

作物残茬覆盖农田地表面风沙流分布规律

赵永来¹ 陈智^{2*} 孙悦超¹ 王荣莲³

(1. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109;

2 内蒙古农业大学 机电工程学院, 呼和浩特 010018;

3. 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010019)

摘要 利用移动式风蚀风洞对秋翻地和作物残茬覆盖农田进行原位测试, 探讨作物残茬覆盖农田地表面风沙流的分布规律。结果表明: 作物残茬覆盖农田地表的单位面积输沙量随风速与距地表高度的增加而明显增大, 残茬盖度越大, 输沙量越小; 风沙流的活动主要集中在直立残茬高度范围内, 在距地表 300 mm 高度内的输沙量占输沙总量的 86% 以上; 在高风速下 65% 以上盖度的残茬覆盖农田, 具有更佳的风沙流截留效果。

关键词 风沙流; 作物残茬; 移动式风洞; 输沙量; 相对截留率

中图分类号 S 157.4

文章编号 1007-4333(2013)02-0038-07

文献标志码 A

Research on distribution rule of wind-sand flow over farmland covered by crop residuals

ZHAO Yong-lai¹, CHEN Zhi^{2*}, SUN Yue-chao¹, WANG Rong-lian³

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

2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

3. Institute of Water Resources Research, Inner Mongolia, Huhhot 010019, China)

Abstract In order to investigate distribution rule of wind-sand flow over farmland covered by crop residuals, a moveable wind tunnel for aeoliation was employed to carry out the field test both on autumn tillage field and crop residual stubble coverage fields. The results showed that field sediment transport amount on farmland covered by crop residuals increased with the increasing of wind speed and height from field surface, the more the stubble coverage, the less the sediment transport amount. The configuration of wind-sand flow was mainly occurred within the height of stubbles and the sediment discharge accounted for 86% of the total amount within the height of 300 mm from the earth's surface. The farmland covered by crop residuals has better interception effect if its cover degree exceeds 65% at high wind speed.

Key words wind-sand flow; crop residual stubble; moveable wind tunnel; sediment transport amount; relative interception rate

风是塑造干旱半干旱区地表景观的主要外营力之一, 是各种风沙地貌发育和沙尘灾害暴发的主导因素^[1]。土壤风蚀则是风力作用下土壤颗粒被侵蚀搬运的动态过程, 是造成侵蚀区表土粗化和沉降区粉尘污染的根源^[2]。我国受风蚀影响的土地面积占国土总面积的一半以上, 其中以北方旱作农业区最

为广泛^[3-4]。农田风蚀是我国北方旱作农业地区土地退化的主要原因之一。风沙流的出现是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。风蚀越严重, 风沙流的强度就越大, 由土壤颗粒输送与堆积引发的风沙流危害也越严重。目前, 农田土壤风蚀的防治主要采取免耕、留茬和秸秆

收稿日期: 2012-06-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161045); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2010BS0607)

第一作者: 赵永来, 副教授, 主要从事农牧业机械性能测试与控制研究, E-mail: zhaoyonglai@126.com

通讯作者: 陈智, 教授, 主要从事保护性耕作与环境控制技术研究, E-mail: chz6653@sohu.com

覆盖等保护性耕作措施,以降低近地表风速,削弱气流对土壤表面的剪切力,降低土壤风蚀强度^[5-6]。防治农田沙害的根本措施是抑制或削弱风沙流的强度,但风沙流的强度与近地表作物残茬覆盖有直接关系,因此,研究作物残茬覆盖农田地表风沙流分布的结构特性,对于防治农田土壤风蚀,消除风沙危害具有重要的意义。

国内外对农田风蚀中植被效应、土壤性质、耕作模式、气候因子等进行了大量研究,取得了许多成果。Wolfe 等研究认为植被覆盖能提高地表空气动力学粗糙度、降低风速和阻挡沙尘,对地表起到保护作用^[7-14];董治宝等通过风洞研究发现,随着植被覆盖度的增加,土壤风蚀率急剧下降^[15-16];刘晓冰等研究显示农作物秸秆覆盖不仅可以减少风蚀,还可以增加土壤养分^[17]。对农田地表特别是作物残茬覆盖农田地表风沙流分布结构特性的测试较少。本研究拟利用移动式风蚀风洞野外原位测试方法,以秋翻地为对照,系统研究作物残茬覆盖农田地表风沙流的分布特征,以期弥补作物残茬覆盖农田风沙流研究方面的不足,为北方旱作农区有效抑制风沙流提供科学依据。

