

# 金塔县不同固沙模式的防风效益观测研究

周兰萍,张德魁,马全林,樊宝丽,肖 斌,张裕年

(甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室/省部共建国家重点实验室培育基地/甘肃省荒漠化防治重点实验室/  
甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站/甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

**摘 要:**采用 DES 梯度风观测系统对金塔县滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障和 PLA 沙障 4 种固沙模式的风速进行野外观测,分析不同固沙模式的防风效益。结果表明:1)设置沙障可以明显降低风速,风速降低幅度:PLA 沙障>仿真植物沙障>滴灌生物固沙林>砾石沙障。2)滴灌生物固沙林下风向林带边缘和中间林带内 10~30 cm 高度,风速减弱明显;砾石沙障布设在沙丘顶部对风速减弱较在平整地块强。3)地表粗糙度:PLA 沙障>滴灌生物固沙林>仿真植物沙障>砾石沙障。本研究为当地生态环境治理和防沙治沙工程提供一定的理论依据和参考价值。

**关键词:**沙障;风速;地表粗糙度;防风效益;金塔县

**中图分类号:**S771      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2020)02-0186-04

## Protection Benefits of Different Sand-fixing Measures in Jinta County

ZHOU Lan-ping, ZHANG De-kui, MA Quan-lin, FAN Bo-li, XIAO Bin, ZHANG Yu-nian

(State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating/Gansu Key Lab of Desertification Combating/  
Gansu Minqin National Station of Desertification Pasture Ecology System Research/  
Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** In order to evaluate the windbreak effect of four sand fixation measures, including drip irrigated biological sand fixation forest, gravel sand-barrier, simulated plant sand-barrier, and polylactic acid (PLA) fiber sand-barrier, DES gradient wind observing system was adopted to measure the wind speed in the field of Jinta county, Gansu Province. The results showed that: 1) setting sand barrier could significantly reduce the wind speed, the amplitude of wind reduction of four barriers was in the order of PLA sand barrier> simulated plant sand-barrier> drip irrigated biological sand fixation forest> gravel sand-barrier. 2) For the drip irrigated biological sand fixation forest, the wind speed decreased significantly in the height of 10~30 cm above ground; gravel sand-barrier set on the top of the sand dune reduced the wind speed more significantly than that on the flat ground. 3) The order of ground roughness was PLA sand barrier> drip irrigated biological sand fixation forest> simulated plant sand-barrier> gravel sand-barrier. The results of this study would provide the theoretical basis for the restoration of local ecological environment and sand control project.

**Key words:** sand barrier; wind speed; ground roughness; protection benefit; Jinta county

沙障是指采用各种材料在沙面上设置机械或植物障碍物,其最基本的作用原理是降低近地表层的风速,控制风沙流动的方向、结构,改变地表蚀积状况,减少气流中的输沙量,进而达到延缓和阻止沙丘的前移、削弱和避免风沙危害的目的<sup>[1]</sup>。其中机械

