

作物残茬覆盖对农田土壤风蚀的影响

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, 内蒙古 呼和浩特 010018;

3. 内蒙古水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 为定量评价干旱半干旱地区农田土壤抗风蚀效果, 采用移动式风洞及其配套测试系统对内蒙古武川县上秃亥乡农田地表进行了原位测试研究。结果表明, 不同风速下土壤风蚀量随作物残茬盖度的增加呈指数规律减少; 40% 以上残茬盖度可明显提高土壤颗粒起动风速并减少风蚀量; 当风速为 14~18 m/s 时, 地表作物残茬盖度为 60%~80% 具有较好的抗风蚀效果。

关键词: 残茬覆盖; 风蚀; 移动式风蚀风洞

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0084-04

土壤风蚀是干旱半干旱地区土地退化的主要原因之一, 受到气候、土壤、植被和人类等因素的共同影响, 其作用过程与机理比一般风沙运动更为复杂。植被覆盖地表是控制农田土壤风蚀的有效措施, 覆盖物可以是生长着的植物, 也可以是农作物的残茬。作物残茬覆盖地表可以降低近地表风速, 防止风力直接作用于地表土壤, 直立残茬还能把处于风蚀过程中的土壤颗粒截留下来, 其作用已被大量的研究所证实^[1-6]。在风蚀过程中, 一定风速下, 只要植被覆盖度达到某个值, 就能使风蚀量降为零, 这个临界植被盖度水平被称为有效植被盖度。研究不同风速条件下的有效植被盖度, 对于探讨植被覆盖与风蚀输沙量之间的定量关系和防治土壤风蚀实践具有十分重要的意义^[7-9]。

长期以来, 人们试图通过野外观测或室内风洞模拟实验来确定实际地表土壤风蚀与作物残茬覆盖的定量关系^[10-12], 但由于自然风的不确定性与模拟实验土样的不稳定性, 从而影响研究结果的精确性。为提高测试的精准度并获得可靠实验数据, 在总结分析前人研究的基础上, 本文利用移动式风蚀风洞及其测试系统对武川县上秃亥乡不同残茬盖度地表进行原位测试, 以期探讨不同地表残茬盖度与土壤风蚀量的关系, 以及保护性耕作地表在不同风速下的有效作物残茬盖度, 为当地的土壤风蚀防治与农牧业生产提供科学的理论依据和技术指导。

1 研究方法

1.1 试验设计

试验设在内蒙古自治区中部的武川县上秃亥乡

保护性耕作项目区, 该区地处北纬 40°33', 东经 112°17'。年降水量 300 mm, 春季干燥多风, 平均风速可达 6 m/s。农田土壤为栗钙土, 疏松干燥, 含水量少, 有机质和养分含量较低, 极易发生风蚀。保护性耕作项目区有小麦残茬覆盖农田、苜蓿残茬覆盖农田、油菜残茬覆盖农田等, 本实验选小麦残茬覆盖的保护性耕作农田地表。

2009 年 4 月, 选择传统耕作农田(秋翻地)、保护性耕作农田(小麦残茬覆盖)进行测试与分析。利用移动式风蚀风洞进行典型地表抗风蚀能力的原位测试, 即由风洞提供足够的风力, 模拟自然风在风蚀地表原位来定量研究地表土壤的风蚀问题。测试时将移动式风蚀风洞置于保护性耕作地表(小麦残茬, 设计茬高为 30 cm), 盖度分别设计为 20%、30%、50%、70%, 试验时测得对应盖度下地表土壤平均重量含水率分别为 8.24%、9.86%、10.35%、12.01%, 以传统耕作农田(设计残茬盖度为 0)作为对照, 其平均重量含水率为 5.39%。作物残茬盖度是指作物垂直投影面积占地表面积的百分比, 它是刻画陆地表面积作物数量的一个重要参数, 本实验的残茬盖度是通过网格法实际测定各地表得出。由于研究区域起沙风速均在 6 m/s 左右, 故试验时风洞中心风速设计为 6、9、12、15、18 m/s 等 5 个等级, 每种风速下的吹蚀时间均为 10 min。

1.2 测试仪器与测试方法

试验采用内蒙古农业大学研制的 OFDY-1.2 移动式风蚀风洞及其配套测试系统。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、

收稿日期: 2010-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40861013)

作者简介: 赵永来(1973—), 男, 内蒙古包头市人, 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(1962—), 男, 内蒙古察右前旗人, 副教授, 主要从事机械化保护性耕作、环境控制工程与技术装备方面的研究。