1 试验区概况

研究区位于内蒙古武川县保护性耕作项目区(41°08′22.8″N,111°17′43.6″E),位于北方农牧交错带的中段,是我国典型的半干旱偏旱农业区。气候特点为春季干燥、季风强烈,夏季短促,冬季严寒,年平均气温 2.5℃。降水量约 360 mm,无霜期 105 d 左右,月平均气温大于或等于 0℃的年积温,历年平均为 2 578.5℃,全年月平均风速为 4.5 m/s,4—5 月风速最大,月均风速达 6 m/s。土壤为栗钙土,多孔隙、沙性,有机质含量低。主要农作物有小麦、燕麦、马铃薯、油菜等,适宜栽培 1 年 1 熟作物,作物生产完全是旱作雨养农业,单产很低,广种薄收,该区面临着严重的土壤侵蚀和荒漠化威胁,马铃薯种植和收获需要深层翻耕,使大面积土壤长期呈疏松状态,加重了该地区的土壤风蚀沙化。项目区保护性耕作带与间作翻耕带宽度均为 8 m,保护性耕作带残茬高度 27~37 cm,行间距 20 cm,地表残差盖度为 30%~90%。

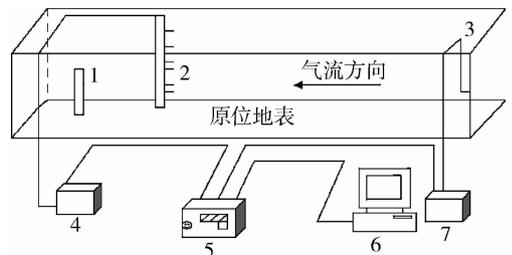
2 试验条件与设计

2.1 试验设备及方法

测试设备为 0FDY-1.2 型直流吹气可移动式风

蚀风洞和配套的风速测试控制系统。通过室内模拟和野外草地、农田等多种原位地表空气动力学相似性试验证明,该风洞相似性满足旱作农田、草地等土壤风蚀的测试要求。风洞由过渡段、整流段、收缩段和试验段组成,试验段长 7.2 m、宽 1.0 m、高 1.2 m,气流速度均匀性小于 1%,紊流度小于 1.5%,轴向静压梯度小于 0.005。风速在 0~20 m/s 内无级可调。经中国科学院旱区环境与工程研究所鉴定,该风洞结构符合低速风洞的设计要求,在试验段能够模拟自然风,产生自由旋涡气流和稳定流动的气流场;试验段的风速廓线与真实地表自然风速廓线基本一致。

测试时将移动式风蚀风洞分别放置在传统耕作农田(秋翻地:未耙没且垄基为 10 cm 的翻耕地表)与作物残茬覆盖农田地表上进行原位测试,放置时使洞体纵向与地表垄向垂直。采用与风洞配套的排沙器模拟挟沙风,排沙器轴以电动机为动力源,通过调节变频器频率来控制电动机转速,进而改变排沙轮转速。集沙仪分别安置在风洞轴线上距风洞试验段进口 5 个位置处,取 10 个测试高度的风蚀物。利用风速采集系统测试风洞中心风速,风洞中心风速由置于洞体内试验段入口处轴线上位置的皮托管测速装置来测定,皮托管通过微压差传感器与计算机连接,试验时将气温与大气压输入计算机,实现风速适时自动采集,采集后通过数据采集卡传给以 LabWindows/CVI(C For Virtual Instruments)作为平台开发的数据采集软件,并显示、记录、保存于计算机中(图 1)。



1. 集沙仪; 2. 风速廓线仪; 3. 风速皮托管; 4. 压差传感器; 5. 数据采集器; 6. 计算机; 7. 压差传感器。

1. Sand sample; 2. Wind profiler; 3. Wind pitot tube; 4. Differential pressure sensor; 5. Data collector; 6. Computer; 7. Differential pressure sensor.

