

草原灌木带空气动力学粗糙度研究

薛 晶, 侯占峰, 刘海洋, 闫建国, 陈 智

(内蒙古农业大学机电工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 为了定量研究灌木带修复退化草原的机理, 采用集沙仪和风速廓线仪野外采集了不同高度灌木带及退化草原的风蚀物及风速廓线, 利用最小二乘法对风速廓线数据进行计算得到了相应的空气动力学粗糙度。结果表明: 灌木带对草地的防护机理在于提升了地表的空气动力学粗糙度, 降低了近地表面的风速, 从而导致灌木带相对退化草原的抗风蚀能力增强, 大量风蚀物集中在近地表 30 cm 范围内; 距灌木带的距离越远, 空气动力学粗糙度呈现下降趋势; 同时对不同高度灌木带的研究发现, 0.3 m、0.7 m 和 1.5 m 高的灌木带分别在距背风面 3 m、5 m 和 6 m 处的空气动力学粗糙度与退化草原的值趋于一致, 此距离为该灌木带的有效防风蚀范围, 空气动力学粗糙度及有效防护范围均随灌木高度的增加而增大。

关键词: 灌木带; 退化草原; 风速廓线; 空气动力学粗糙度

中图分类号: S157.4 **文献标志码:** A

Study on the aerodynamic roughness of grassland shrub belt

XUE Jing, HOU Zhan-feng, LIU Hai-yang, YAN Jian-guo, CHEN Zhi

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: In order to carry out a quantitative research on the mechanism of repairing degraded grassland with shrub belt, the wind erosion sediment and wind speed profile with different heights of shrub belt and degenerated grassland had been collected by sand sampler and wind speed profiler. In addition, the corresponding aerodynamic roughness was calculated using the least squares method to calculate the wind profile data. The results showed that the protective mechanism of shrub for grassland was to enhance the aerodynamic roughness of earth surface and reduce the near-surface wind speed, leading to the improvement of ability to resist wind erosion of shrub compared to degraded grassland. A lot of aeolian deposits were concentrated in the near surface within the scope of 30 cm. Aerodynamic roughness appeared a trend of becoming declined with the farther distance from shrubs. At the same time, through studying shrubs of different heights, it was found that the aerodynamic roughness and the value of degraded grassland tended to agree with each other for shrubs with different heights of 0.3 m, 0.7 m and 1.5 m high when leeward sides were 3 m, 5 m and 6 m, respectively. The distance was an effective wind erosion area of shrub belt, and aerodynamic roughness and effective protective range became enlarged with the increase of the shrub height. This finding has a great significance for the repair of degraded grassland and a reasonable allocation of engineering dimension of shrub belt.

Keywords: shrub belt; degenerated grassland; wind speed profile; aerodynamic roughness

土壤风蚀是发生在中国北方干旱半干旱地区及半湿润地区的重要生态过程, 同时也是导致这些地区生态系统退化的重要原因^[1-2]。阴山北麓地区草地退化面积占草地总面积的 70% 以上, 不仅已经成为制约该区域农牧业可持续发展突出的环境问题, 而且严重威胁着内蒙古自治区这道生态防线功

能^[3-4]。因此, 研究退化草原的生态恢复和重建是实现畜牧业可持续发展需要迫切解决的重大问题, 对其科学研究也应该力求做到量化。

目前, 国内外对退化草地植被修复技术体系的研究相对较多, 如 Hupy 等^[5]研究了灌草配置草地对土壤养分及风沙输移的影响作用。Wolfe 等^[6-7]研

收稿日期: 2015-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40861013), (41361058)

作者简介: 薛 晶(1983—), 女, 内蒙古乌海市人, 讲师, 硕士, 主要从事测试与控制技术方面的研究。E-mail: jingjingtuzi@163.com。

通信作者: 陈 智(1962—), 男, 内蒙古察右前旗人, 教授, 博士, 主要从事测试与控制技术方面的研究。E-mail: chz6653@sohu.com。