E-mail: chz6653@sohu.com。

宽 1 m、高 1.2 m, 风速范围 0 ~ 20 m/s, 可无级变速调节, 其结构简图如图 1 所示。风速廓线仪置于距试验段出口 1 800 mm, 距侧壁 300 mm 处, 风速采集点距地表 50、100、200、400、600 mm。风洞集沙仪放在距试验段出口 1 200 mm 处的风洞轴线上, 测试 1 cm 宽、20、60、120、180、240、300、400、500、600、700 mm 共 10 个高度的风蚀物收集量。利用 MATLAB7.0 软件对净风吹蚀下集沙仪收集的风蚀量随高度变化在 0 ~ 70 cm 之间进行积分, 得出移动式风蚀风洞吹蚀 10 min 通过 1 cm 宽、距地表 0 ~ 70 cm 高度垂直面的土壤风蚀量, 积分公式为:

$$Q = \int_0^{70} q dx \tag{1}$$

式中, q 表示在各高度的土壤风蚀物含量 (g/cm^2); x 表示距地表高度 (cm); Q 表示在 1 cm 宽、0 ~ 70 cm 高度范围内的土壤风蚀量 (g)。

试验时将气温与大气压值输入计算机测试面板, 风速廓线仪测得风速值由计算机自动采集。测试设备布置如图 2 所示。

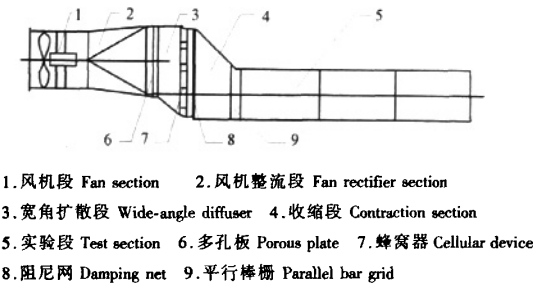


图 1 风洞结构示意图
Fig.1 Structure of wind tunnel

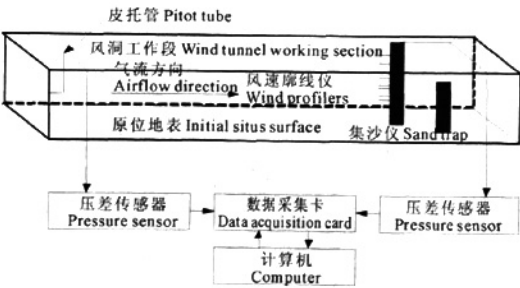


图 2 试验布置图
Fig.2 Diagram of test system

2 结果与分析

2.1 净风吹蚀下残茬盖度与土壤风蚀量的关系

本试验通过对 5 种地表集沙仪沿不同高度的风蚀量进行统计分析, 试验结果采用方程 $Q = ae^{-bVC}$

+ c 来拟合, 其中 Q 为风蚀量, VC 为残茬盖度, a , b , c 为拟合系数, 如图 3 和表 1 所示。

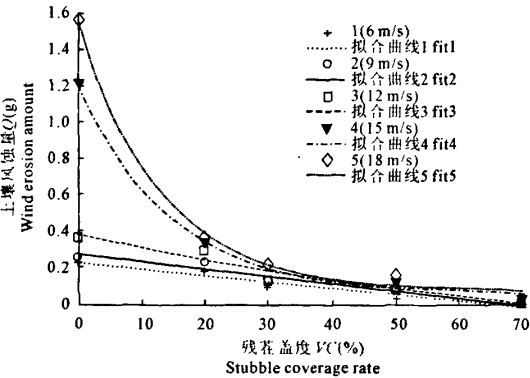


图 3 5 种风速下土壤风蚀量与作物残茬盖度的关系
Fig.3 Relationship between wind erosion amount and stubble coverage rate at 5 wind velocities

表 1 5 种风速下土壤风蚀量与作物残茬盖度的回归关系
Table 1 Regression relationship between wind erosion amount and stubble coverage rate at 5 wind velocities

风速 (m/s)	a	b	c	R ²
6	0.530	0.870	-0.294	0.946
9	0.950	0.500	-0.677	0.929
12	0.674	1.126	-0.302	0.936
15	1.160	6.979	0.049	0.998
18	1.501	7.760	0.067	0.996

注: R 为相关系数。
Note: R means correlation coefficient.

