

# 乌兰布和沙漠不同结构防护林带的防风效能

段娜<sup>1,2</sup>, 刘芳<sup>1</sup>, 徐军<sup>1</sup>, 陈海玲<sup>1</sup>, 张格<sup>1</sup>, 郝玉光<sup>1</sup>

1. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 磴口 015200

2. 内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010010

**摘要** 为对乌兰布和沙漠地区防护林建设提供理论依据, 对乌兰布和沙漠几种典型结构和配置的防护林带进行风速观测, 结果表明: 其防风效益与林带高度、结构、疏透度等因子有关, 稀疏型林带防风效果最佳, 平均为 41.37%, 疏透型次之, 为 29.58%, 通风型防风效果最差, 为 23.92%。林带防风效能较好的疏透度为 40%~50%, 随着林带总平均疏透度的增加, 防风效能显著降低。分层疏透度不同也直接影响防风效果, 因此, 林带结构应以稀疏型为主, 林带总平均疏透度控制在 30%~50%, 分层疏透度应控制在林冠层 30%~50%, 林干层 50%。

**关键词** 乌兰布和沙漠; 防风效能; 疏透度

随着人口增长和经济的发展, 耕地不断减少, 如何遏制土地退化的发生发展、恢复提高土地生产力一直是生态环境治理的重要课题。防护林是以保护、控制、稳定地改善生态环境为主要经营目的的一种再生资源性林种, 它在减少自然灾害、改善农业生态环境、促进农作物高产稳产等方面发挥着重要的作用<sup>[1]</sup>。因此, 防护林建设作为一项集生态效益、社会效益、经济效益于一身的生物工程措施越来越受人们关注。在生态效益研究方面, 防风效益是基本效益之一<sup>[2-3]</sup>。所以, 营建防护林是其他措施无法替代的, 有其独特的优越性和可持续性。长期以来, 许多科学工作者对防护林防风效应进行了大量的科学研究, 不少科研成果在生产实践中发挥了积极作用, 都是为了能更准确地找到适合某一地区的防护林的配置方法以及防风效益, 进一步找到好的适合当地气候条件的林带配置结构。王翠等<sup>[4]</sup>通过布设各种测定仪于林带前后, 研究了防护林网的防护效益, 结果表明, 防护林带的防风效能随着高度的增加而减弱, 随着风速的增大, 沙拐枣林带和新疆杨林带的防风效能均减弱, 新疆杨林带的减弱更为明显。防护林带有效地降低了地表风速, 减轻地表风蚀。林带内的输沙量仅为外围的 10% 左右, 此外, 林带内的太阳辐射强度下降, 温度降低, 湿度显著增加, 最终说明防护林可以有效起到防风固沙, 改善区域小气候的作用。吕仁猛等<sup>[5]</sup>研究表明旷野风速对林网内风速分布及防风效能的影响比较复

杂, 并不是单一的随着风速的增大而增大或减小, 受林带结构及疏透度的影响较大。针对乌兰布和沙漠东北部风大沙多, 气候严峻, 绿洲面积需被开发利用等现状, 期望通过对乌兰布和沙漠东北缘周边防护林进行定期观测, 研究其不同配置防风效应, 以为今后该地区防护林建设提供参考依据。

## 1 研究区概况

研究区分别选择在中国林业科学研究院沙漠林业实验中心一、三、四实验场, 地处乌兰布和沙漠东北缘, 黄河冲积平原, 3 面环沙, 属于典型的风沙灾害区。乌兰布和沙漠处于温带干旱区, 水热资源极为丰富。年平均气温为 7.5~8.5℃, >10℃ 积温 3100~3400℃, 无霜期 140~160 d, 年日照时数 3100~3300 h。热量、光照、无霜期均为内蒙古沙漠最为优越的地区之一。年降水量 100~144 mm, 主要集中于 7—9 月; 年蒸发量 2400~2900 mm; 水热等环境条件使沙生、旱生、盐生植物并茂。年平均风速 3~3.7 m/s, 年大风日数 20~40 d, 风能资源较为丰富, 主害风向为西北风。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