沙障是防沙工程的重要组成部分,它与生物固沙措施相辅相成,配合使用,在控制土壤风蚀、防治风沙灾害方面发挥着不可替代的作用。

自上世纪 50 年代至今,国内外学者针对沙障开展了大量研究工作,内容涉及沙障材料选择、设计方

法、分类、固沙原理及力学机制、防风固沙效能等多个方面。如袁立敏等<sup>[2]</sup>对铺设在沙丘及裸沙丘上 PLA 沙障和麦草沙障的防风效能进行研究,PLA 沙障风速效能降低程度显著大于麦草沙障( $P < 0.01$ ),PLA 沙障和麦草沙障的地面粗糙度值均随着规格的增大而减小。曹波等<sup>[3]</sup>对毛乌素沙地边缘的高立式沙柳沙障风速进行观测后发现,当对照风速高于起沙风速时,沙柳沙障内风速明显小于防护体系外风速,并指出高立式沙柳沙障的最佳高度为 1 m。高承兵等<sup>[4]</sup>对 6 种不同类型机械沙障的防风固沙效益进行评价,塑料网格沙障价值系数最高,依次为:粘土方格沙障、麦草方格沙障、土工编织袋沙障、砾石方格沙障、棉花秆方格沙障。刘贤万等<sup>[5]</sup>基于风洞实验分析了栅栏孔隙度对其防护范围和阻沙率的影响,结果表明孔隙度是影响栅栏防护范围及阻沙效益最重要的因素。郭景山等<sup>[6]</sup>的研究表明高立式和半隐蔽式沙障的组合模式可以延长沙障的防护年限,并提出孔隙度为 30% 的高立式沙障与规格为 1 m×1 m 的半隐蔽式沙障为最佳配置组合。王振亭等<sup>[7]</sup>针对草方格沙障防护区域内流畅的特点,基于数值模拟和计算得出与工程实际建议尺寸较为一致的麦草沙障网格间距与沙障高度之间数值对应关系。孙庆伟等<sup>[8]</sup>利用野外观测和空气动力学粗糙度的研究,发现草方格沙障对地表的固定和防沙效果最好,其次为有植被的条带状沙障,无植被的条带状沙障最差。柯丛茂<sup>[9]</sup>基于草方格沙障防护机理分析提出了草方格沙障沙害预报模型及相关参数的确定方法,并以此为基础对包神铁路达旗站沙害进行了预测。宋海燕<sup>[10]</sup>通过沙柳沙障对风速、地表粗糙度和近地表输沙率的影响以及防风固沙效益进行分析,相同高度的沙柳沙障,随着沙障规格的增大,其防护效果在逐渐减小,单位面积的成本也在减小。

金塔县地处河西走廊中段,属极端干旱区,区内降水稀少,植被稀疏,沙化土地分布范围广,且在东、西、北分布有 3 条流沙带,荒漠化土地面积占全县土地总面积的 64.4%,是我国风沙危害最为严重的地区之一。境内鸳鸯池、解放村 2 个大水库担负着全县 5.333 万  $\text{hm}^2$  林草地和 4 万  $\text{hm}^2$  耕地的灌溉任务。同时,由于水库地处白水泉沙带尾部,地表流沙极易随大风侵袭并大量沉积在水库内,日趋威胁着水库蓄水功能发挥和区域生态环境改善。因此,固定流沙、防治沙害,尤其是治沙护库是该县所面临的重点任务之一。

本文通过对金塔县境内库区布设的滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障和 PLA 沙障 4 种不同固沙模式下的防风效益进行研究,探讨各类沙障对地

表风速、粗糙度的影响,为内陆干旱区的生态环境治理和防沙治沙工程提供科学的建议及理论支持。

## 1 研究区概况

金塔县地处河西走廊中段,蒙新荒漠和巴丹吉林沙漠边缘,地理位置为  $39^{\circ}47' - 40^{\circ}59' \text{ N}$ ,  $97^{\circ}58' - 100^{\circ}20' \text{ E}$  附近。平均海拔 1 200 m,年平均气温  $8^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨量 64 mm,年平均蒸发量 2 567 mm,年平均相对湿度 49%,日照时数 3 193.2 h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 3 249.1 $^{\circ}\text{C}$ 。境内降雨稀少,且多集中在 6—8 月;大风频繁,夏季高温,冬春严寒,属典型的温带大陆性干旱气候。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

根据项目的研究内容并结合当地的实际情况,在金塔县解放村水库西北方向选择滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障和 PLA(聚乳酸纤维)沙障 4 个典型样地,对滴灌生物固沙林上风向林带外、中间林带内和下风向林带边缘 3 个位置和砾石沙障沙丘顶部、平整地块 2 个位置风速做了相应的测量(图 1)。



图 1 不同固沙模式位置示意图

Fig. 1 Location diagram

### 2.2 风速观测

采用 DES 梯度风观测系统测定。测量高度为 0.1、0.2、0.3、0.5、0.75 m 和 1.0 m。数据采集时间为 2013 年春季。

### 2.3 地表粗糙度观测

地表粗糙度是引用丁国栋<sup>[13]</sup>文献中的公式:

$$\lg Z_0 = \frac{U_1 \lg Z_2 - U_2 \lg Z_1}{U_1 - U_2} \quad (1)$$

式中, $Z_1$ 、 $Z_2$  为任意 2 个测点高度, $U_1$  和  $U_2$  为高度  $Z_1$  和  $Z_2$  处的风速, $Z_0$  为空气动力学粗糙度,根据各位置 10 cm 和 75 cm 高处平均风速,计算各观测

