

旱作农田近地表风沙运动与防风蚀效果*

孙悦超¹ 麻硕士² 陈智² 赵永来¹ 崔红梅²

(1. 内蒙古农业大学职业技术学院, 包头 014109; 2. 内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

【摘要】 针对农田沙害,用移动式风蚀风洞及相关配套设备对苜蓿留茬、砾石覆盖和传统旱作农田地表进行原位测试,研究它们的近地表风沙运动规律,探索苜蓿留茬和砾石覆盖对旱作农田土壤风蚀的作用机理和防护效果,从而为农田风蚀防治提供技术依据。研究表明,苜蓿留茬、砾石覆盖近地表风沙运动与对照秋翻地明显不同;受苜蓿残茬和砾石覆盖的阻挡、疏散作用,风沙活动层提升,近地表风速不同程度削弱;输沙量小于对照秋翻地并且在近地表一定高度处出现极大值。抗风蚀效率分析证明,苜蓿留茬和砾石覆盖对旱作农田防治风蚀都有重要的作用,但砾石覆盖不如苜蓿留茬的防风蚀效果好。

关键词: 农田 风蚀 砾石 风沙流 风速廓线

中图分类号: S157.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)01-0054-05

Drought Farmland Near Surface Blown Sand and Wind Erosion Controlling Effect

Sun Yuechao¹ Ma Shuoshi² Chen Zhi² Zhao Yonglai¹ Cui Hongmei²

(1. College of Vocational and Technical, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China)

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

Abstract

Aiming at farmland wind erosion sand calamity, in situ testing was adopted to make test for oat stubble, grave covering and traditional drought farmland by using movable wind erosion tunnel and its matching equipment. In order to provide technical basis, blown sand movement law was researched for the three kinds of farmland, and the mechanism and protection effect of soil erosion were explored for the oat stubble and grave covering affecting drought farmland. It is showed that near surface blown sand movement of oat stubble and grave covering are obviously different from autumn-ploughed farmland, the blown sand movement layer was lifted, near surface wind speed was weakened at different degrees, sediment discharge is less than autumn-ploughed farmland's and would have maximum value in certain height, because of barrier and evacuation effects of oat stubble and grave covering. By anti-erosion efficiency analyzing, it is showed that oat stubble and grave covering have important effect on drought farmland for wind erosion controlling, and the effect of the latter is less than the former.

Key words Farmland, Wind erosion, Grave, Drifting sand flux, Velocity profile

引言

农田土壤风蚀是引起中国北方干旱半干旱地区土地退化的主原因之一,不仅给当地社会经济和生

态环境带来严重危害,还影响到周边地区的环境质量。为防治农田风蚀沙害,近年来我国北方对旱作农田推行保护性耕作措施,作物收割通过留高茬和秸秆覆盖的办法,保护农田地表,达到减小风蚀的目

的;而在西北荒漠地区,常用砾石压沙措施防治土壤风蚀。当风吹过不同下垫面地表时,在风力作用下土壤颗粒脱离地表进入气流中而被搬运,产生风沙运动,出现风沙流。风蚀越严重,则风沙流的强度就越大,土壤颗粒输送与堆积引发的风沙流危害也越严重^[1]。可见防治农田沙害的根本措施是抑制或削弱风沙流的强度,但风沙流近地表的强度与近地表风速分布即风速廓线有直接关系。因此,本文研究不同状态下旱作农田近地表风沙运动规律。

1 研究区概况

试验地表选择在内蒙古武川县保护性耕作项目示范区,主要种植作物为莜麦、小麦、油菜籽等。武川县位于内蒙古中部、阴山北麓,风蚀沙化严重,代表性土壤为栗钙土,多孔隙、沙性,有机质含量低。作物生产完全是旱作雨养农业,单产很低,广种薄收。年平均降水量 360 mm 左右,无霜期 105 d 左右,年积温 2 100℃。年蒸发量高达 1 848.3 mm,是年降水量的 5 倍多。大于 17 m/s 的大风日数在 30 d 左右,风大沙多是该地区冬春季的典型特征,形成以农田风蚀为主要标志的土地退化格局^[2]。

2 设备与方法

主要设备为 OFDY-1.2 型直流吹气式可移动风蚀风洞,由过渡段、整流段、收缩段和试验段组成,由内蒙古农业大学研制。经性能测试,该风洞符合自然风沙现象物理模拟应满足的相似性准则和边界条件要求,模拟的自然风风速廓线与真实地表基本一致^[3]。其模拟的风沙环境与野外真实被测地表的近地表大气边界层的流动特征也基本一致,测试数据趋近实际状况^[4]。中国科学院兰州沙漠与沙漠化重点实验室鉴定结果为符合低速风洞设计要求。因此,试验结果可直接用于指导生产实际。