图 1 试验仪器示意图

Fig. 1 Layout diagram of moveable wind tunnel

2.2 试验设计

鉴于测试区的气候特征,试验选择在植被未返青且土壤风蚀最严重的4月份(2009年春季)进行。所选测试地表植被为油菜、小麦和燕麦(表1),其植株平均密度为400株/m²,植株行距为20 cm。对照秋翻地为马铃薯地。测试期间大气平均温度9℃,大气平均压力825 kPa,将残茬覆盖农田设计成油菜、小麦、燕麦留茬,其中30 cm茬高下对应45%、

76%和90%的残茬盖度和20 cm小麦茬高下对应65%的残茬盖度,残茬盖度是植被垂直投影面积占地表总面积的百分比,残茬盖度值由压线法测取10次的平均值获得。在每一中心风速下,集沙仪设置在距风洞工作段进口3.00,3.75,4.50,5.25,6.00 m共5个测点处,分别收集称量集沙仪(20、60、120、180、240、300、400、500、600、700 mm)10个高度上的风蚀物。

表1 测试地表不同作物的留茬高度、盖度和含水率

Table 1 Height, coverage and moisture content on the earth's surfaces for different crop residual stubbles

类别 Category	作物残茬 Crop residual stubble coverage field			秋翻地 Autumn tillage
	油菜 Rape	小麦 Wheat	燕麦 Oat	
茬高/cm Stubble height	30	20	30	0
盖度/% Coverage	45	65	76	90
含水率/% Moisture	8.65	9.87	11.48	12.03

考虑到研究区域土壤风蚀的起沙风速平均值是6 m/s,所以本试验是在大于起沙风速的情况下对常见自然风速取几个水平进行测试研究的,这5个风速与试验区的自然风速具有很好的一致性。故试验时风洞中心风速设计为6、9、12、15、18 m/s,在5个风速下分别连续吹蚀,为了完成测试系统数据的可靠采集,且能收集到满足进一步分析的土壤风蚀物,风沙流与风洞中心风速的采集时间统一设计为10 min,最终用于分析的风沙流和风速是10 min内采集结果的平均值。试验结果为在同一测点测试5次的平均值。

2.3 数据处理

输沙量是指风沙流在单位面积上输运的沙量,是衡量土壤风蚀程度的重要指标之一。本研究通过风蚀风洞原位测试方法,获取秋翻地、油菜留茬地、小麦留茬地、燕麦留茬地不同高度处的风沙流的输沙量。将风洞中集沙仪收集垂直方向上10个不同高度的风蚀物沙蚀量进行积分,通过计算得出输沙量,并对测试数据进行了显著性分析。

风沙流对地表的磨蚀强度很强,所以控制和降低风沙流中的颗粒尘土会大幅度降低其对地表的磨蚀作用。残茬覆盖农田对风沙流的阻挡与截留效果和其对风沙流中沙尘颗粒物质的有效拦截关系密

切,拦截效率是一个重要指标,它是指风沙流中的沙尘颗粒经过一定长度地段的残茬覆盖农田地表后被拦截下的沙尘颗粒与原来风沙流中沙尘颗粒质量之比。本文采用相对截留率作为残茬覆盖农田对风沙流拦截效果的评价指标。以秋翻地在给定风速下的输沙量为基准,将输沙量的相对减少量占基准输沙量的比率称为相对截留率,计算公式为

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

式中:Q₁为秋翻地的输沙量,g/cm²;Q₂为残茬覆盖地表的输沙量,g/cm²;η为相对截留率,%。

3 结果与分析

3.1 不同风速下近地表风沙流垂向分布

对秋翻地和3种残茬盖度下的农田地表风沙流结构进行原位测试,研究发现,由于下垫面的不同,农田地表风沙运动也有很大差别(图2)。秋翻地地表土壤表现出明显的近地表的风沙活动(图2(a)),由于测试地表为前一年秋收后翻耕未加耙平的地表,且垄基高度为10 cm左右。研究表明距地表500 mm以下的输沙量占输沙总量的97.39%~99.54%,而在距地表300 mm高度范围内输沙量占输沙总量的84.71%~88.22%,且输沙量的最大值

