

# 天然灌草植被防治土壤风蚀机理

王翔宇<sup>1</sup>, 赵名彦<sup>1</sup>, 丁国栋<sup>1</sup>, 尚润阳<sup>2</sup>, 孙保平<sup>1</sup>, 张宇清<sup>1</sup>, 吴斌<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083; 2. 海河水利委员会, 天津 300170)

**摘要:** 通过对毛乌素沙地不同下垫面上风速、地表粗糙度、临界起沙风速、风沙流结构的观测, 发现植被覆盖可以有效防止地表风蚀。植被盖度为 40% 的固定沙地近地表 0.2 m 高度平均风速比流动沙地降低 43%, 侵蚀风的持续时数降低 85%, 临界起沙风速提高 70%, 地表粗糙度提高 180 倍; 当风沙流速度相同时, 20% 覆盖度的半固定沙地较流动沙地可平均降低输沙 62.33%; 而植被盖度为 40% 的固定沙地较流动沙地可平均降低输沙 93.07%。实验证明, 单株植物同样可以降低风速。疏透结构和透风结构的单株沙蒿分别可以使植株后 0.5 m 高度的风速较植株前方平沙地同高度的风速下降 59.4% 和 19.8%。

**关键词:** 土壤风蚀; 植被盖度; 地表粗糙度; 输沙率; 风沙流结构

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)05-0055-05

中图分类号: S157.1, P463.22

## Mechanism of Natural Shrub-Grass in Controlling Soil Erosion by Wind

WANG Xiang-yu<sup>1</sup>, ZHAO Ming-yan<sup>1</sup>, DING Guo-dong<sup>1</sup>, SHANG Run-yang<sup>2</sup>,  
SUN Bao-ping<sup>1</sup>, ZHANG Yu-qing<sup>1</sup>, WU Bin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification of the Ministry of Education, and College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Haihe River Water Conservancy Committee, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** Through field investigation on wind speed, aerodynamic roughness, rate of sand transportation, and structure of wind-sand flow on different underlying surfaces, we found that vegetation cover can effectively prevent soil erosion by wind. In comparison of the fixed sandy land of 40% vegetation coverage with the drifting sand dune without coverage, the average wind speed at the height of 0.2 m was reduced by 43%, the successive time of threshold wind velocity for soil erosion was reduced by 85%, the threshold wind velocity for soil erosion was increased by 70%, and aerodynamic roughness was increased as much as 180 times. Compared with the drifting sand dune, when the speed of wind-sand flow is similar, the rate of sand transportation on the semi-fixed sandy land was reduced by 62.33%, while fixed sandy land, by 93.07%. The results indicate that a single plant can also reduce wind speed. Two single *Artemisia ordosica* can reduce wind speed at the height of 0.5 m by 59.4% and 19.8%, respectively.

**Keywords:** soil erosion by wind; vegetation coverage; aerodynamic roughness; rate of sand transportation; structure of wind-sand flow

土壤风蚀(soil wind erosion)是指土壤及其母质在风力作用下剥蚀、分选、搬运的过程,其实质是气流或气固两相流对地表物质的吹蚀和磨蚀塑造地球景观的一个基本地貌过程<sup>[1]</sup>。

风蚀和沙尘暴对地表土壤的大量搬运和堆积作用,是导致干旱半干旱地区土地沙化和荒漠化进程最重要,最直接的过程之一<sup>[2]</sup>。在地表的风蚀过程中,地表的植被可以通过覆盖部分地表面,分解风力以及

阻挡地面输沙等多种途径,从而形成对风蚀地表土壤的影响<sup>[3]</sup>。

本文通过对毛乌素沙地不同植被覆盖条件下的平坦沙面进行野外实地观测,从定量研究出发,以封沙育草带的天然灌草植被为研究对象,分析不同植被覆盖对风速、地表粗糙度、风沙流结构的影响,研究天然灌草植被防治土壤风蚀的机理,以期能为沙区植被建设提供理论依据。