研究区主要造林树种为新疆杨或二白杨。实验选择 6 条不同结构类型的林带, 防护林基本情况见表 1。林带结构具

收稿日期: 2015-09-17; 修回日期: 2016-07-18

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD16B0103)

作者简介: 段娜, 工程师, 研究方向为林业及荒漠化防治, 电子信箱: duanna\_2010@163.com; 郝玉光(通信作者), 研究员, 研究方向为荒漠化防治, 电子信箱: hyuguang@163.com

引用格式: 段娜, 刘芳, 徐军, 等. 乌兰布和沙漠不同结构防护林带的防风效能[J]. 科技导报, 2016, 34(18): 125-129; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.18.016

表1 各林带参数

Table 1 Parameters of shelterbelts

编号	林带结构	位置	配置	林带走向	林龄(年)	株行距/m	胸径/m	树高/m
1	通风型	三场	2新疆杨	南北	1997	2×3	27.17	14.7
2	疏透型	三场	2新疆杨	南北	1997	1×1.5	24	23.2
3	通风型	四场	小美早杨2+沙枣1	南北	2000	6×3	16	12.4
4	疏透型	一场	2二白杨	南北	1977	3×8	36.8	18.8
5	稀疏型	一场	二白杨+沙枣+杜梨+沙柳	南北	1983	2	26	16.6
6	稀疏型	一场	2新疆杨	东西	1982	2×8	26	26

体划分标准为:稀疏型结构林带疏透度30%~50%,上下枝叶稀疏,有上下均匀分布的小通风空隙;疏透型结构林带疏透度50%~60%,林冠层稀疏,有均匀分布小孔隙,林干层较大空隙;通风型结构林带疏透度大于60%,林冠层紧密,林干层有大的通风孔道,或者新栽树木未成林,上下都有大的通风孔,或树木栽植间距大,林带上下皆开型也归于通风型结构。

### 2.2 风速观测

观测时间为4月中旬,水平风速观测点布设在林带走向的中垂线上,在林带前3H、1H处和林带后1H、3H、5H、7H处(H为林带平均高度,此处表示观测点具林缘的距离),实验使用5台HOBO小型自动气象站仪,仪器设置成每1s自动记录1次风速,测定时间为10min。风杯高度分别为:20,50,100,200cm。为保证尽可能减少观测数据误差,对照点布设在地势平坦、空旷裸露及风蚀较为严重的农田中。观测间隔为1h,高度为2m。

### 2.3 林带高度观测

在各实验场中选取3个不同高度且各高度林带长势均匀一致的树木,测定其风速。每10株为1个重复,其平均值即为林带高度。

### 2.4 防风效能观测

防风效能计算公式<sup>[6]</sup>:

$$E_x = (U_{x1} - U_{x2}) / U_{x1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $E_x$ 为防护林附近距离测点 $x_i$ 处高度为2m处防风效能, $U_{x1}$ 为高2m处对照点 $x_1$ 处的平均风速, $U_{x2}$ 为高2m处防护林测点 $x_2$ 处的平均风速。

### 2.5 疏透度观测

疏透度计算公式<sup>[7]</sup>:

$$\beta = a/A \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\beta$ 为疏透度, $A$ 为林分林缘垂直面上的投影总面积, $a$ 为总面积上透光空隙的面积。