可以看出, 在同一种风速下, 土壤风蚀量随作物残茬盖度的增大而呈指数规律迅速减少, 当作物残茬盖度为 70% 时, 风蚀量接近于零。随着作物残茬盖度的减少, 风蚀量开始缓慢增加, 当作物残茬盖度减少至 30% 左右时, 风蚀量呈明显增加趋势。当作物残茬盖度一定时, 风蚀量随着风速的增大而增加。结果与 Wasson 和 Nanninga 的理论推导^[13]一致。

当作物残茬盖度超过 30% 时, 表面附着流将会发育, 上风向边缘出现微弱风蚀, 整个过程无风沙流产生, 风蚀仍以净风风蚀为主; 当作物残茬盖度 < 20% 时, 地表出现强烈的风沙流, 风沙流的侵蚀占有主导地位, 且下风向边缘较上风向边缘风蚀强烈。

在净风吹蚀下, 可以将作物残茬盖度对风蚀量的影响划分为 3 种程度: 当作物残茬盖度 > 60% 时, 为无风蚀或轻微风蚀; 作物残茬盖度 < 30% 时为强烈风蚀; 作物残茬盖度介于 30% ~ 60% 时为缓慢风蚀。

分析可知残茬覆盖在风蚀过程中起着决定性的

作用,同时直立残茬与残茬覆盖使抑制风蚀的效果更加显著,主要原因是残茬覆盖可以隔离风力对土壤的直接作用;植物的根系对土壤有较好的穿插、固结和缠绕作用,其庞大的根系可使其周围的土体固定,最终达到抑制风蚀的效果。

2.2 作物残茬覆盖对近地层风速的影响

距地表 30 cm 高度处的风速由风速测试系统显示的风速廓线求得,见表 2。作物残茬盖度越大,其风速下降的越快;当风速为 6 m/s 时,70% 盖度的风速较零盖度的风速降低了 20%;当风速为 18 m/s 时,较零盖度的风速降低了 26% 以上。主要原因是作物残茬通过吸收地表的风动量来降低风对下垫面的剪切力,从而迅速地降低了近地表的风速;其次,进入残茬覆盖层的气流受到植物体的摩擦阻以及枝叶剧烈摇动的撞击作用,既消耗了部分动量,又由于作物层内乱流交换系数的增大,导致风速的大幅度降低。因此,随着残茬盖度的增大,其对风速的降低更加显著。

表 2 不同残茬盖度下距地表 30 cm 处的风速

Table 2 Wind velocities at 30cm height and different stubble coverage rates

盖度 Coverage rate	风洞中心风速 Wind velocity(m/s)				
	6	9	12	15	18
0	5.72	8.61	11.12	13.40	15.50
30%	5.31	7.53	9.49	12.32	13.24
50%	4.89	6.99	9.27	11.42	12.26
70%	4.57	6.43	8.29	10.73	11.44

2.3 残茬覆盖对土壤颗粒起动风速的影响

在风洞中进行颗粒起动试验时,先用净风吹过地表,当风速逐渐增大到某个值时,地表的土壤颗粒开始运动并产生风沙流,这一风速就是颗粒的起动风速。试验时,利用皮托管测速装置测定风洞入口处距地表 30 cm 高度的风速,由集沙仪测定 30 cm 处集沙盒内的风蚀量,将测得风蚀量为 0.01 g 时所对应风洞入口处 30 cm 高度的风速确定为起动风速,利用 MATLAB7.0 软件进行插值(插值盖度为:10%、40%、60%,如表 3 所示),并拟合方程为:

$$v_0 = -2.191e^{(VC/33.613)} + 7.774e^{(VC/49.677)} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.983$$

由表 3 可见,起动风速随作物残茬盖度的增大而增大。因此,可将起动风速看作是一个随残茬盖度不同而变化的量。二者的非线性函数关系表明残茬盖度的增大对提高地表抗风蚀能力具有重要意义。传统耕作地表土壤颗粒起动风速为 5.58 m/s,

当作物残茬盖度达到 40% 以上时,起动风速提高到 10 m/s 以上。

表 3 不同残茬盖度下的起动风速

(距地表 30 cm 高度处风速)

Table 3 Starting wind velocities at 30 cm height and different stubble coverage rates

项目 Item	残茬盖度 Coverage rate(%)							
	0	10	20	30	40	50	60	70
起动风速(m/s) Starting wind velocity	5.58	6.57	7.66	8.87	10.19	11.58	12.97	14.26