究显示,围封的草地土壤有机质、全氮、速效磷均显著高于放牧地。程积民等^[8-9]研究了不同整地方式与灌草配置对土壤水分的影响,提出了灌草立体配置可以提高土壤含水量;杨树等^[10]研究了内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤理化性状的变化。以往的研究侧重于草地修复技术对于土壤理化性质的改善,对于其防风蚀机理和效果未进行深层次的分析研究。

空气动力学粗糙度对土壤风蚀有着直接、显著的影响,研究表明,提高植被盖度和留茬高度等措施,其实质是提高了地表的空气动力学粗糙度,从而降低了地面风速,导致土壤抗风蚀能力增强^[11-12]。因此,本文将近地表风速廓线作为研究重点,定量分析灌木带配置对空气动力学粗糙度的影响,从而为研究提高草原抗风蚀和自我修复能力以及灌草立体配置修复退化草地植被等关键技术提供准确的理论基础。

1 试验地点

本研究主要针对东西风向条件下灌木带防护效应进行野外实地观测。试验地点位于内蒙古自治区四子王旗境内的草原土壤风蚀科研试验基地,该基地由内蒙古农业大学风蚀研究团队建立。该区域海拔高度在 1 000~2 100 m 间,年平均降水量均在 300 mm 左右,由于常年受季风影响,大风天气约占全年的 50%,地表土壤的风蚀相当剧烈,大部分草地已严重沙化。退化草地的植物主要是多年生禾本科如针茅、冰草为主。草群高度一般为 10~25 cm,总盖度 15%~30%。试验基地每隔一定间距栽植等宽度的柠条灌木作为防风护农带的退化草地修复地表,其地表的草群总盖度达到 70%~80%,试验基地可为试验提供不同工程尺度的灌木带作为试验对象,如图 1 所示。该区域风蚀主要发生在冬春季节,全年月平均风速为 $4.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,本次试验数据收集于 2014 年 11 月。



图 1 试验区地表状况

Fig. 1 The surface condition of test area

2 试验方法

2.1 试验设计

试验选择项目区以南北方向配置,试验灌木带的疏透度约为 50%,带间距为 6 m,带宽为 1.5 m,带高分别为 1.5 m、0.7 m 和 0.3 m 的三种不同工程尺度的灌草带作为试验对象,同时将紧邻试验区西侧的退化草原作为试验对照物。测试期间大气平均温度为 7°C ,距离地面 2 m 处的瞬时风速为 $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向为东西方向。试验时,首先利用旋风分离式集沙仪收集了高度为 0.3 m 的灌木带与退化草原在不同风速下的风蚀物,集沙仪放置在距防护带 6 m 的下游处,其高度为 840 mm,沿高度方向分布 10 个气流管收集垂直方向上不同高度的风蚀物,采集时间 30 min,风蚀物由精度为千分之一的电子天平称质量。其次,将多通道自计式遥测风速仪分别放置在距离三种不同高度灌木带背风面 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m 和 6 m 位置处的 6 个测点(分别标记为 $T_1 - T_6$),并采集记录风速廓线仪 2 cm、4 cm、8 cm、16 cm、32 cm 和 64 cm 高度位置上的风速。采样数据间隔时间为 $10 \text{ s}\cdot\text{次}^{-1}$,风速测量精度 $\leq 1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每组试验分别测取 5 次数据,并取 5 次试验数据的平均值作为最终试验结果。

2.2 空气动力学粗糙度计算

空气动力学粗糙度是研究不同床面风沙活动产生机制的一个重要参数,通常由试验测试得到的风速廓线进行计算,其计算公式如下^[13]:

$$U_Z = \frac{U_*}{k} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (1)$$

式中, U_Z 为距地面高度为 Z 处的风速; U_* 为摩擦风速; k 为取值 0.4 的常数; Z_0 为研究地表的空气动力学粗糙度。

为了获得空气动力学粗糙度的精确值,利用 Zinggs^[14-15] 等提出的最小二乘法对风速廓线数据进行相关分析,得到拟合方程为:

$$U_Z = A + B \ln Z \quad (2)$$

式中, A 、 B 为拟合系数。

当 $U_Z = 0$ 时,对应的空气动力学粗糙度 Z_0 即为地表上平均风速为零的高度,此值可用来评价近地表空气动力学性质和防风蚀效应。其计算式为:

$$Z_0 = \exp\left(-\frac{A}{B}\right) \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 灌草带对风蚀量的影响