实验通过照相法获取各林分相片,采用ERDAS和Photoshop图像处理软件进行处理,最后计算疏透度。

### 2.6 统计分析

试验数据采用Microsoft Excel 2003和SAS 9.0软件进行作图和方差分析。

## 3 研究结果与分析

### 3.1 同一林带不同位置防风效能的分析

就同一条防护林带而言,在林带前和林带后的不同位置,其风速不同,从而防护林起到的防风效能是不同的。

在同一条林带的林带前3H、1H处和林带后1H、3H、5H、7H处的防风效能是不同的,对沙林中心6条林带防风效能的观测,通过表2发现,5号林带的林带后1H处的防风效能最大,为88.95%,而4号林带林前1H处防风效能最小,为0.16%。总体情况下,在林带前,3H处的防风效能比1H处的防风效能小,而在林带后,1H和3H处的防风效能明显比5H和7H处的大。结果表明,不同防护林带的防护效能是不同的。

表2 同一林带不同位置防风效能

Table 2 Defending effects of the same shelterbelt in different locations

编号	防风效能/%					
	林带前		林带后			
	3H	1H	1H	3H	5H	7H
1	8.39	7.10	35.97	45.81	23.23	42.10
2	16.67	16.88	26.46	46.67	33.13	33.54
3	10.23	13.68	41.97	30.81	13.68	14.08
4	13.05	0.16	19.25	31.65	60.69	46.82
5	15.76	59.6	88.95	51.63	29.35	27.17
6	18.43	22.36	41.03	58.31	41.03	42.75

注:风速高度观测为2m。

### 3.2 林带高度对防风效能的影响

林带高度不同,其防风效能会有一定差异。从表3可以看出,高度为26m的新疆杨林带后3H处风速与旷野风速比值最小为42.26%,最大为58.97%,总体降低41.03%~57.74%;高度为23.2m的林带后各测点处风速较旷野降低26.46%~46.67%;高度为14.7m的林带后3H处风速较旷野风速比最小为54.19%,最大达到76.77%,总体降低45.81%~23.23%,林带降低风速百分比随着林带高度的增加而增加。由此可见,相同配置的林带,削弱风速的作用及有效防护距离,主要与林带高度有关,林带高度越大,有效防护距离越大。

表3 不同高度新疆杨林带降低风速的作用

Table 3 Functions of lowering wind speed of different height Populus Bolleana Shelterbelts

林高/m	对照风速/(m·s <sup>-1</sup> )	防风效能/%	林带后各测点风速与旷野同高度风速的比值/%			
			1H	3H	5H	7H
14.7	6.20	27.10	64.03	54.19	76.77	57.90
23.2	4.80	28.89	73.54	53.33	64.58	66.46
26	4.07	37.32	58.97	42.26	58.97	57.25

### 3.3 不同林带结构类型对防风效能的影响

防护林在特定空间形成特定外部形态,主要原因在于树种组成及各部分在林带内空间分布的差异,最终形成稀疏结构林带、疏透结构林带和通风结构林带。本实验通过测定3种不同类型林带,结果表明结构类型对林带防风效能有显著影响。从表4可以看出,不同林带结构的防护林防风效能具有显著性差异( $\alpha=0.05$ )。稀疏型林带的防风效能最大,平均为41.37%,最高45.41%,通风型防风效能最小,平均为

24.86%,最低20.74%,疏透型居中,平均为29.58%。出现这种现象的主要原因是:稀疏型林带具有分布均匀的空隙,树干及枝叶等部分对气流的摩擦、分割和阻挡消耗较多动能,导致风速降低显著;疏透型林带树干部空隙较大,气流相对畅通,动能消耗较少,从而风速降低相应减少;与其他结构林带相比,通风型林带林干层通风孔道相对较多,气流阻力相对较小,风速降低不明显。基于以上原因,在乌兰布和沙区营建防护林时可根据当地情况尽可能选择稀疏型林带结构。

表4 防护林带结构对防风效能的影响

Table 4 Effect of shelterbelt structure on the defending effect

林带编号	林带结构	调查类型	疏透度/%	防风效能/%	平均/%
5	稀疏型	二白杨,沙枣,杜梨,沙柳	41	45.41	41.37a
6		新疆杨	49	37.32	
2	疏透型	新疆杨	55	28.89	29.58b
4		二白杨	51	30.27	
1	通风型	新疆杨	63	27.10	23.92c
3		小美早杨,沙枣	62	20.74	