始终出现在距地表 300 mm 以下；以 300 mm 为界，下层输沙量均随着风速的增加而增加，但上层输沙

量的增量很小，说明 90% 以上的风沙流活动在距地表 300 mm 以下。

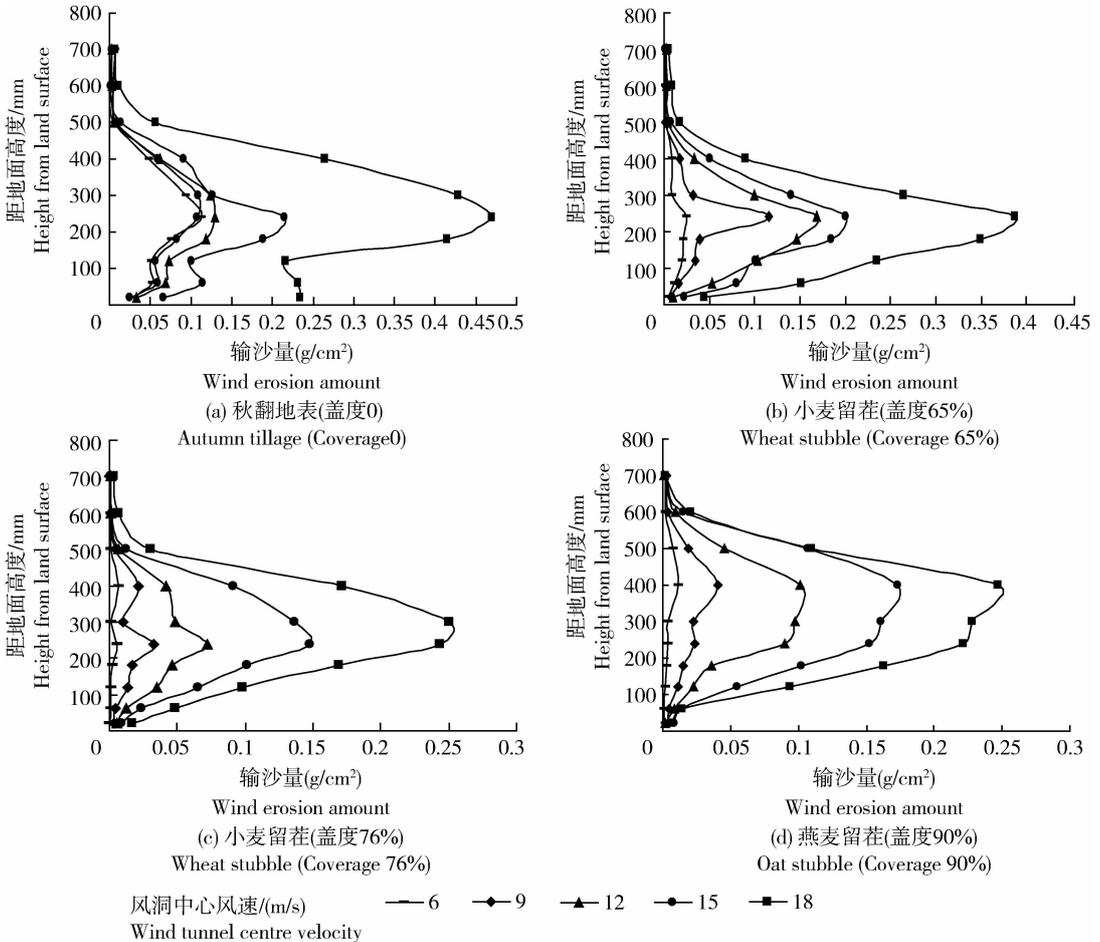


图 2 秋翻地表与留茬地表风沙流垂向分布

Fig. 2 The vertical distribution of wind-drift sand over autumn-ploughed farmland and residual stubble coverage farmland

与秋翻地对比可以看出，3 种残茬覆盖农田地表面的风沙流活动表现出不同的特征。由于残茬覆盖的作用，不同残茬盖度地表风沙流在输送过程中其结构发生了明显的变化。在残茬高度范围内输沙量分布略显杂乱，但整体随风速的增加趋势仍很明显，特别是当风速超过 12 m/s 后，输沙量的增幅更加显著。在距地表 300 mm 以下，输沙量随风速与高度的增加而增加，在 300 mm 以上输沙量随高度的增加而递减；随残茬盖度的增加，留茬地表小麦留茬(65%盖度)、小麦留茬(76%盖度)、燕麦留茬(90%盖度)在距地表 300 mm 高度范围内输沙量分别占输沙总量的 88.27%~93.49%、55.24%~81.99%、