风洞风速在 0~20 m/s 范围内连续可调,风速由风速廓线仪采集后通过数据采集卡传给以 LabWindows/CVI 作为平台开发的数据采集处理系统,并显示、记录、保存于计算机中^[2]。试验时,集沙仪置于风洞轴线距出口 1.2 m 处,收集 20、60、120、180、240、300、400、500、600、700 mm 共 10 个高度上的输沙量并由电子天平称量;风速廓线仪置于距风洞出口 1.8 m,距洞壁 0.3 m 处,测取距地表 25、50、200、398、600 mm 共 5 点的风速并由数据处理软件生成风速廓线,如图 1 所示。

鉴于研究区气候特征,试验选择在植被未返青土壤风蚀最严重的 4 月进行。被测保护性耕作农田地表为莜麦留茬,行距 20 cm,植株平均直径 5 mm,

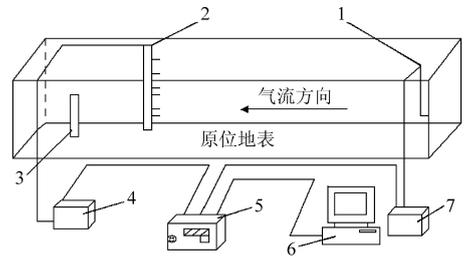


图 1 试验仪器布置图

Fig. 1 Test equipment layout

1. 风洞中心风速皮托管 2. 风速廓线仪 3. 集沙仪 4、7. 压差传感器 5. 数据采集器 6. 计算机

平均密度 400 株/m²,地表 5 cm 深度土层平均含水率为 6.56%。秋翻地耙平按预定设计方案将不同粒径砾石分别铺设成相应盖度(该类型地表简称为砾石覆盖),砾石尺寸参数如表 1 所示。对照秋翻地测试前耙平处理,砾石覆盖和秋翻地表 5 cm 深度土层平均含水率为 2.3%。测试期间大气平均温度 9℃,大气平均压力 825 kPa。

表 1 砾石尺寸参数

Tab. 1 Gravel size parameters

尺寸参数	小粒径	中粒径	大粒径
长轴×短轴	8×6	11×8	15×9
高度	3	6	9

测试时,将移动式风洞按预定方案分别放置在不同原位地表上,以不同中心风速用挟沙风进行吹蚀测试,吹蚀时间为 10 min。挟沙风是通过排沙器向风洞入口距地面 15 cm 处均匀排沙,使气流中含有颗粒沙尘来模拟沙尘天气。10 min 吹蚀时间内的排沙量为 1 404 g,是根据武川县农机推广站的风蚀监测数据确定的。

3 结果与分析

3.1 近地表风沙流垂向分布

在特定的风速下,下垫面地表对风沙流的强度影响非常大,因此通过改变旱作农田下垫面可达到抑制或削弱风沙流强度的作用。这主要是由于不同性质的下垫面对沙颗粒的运动速度、跃移高度、能量衰减等方面有不同程度的影响^[5]。研究发现,本试验 3 种地表的风沙流垂向分布有明显差异。以莜麦留茬 30 cm、覆盖度为 70% 的保护性耕作农田,中粒径、42% 砾石覆盖度的秋翻地和对照秋翻地的风沙流垂向分布进行分析,如图 2~图 4 所示。

莜麦留茬地表在各级风速下风沙流垂直方向均呈现出两个极大值点,第 1 个极大值点出现在距地表 6 cm 附近,第 2 个极大值点即最大输沙量出现在距地表 24 cm 附近。总体来看,输沙量随风速的增

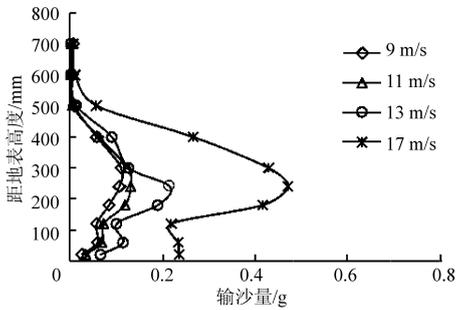


图2 莜麦留茬地表输沙量垂向分布

Fig.2 Sediment discharge vertical distribution diagram of oat stubble farmland

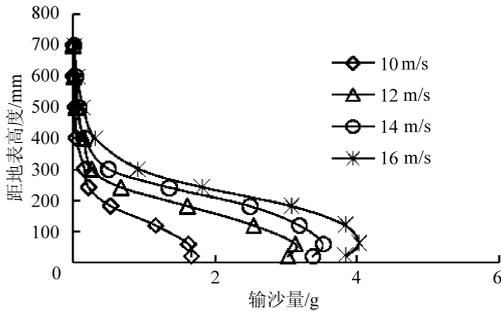


图3 砾石覆盖地表输沙量垂向分布

Fig.3 Sediment discharge vertical distribution diagram of grave covering farmland