注:表中不同字母表示差异显著( $\alpha=0.05$ )。

### 3.4 林带疏透度与防风效能的关系

区别林带结构是否优良的重要指标之一是其疏透度,它也是评价林带结构的量化指标<sup>[8]</sup>。疏透度不同,防风效能也明显不同。从表5可以看出,林带防风效能较好的疏透度为40%~51%。随林带平均疏透度的增加,防风效能逐渐降低。分层疏透度直接影响防风效果,例如1号和3号林带平

均疏透度分别为63%和62%,相差较小,但3号林干层疏透度比林冠层的疏透度大的多,防风效能明显减小。这说明分层疏透度的相差直接影响防风效果。5号稀疏型林带林冠层与林干层疏透度相差2度,与6号林带相比防风效能相对较好,6号林带疏透度的值相差4度,防风效能较9号差。2、4号林带为疏透型林带,疏透度适中,但防风效能较稀疏型的差。1、3号总的疏透度过大,防风效能最差。因此,在风沙区根据当地条件选择以稀疏型为主配置的主林带。

表5 林带疏透度对防风效能的影响

Table 5 Effect of shelterbelt porosity on defending effect

林带结构	编号	林带疏透度/%			防风效能/%
		林冠层	林干层	平均	
稀疏型	5	40	42	41	45.41
	6	47	51	49	37.32
疏透型	2	52	58	55	28.89
	4	48	54	51	30.27
通风型	1	61	65	63	27.10
	3	58	66	62	20.74

### 3.5 不同防护林降低风速效应

对中心3个实验场中3种结构林带防风效应进行观测,结果表明:5号、6号稀疏结构林带,迎风面和背风面防风效能均最大,最大值分别为37.68%和45.41%,风沙流穿越林带时受到一定的阻挡和摩擦作用,但是大部分均匀穿过林带,消耗能量的同时降低风速。因此风速逐渐降低,最终在林带后1~7H范围内。2号、4号为疏透型林带,气流通过时形成2条途径,一条是从林带上部越过,形成高速区;另一条是从树冠部分穿过,在林后形成较多小涡旋,导致风速降低。又由于

小涡旋的速度剪切小,因此防护距离变大。对于通风结构的1号、3号林带,气流到达林前时,与2号和4号林带相似,在林带上方形成高速区;中间气流平稳穿过林冠层;下层气流穿过树干部,形成涡旋和高速区,最终水平有效防护距离大。

从3幅风速分布特征图中可以看出,无论何种结构,风速在林后均有不同程度的降低。稀疏型林带(图1)和疏透型林

带(图2)林后速度均有不同程度的降低,远远大于通风结构的防护林(图3),防护距离较长,在测试区内均有风速降低的特点,但由于疏透型林带疏透度不均,下部气流较畅通,降低风速效果略低于稀疏型林带,而通风型林带在林后具有较长风速恢复区,防风能力不足。因此,相对其他两种结构林带,稀疏型林带防护效果最好。

表6 不同林带结构降低风速的作用

Table 6 Function of lowering wind speed of different shelterbelt structures

编号	对照点风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	迎风面风速/( $m \cdot s^{-1}$ )		防风效能/%	背风面风速/( $m \cdot s^{-1}$ )				防风效能/%
		3H	1H		1H	3H	5H	7H	
1	6.20	5.68	5.76	7.75	3.97	3.36	4.76	3.59	27.10
2	4.80	4.00	3.99	16.78	3.53	2.56	3.21	3.19	28.89
3	7.53	6.76	6.50	11.96	4.37	5.21	6.50	6.47	20.74
4	6.13	5.33	6.12	6.61	4.95	4.19	2.41	3.26	30.27
5	5.52	4.65	2.23	37.68	0.61	2.67	3.90	4.02	45.41
6	4.07	3.32	3.16	20.37	2.40	1.72	2.40	2.33	37.32