图 2 为利用集沙仪采集到的不同风速下退化草

原与 0.3 m 高灌木防护带的土壤风蚀量在垂直高度上的分布情况。从图中可以发现,灌木带风蚀量范围为 $0 \sim 0.018 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$,而退化草原的风蚀量在 $0 \sim 0.14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 范围内。试验采集的灌木防护带内的风蚀量远小于退化草原的风蚀量。当试验风速 $< 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,试验地表的大量风蚀物主要集中在距地表 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 高度内,说明空气对地表的风蚀作用主要发生在近地表区域。对于退化草原,其风蚀量随高度的增加而呈现大幅降低的规律。而灌木防护带风蚀物收集量随地表高度有自己独特的分布规律,出现该现象的原因是气流受灌木带的影响强烈,使近地表气流的流场发生改变,从而使风蚀物的运动轨迹发生了改变。为了了解灌木防护带对空气流的影响,测试了不同高度灌木带在 $T_1 - T_5$ 测点处的风速廓线,结果如图 3 所示。

3.2 灌草带状保护对带内近地表风速廓线的影响

观察图 3 可以发现,试验地表风速廓线各点处的风速均随着高度的增加而逐渐上升,灌木保护带内各测点的风速均低于退化草原,较小的近地表风

速减弱了对草原地表的风蚀,这也解释了图 2 中灌木保护带内风蚀量较小的原因。观察退化草原的风速廓线发现其在 $4 \sim 32 \text{ cm}$ 范围内的风速变化较小,而灌木保护带各测点的风速下降幅度明显高于退化草原。如各测点 2 cm 高度处的风速较 64 cm 处的风速降低幅度分别为 $79\%、65.7\%、55.2\%、56.3\%$ 和 55.7% 。灌木带对气流的阻挡作用在垂直高度方向改变了空气的动能分布,因此出现了不同测点处其风速各异的特点。为了进一步研究灌木带的防护机理,利用公式 3 计算了不同配置的灌草带间各测点的空气动力学粗糙度如图 4 所示。

3.3 灌木带状保护对空气动力学粗糙度的影响

观察图 4 发现,在灌草带的宽度、密度及配置方向等参数不变的情况下,不同高度灌木带的空气动力学粗糙度均随测试距离的增加而呈现下降趋势,距离灌木带等距离的测试点处,空气动力学粗糙度随着带高的增加而增加。出现该规律的原因是由于地表受到了种植灌木的防护,当空气经过灌木带时,近地表的空气流场发生了改变,气流的流动方向被