41.05%~65.72%；3 种残茬覆盖地表的输沙量最大值的出现位置分别在 240、300、400 mm 处，即输沙量的极大值出现位置随残茬盖度的增大呈现明显的增加趋势；对输沙量随风速与距地面高度变化进行双因素方差分析，结果均为显著；同一风速下，输沙总量随着残茬盖度的增大明显减少，以 18 m/s 为例，2 种小麦留茬盖度农田的输沙总量较秋翻地分别降低了 13.91% 和 35.75%。

可见，残茬盖度是一个改变风沙流结构特征的重要参数，因为具有残茬覆盖的农田不破坏根层结构，土壤保持自然状态，团粒结构相对稳定，颗粒间有较强的聚合力并充分利用根系残茬的固土作用，

更增强了土壤的机械稳定性,同时作物残茬覆盖也增加了地表的空气动力学粗糙度,从而有效降低了地表的风力,提高了土壤表层的含水率,出现了输沙量随残茬盖度的增大而降低的显著趋势。对于秋翻地,由于冬春季节地表土壤长期裸露,大风吹蚀地表频繁,土壤中的细颗粒和有机质被大量吹蚀运移,致使土壤表层沙粒含量增加,黏粒和有机质含量降低,其抵抗风沙流吹蚀的能力减弱。因此,地表下垫面

特性对近地表气流层中的风沙流有着较大的影响,在其他下垫面特性基本相同的条件下,残茬盖度越大,单位面积输沙量越小。

3.2 相同风速下近地表风沙流水平分布

在同一风速下(以 12 m/s 为例,其他类同),分别测试秋翻地(0 盖度)、小麦留茬(65% 盖度、76% 盖度)、燕麦留茬(90% 盖度)在距风洞试验段进口的 5 个位置处的单位面积输沙量(图 3)。