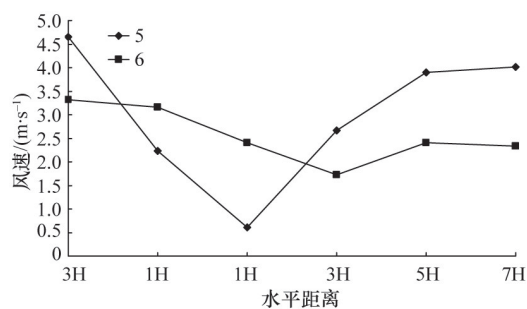


图1 稀疏型林带风速分布特征

Fig. 1 Wind speed distribution characteristics of sparse structure shelterbelt

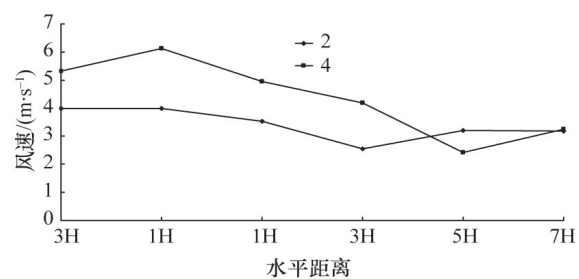


图2 疏透型林带风速分布特征

Fig. 2 Wind speed distribution characteristics of porous structure shelterbelt

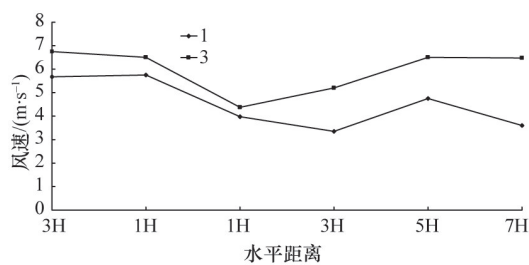


图3 通风型林带风速分布特征

Fig. 3 Wind speed distribution characteristics of ventilation structure shelterbelt

#### 4 讨论

防护林是一种人工建立的改造自然环境且能达到人类预期目的的生态措施,包括农田防护林、海岸防护林、公路防护林以及“三北”防护林等<sup>[9]</sup>,一般建立在受保护区域的边缘地带,以期防御恶劣环境变化。张延旭<sup>[3]</sup>研究结果显示,不同林带结构的防风效能具有极显著差异,稀疏型、疏透型和通

风型林带的防风效能依次减弱。本研究与以上结果一致,通过对乌兰布和沙漠几种典型结构和配置的防护林带进行风速观测,结果显示不同结构林带的防风效能各不相同:稀疏型防风效果最好,疏透型次之,通风型相对较差。随林带疏透度的增加,防风效能逐渐减小,分层疏透度的不同,也会影响防风效果。3种不同结构林带降低风速作用也不同,稀疏型结构林带防风效能最高达到45.41%。防护林降低风速作用随着林带高度的增大而增强,林带随着高度的增加,其有效防护距离增大。本研究测定了同一林带不同位置的防风效能,结果表明不同位置的防风效能是不同的,迎风面1H处的防风效能大于3H处,背风面1H和3H处的防风效能大于5H和7H处的防风效能,而且背风面的防风效能大于迎风面的防风效能。背风面最大防风效能达到88.95%。

#### 5 结论

中国林科院沙漠林业实验中心一、三、四实验场的防护林带其防风效益与林带高度、结构、疏透度等因子有关,稀疏

型林带防风效果最佳, 平均为 41.37%, 疏透型次之, 为 29.58%, 通风型防风效果最差, 为 23.92%。林带防风效能较好的疏透度为 40%~50%, 随着林带总平均疏透度的增加, 防风效能显著降低。分层疏透度不同也直接影响防风效果, 因此, 林带结构应以稀疏型为主, 林带总平均疏透度控制在 30%~50%, 分层疏透度应控制在林冠层 30%~50%, 林干层 50%。