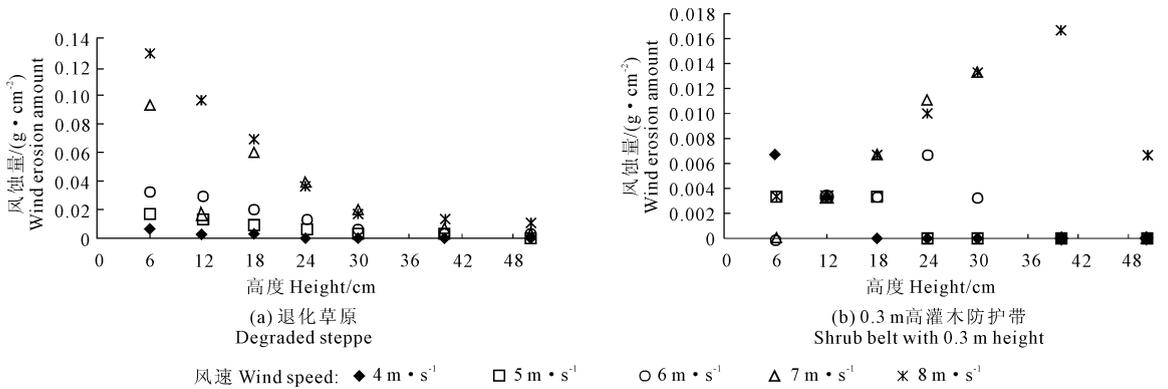


图 2 不同类型地表土壤风蚀量随高度的分布

Fig.2 Distribution of wind erosion amount with height on different types of land surface soil

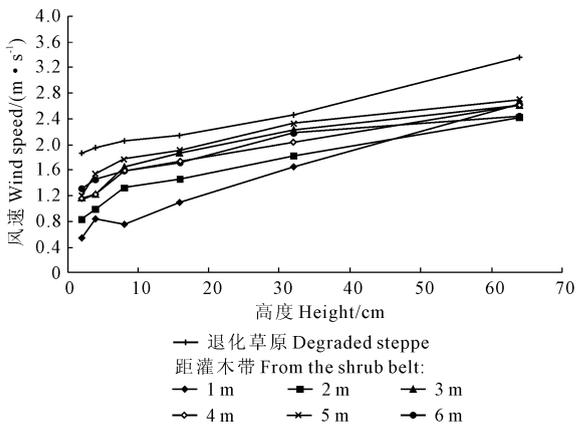


图 3 不同地表风速廓线

Fig.3 Wind velocity profiles of different surfaces

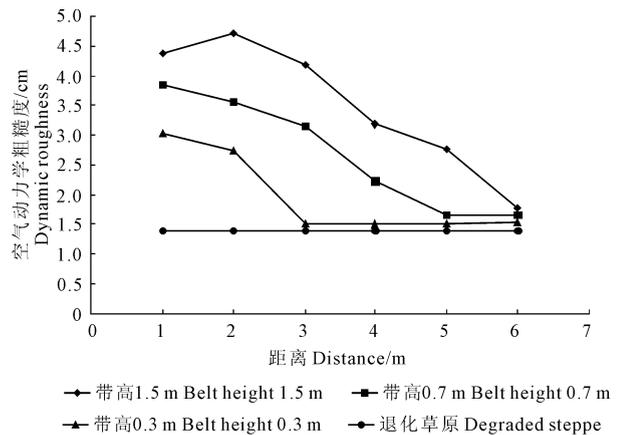


图 4 不同地表空气动力学粗糙度

Fig.4 Aerodynamic roughness of different surfaces

抬升,因此,灌木带相对于退化草原的空气动力学粗糙度出现了一个向上抬升的位移。如图 4 中 T_1 测点处不同带高灌木带的位移抬升值分别为 1.72、2.45 和 3.01。此作用在图 2 中表现为灌木带较退化草原风速廓线相应的发生了向下的偏移。由此导致灌木带背风面的风速低于相同地表高度退化草原上的风速,降低的风速意味着对土壤风蚀作用的减小,从而有效地保护了草原地表,这便是灌木带对草原的防护机理所在。

0.3 m、0.7 m 和 1.5 m 高灌木带分别在背风面 3 m、5 m 及 6 m 处的空气动力学粗糙度降到了与退化草原相同的水平,表明在此区域后的范围内,灌木带将失去对草原的防护作用,风蚀量将增加。由上述规律发现,随着灌木带高度的增加,灌木防护带内的空气动力学粗糙度逐渐上升,即灌木防护带的有效防风蚀范围随着灌木带高度的增加而扩大,两者呈现正相关关系。

4 结 论

1) 灌木带提高了退化草原的抗风蚀能力,气流能量受到灌木带的强烈影响,使其周围的气流场重新分布,改变了近地表风沙流结构,致使灌木防护带内风蚀物收集量随地表高度的分布规律不明显,风蚀物主要集中在 30 cm 的近地表范围内。