分析可知土壤颗粒开始运动的前提是其必须从气流中获取运动的能量,而直立残茬覆盖地表通过吸收风动量,提高地表的空气动力学粗糙度,从而增大地表的摩擦阻力,必然导致起动风速的增大;其次,残茬覆盖地表可以有效地保持土壤的水分,土壤颗粒在较湿润的情况下,能增加其粘滞性,加大土壤颗粒的团聚作用,因而土壤颗粒起动风速加大。

2.4 不同风速条件下有效残茬盖度的确定

根据内蒙古气象台多年的气象资料,每年的 4~5 月份是试验区大风最为频繁且平均风速最大的时间,结合公式(2)的拟合结果,计算出该地区不同风速下防治农田土壤风蚀的有效作物残茬盖度(表 4)。

表 4 不同风速条件下的有效残茬盖度

Table 4 Effective stubble coverage rates under different wind velocity conditions

项目 Item	风速 Wind velocity(m/s)					
	8	10	12	14	16	18
有效残茬盖度(%) Effective stubble coverage	23	39	53	68	77	85

在常见的 8~12 m/s 的风速水平下,有效植被盖度为 20%~50%。当风速达到 14~18 m/s 时,残茬盖度须达到 60%~80% 的水平。从防治风蚀的角度看,应尽可能提高作物残茬覆盖,但必须根据当地的实际情况决定,保留部分残茬覆盖,达到有效防风蚀效果即可。

3 结 论

1) 不同风速条件下,土壤风蚀量随作物残茬盖度的增加呈指数规律递减。因此从防治农田土壤风蚀的角度看,作物残茬盖度应保持在 30% 以上。

2) 传统耕作地表土壤颗粒起动风速为 5.58

m/s,随作物残茬盖度的增大相应增大。当作物残茬盖度达到40%以上时,土壤颗粒起动风速提高到10 m/s以上,其相应风蚀量也明显减少。

3) 随着风速的增大,有效残茬覆盖度相应增大。在10 m/s以上大风时,残茬盖度必须达到40%以上的水平才能避免风蚀;当风速达到14~18 m/s时,有效抑制风蚀的残茬盖度须达到60%~80%的水平。

参考文献:

- [1] 陈智,麻硕士,范贵生,等.麦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.
- [2] 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.
- [3] 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—70.
- [4] Joseph P H. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate[J]. J Arid Envir,2004,58:167—179.
- [5] Liu M X, Wang J A, Yan P, et al. Wind tunnel simulation of ridge-tillage effects on soil erosion from cropland[J]. Soil Til Res,2006,90:242—249.
- [6] 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.
- [7] Leys J F. Towards a better model of the effect of prostrate vegetation cover on wind erosion[J]. Vegetation,1991,91:49—58.
- [8] Zobisch M A. Erosion susceptibility and soil loss on grazing land in some semi-humid location of eastern Kenya[J]. Journal of soil and Water conservation,1993,48:445—448.
- [9] Cheng X. Rethinking of the transition zone between agricultural and pastoral areas, and the innovation of industries of grass and livestock[J]. Journal of Grasses Industry,2001,10(S1):27—35.
- [10] 常旭虹,赵广才,张笑,等.作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J].水土保持学报,2005,19(1):28—31.
- [11] 赵举,郑大伟,妥德宝,等.阴山北麓农牧交错带状留茬间作轮作防风蚀技术研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(2):5—9.
- [12] 孙国梁.留茬保护地对减少土壤风蚀的作用[J].农村牧区机械化,2004,57(1):17.
- [13] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport sand on vegetated surface[J]. Earth Surface Processes and Landforms,1986,11:505—514.

Farmland wind erosion at different stubble coverage rates

ZHAO Yong-lai¹, CHEN Zhi², SUN Yue-chao¹, WANG Rong-lian¹

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

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

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

Abstract: In order to evaluate the farmland's resistance effects to wind erosion quantitatively in the arid and semi-arid regions, field experiments were carried out by employing the movable wind erosion tunnel and its support equipment in Wuchuan county, Inner Mongolia Autonomous Region. The results show that the amount of soil wind erosion decreases exponentially with stubble coverage rate increasing at different wind velocities, the starting velocities of the soil particles can be increased obviously and the amount of soil wind erosion can be decreased correspondingly when the stubble coverage rate comes up to 40%, and the farmland will have better resistance capacity to wind erosion when the wind velocities are 14~18 m/s and the stubble coverage rates are 60%~80%.

Keywords: stubble coverage; wind erosion; movable wind erosion tunnel