点处空气动力学粗糙度。

2.4 数据处理

利用 Excel 对所测数据进行处理和分析。

3 结果与分析

3.1 不同固沙模式对不同高度风速的影响

如图 2,滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障、PLA 沙障 4 个不同固沙模式对风速的影响测量可知,滴灌生物固沙林和 PLA 沙障在 10~30 cm 高度对风速有明显的减弱作用,而砾石沙障和仿真植物沙障对风速的影响不太明显。这与沙障材料、孔隙度、设置方式、规格、当地风况和沙源状况等有关,不同沙障降低地表面风速程度不同,从而防风效应也不同。

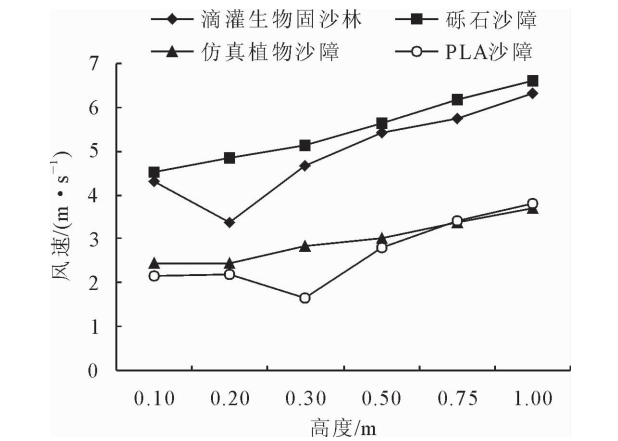


图 2 不同固沙模式对风速的影响

Fig. 2 Effects of different sand fixation models on wind speed

对不同结构类型的沙障内 0.1 m 和 1.0 m 高度的风速进行同步测定分析(表 1),表中降低比例指高度从 1.0 m 下降到 0.1 m 时平均风速的下降率。可以看出,各沙障平均风速降低幅度不同,PLA 沙障降低幅度最大,平均降低 43.07%;其次是仿真植物沙障,平均降低 33.25%;滴灌生物固沙林和砾石沙障降低幅度相差不大,且略高于砾石沙障。由此可知,布设沙障后可以明显降低地表风速,进而减弱风对地表松散沙粒的作用力,达到控制地表风沙运动的目的,且不同固沙模式对地表风速的消减程度也不相同。

表 1 不同沙障水平风速的变化

Table 1 Variation of horizontal wind speed in different sand barriers

不同沙障	平均风速		降低比例 /%
	0.1 m	1.0 m	
滴灌生物固沙林	4.32	6.31	31.55
砾石沙障	4.54	6.61	31.33
仿真植物沙障	2.46	3.68	33.25
PLA 沙障	2.16	3.79	43.07

风速是决定沙尘颗粒物运动状态的关键因素,尤其是在风沙流集中分布的近地面 0~20 cm 范围内,风速大小直接决定了地表的风蚀/积沙特征,也是评估防风固沙措施防护效能的主要指标。滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障、PLA 沙障 4 个不同固沙模式均是通过增加覆盖部分地表、增加局地地表的粗糙元来消减近地面风速进而达到防风固沙的目的。其中滴灌生物固沙林、砾石沙障、仿真植物沙障均属于疏透型固沙措施,近地表气流极易从沙障自身孔隙中通过,进而影响沙障对近地面风速的消减程度;与此相比,PLA 沙障借助其自身稳定、不透风的结构对近地面 0~20 cm 风速形成明显的阻挡作用,迫使气流在一定高度范围内抬升,从而使其下风向影响区内形成较为明显的低风速区。因此,结构上的差异是 PLA 沙障具有较高的风速下降率的主要原因。

3.2 滴灌生物固沙林林带不同位置的风速变化

如图 3,滴灌生物固沙林下风向林带边缘和中间林带内在 10~30 cm 高度,风速有明显的减弱,20 cm 处中间林带内和下风向林带边缘风速降到最低,分别为 3.37 m/s 和 1.81 m/s。设置滴灌生物固沙林带后,地表固沙林带明显改变了下垫面特征,使地表粗糙度增大。当外来风沙流经过固沙林带时,近地层气流经固沙林带孔隙间穿过,在固沙植物自身摩擦、阻挡和分割等多种作用下,在气流能量耗散的同时部分气流被迫抬升至植被高度以上,林带内风速明显减弱,同时带状固沙植物群落还对地表风沙流存在明显的拦蓄和阻挡作用,从而达到防风固沙的目的。而风速的变化还受到固沙林的树种、密度、高度、盖度等多种因素的影响。