## 1 研究区自然概况

实验区位于毛乌素沙地南部的盐池县。盐池县位于宁夏回族自治区东部,地理坐标为北纬  $37^{\circ}04' - 38^{\circ}10'$ ,东经  $106^{\circ}30' - 107^{\circ}41'$ ,属于典型的过渡地带,即自东南向北,地形是从黄土丘陵向鄂尔多斯缓坡丘陵的过渡带,气候是从半干旱区向干旱区的过渡带,植被类型是从干草原向荒漠草原的过渡带,资源利用是从农区向牧区的过渡带。盐池属典型中温带大陆性气候,干旱少雨,风大沙多。全境以荒漠草原和干草原为主,年均降雨量为 280 mm,年均蒸发总量为 2 403.7 mm,远大于年降水量。干旱是盐池地区自然灾害中最常见,影响范围最广,损失最大的灾害。3—5 月降水总量仅 51 mm,占年降水总量的 17.4%,是春季干旱,沙尘暴频发的主要原因。盐池县天然草场主要以苦豆子、牛心朴子、甘草、白草、赖草、牛枝子、短花针茅、黑沙蒿、芨芨草、白刺、盐爪爪共 11 大群落为主<sup>[4-5]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 实验样地

2006 年 4 月,在位于宁夏盐池王乐井乡毛乌素沙地南缘,在已经封育多年的缓起伏沙质草地上,选择具有代表性流动沙地(盖度为 0%),盖度为 20% 和 40% 的生长有籽蒿(*Artemisia sieversiana* Willd)、沙蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch)、白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)等植被的半固定沙地和固定沙地。同时,为了研究单株植物对风速和输沙率的影响,在空旷地选择两株沙蒿进行单株实验。

(1) 流动沙地。地势开阔,沙面裸露,沙地上有零散分布的狗尾草(*Setaria viridis*)、沙米(*Agripophyllum squarrosum*),平均高度在 5 cm 左右,平均覆盖度在 5% 以下。沙粒间黏结力较小,沙粒流动性大,风沙流动比较强烈。实验观测小区规格为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。

(2) 半固定沙地。地势平坦,主要植物种是油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch)、沙生针茅(*Stipa glareosa* P. Smirn)、细枝盐爪爪(*K. gracile* Fenzl)等。春季平均高度为 25 cm,分布比较均匀,植被盖度为 20%。土壤以风沙土为主,黏粒含量低,结构疏松,沙面固结不均,部分地表有沙结皮。实验观测小区规格为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。

(3) 固定沙地。地势起伏不平,主要植物种是油蒿、籽蒿、白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)、沙生针茅、细枝盐爪爪、柠条(*Caragana korshinskii* Kem.)等,春季平均高度为 30 cm,植被盖度为 40% 左右,沙

面固结,地表有沙结皮。实验观测小区规格为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。

(4) 为了研究方便,将两株沙蒿分别命名为沙蒿 A 和沙蒿 B。沙蒿 A 位于流动沙地,地形北低南高,相对平坦;植株高度为 1.2 m,冠幅为  $0.9\text{ m} \times 1.1\text{ m}$ ,为疏透偏紧密结构,周围半径 6 m 内无其它植被。沙蒿 B 地形条件和沙蒿 A 一致,植株高度为 1.0 m,冠幅为  $0.98\text{ m} \times 1.20\text{ m}$ ,为透风结构。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 风速及输沙率观测

(1) 天然植被带研究。在流动沙地、半固定沙地及固定沙地实验观测小区中央及 4 个角,采用 PG-2F 型多通道风速风向自动采集仪测定 0.2 m 和 1.0 m 高的风速,同步设置组合式多通道通风集沙仪,收集 0—48 cm 高度层的沙量,采集时间为 10 min,采样完成后将沙样带回室内用电子天平称重,计算各测点的输沙率,分析不同植被盖度条件下各样地的风沙流结构和风速降低状况,探讨天然植被的防风阻沙效益(图 1)。