#### 参考文献 (References)

- [1] 高岗. 河套灌区杨树农田防护林效益研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.  
Gao Gang. Studies on the comprehensive benefits about two kinds of poplars of farmland protective forest in the Hetao Area[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agriculture University, 2006.
- [2] 周洪华, 李卫红, 冷超, 等. 绿洲—荒漠过渡带典型防护林体系环境效益及其生态功能[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 82-90.  
Zhou Honghua, Li Weihong, Leng Chao, et al. Effect of environmental and ecological function of shelterbelts in oasis-desert ecotone of the lower tarim river[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(1): 82-90.
- [3] 张延旭. 乌兰布和沙漠绿洲防护林结构及其防风效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.  
Zhang Yanxu. Research on structure of shelter forest and windbreak effect in Ulan Buh Desert[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agriculture University, 2011.
- [4] 王翠, 雷加强, 李生字, 等. 和田地区绿洲外围农田防护林带的防护效益[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 98-103.  
Wang Cui, Lei Jiaqiang, Li Shengyu, et al. Protection benefits of farmland shelterbelt in oasis periphery of Hotan Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(1): 98-103.
- [5] 吕仁猛, 丁国栋, 郝玉光, 等. 旷野风速对林网内风速分布及防风效能的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 106-110.  
Lü Renmeng, Ding Guodong, Hao Yuguang, et al. Influence of desert Wind velocity on wind velocity distribution in forest and Windbreak effect[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(2): 106-110.
- [6] 付亚星, 王乐, 彭帅, 等. 河北坝上农田防护林防风效能及类型配置研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 279-283.  
Fu Yaxing, Wang Le, Peng Shuai, et al. Research on windproof efficiency and type configuration of farmland shelterbelt in Bashang Region of Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(3): 279-283.
- [7] 杨婷婷, 柴会强, 姚国征, 等. 乌兰布和沙漠绿洲农田防护林防风阻沙效益研究[J]. 林业资源管理, 2006(2): 42-45.  
Yang Tingting, Chai Huiqiang, Yao Guozheng, et al. Study on wind breaking and sand blocking effects of farmland shelterbelts in Ulan Buh Desert Oasis[J]. Forest Resources Management, 2006(2): 42-45.
- [8] 关文斌, 李春平, 李世锋, 等. 林带疏透度数字化测度方法的改进及其应用[J]. 研究应用生态学报, 2002, 13(6): 651-657.  
Guan Wenbin, Li Chunping, Li Shifeng, et al. Improvement and application of digitized measure on shelterbelt porosity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 651-657.
- [9] 朱廷曜, 关德新. 农田防护林生态工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.  
Zhu Tingyao, Guan Dexin. Farmland protection forest ecological engineering[M]. Beijing: China Forest Press, 2001.

## On defending effects of different forest belt structures in Ulan Buh Desert

DUAN Na<sup>1,2</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>, XU Jun<sup>1</sup>, CHEN Hailing<sup>1</sup>, ZHANG Ge<sup>1</sup>, HAO Yuguang<sup>1</sup>

1. Desert Forestry Experiment Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, China

2. College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Hohht 010010, China

**Abstract** According to observations on wind velocities of different shelterbelts in Ulan Buh Desert, the paper shows that the defending effect varies with forest belt structure, height and porosity. Wind defending effect of sparse structure shelterbelt is the best, which is 41.37%, porous structure takes the second place, 29.58%, and ventilation structure is the worst, 23.92%. Shelterbelt with a porosity of 40%~50% has the best wind defending effect. With the increase of porosity, the defending effect decreases remarkably. So the structure should be sparse with a porosity of 30%~50%, and the porosity of forest canopy should be 30%~50% and the porosity of trunk, 50%.

**Keywords** Ulan Buh Desert; defending effect; porosity

(责任编辑 王媛媛)