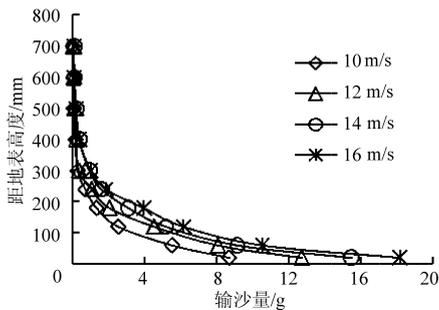


图4 秋翻地表输沙量垂向分布

Fig.4 Sediment discharge vertical distribution diagram of autumn-ploughed farmland

大而增加,尤其是在高风速时输沙量的增幅更明显。在距地表6 cm附近出现极大值点是由于地表存有大量莜麦落叶和少量倒伏残茬,地表平均覆盖度达到70%。距地表2 cm恰好位于覆盖层之下受植被的保护作用很强,输沙量很小。而距地表6 cm以上高度处于覆盖层之上,风沙流中的沙尘颗粒在覆盖层以上输送,但又受到覆盖层和残茬的阻挡作用,风速也很低,因此出现了极大值点但输沙量较小。第2个极大值点(最大输沙量)出现在距地表24 cm高度附近是由于高密度的直立残茬对气流的抬升,使得风速廓线被抬高了23.44 cm^[6],因此最大输沙量与秋翻地相比相应地向上提升了23.44 cm。另外,风沙流中的土壤颗粒与直立残茬发生碰撞使得一部分被拦截另一部分运动轨迹发生改变,穿透植被层

的风沙流主要是一些粒径较小的粉尘。综合上述分析最大输沙量出现在距地表24 cm高度附近是科学的,曲线出现极值点是可理解的。计算输沙量在不同高度层的质量百分比(%)发现,风沙流主要活动在距地表40 cm高度以下,占风蚀物总质量的90%左右,50 cm高度以下输沙量质量百分比达到95%以上^[6]。

由图3可见,砾石覆盖地表风沙流主要集中在20 cm高度以下,但不同于秋翻地;虽然输沙量曲线与莜麦留茬地表有一定的相似,但有所区别。输沙量在距地表约6 cm高度附近出现最大值,其位置随风速的增加略有增加。不像秋翻地那样输沙量随距地表高度的增加呈指数函数单调递减。砾石覆盖地表输沙量的这种分布规律,与以下因素有关:秋翻地铺设砾石使近地表风速廓线抬高,风的活动层高度增加,因此输沙量最大值出现在距地表某一高度上。另外,在风力作用下风沙颗粒与砾石发生撞击能量大,反弹跃起后继续输送,随风速的加大风沙颗粒反弹跃起的高度增加,最大输沙量出现的高度随风速的增加而提高。

在各级风速下秋翻地输沙量主要分布在距地表20 cm高度以内,并且随高度的增加呈指数规律递减。集沙仪对应不同高度层输沙量随风速的增加都在增加,但以距地表20 cm高度为界,20 cm以上各高度层的输沙量增幅很小,其总和占总输沙量的比例不足10%,即90%以上的风沙流在距地表20 cm以下。

3.2 近地表风况变化

风沙运动是一种贴近地表的气流对沙粒搬运现象,风是沙粒发生运动的动力。因此,近地面层风的性质对研究风沙运动、阐明风蚀机理有重要作用。风速廓线就是反应近地面层风性质的一个重要参数指标,是指风速沿高程的分布。由于自然风蚀过程中近地表风的运动几乎都是湍流,各点的流速大小和方向都随时间脉动,表现出一定的阵性。因此,在讨论近地层大气风速时,用一定时间间隔的平均风速代替瞬时风速^[7]。风沙活动层中风速随高度的分布一般遵循对数规律,但由于不同下垫面对气流紊动性的影响程度不同,使得携沙气流能量在近地层分布变化很大,因此试验中3种地表风速廓线有明显区别,以风洞中心风速16 m/s,莜麦留茬30 cm、覆盖度为70%的保护性耕作农田,中粒径、42%砾石覆盖度的秋翻地对对照秋翻地表风速廓线作对比分析。拟合后,表现为 $u = a \exp(bx) + c \exp(dx)$ 形式,拟合方程系数和精度如表2所示。