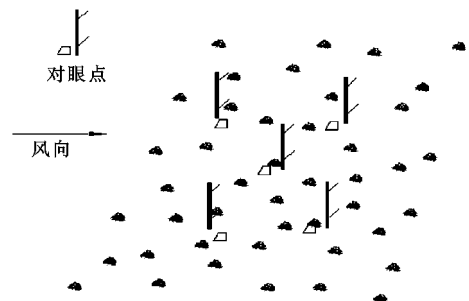


图 1 固定沙地天然灌草植被实验布局图

(2) 单株沙蒿研究。采用 PG-2F 型多通道自计风速风向仪观测单株沙蒿周围风速。风速观测点沿风向布设在植株迎风面  $2H, 1H$ ,背风面  $1H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H$ ,以及垂直于风向的植株两侧  $0.5H, 1H, 1.5H$  处,其中  $H$  为植株的高度(此处表示观测点的距离),风速观测高度根据植株高度而定。同步在植株迎风面  $2H, 1H$ ,背风面  $1H$ ,以及侧面  $1H$  处设置集沙仪收集地表 0—48 cm 高度层内的沙量,采集时间为 3 min,沙样带回室内用  $1/1\ 000\text{ g}$  感量的电子天平称量,计算各测点单位时间内的输沙率(图 2)。

2.2.2 地表粗糙度观测 粗糙度是近地表风速为零的高度,它是反映地表对风阻抗的重要参数<sup>[6]</sup>。根据杨明远<sup>[7]</sup>的研究,地表覆盖物能够有效地增大地表粗糙度,减缓土壤风蚀。

根据丁国栋<sup>[8]</sup>给出的地表粗糙度计算公式

$$\lg Z_0 = \frac{u_1 \lg Z_2 - u_2 \lg Z_1}{u_1 - u_2}$$

式中:  $Z_1, Z_2$  ——地表面任意两个高程;  $u_1, u_2$  —— $Z_1, Z_2$  两个高程上的风速;  $Z_0$  ——该地表的粗糙性指标。

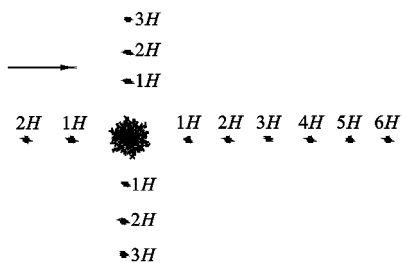


图 2 单株沙蒿观测实验布设

2.2.3 临界起沙风速观测 当风力逐渐增大到某一临界值后,地表沙粒或土壤物质开始脱离静止状态而开始运动,这个使沙粒或土壤物质开始运动的临界风速称为临界起沙风速。一切超过临界起沙风速的风,称起沙风。临界起沙风速的大小直观地反映了在特定风力条件下,不同利用类型地表抵抗土壤风蚀的能力。临界起沙风速越大,地表越不易发生土壤风蚀。当地表风速高于临界起沙风速时,土壤发生风蚀。起沙风速与沙粒粒径、地表性质、地表湿度、植被条件以及起动方式等因素有着密切的关系。

观测试验设置在自然平坦的沙地上,采用 DEM-6 型三杯风向风速表(精度在 0.2 m/s)进行观测,风速仪布设在距下垫面垂直高度 200 cm 处。观测人员观测下垫面沙粒的起动情况,当在风力作用下有沙粒开始运动时,记录该时刻风速,多次测量取其平均值。

### 3 研究结果分析

#### 3.1 天然灌草植被对近地表风况和空气动力学参数的影响

由于植被的存在,分散了地面上一定高度内的风动量,减弱了近地表的风力作用,近地表层平均风速随植被盖度的增大明显降低;加上植被覆盖地表,避免了气流和风沙流直接吹蚀地表,因此随着植被盖度的增加临界起沙风速明显增加。同时,植被的存在相当于地面向上位移了一定距离,加大了近地面层的风力梯度,从而加大了地表空气动力学粗糙度。

