

不同植被覆盖防治土壤风蚀对比研究*

王翔宇¹, 原鹏飞¹, 丁国栋¹, 尚润阳², 孙保平¹, 张宇清¹, 吴斌¹, 马士龙³

(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; 3. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222)

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 45%, 侵蚀风的持续时数降低 83%, 临界起沙风速提高 70%, 地表粗糙度提高 190 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 79.4%; 而植被盖度为 40% 的固定沙地较流动沙地可平均降低输沙 95.6%。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

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)05-0038-04

Study on Mechanism Between Natural Shrub grass and Soil Wind Erosion

WANG Xiang-yu¹, YUAN Peng-fei¹, DING Guo-dong¹, SHANG Run-yan²,

SUN Bao-ping¹, ZHANG Yu-qing¹, WU Bin¹, MA Shi-long³

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Haihe River Water Conservancy Committee, Tianjin 300170, China; 3. The Medium North of the Water Surveys the Design Research Limited Liability Company, Tianjin 300222, China)

Abstract: Through field investigation on wind speed, aerodynamic roughness, rate of sand transporting and the structure of wind sand flow on different underlying surfaces, we found that vegetation cover can prevent soil wind erosion effectively. Compared the fixed sandland whose vegetation coverage is 40% to the drifting sand dune which has no coverage, the average wind speed at the height of 0.2 m reduced 45%, the time of threshold wind velocity of soil erosion kept on reduced 83%, while the threshold wind velocity of soil erosion increased 70% and aerodynamic roughness increased 190 times; Compared to the drifting sand dune, when the speed of wind sand flow is similar, the rate of sand transporting on semi fixed sandland reduced 79.4%, while fixed sandland reduced 95.6%. The results indicated that a single plant can reduce wind speed too. Two single *Artemisia ordosica* could reduce wind speed at the height of 0.5 m by 59.4% and 19.8%.

Key words: soil wind erosion; vegetation coverage; aerodynamic roughness; rate of sand transporting; the 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, 其本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^[1]。风蚀和沙尘暴对地表土壤的大量搬运和堆积, 是导致干旱半干旱区土地沙化和荒漠化进程最重要最直接的过程之一^[2]。在风蚀过程中, 地表植被覆盖可以通过覆盖部分地表、分解风力以及阻挡输沙等多种途径形成对风蚀地表土壤的影响^[3]。

该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, 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

盐池县位于宁夏回族自治区东部, 地理坐标北纬 37°04′ - 38°10′, 东经 106°30′ - 107°41′。盐池县北与毛乌素沙地

* 收稿日期: 2007-11-07

基金项目: 国家科技支撑课题(2006BAD26B0702); 国家科技支撑课题(2006BAD26B03)

作者简介: 王翔宇(1983-), 男, 在读博士; 研究方向: 荒漠化防治。E-mail: yhlhlxzx@163.com

通信作者: 丁国栋(1963-), 男, 内蒙古赤峰人, 教授, 主要研究方向: 荒漠化防治。E-mail: dch1999@163.net

相连,南靠黄土高原,在地理位置上属于一个典型的过渡地带。即自南向北地形上是从黄土高原向鄂尔多斯台地(沙地)的过渡地带,在气候上是从半干旱区向干旱的过渡地带,在植被上是从干草原向荒漠的过渡地带,在资源利用上是从农区向牧区的过渡地带。这种地理上的过渡性造成了本县自然条件资源的多样性和脆弱性特点。盐池县主要为剥蚀的准平原地形,全县地势南高北低,海拔高度 1 295~ 1 951 m,南北明显地分为黄土丘陵和鄂尔多斯缓坡丘陵两大地貌单元。该县属于典型中温带大陆性气候,年均气温 8.1℃,极端最高温为 34.9℃,极端最低温为- 24.2℃,年均无霜期为 165 d。年降水仅 250~ 350 mm,从东南向西北递减。土壤类型以灰钙土为主,其次是黑垆土和风沙土,此外还有黄土,少量的盐土、白浆土等。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、盐爪爪等 11 大群落为主^[45]。

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,选择具有典型代表性选择流动沙地(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量的影响,在空旷地选择两株沙蒿进行单株实验。实验观测小区规格为 10 m× 10 m。实验材料具体情况如下:

- (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(*Agriophyllum squarrosum*),平均高度在 5 cm 左右,平均覆盖度在 5% 以下。沙粒间粘结力较小,沙粒流动性大,风沙流动比较强烈。
- (2) 半固定沙地: 地势平坦,主要植物种是油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、沙蒿、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 m× 10 m。
- (3) 固定沙地: 地势起伏不平,主要植物种是沙蒿、籽蒿、白刺沙、生针茅、细枝盐爪爪、柠条(*Caragana korshinskii*)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。

(4) 为了研究方便,将两株沙蒿分别命名为沙蒿 A、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 m× 1.1 m,为疏透偏于紧密结构,周围半径 6 m 内无其他植被。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 m× 1.2 m,为透风结构。