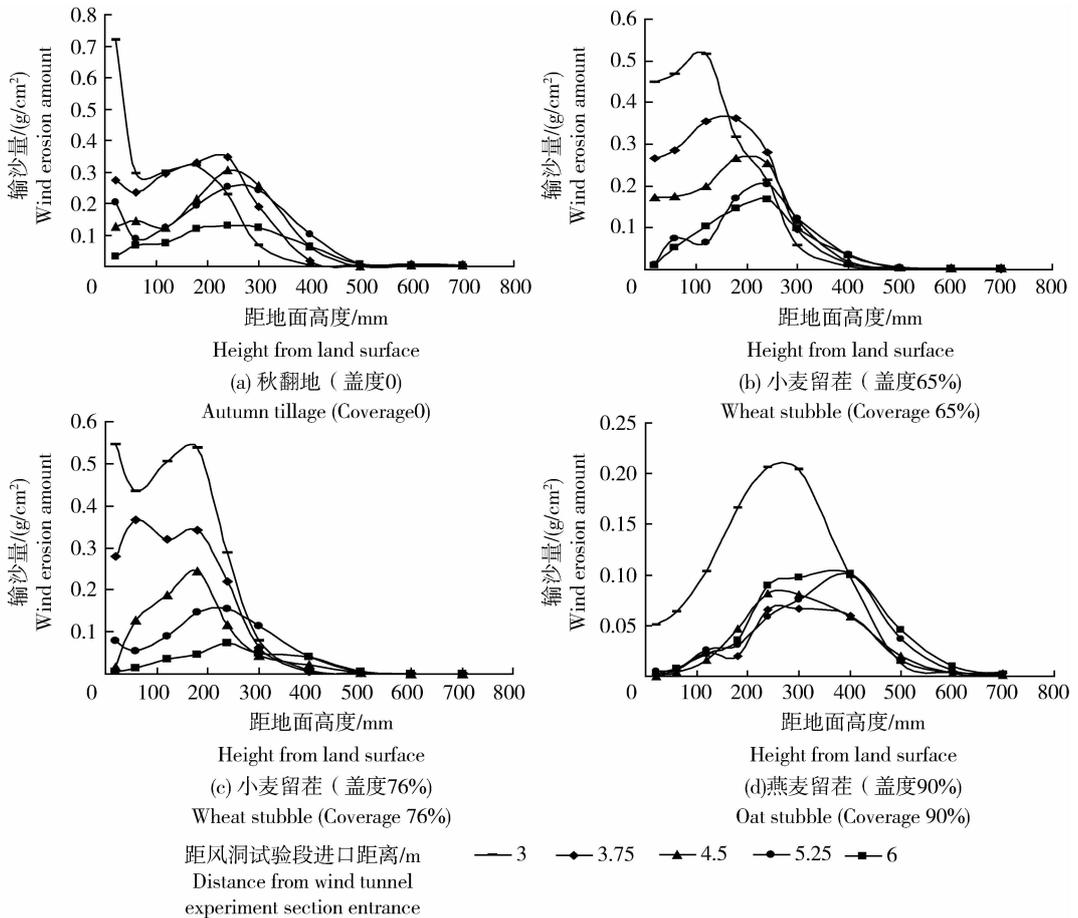


图 3 秋翻地表与留茬地表风沙流水平分布

Fig. 3 The horizontal distribution of wind-drift sand over autumn-ploughed farmland and residual stubble coverage farmland

可以看出,在测试长度范围内,单位面积输沙量随距地面的高度的增大其变化规律有如下特点:输沙量主要集中在距地表 300 mm 高度内,这一高度的输沙量占输沙总量的 86% 以上,表明风沙流的活动主要集中在直立残茬高度范围内。小麦留茬(65% 盖度和 76% 盖度)地表在 180 mm 高度以下,

单位面积输沙量随距地面的高度的增大而增加,在 180 mm 以上,输沙率随距地面高度的增加而迅速递减,燕麦留茬地表的这一临界点则在 240 mm 处,其主要原因是残茬盖度可以有效地隔离风力对土壤的直接作用和直立残茬对气流的抬升作用,把风速廓线抬高了 23.44 cm^[18];其次,在风的活动层高度

以上,随着风洞试验段进口距离的增长,风沙流穿透植被层到达风的活动层高度的沙粒数量随之增多,此时由于受到重力作用而下落的沙粒数量远小于穿透植被层上升的沙粒数量,因此风沙流曲线呈增加的趋势。当水平距离继续增大时,穿透植被层的风蚀物和受到重力而下降的风蚀物达到动态平衡,此时输沙量达到最大,曲线出现极大值^[19]。此后,随距试验段进口距离的进一步增加,穿透植被层的风蚀物少于受到重力下降的风蚀物,因此 180 和 240 mm 高度对应风蚀物分布曲线呈现图示的变化规律。400 mm 高度以上,受植被冠层的阻挡使得穿透植被层的风沙流主要是一些粒径较小的粉尘和浮尘,数量极少并可以输送到很远的距离。

进一步分析发现,秋翻地的单位面积输沙量随着距风洞试验段进口位置的增加变化并不显著,对比秋翻地 3 种盖度地表则表现出明显的变化趋势。具体是:3 种盖度地表的输沙量均随着距风洞试验段进口位置的增加而递减,各高度层的输沙量变化的曲线斜率都较小,且距离较近。输沙量在水平方向的运动基本达到了平衡稳定状态^[20]。最大输沙量的高度随距风洞试验段进口距离的减少而降低。说明残茬盖度越小,其阻挡风沙流的效果越弱。这一规律符合无直立残茬的存在(或裸地)地表,其单

位面积输沙量随高度的降低而增加,越贴近地表输沙量越大。

3.3 风沙流截留效果分析

根据相对截留率的计算公式计算出不同残茬覆盖地表条件下的相对截留率结果见表 2。可以看出,当风速为 6 m/s 时,90%盖度的燕麦留茬地表比 76%、65%盖度的小麦留茬地表和 45%盖度的油菜留茬地表的相对截留率分别提高 6.04%、4.83%、9.87%;当风速为 9 m/s 时,分别提高了 4.25%、8.02%、11.62%;当风速为 18 m/s 时,分别提高了 16.68%、60.93%、66.16%。由此可见,残茬盖度从 45%增加到 65%时,对风沙流的相对截留率提高并不显著,即地表的残茬盖度超过 45%以后,残茬盖度的增加对风沙流的相对截留率影响并不大,但当风速达到 18 m/s 时,残茬盖度越高,其对风沙流的相对截留率的增加幅度越大,说明残茬盖度越大,高风速下的对风沙流的截留效果越好。