通过对研究区 4 个大风天气下的野外观测发现(表 1),在春季风沙活动期,天然灌草植被从流动沙地(植被盖度为 0)到固定沙地(植被盖度为 40%),随着植被盖度的增大,临界起沙风速和地表的粗糙度随之增大。由表 1 可知,2 m 高度的起沙风速从流动沙地的 4.6 m/s 增至固定沙地的 7.8 m/s,提高了近 0.7 倍;粗糙度从流动沙地的 0.015 cm 增至固定沙地的

2.753 cm,约提高了 180 倍。同时,随着植被盖度的增大,近地表层 20 cm 高度的平均风速明显降低,侵蚀风的持续时数也有所减小。其中,近地表 20 cm 高度平均风速由流动沙地的 6.85 m/s 降至固定沙地的 3.9 m/s,下降了 43%左右;侵蚀风的持续时数由流动沙地的 2 h 降至固定沙地的 0.3 h,下降了 85%。

表 1 天然灌草对近地表风况和空气动力学参数的影响

观测时间	空气动力学参数	流动	半固定	固定
		沙地	沙地	沙地
17 日 12 —15 时	20 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	6.9	5.2	3.9
	100 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	8.4	8.1	7.1
	临界起沙风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	4.6	5.6	7.8
	侵蚀风持续时间/min	125.0	64.4	21.7
20 日 10 —13 时	粗糙度/cm	0.01	1.12	2.81
	20 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	7.3	5.3	4.0
	100 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	8.9	8.2	7.2
	临界起沙风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	4.6	5.6	7.8
23 日 13 —16 时	侵蚀风持续时间/min	143.0	69.0	25.0
	粗糙度/cm	0.01	1.06	2.68
	20 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	6.7	5.1	3.9
	100 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	8.2	7.9	7.0
25 日 11 —14 时	临界起沙风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	4.6	5.6	7.8
	侵蚀风持续时间/min	117.0	62.5	18.5
	粗糙度/cm	0.02	1.07	2.64
	20 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	6.5	4.8	3.7
	100 cm 高平均风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	8.0	7.4	6.8
	临界起沙风速/( $m \cdot s^{-1}$ )	4.6	5.6	7.8
	侵蚀风持续时间/min	108.0	58.0	16.0
	粗糙度/( $m \cdot s^{-1}$ )	0.02	1.03	2.93

#### 3.2 天然灌草植被对输沙率及风沙流结构的影响

3.2.1 天然灌草植被对输沙率的影响 气流在单位时间内,单位面积上所搬运的沙量就叫输沙率。输沙率是衡量沙区沙害程度的主要指标之一,也是防沙工程设计的主要依据,只有准确确定输沙率才能采取有效地控制风沙危害的措施。输沙率决定着沙质地表的吹蚀或堆积过程的发展态势,受下垫面影响,不同搬运层内的输沙率明显不同。

野外观测表明,在同一大风天气下,不同下垫面 0—48 cm 气流层内的总输沙率之间及相同层内的输沙率之间均存在明显差异(表 2),绝对输沙率随着沙地固定程度的增加而明显下降。在 10.5 m/s(2 m 高处)风速作用下,流动沙地的输沙率在三者中最大,为 99.84 g/( $cm^2 \cdot h$ ),半固定沙地的输沙率次之,为 37.614 g/( $cm^2 \cdot h$ ),固

定沙地最小,为  $6.792 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 。流动沙地输沙率分别是半固定沙地和固定沙地输沙量率的 2.65 倍和 14.43 倍,半固定沙地输沙率是固定沙地的 5.54 倍。因此,当风沙流速度相同时,20% 覆盖度的半固定沙地较流动沙地可平均降低输沙 62.33%;而植被盖度为 40% 的固定沙地上的输沙率仅为流动沙地的 6.93%,即 40% 植被覆盖度的固定沙地可减少流沙输送量 93.07%,因此,盖度为 40% 的天然灌草植被基本可以防止土壤风蚀。

