.52	64.1	41.16	28.24	26.13	29.9	28.72
15m/s	对照风速 Controlwind speed	14.86	14.72	13.83	13.78	13.06	12.02	11.09	10.52	9.76	9.66
	TLOB $D=4H$, $L=4\text{cm}$	6.66	12.15	18.16	65.85	65.67	54.06	42.58	43.14	32.73	45.24
	TLOB $D=5H$, $L=8\text{cm}$	5.08	6.39	13.4	55.22	59.05	33.81	31.64	32.78	20.98	29.8
	OLOB	7.69	17.43	17.26	52.82	60.78	39.78	27.37	26.23	27.13	28.4

3.2 覆盖度为 20% 的单行一带和两行一带模式垂直空间风速变化为:对 20cm 以上高度风速影响较低;6cm 和 12cm 的风速降低较大,且单行一带模式由于来风通过树冠层时出现了“狭管效益”,在第一带和第二带出现峰值,两行一带模式在风速通过林带前就出现了显著的降低;3—0.4cm 高度沿风速方向风速同样降低,对风速降低的幅度小于 6cm 和 12cm,且第一带和第二带处均出现峰值。覆盖度为 25% 的单行一带和两行一带模式垂直空间风速变化规律与覆盖度为 20% 的模式相近。因此将垂直空间风速划分为微变化层(20—35cm)、显著变化层(6cm)和稳定变化层(0.4—3cm)层次。

3.3 在低风速下(10m/s)覆盖度为 20% 的单行一带与两行一带模式降低水平空间风速的效果相同;风速升高到高速(15m/s),两行一带模式降低水平空间风速的效果要优于单行一带模式。在低风速下(10m/s),覆盖度为 25% 的 $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 两行一带模式降低水平空间风速的效果高于同覆盖度下的单行一带模式和 $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 两行一带模式,而后两种模式降低水平空间风速的效果无显著差异;风速升高到高速(15m/s)后,3 种模式降低水平空间风速的效果相同。

3.4 在 10m/s 和 15m/s 实验风速下,覆盖度为 20% 的两行一带与单行一带模式对所测高度的风速均有一定的降低作用,除 0.4cm 高度前者降低对照风速的比率大于后者之外,各个高度对风速的降低效果相同。这说明了前者对近地表风速的降低作用要高于后者。覆盖度为 25% 时, $D=4H$, $L=4\text{cm}$ 的两行一带模式降低垂直空间风速的效果高于单行一带模式与 $D=5H$, $L=8\text{cm}$ 的两行一带模式,后两种模式降低垂直空间风速的效果相同,并且前者同样表现出对近地表风速的降低作用高于后两种模式。

References:

- [1] Wu Z Y. Chinese Vegetation. Beijing: Science Press, 1980: 956-979.
- [2] Qiu M X. Vegetation in Chinese middle desert. Lanzhou: Gansu Civilization Press, 2000.
- [3] Han D R, Yang W B, Yang M R. The water dynamic relation and application of shrub or arbor in arid and semiarid sandy land. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1994: 34-56.
- [4] Zhu Z D, Liu S. Desertification process and harnessing in north, China. Beijing: Chinese Forestry Press, 1981: 3-7.
- [5] Zhu Z D, Chen G T. Chinese Soil Desertification. Beijing: Science Press, 1994: 14-67.
- [6] Gao S W. Control Desertification and Silvics. Beijing: Chinese Forestry Press, 1984: 34-46.
- [7] Ma S W. Study on the Structure of the Sand Blown Flow. Journal of Desert Research, 1988, 8(3): 8-22.
- [8] Dong Z B. Fifty years study of Chinese the Sand Blown Physics. Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 293-305.
- [9] Tsoar H, Moller J T. The role of vegetation in the formation of lonear sang dunes. Aeolian Geomorphology Symposium, 1986: 75-95.
- [10] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces. Earth Surface Processes and Landforms, 1986, 11(5): 505-

514.