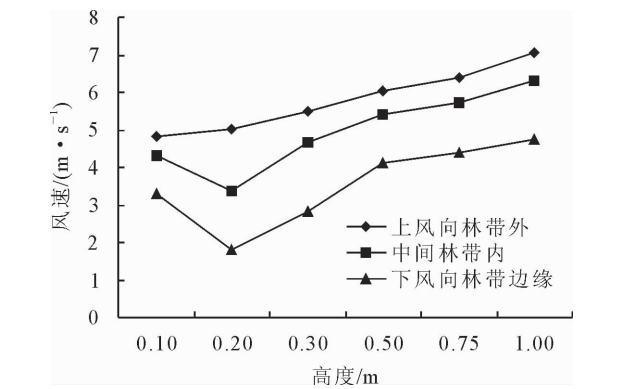


图 3 滴灌生物固沙林林带不同位置风速变化

Fig. 3 Variation of wind speed at different locations in biological sand fixation forest belt under drip irrigation

3.3 砾石沙障不同地形的风速变化

整体而言,砾石沙障布设在沙丘顶部和布设在平地对风速的影响不明显,两点间风速差异保持在

(0.01~0.55 m/s)(图4)。地形对风速的影响一般表现为因迎风坡坡面气流抬升而引起的风速增大,以及因背风坡坡面气流下沉而引起的风速减小。在本试验过程中为了避免局地地形突变对于测量结果的影响,砾石沙障在沙丘试验区的测量点布设在沙丘顶部相对较为平坦的区域,在气流完成坡面爬升进入相对平坦的沙丘顶部后其近地表结构很快恢复,进而造成砾石沙障沙丘顶部和平地风速差异不明显。而沙丘顶部和平地沙障设置方式一致,露出沙面的障体高度相似,对地表气流的阻拦作用也基本相同,所以砾石沙障布设在沙丘顶部和布设在平地对风速的影响不明显。

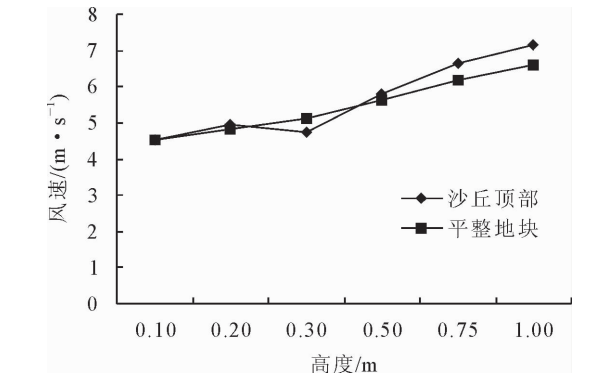


图4 砾石沙障不同地形风速变化

Fig. 4 Wind speed variation in different terrain of gravel barrier

3.4 不同固沙模式对地表粗糙度的影响

空气动力学粗糙度是近地层风速等于零的高度,通常用于表述地表对风速影响,也是描述固沙措施防风固沙效能的重要指标之一<sup>[14]</sup>。杨明元<sup>[15]</sup>曾指出,地表遮蔽物能使地表粗糙度增大,进而达到有效控制地表土壤风蚀的目的。目前所采取的高立式沙障及防风固沙林带等以阻沙为主要目的的防沙工程措施就是通过改变地表特征,有效增加地表粗糙度,消减地表风速、控制地表风沙流流量,进而达到防风固沙的目的<sup>[16-20]</sup>。本试验粗糙度以10 cm和75 cm高处风速值计算得出。

表2 不同固沙模式地表粗糙度

不同沙障	粗糙度/cm
滴灌生物固沙林	0.322
砾石沙障	0.093
仿真植物沙障	0.149
PLA沙障	0.695

由表2可知,PLA沙障地表粗糙度最大,其次是滴灌生物固沙林,砾石沙障粗糙度最小。由于不同沙障本身性质差异,使它们对气流影响的情况也不同。滴灌生物固沙林是属疏透型结构,对气流影响较小;相比而言,PLA沙障对贴近地表的气流影

响更大,尤其是在其形成稳定沙面后,会在沙障后形成较为复杂的流场结构,其中一部分气流绕过沙障体形成紊流和涡旋,另一部分被抬升,离开障格,进而导致PLA沙障内贴近地表处气流强度较小而地表粗糙度较大。

4 结论

设置沙障可以明显降低风速,减弱风的作用力,不同类型沙障减低风速的强度也不同。PLA沙障平均风速降低幅度最大,其次是仿真植物沙障,滴灌生物固沙林带和砾石沙障降低幅度相差不大,且略高于砾石沙障。

滴灌生物固沙林下风向林带边缘和中间林带内10~30 cm高度,风速减弱明显。砾石沙障布设在沙丘顶部对风速减弱较在平整地块强。

沙障的设置改造了下垫面,提高了地表粗糙度,不同类型沙障地表粗糙度不同。PLA沙障地表粗糙度最大,其次是滴灌生物固沙林,砾石沙障粗糙度最小。

参考文献:

[1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 21-22.