根据拟合方程作出3种地表的风速廓线如图5

表 2 风速廓线拟合方程参数及相关系数

Tab.2 Wind profile fitting equation parameters and correlation coefficient

地表类型	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> ²
苜麦留茬	45.22	0.1519	0	0	0.9414
砾石覆盖	1.029	0.3826	15.8	0.1163	0.9969
秋翻地	0.1477	0.5241	0	0	0.9836

所示。由图中可见,随高度的增加苜麦留茬地表的风速增加最慢,砾石覆盖地表次之,秋翻地表最快,这是由于不同下垫面对气流的阻挡程度不同。在距地表 100 cm 处苜麦留茬风速较秋翻地表降低 61.5%,较砾石覆盖地表降低 50.2%,在 100 cm 高度以下时降幅更大。在不同高度上砾石覆盖地表较秋翻地表风速也有一定程度的降低,距地表越近风速降低率越大。通过计算风沙边界层的另外一个重要参数——空气动力学粗糙度(是指近地表平均风速为零的高度)发现,3 种地表在中心风速为 16 m/s 时平均空气动力学粗糙度分别为苜麦留茬 12.31 cm,砾石覆盖 6.61 cm,秋翻地 2.60 cm。空气动力学粗糙度也反应苜麦留茬对近地表风速的减弱效果好、防护能力强。综合分析可见,苜麦留茬、砾石覆盖与秋翻地相比都能明显降低近地表风速,对地表土壤起到保护作用,在抑制土壤风蚀过程中起重要作用。

表 3 苜麦留茬、砾石覆盖旱作农田的防风蚀效率

Tab.3 Oat stubble and grave covering drought farmland wind erosion efficiency

地表类型	14% 砾石盖度	28% 砾石盖度	42% 砾石盖度	30% 盖度,苜麦留茬	50% 盖度,苜麦留茬	70% 盖度,苜麦留茬	%
防风蚀效率	25.73	58.71	63.50	70.97	80.55	87.78	

由表 3 可以看出,挟沙风时,当砾石覆盖度由 14% 提高到 28% 时,防风蚀效率增加 32.98%,增幅很大。当砾石覆盖度由 28% 提高到 42% 时,防风蚀效率只增加 4.79%。说明 28% 的砾石覆盖度是防治旱作农田地表风蚀的合适覆盖度,若进一步增加覆盖度,防风蚀能力增加效果不明显,还会增加经济投入。当苜麦留茬地植被盖度由 30% 提高到 50% 时,防风蚀效率增加 9.58%,植被盖度由 50% 提高到 70% 时,防风蚀效率增加 7.23%。说明随植被盖度的增加苜麦留茬地表的防风蚀效率相应提高,在 50% 植被盖度时苜麦留茬地表的防风蚀效率已达 80.55%,具有很好的防风蚀能力。综合比较还可以看出,在覆盖度接近的情况下,砾石覆盖旱作农田地表的防风蚀效果不如苜麦留茬地表,其原因主要为,砾石覆盖地表所用砾石平均高度为 6 cm,而苜麦茬的平均高度为 30 cm,这样砾石覆盖对风沙颗粒的

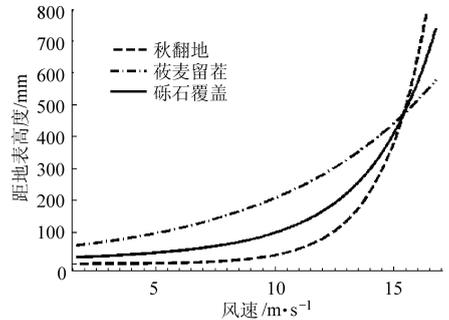


图 5 旱作农田风速廓线

Fig.5 Drought farmland wind profile

3.3 抗风蚀效果分析

为进一步定量分析苜麦留茬和砾石覆盖对旱作农田风蚀的防护效果,用抗风蚀效率进行评价。以秋翻地各级相应风速下的输沙量为基准,由于苜麦留茬和砾石覆盖对旱作农田具有不同程度的保护作用,输沙量会有一定的减少。将输沙量的减少量占基准输沙量的比率称为抗风蚀效率,计算公式为