表 2 不同下垫面不同高度层的输沙率

高度/cm	输沙率/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$		
	固定沙地	半固定沙地	流动沙地
0~3	4.464	23.196	59.166
3~6	1.464	10.464	25.092
6~9	0.342	2.664	8.232
9~12	0.252	0.342	2.514
12~15	0.144	0.252	1.440
15~18	0.048	0.144	0.750
18~21	0.030	0.132	0.612
21~24	0.018	0.126	0.492
24~27	0.018	0.090	0.324
27~30	0.012	0.066	0.312
30~33	0	0.048	0.228
33~36	0	0.030	0.216
36~39	0	0.018	0.192
39~42	0	0.018	0.138
42~45	0	0.018	0.120
45~48	0	0.006	0.012
总计	6.792	37.614	99.840

不同下垫面输沙率的差异是由植被覆盖的不同而引起的。当沙丘表面有植被时,植被首先可以削弱地表风力,增大沙粒的起动风速;其次,各种植物的根系对沙子也有一定的固结作用;此外,当沙面植被覆盖度较高时,植被可以起到隔离风沙流与沙面的作用。因此,有植被的沙面要比流沙上的输沙率小,而且随着植被盖度的增加,输沙率随之大大降低。

3.2.2 天然灌草植被对风沙流结构的影响 风沙流结构是指气流搬运沙子在高度层上的分布。它能直接表征沙粒的运动形式,判断地表的蚀积状况,掌握风成地貌的形态发育及演变规律,在沙漠治理的理论实践中占有重要地位<sup>[9]</sup>。影响风沙流结构的因素很多,如风速、沙量、植被覆盖度等。本文着重讨论植被覆盖度对风沙流结构的影响。

为了说明植被对风沙流结构的影响,把近地表 48 cm 高度分为 3 个高度层,即 0—3 cm 高度层、3—24 cm 高度层、24—48 cm 高度层。图 3 为不同下垫面各高度层输沙率占总输沙率的百分比对比。由图 3 可知,随着高度的增加,各高度层输沙率迅速减小,但 3 种下垫面输沙率随着高度减小的趋势有所不同。随着植被盖度的增大,0—3 cm 高度层的输沙率占总输沙率的比重有所增加,而 3—24 cm,24—48 cm 高度层的输沙率占总输沙率的比重有所增加。

流动沙地 0—3 cm 高度层输沙率占总输沙率的 59.3%,半固定沙地 0—3 cm 高度层输沙率占总输沙率的 61.7%,固定沙地 0—3 cm 高度层输沙率占总输沙率的 65.7%。这表明植被覆盖可以使风沙流中的沙尘沉降,使地表发生堆积,减小地表风蚀。

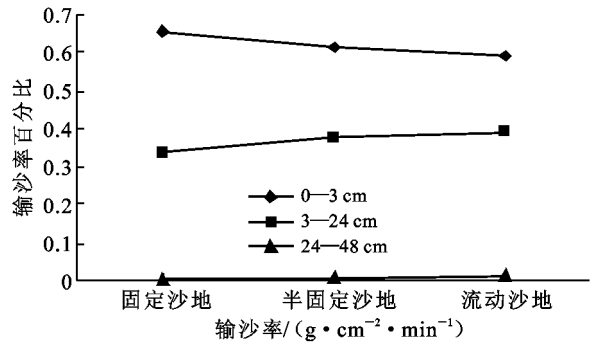


图 3 不同下垫面不同高度层的输沙率占总输沙率百分比

### 3.3 单株沙蒿降低风速效应

在研究区选择 A、B 两株典型沙蒿,研究其周围风速的变化情况。从图 4 可以看出 A、B 植株水平方向的风速变化趋势(风速观测高度为 50 cm),植株两侧的风速大于迎风面风速,即植株两侧是风速加强区域,到 1.5H 处慢慢接近自然风速。植株迎风面风速基本上保持稳定,并没有发生很大的改变,在植株背风面风速有一定程度的衰减,但衰减程度不同。从图 4 可以看出,风速在植株背风面 1H 处降低最多,可减小 45% 左右;随着与植株距离的加大,风速逐渐恢复,在背风面 6H 处,风速基本上恢复到迎风面的风速。