2.2 研究方法

(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四个角,采用 PC-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 0-20 cm 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,计算各测点的输沙量,分析不同植被盖度条件下各沙丘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。

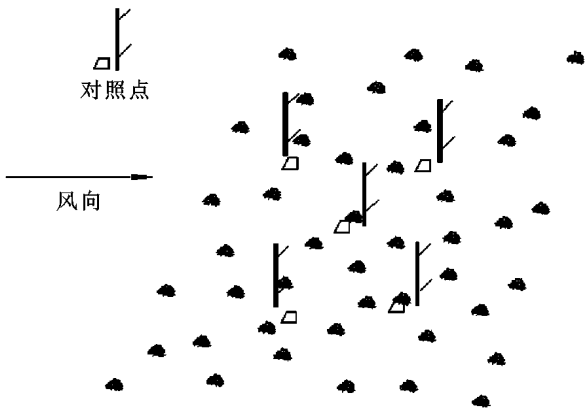


图 1 固定沙地天然灌草植被实验布设图

(2) 单株沙蒿研究。采用 PC-2F 型多通道自记风速风向仪观测单个沙蒿灌丛周围风速。风速观测点沿风向布设在单个灌丛迎风面 2H, 1H, 背风面 1H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H, 以及垂直于风向的灌丛两侧 0.5H, 1H, 1.5H 处,其中 H 为单株植物的高度(此处表示观测点的距离),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 0-20 cm 层的沙量,采集时间为 3 min,沙样带回室内用 1/100 g 感量的电子天平称量,计算各测点单位时间内的输沙量。

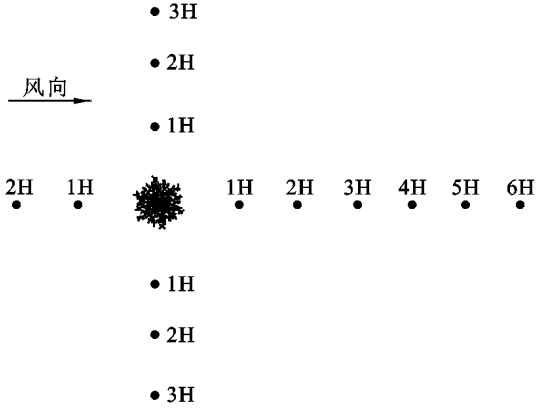


图 2 单株沙蒿观测实验布设图

3 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
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^[9]。根据杨明远^[7]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。植被可以分散地面上一定高度内的风动量,减弱近地表的风力作用,使近地表层平均风速随植被盖度的增大明显降低;植被覆盖还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。而且,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。

通过对研究区 2 个大风天气下的野外观测(表 1),发现在春季风沙活动期,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%) , 在植被盖度依次增大的过程中, 临界起沙风速和地表的粗糙度都呈现出依次增大的态势, 其 2 m 高度的起沙风速 u_t 从流动沙地的 4.6 m/s 增至固定沙地的 7.8 m/s, 将近提高了 0.7 倍; 粗糙度 z_0 从流动沙地的 0.013 cm 增至固定沙地的 2.48 cm, 约提高了 190

倍; 相应地, 近地表层 20 cm 高度的平均风速依次明显降低, 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 7.1 m/s 降至固定沙地的 3.9 m/s, 下降了 45% 左右; 侵蚀风的持续时数由流动沙地的 2.2 h 降至固定沙地的 0.4 h, 下降了 83%。

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	流动沙地	半固定沙地	固定沙地
2006 年 4 月 17 日 12: 00– 15: 00	20 cm 高平均风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	6.9	5.2	3.9
	100 cm 高平均风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	8.4	8.1	7.1
	临界起沙风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	4.6	5.6	7.8
	侵蚀风持续时间/min	125	64.4	21.7
	粗糙度/cm	0.012	1.116	2.813
2006 年 4 月 20 日 10: 00– 13: 00	20 cm 高平均风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	7.3	5.3	4.0
	100 cm 高平均风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	8.9	8.2	7.2
	临界起沙风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	4.6	5.6	7.8
	侵蚀风持续时间/min	143	69	25
	粗糙度/cm	0.013	1.056	2.147

3.2 单株植被降低风速效应

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 3 可以看出 A、B 两株沙蒿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。沙蒿迎风面风速基本上保持稳定, 并没有发生很大的改变, 在沙蒿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, 在迎风面风速基本相同的情况下, 沙蒿在背风面 1H 处风速降低最多, 风速可减小 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。