2) 灌木带在一定防护区域内较退化草原的空气动力学粗糙度明显升高,且随着灌木带高度的增加,空气动力学粗糙度呈正相关上升趋势,从而导致灌木防护带内的风速较退化草地明显降低,充分体现了灌木带有效防治风蚀的机理。

3) 距灌木防护带距离越远,空气动力学粗糙度呈下降趋势,且距离达到一定值时,灌木带与退化草原的空气动力学粗糙度值趋于一致。这时灌木带对该地表将失去风蚀防护作用,因此,该测点距灌木带的距离即为灌木带的有效防风蚀区域,该规律对于

修复退化草原时合理配置灌木带的工程尺度具有十分重要的意义。

参 考 文 献:

- [1] 陈渭南,董光荣,董治宝. 中国北方土壤风蚀问题的研究进展与趋势[J]. 地球科学进展,1994,9(5):6-12.
- [2] 陈 智,麻硕士,赵永来,等. 保护性耕作农田地表风沙流特性[J]. 农业工程学报,2010,26(1):118-122.
- [3] 孙悦超. 内蒙古后山地区不同地表覆盖条件下土壤抗风蚀效应测试研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [4] 孙悦超,麻硕士,陈 智,等. 保护性耕作农田抗风蚀效应多因素回归分析[J]. 农业工程学报,2010,26(10):151-155.
- [5] Hupy J P. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate[J]. Journal of Arid Environments, 2004,58(2):167-179.
- [6] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion[J]. Progress in Physical Geography, 1993,17(1):50-68.
- [7] Wolfe S A, Nickling W G. Shear stress partitioning in sparsely vegetated desert[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1996,21:607-620.
- [8] 程积民,万惠娥,王 静,等. 半干旱区不同整地方式与灌草配置对土壤水分的影响[J]. 中国水土保持科学,2003,1(3):10-14.
- [9] 赵 举,郑大包,妥德宝,等. 阴山北麓农牧交错区带状留茬间作防风技术研究[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(2):5-9.
- [10] 杨 树,温雨金,刘鸿雁. 内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤性状的变化[J]. 水土保持研究,2006,13(4):143-146.
- [11] 赵 云,穆兴民,王 飞,等. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的室内风洞实验研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):16-19.
- [12] 范清成,王 飞,穆兴民,等. 保护性耕作对土壤风蚀的影响[J]. 中国水土保持科学,2011,19(3):1-5.
- [13] 赵永来,麻硕士,陈 智,等. 残茬覆盖地表空气动力学粗糙度变化规律[J]. 农业机械学报,2013,44(4):118-123.
- [14] Wiggs C F S, Livinstone L G, Thomas D S, et al. Air flow and roughness characteristics over partially vegetated linear dunes in the southwest karahari Desert[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1996,21(1):19-34.
- [15] Zingg A W. Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material[J]. Proceedings of the Fifth Hydraulics Conference, 1952,34:111-136.
- [21] Yan Y, Gong W, Yang W, et al. Seed treatment with uniconazole powder improves soybean seedling growth under shading by corn in relay strip intercropping system[J]. Plant Production Science, 2010,13(4):367-374.
- [22] 王景伟. 奶花芸豆对于干旱胁迫及烯效唑调控的响应[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2014.
- [29] Mascher R, Nagy E, Lippmann B, et al. Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure[J]. Plant Science, 2005,168(3):691-698.
- [23] Bekheta M A G A, Sahbaz R, Lieberei R. Uniconazole - induced changes of stress responses of *Vicia faba*: polyphenol oxidase activation pattern serves as an indicator for membrane stability[J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2012,80(2):129-134.
- [24] 刘晓静,柳小妮. 多效唑和烯效唑对草地早熟禾一些生化指标及其抗性的影响[J]. 草业学报,2006,15(2):48-53.
- [25] 卢少云,陈斯曼,陈斯平,等. ABA,多效唑和烯效唑提高狗牙根抗旱性的效应[J]. 草业学报,2003,12(3):100-104.

(上接第 227 页)