对单株沙蒿前后的风速测定表明,两株沙蒿后 0.5 m 高度的风速分别较其前方平地同高度的风速下降了 59.4% 和 19.8%。其中沙蒿 B 为透风结构,风速虽然有所衰减,并具有很长的风速恢复区域,但其透风孔隙大,气流穿过灌丛消耗的能量较少,因此速度衰减相对较小;而沙蒿 A 为疏透结构,风虽然受到植株的阻挡和摩擦作用,但是大部分气流不改变运行方向,均匀穿过灌丛,在运行过程中逐渐消耗了能量,风速衰减显著,远远大于沙蒿 B。

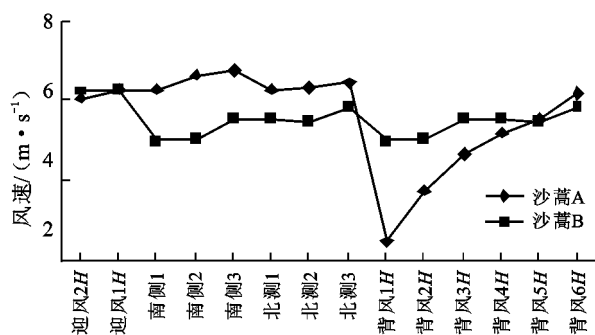


图4 单株沙蒿周围风速变化曲线

由此可知,不论是流动沙地、固定沙地还是单株植物,只要突出于地面,便构成了气流运动的障碍,使气流在穿越障碍物后减弱。气流在障碍物后减弱是导致风沙流堆积的主要因素,也是封育带内天然灌草防风固沙的主要机理。

## 4 结论

在我国北方沙区,天然灌草带与流动沙丘紧密相邻,其防风阻沙地位十分重要。

(1) 植被覆盖可以降低近地表风速,减小侵蚀风的持续时数。植被盖度为40%的固定沙地近地表0.2 m高度平均风速是流动沙地的43%左右,侵蚀风的持续时数是流动沙地的15%左右。

(2) 植被覆盖可以增大临界起沙风速和地表粗糙度。植被盖度为40%的固定沙地的临界起沙风速比流动沙地提高了0.7倍,地表粗糙度比流动沙地提高了180倍。

(3) 植被覆盖可以降低近地表输沙率。当风沙流速度相同时,20%覆盖度的半固定沙地较流动沙地可平均降低输沙62.33%;而植被盖度为40%的固定沙地较流动沙地可平均降低输沙93.07%。

(4) 相同下势面条件下,离地表越近,植被防风蚀作用越明显。

(5) 单株植物同样可以降低风速。疏透结构和透风结构的单株沙蒿分别可以使植株后0.5 m高度的风速较植株前方平沙地同高度的风速分别下降了59.4%和19.8%。

总之,植被覆盖可以有效防地止地表风蚀。必须加强天然植被的封育管护,严禁人畜破坏,必要时辅之以飞播、人工撒播、灌溉等人工措施加快天然植被更新复壮,增大带内植被盖度和地表覆盖,在更大程度上发挥其防风固沙作用,控制流沙的流动。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] Mc Tainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climate controls upon dust storm occurrence in eastern Australia [J]. *Journal of Arid Environments*, 1998, 39: 457—466.
- [3] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress on Physical Geography*, 1993, 17: 50—68.
- [4] 刘静, 毛军需, 王连喜, 等. 宁夏河东沙地不同植被覆盖度的土壤起沙特征试验研究[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(3): 436—441.
- [5] 李生宝, 蒋齐. 盐池沙地综合治理优化模式的建立及其结构调整[J]. *农业系统科学与综合研究*, 1999, 15(2): 143—148.
- [6] 马世威, 马玉明, 姚洪林, 等. 沙漠学[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998: 20—36.
- [7] 杨明远. 地表粗糙度测定的分析与研究[J]. *中国沙漠*, 1996, 16(4): 383—387.
- [8] 丁国栋. 地表粗糙度确定方法的研究[J]. *内蒙古林业*, 1994(6): 27.
- [9] 丁国栋, 奥村武信. 风沙流结构的风洞实验研究[J]. *内蒙古林学院学报*, 1994, 16(1): 40—46.