[2] 袁立敏, 高永. PLA沙障防风效益研究[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(3): 14-39.

[3] 曹波, 孙保平, 高永, 等. 高立式沙柳沙障防风效益研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 40-45.

[4] 高承兵, 李永兵, 聂雪花. 民勤流沙治理中机械沙障的防风固沙效益分析[J]. 甘肃林业科技, 2010, 35(3): 35-38.

[5] 刘贤万. 实验风沙物理与风沙工程学[M]. 北京: 科技出版社, 1995: 149-165.

[6] 郭景山, 朱玉明, 武占河, 等. 乌吉线沙害治理机械沙障设置的研究[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2002, 33(3): 324-327. GUO J S, ZHU Y M, WU Z H, et al. The study about machine barriers setting of sand calamity controlling along Wuda-jielantai railway[J]. Journal of Inner Mongolia University: Natural Science Edition, 2002, 33(3): 324-327. (in Chinese)

[7] 王振亭, 郑晓静. 草方格沙障尺寸分析的简单模型[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 229-232. WANG Z T, ZHENG X J. A simple model for calculating measurements of straw checkerboard barriers[J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(3): 229-232. (in Chinese)

[8] 孙庆伟, 王涛, 韩致文, 等. 北疆铁路沿线风沙危害的研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 182-186. SUN Q W, WANG T, HAN Z W, et al. Blown sand harm along North Xinjiang railway and its control[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(2): 182-186. (in Chinese)

[9] 柯丛茂. 草(枝条)方格沙障沙害预测预报模型的研究[J]. 南昌水专学报, 2000, 16(2): 49-53.



最大断面密度从  $0.47\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  增加到  $1.17\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,密实化试件的平均透气速率从  $106.08\times 10^{-7}\text{ L}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$  降到  $2.76\times 10^{-7}\text{ L}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ,降低了 97.97%,泄漏率从  $28.78\times 10^{-2}\text{ h}^{-1}$  降到  $0.58\times 10^{-2}\text{ h}^{-1}$ ,降低49.62倍,密封等级从不到 4 级提高到 3 级。

参考文献:

[1] 单秋月,赵燕.茶叶包装的材料选择与外观设计[J].福建茶叶,2015,37(6):76-77.

[2] 赵国兴,刘建忠.浅析影响馆藏文物保存的环境因素及预防性保护[J].文物世界,2015(2):70-73.

[3] 白雪峰,付艳秋,张振霞.浅谈中药房含挥发油药材的储存方法[J].中国药物经济学,2012(6):175-176.

[4] 赵欣,赵有科,吕建雄,等.压缩预处理对全尺寸杨木含水率和力学性能的影响[J].木材工业,2017,31(1):19-22.

[5] REINIATI I,OSMAN N B,DONALD A G M,*et al.* Linear viscoelasticity of hot-pressed hybrid poplar relates to densification and to the in situ molecular parameters of cellulose[J].Annals of Forest Science,2015,72(6):693-703.

[6] INOUE M,NORIMOTO M,OTSUKA Y,*et al.* Surface compression of coniferous wood lumber I. a new technique to compress the surface layer[J].Mokuzai Gakkaishi,1990,36(11):969-975.

[7] 陈瑞英,胡国楠.速生杨木密实化研究[J].福建农林大学学报:自然版,2005,34(3):324-329.

[8] 刘丹丹,关惠元,黄琼涛.热处理对表面密实材变形固定及性能影响[J].北京林业大学学报,2018,40(7):121-128.

LIU D D,GUAN H Y,HUANG Q T. Effects of thermal treatment on deformation fixation and properties of surface densified wood[J].Journal of Beijing Forestry University,2018,40(7):121-128. (in Chinese)

[9] 毛佳,曹金珍.户外用压缩防腐木——ACQ-D 木材的处理技术初探[J].北京林业大学学报,2009,31(3):100-105.