同一残茬覆盖农田地表,风速从 6 m/s 增加到 18 m/s,45%盖度油菜留茬地表的相对截留率下降 70.35%;65%盖度小麦留茬地表下降 67.29%;76%盖度小麦留茬地表下降 29.97%;90%燕麦留茬地表下降 21.06%(表 2)。可见,残茬盖度越小,相对截留率随风速的增加而下降趋势愈加显著。

表 2 不同残茬覆盖农田的相对截留率

Table 2 Relative interception rate of farmland with different coverage stubble

风速/(m/s) Velocity	油菜,盖度 45% Rape, coverage 45%	小麦,盖度 65% Wheat, coverage 65%	小麦,盖度 76% Wheat, coverage 76%	燕麦,盖度 90% Oat, coverage 90%
6	72.36	76.41	75.44	80.29
9	46.72	48.62	50.61	52.86
18	21.45	24.76	52.81	63.38
平均值 Average	46.84	49.93	59.62	65.51

4 结 论

地表下垫面特性对近地表气流层中的风沙流有着较大的影响,在下垫面其他特性基本相同的条件下,残茬盖度越大,单位面积输沙量越小。随着风速与距地表高度的增加,作物残茬覆盖农田地表的输沙量明显增大;风沙流的活动主要集中在直立残茬高度范围内,在距地表 300 mm 高度内的单位面积

输沙量占输沙总量的 86%以上;输沙量的极大值出现位置随残茬盖度的增大呈现明显的增加趋势,同一风速下,输沙总量随着残茬盖度的增大明显减少;高风速下作物对风沙流的截留效果随残茬盖度的增大而增大,作物残茬覆盖地表,不仅改变了风沙运动规律,而且其最大单位面积输沙量明显低于无任何残茬覆盖的秋翻地地表。因此,作物残茬覆盖是一种有效防治野外农田风沙流的措施。

参 考 文 献

- [1] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987
- [2] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 203-212
- [3] 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, 7(5): 6-12
- [4] 董治宝, 陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题初论[J]. 水土保持学报, 1997, 3(2): 84-90
- [5] 董光荣, 李长治, 金炯, 等. 关于土壤风蚀风洞试验的若干结果[J]. 科学通报, 1987, 32(2): 297-301
- [6] 辜松, 小松崎将一, 森泉昭治, 等. 覆盖作物与耕作法对土壤性质的影响[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 37-40
- [7] 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
- [8] 赵永来, 麻硕士, 陈智. 直立植被抗风蚀性能的测试与评价[J]. 农机化研究, 2007(3): 107-110
- [9] 孙悦超, 麻硕士, 陈智, 等. 阴山北麓干旱半干旱区地表土壤风蚀测试与分析[J]. 农业工程学报, 2007, 27(12): 1-5
- [10] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 免耕条件下农田休闲期直立作物残茬对土壤风蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 66-71
- [11] Hupy J P. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate[J]. Arid Envir, 2004, 58(2): 167-179
- [12] Liu M X, Wang J A, Yan P, et al. Wind tunnel simulation of ridge-tillage effects on soil erosion from cropland[J]. Soil Till Res, 2006, 90(2): 242-249
- [13] 冯晓静, 高焕文, 王丽洁, 等. 北京周边典型农田风蚀风洞试验与防治分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 64-67
- [14] 陈智, 麻硕士, 范贵生, 等. 马铃薯带状间作农田地表土壤抗风蚀效应研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 51-54
- [15] 董治宝, 陈渭南, 李振山, 等. 植被对土壤风蚀影响作用的实验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 1-8
- [16] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 植被覆盖地表抗风蚀性能的测试与研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(7): 1-4
- [17] 刘晓冰, 宋春雨, Stephen J H. 覆盖作物的生态效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 365-368
- [18] 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: 内蒙古农业大学机电工程学院, 2006: 41-42
- [19] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 作物残茬覆盖农田地表土壤抗风蚀效应试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 38-42
- [20] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 阴山北麓农牧交错区保护性耕作带地表抗风蚀能力的测试与分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(4): 147-151

责任编辑: 刘迎春