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

式中 Q_1 ——秋翻地的输沙量, g

Q_2 ——苜麦留茬、砾石覆盖地表的输沙量, g

η ——抗风蚀效率, %

由上式计算出不同苜麦留茬和砾石覆盖旱作农田地表在各级风速下平均抗风蚀效率与覆盖度的关系如表 3 所示。

阻挡拦截不如苜麦地表好。另外砾石块径大,覆盖地表集中、但相邻砾石空隙大;而苜麦茬直径细、分布相对疏松,植株间隙小,对风的阻挡效果好,苜麦留茬对近地表风速的削减作用明显好于砾石覆盖地表,这由二者的近地表风速廓线清晰可见。因此,砾石覆盖防风蚀效果不如苜麦留茬好。

4 结束语

针对农田风蚀给北方地区造成的沙害,利用移动式风蚀风洞及配套设备对苜麦留茬、砾石覆盖和对照秋翻地的近地表风沙运动规律及防风蚀效果进行了原位测试试验。结果表明:苜麦留茬、砾石覆盖与秋翻地相比,近地表风沙活动均有不同程度提升;苜麦留茬、砾石覆盖地表输沙量明显小于对照秋翻地,它们对旱作农田土壤风蚀具有不同程度的防护作用,但砾石覆盖的防风蚀效率不如苜麦留茬好。

参 考 文 献

- 1 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.
Chen Zhi, Ma Shuoshi, Zhao Yonglai, et al. Characteristics of drifting sand flux over conservation tillage field [J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(1):118~122. (in Chinese)
- 2 陈智. 阴山北麓农牧交错区地表土壤抗风蚀能力测试研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
Chen Zhi. Testing study on resistance to wind erosion of land surface soil in the cross region between farmland and grassland in Yinshan Mountain area [D]. Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 3 孙悦超,麻硕士,陈智,等. 北方农牧交错区草原地表土壤风蚀原位测试技术[J]. 农业机械学报,2010,41(6):49~52,60.
Sun Yuechao, Ma Shuoshi, Chen Zhi, et al. In situ testing on soil erosion of grassland surface in the northern farming-pastoral zone[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(6):49~52,60. (in Chinese)
- 4 范贵生. 可移动式风蚀风洞设计及其空气动力学性能研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.
Fan Guisheng. Study on design and aerodynamic performance of movable wind erosion tunnel [D]. Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 5 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.
Sun Yuechao. Test research on soil resistance to wind erosion effect in the different surface coverage in Houshan area of Inner Mongolia [D]. Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 6 孙悦超,麻硕士,陈智,等. 保护性耕作农田风沙流空间分布规律研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(4):180~184.
Sun Yuechao, Ma Shuoshi, Chen Zhi, et al. Testing and research on space distribution rule of drifting sand flux on farmland with conservative tillage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(4):180~184. (in Chinese)
- 7 郝青振,邹学勇,董光荣. 室内沙风洞空洞条件下流场规律[J]. 中国沙漠,1998,18(4):334~339.
Hao Qingzhen, Zou Xueyong, Dong Guangrong, et al. The flow field law under empty tunnel condition in indoor wind tunnel [J]. Journal of Desert Research,1998,18(4):334~339. (in Chinese)
- 8 Wang X, Wang T, Dong Z, et al. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 65(1):129~141.
- 9 Maurer T, Herrmann L, Gaiser T, et al. A mobile wind tunnel for wind erosion field measurements [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 66:257~271.
- 10 Borak S B, Jasinski M F, Crago R D. Time series vegetation aerodynamic roughness fields estimated from moths observations [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 135(1~4):252~268.
- 11 Zhang Chunlai, Zou Xueyong, Gong Jirui, et al. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel [J]. Soil & Tillage Research, 2004,75(1):53~59.
- 12 Daniel E Buschiazzo, Ted M Oobeck, Bascal S A. Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid pampas of Argentina [J]. Journal of Arid Environments, 2007, 69(1):29~39.

(上接第 53 页)

- 12 许明祥, 刘国彬, 卜崇峰, 等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4):54~58.
Xu Mingxiang, Liu Guobin, Bu Chongfeng, et al. Experimental study on soil infiltration characteristics using disc permeameter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(4):54~58. (in Chinese)
- 13 Lei T W, Liu H, Pan Y H, et al. A run off-on-ponding method and models for the transient infiltration capability process of sloped soil surface under rainfall and erosion impacts[J]. Journal of Hydrology, 2006,319(1~4): 216~226.
- 14 毛丽丽, 雷廷武, 刘汗, 等. 用水平土柱和修正的 Green-Ampt 模型确定土壤入渗性能的方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 35~38.
Mao Lili, Lei Tingwu, Liu Han, et al. An algorithm method for infiltrability determination with horizontal soil column and modified Green-Ampt model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(11): 35~38. (in Chinese)