MAO J,CAO J Z. Treating technology of compressed preservative-treated wood—ACQ-D treated wood for outdoor uses[J].Journal of Beijing Forestry University,2009,31(3):100-105. (in Chinese)

[10] XIAO L P,LIN Z,PENG W X,*et al.* Unraveling the structural characteristics of lignin in hydrothermal pretreated fibers and manufactured binderless boards from *Eucalyptus grandis* [J].Sustainable Chemical Processes,2014,2(1):9.

[11] 张倩,周亚菲,刘珊杉,等.速生杨清林材基本密度与含水率特性分析[J].林业科技,2017,42(3):25-27.

[12] 沈玉林,王喜明,宁国艳.不同状态下的胡杨木材水分特性对比研究[J].西北林学院学报,2018,33(1):241-246.

SHEN Y L,WANG X M,NING G Y. A comparative study on the moisture characteristics of *Populus euphratica* under different conditions[J].Journal of Northwest Forestry University,2018,33(1):241-246. (in Chinese)

[13] 王洁瑛,赵广杰,杨琴玲,等.饱水和气干状态杉木的压缩成型及其热处理永久固定[J].北京林业大学学报,2000,22(1):72-75.

WANG J Y,ZHAO G J,YANG Q L,*et al.* Compression and permanent fixation with heat treatment of China fir under water-saturated condition and air-dried condition [J].Journal of Beijing Forestry University,2000,22(1):72-75. (in Chinese)

[14] 刁海林,罗建举,蔡道雄.水浸时效对红锥木材蠕变特性的影响[J].西北林学院学报,2015,30(2):217-220.

DIAO H L,LUO J J,CAI D X. The influence of water immersion aging on creep characteristics of *Castanopsis hystrix* wood[J].Journal of Northwest Forestry University,2015,30(2):217-220. (in Chinese)

[15] 王艳伟,黄荣凤.木材密实化的研究进展[J].林业机械与木工设备,2011,39(8):13-16.

(上接第 189 页)

[10] 宋海燕.榆林沙柳沙障的防风固沙效益分析[J].陕西林业科技,2011(3):23-25.

[11] 李愿会,赵院.金塔县土地沙漠化问题及治理对策[J].林业资源管理,2003(3):37-39.

[12] 金塔县地方志编纂委员会.金塔县志[M].兰州:甘肃人民出版社,1992:39-57.

[13] 丁国栋.地表粗糙度确定方法的研究[J].内蒙古林业,1994(6):27.

[14] 马世威,马玉明,等.沙漠学[M].呼和浩特:内蒙古人民出版社,1998:20-36.

[15] 杨明元.对地表粗糙度测定的分析与研究[J].中国沙漠,1996,16(4):383-387.

YANG M Y. The analysis and study of determ in earth surface rough degree[J].Journal of Desert Research,1996,16(4):383-387. (in Chinese)

[16] 王彦武,罗玲,张峰,等.民勤县绿洲边缘固沙林防风蚀效应研究[J].西北林学院学报,2018,33(4):64-70.

WANG Y W,LUO L,ZHANG F,*et al.* Windbreak effect of sand-fixation forest on the edge of oasis in Minqin [J].Journal of Northwest Forestry University,2018,33(4):64-70. (in Chinese)

[17] 许林书,许嘉巍.沙障成林的固沙工程及生态效益研究[J].中国沙漠,1996,16(4):392-396.

XU L S,XU J W. Sand-fixation project with forest sand-barrier and its ecological benefit[J].Journal of Desert Research,1996,16(4):392-396. (in Chinese)

[18] 符亚儒,高保山,封斌,等.陕北榆林风沙区防风固沙林体系结构配置与效益研究[J].西北林学院学报,2005,20(2):18-23.

FU Y R,GAO B S,FEN B,*et al.* Structure configuration and protecting benefit of Yulin sandbreak forest system in Northern Shaanxi[J].Journal of Northwest Forestry University,2005,20(2):18-23. (in Chinese)

[19] 唐朝胜,刘世洪,程杰仁,等.基于数值模拟的橡胶防护林防风效应探讨[J].西北林学院学报,2017,32(2):79-83.

TANG C S,LIU S H,CHENG J R,*et al.* Study on windbreak effect of rubber and protection forest based on numerical simulation[J].Journal of Northwest Forestry University,2017,32(2):79-83. (in Chinese)

[20] 朱朝云,丁国栋,杨明远.风沙物理学[M].北京:中国林业出版社,1992.