- [11] Van den Ven T A M, Fryrear D W, Spaan W S. Vegetation characteristics and soil loss by wind. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 44 (4): 347-349.
- [12] Wolf S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography*, 17(1), 1993. 50-68.
- [13] Ling Y Q, Qu J J, Jin J. The effect of thin natural vegetation on the sediment runoff. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(1): 12-17.
- [14] Yang W B, Wang J Y. The study of features of using water and optimizing scheme structure for man-made forest in arid and semiarid. *Forestry Science*, 2004, 40(5): 3-9.
- [15] Yang W B, Zhao A G, Wang J Y, Yao J C, Tian Y Z, Hu X L, Yang H Y. The study of windbreak and sand-fixing effect about low cover level scheme structure *Artemisia halodendron* shrub. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(1): 108-112.
- [16] Qu J J, Zhang W M, Wu D. Wind tunnel experiment on pyramidal sand wave. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(20): 1870-1872.
- [17] Yang W B, Ding G D. Windbreak effects of belt scheme *Caragana korshinskii* plantation for sand-fixation. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (12): 4106-4112.
- [18] Yang W B, Lu Q, Wu B. Wind tunnel experiment on wind structure and windbreak effect within different level scheme thin cover shrub. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 108-112.
- [19] Zhu Z Y, Ding G D, Yang M Y. *Sand and Wind Physics*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991.
- [20] Hu M C, Zhao A G, Li N. Sand-trapping Efficiency of Railway Protective System in Shapotou Tested by Wind Tunnel. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(6).
- [21] Yang W B. The preponderance and benefit analysis of "two-row- and-one-belt" *poplar* high productivity forest. *Forestry Science and Technology*, Inner Mongolia, 1997, (3): 5-9.
- [22] Han Z W, Liu X W, Yao Z Y, Sao G S. Wind Tunnel Test on Sand preventing Mechanism of Double-filmed Sand bag Obstacle and Upright Checkerboard Sand-barrier. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(1): 39-44.
- [23] Yue T X, Wang W, Yu Q, Zu Z L, Wang Y A, Zang S H, Du Z P. Simulation of Vertical Wind Profile and Its Relevant Parameters under Neutral Condition. *Resources Science*, 2006, 28(1): 136-144.

参考文献:

- [1] 吴征镒主编. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 430-650.
- [2] 丘明新主编. 我国沙漠中部地区植被. 兰州: 甘肃文化出版社, 2000.
- [3] 韩德如, 杨文斌, 杨茂仁. 干旱半干旱区沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 34-56.
- [4] 朱震达, 刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划. 北京: 中国林业出版社, 1981: 3-7.
- [5] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, 1994: 14-67.
- [6] 高尚武主编. 治沙造林学. 北京: 中国林业出版社, 1984: 34-46.
- [7] 马世威. 风沙流结构的研究. *中国沙漠*, 1988, 8(3): 8-22.
- [8] 董治宝. 中国风沙物理研究五十年. *中国沙漠*, 2005, 25(3): 293-305.
- [13] 凌裕泉, 屈建军, 金炯. 稀疏天然植被对输沙量的影响. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 12-17.
- [14] 杨文斌, 王晶莹. 干旱半干旱区人工林水分利用特征与优化配置结构研究. *林业科学*, 2004, 40(5): 3-9.
- [15] 杨文斌, 赵爱国, 王晶莹, 姚建成, 田永桢, 胡小龙, 杨红艳. 低覆盖度沙蒿群丛的水平配置结构与防风固沙效果研究. *中国沙漠*, 2006, 26 (1): 108-112.
- [16] 屈建军, 张伟民, 吴丹. 金字塔型沙波纹的风洞实验研究. *科学通报*, 1992, 37(20): 1870-1872.
- [17] 杨文斌, 丁国栋. 行带式柠条固沙林防风效果的研究. *生态学报*, 2006, 26(12): 4106-4112.
- [18] 杨文斌, 卢琦, 吴波. 低覆盖度不同水平格局的灌丛内风流结构与防风效果的风洞实验. *中国沙漠*, 2007, 27(3): 108-112.
- [19] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. *风沙物理学*. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [20] 胡孟春, 赵爱国, 李农. 沙坡头铁路防护体系阻沙效益风洞实验研究. *中国沙漠*, 2002, 22(6).
- [21] 杨文斌. "两行一带式"杨树丰产林的优势及效益分析. *内蒙古林业科技*, 1997, (3): 5-9.
- [22] 韩致文, 刘贤万, 姚正义, 邵国胜. 复膜沙袋阻沙体与芦苇高立式方格沙障防沙机理风洞模拟实验. *中国沙漠*, 2000, 20(1): 39-44.
- [23] 岳天祥, 王薇, 于强, 朱治林, 王英安, 张时煌, 杜正平. 中性条件下垂直风速廓线及其参数模拟分析. *资源科学*, 2006, 28(1): 136-144.