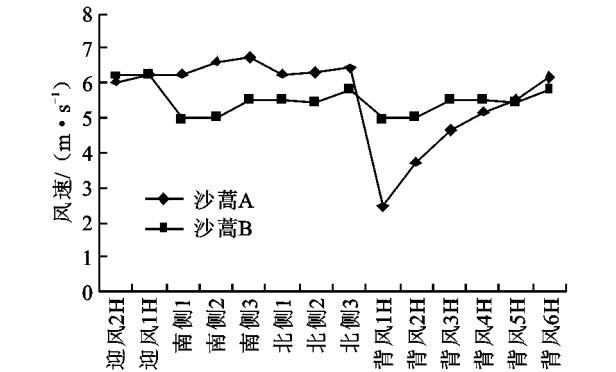


图 3 单株沙蒿周围风速变化曲线

对植株沙蒿前后的风速测定表明, 对于 0.5 m 高度的风速来说, 两个植株后的风速分别较其前方平沙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, 气流穿过植株消耗的能量较少, 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, 均匀穿过植株, 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。

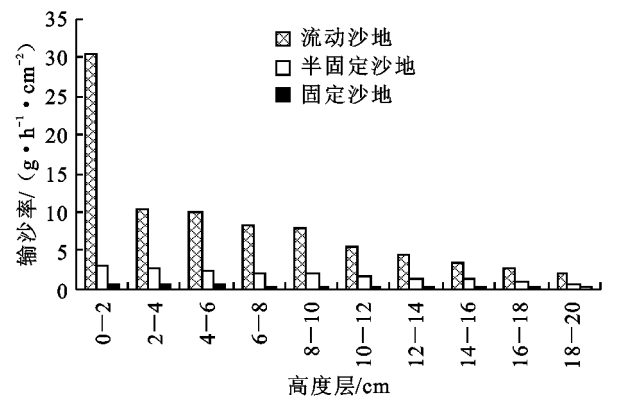


图 4 不同下垫面 0– 20 cm 高度层内输沙率随垂直高度的变化特征

由此可知, 不论是流动沙丘、固定沙丘还是植株植物, 只要突出于地面, 便构成了气流运动的障碍, 在气流穿越障碍时便会在障碍物前、后降低风速。气流在沙丘及植株后的降低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。

3.3 天然灌草植被对输沙率及风沙流结构的影响

气流在单位时间内单位面积上所搬运的沙量称输沙率。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。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, 在沙漠治理的理论与实践占有重要地位^[8]。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。

(1) 天然灌草植被对输沙量的影响。地表覆盖度不同, 会导致其输沙率差异较大, 同时也会影响地表风沙流的结构特征。野外观测表明, 在同样大风天气下, 不同下垫面 0–

20 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的差异(图4),而且绝对输沙率也随着沙地固定程度的增加而明显下降。在8.5 m/s 风速作用下,流动沙地的输沙率在三者中最大,为84.36 g/(h·cm²),半固定沙地的输沙率次之,为17.25 g/(h·cm²),固定沙地最小,为3.67 g/(h·cm²)。流动沙地输沙率分别是半固定沙地和固定沙地输沙率的4.9倍和22.8倍,半固定沙地输沙率是固定沙地的4.7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79.4%;而在植被盖度为40%的固定沙地上,其输沙率大大下降,仅为流动沙丘的4.4%,即40%植被覆盖度的固定沙地可减少流沙输送率95.6%,因此,盖度为40%的天然灌草植被基本可以防止土壤风蚀。

不同沙地类型输沙率的差异是由于植被覆盖的不同而引起的,当沙丘表面有植被时,首先植被可以削弱地表风力,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,输沙率大大下降。

(2)天然灌草植被对风沙流结构的影响。气流所搬运的沙子在搬运层内随高度的分布,称为风沙流结构。在同一大风天气下,随着植被盖度的影响,其近地表风沙流结构有所不同,在近地表20 cm 高度内,为了更好地说明植被对风沙流结构的影响,从0–20 cm,每2 cm 高度的输沙率归为一层,共分10层,通过野外观测和数据分析得出(图4),在0–20 cm 高度范围内,流动沙丘总输沙率最大,其次是半固定沙丘总输沙率,而固定沙丘总输沙率最小,随着植被盖度的显著增加,三种下垫面的输沙率随着高度的增加都有迅速减小的趋势,但三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,0–10 cm 高度的输沙率占总输沙率的比重有所减小,通过数据分析,流动沙地在10 cm 以下高度范围内输沙率占总输沙率的79%,半固定沙地在10 cm 以下高度范围内输沙率占总输沙率的67%,固定沙地在10 cm 以下高度范围内输沙率占总输沙率的62%,这表明植被覆盖能够有效地保护地表,从而减少了贴地层气流中的固体流量。

4 结 论

(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55%左右,侵蚀风的持续时数是流动沙地的17%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19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79.4%;而植被盖度为40%的固定沙地较流动沙地可平均降低输沙95.6%。

(4)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下降59.4%和19.8%。

综上,植被覆盖可以有效防止地表风蚀,因此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] McTainsh 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 [J]. Progress on Physical Geography, 1993, 17: 50–68.
- [4] 刘静,毛军需,王连,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] 张进虎,贺康宁,段玉玺,等.毛乌素沙地西南缘不同植被下的土壤水分时空变化研究[J].水土保持研究,2007,14(4): 377–380.
- [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,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.