

保护性耕作对农田土壤风蚀影响的室内风洞实验研究

赵 云¹, 穆兴民^{1,2,3}, 王 飞^{1,2,3}, 蒋 冲¹, 刘振东¹, 李 锐^{1,2,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:保护性耕作能够有效减少农田土壤风蚀。通过室内风洞实验,定量分析不同作物留茬、不同秸秆覆盖量对安塞黄绵土风蚀作用的影响。结果表明:(1)小麦留茬、玉米留茬以及秸秆覆盖都可以有效的减少风蚀。小麦秸秆覆盖量为 4 210 kg/hm² 时土壤抗风蚀效率最高,达到 95.9%;(2)风蚀量与风速成正相关关系,风蚀量随风速的变化均存在突然增大的转折点且 30 cm 小麦留茬的转折点会明显滞后于 30 cm 玉米留茬和裸土,30 cm 小麦留茬的抗风蚀效率要好于 30 cm 玉米留茬;小麦秸秆覆盖量越大,抗风蚀效率越好;(3)随着高度的增加风蚀量逐渐减小,超过 90% 的风蚀量都集中在 0~36 cm 高度范围内。随着风速的增大,0~10 cm 风蚀量所占比例会逐渐增加。

关键词:保护性耕作; 土壤风蚀; 抗风蚀效率; 室内风洞模拟

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0016-04

Impact of Conservation Tillage on Soil Wind Erosion of Farmland Based on Wind Tunnel Test

ZHAO Yun¹, MU Xing-min^{1,2,3}, WANG Fei^{1,2,3}, JIANG Chong¹, LIU Zhen-dong¹, LI Rui^{1,2,3}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:Conservation tillage can reduce soil wind erosion effectively on farmland. Quantitative analysis of the impact of different crop stubble and different straw mulch on wind erosion of loessial soil of Ansai was carried out by wind tunnel experiments in the laboratory. The results indicated that: (1) wheat stubble, corn stubble and straw mulch could reduce soil wind erosion effectively, and anti-erosion efficiency under straw mulch with 4 210 kg/hm² was 95.9% which was the best; (2) the amount of wind erosion had a positive correlation with wind velocity, soil wind erosion increased with the increase of wind velocity, having a sudden increase of the turning point, and the turning point of 30 cm wheat stubble will be significantly lag behind the 30 cm corn stubble and bare soil. The greater coverage of wheat mulch was, the better the efficiency of anti-erosion was; (3) the amount of wind erosion will reduce gradually with the increase of the height, and over 90% of the amount of wind erosion concentrated in the range of 0~36 cm height. The proportion of wind erosion at the height of 0~10 cm would gradually rise with increasing in wind velocity.

Key words:conservation tillage; soil erosion; anti-erosion efficiency; wind tunnel simulation

土壤风蚀是指松散的土壤物质被风吹起、搬运和堆积的过程以及地表物质受到风吹起的颗粒的磨蚀等,是风成过程的全部结果^[1]。农田风蚀是中国北方干旱半干旱地区土地退化的主要原因之一。土壤风蚀是土地沙漠化过程的重要组成部分和首要环节^[2]。中国是世界上土地荒漠化最为严重的国家之一,全国

荒漠化土地面积 263.62 万 km²,占国土总面积的 27.46%,其中沙化土地面积 173.97 万 km²,占国土总面积的 18.12%^[3]。在黄土高原的西部地区和北部地区由于气象条件和土壤状况等因素的影响,土壤风蚀较为严重^[4]。许多研究^[5-9]表明保护性耕作(特别是秸秆覆盖、留茬、免耕少耕)可以提高地表空气动力

收稿日期:2011-11-21

修回日期:2011-12-22

资助项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B00);欧盟第六框架计划 DESIRE(037046)项目

作者简介:赵云(1988—),男,四川绵阳人,硕士研究生,主要从事保护性耕作研究。E-mail:zhaoyun2744527@126.com

通信作者:穆兴民(1961—),男,陕西华阴人,博士,研究员,主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail:xmmu@ms.iswc.ac.cn

力学粗糙度、分解风对地表的剪切应力,消耗一定的风能、降低风速和阻挡沙尘,同时还可以保持土壤水分,能有效的防止土壤风蚀,保护农田土壤。本文在前人研究基础上,以陕西省安塞县黄绵土为例进行室内风洞模拟实验,研究不同作物留茬、不同秸秆覆盖量对土壤风蚀的影响,定量分析在不同处理下土壤风蚀规律,为有效防治土壤风蚀提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

实验在中国科学院水利部水土保持研究所风洞实验室进行。风洞全长 19 m,该风洞由风机段、调风段、整流段、试验段、收集段、导流段构成。风洞主要截面宽 1 m,高 1.2 m,风机出口段截面直径 1.4 m。通过配套的变频器 0~50 Hz 调节风速,风速可在 0~20 m/s 内连续均匀地调节,见图 1。

在试验段前 30 cm 处设置不同高度的涡轮式风速仪,集沙段设置集沙仪收集不同高度的风蚀物。本实验风速以 30 cm 高度为基准,共设 4 个风速,分别为 7.5,10,12.5,14.5 m/s。集沙仪总共为 5 层,每次吹蚀时间为 10 min。

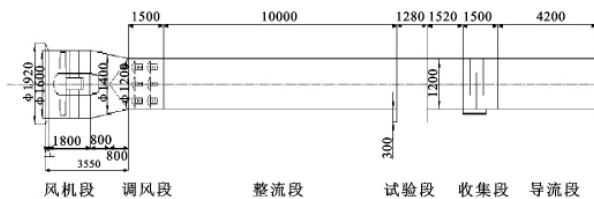


图 1 风洞结构示意图 (标注单位:mm)

1.2 取样地气候以及土质基本情况

试验土样采集于安塞境内,安塞位于东经 108°05'44"—109°26'18",北纬 36°30'45"—37°19'3",该地区四季长短不等,干湿分明,属中温带大陆性半干旱季风气候。年平均气温 8.8℃,年平均降水量 505.3 mm,年日照时数为 2 395.6 h,日照百分率达 54%,全年无霜期 157 d。主要自然灾害有:干旱、大风、冰雹、霜冻等。

试验土样为耕地表层 0—20 cm 黄绵土,其母质为黄土性物质,疏松多孔,容量小,透水性良好,蓄水能力强,耕性性好,属壤土,颗粒组成为中粉粒(0.002~0.05 mm)约占 60%,黏粒含量(<0.002 mm)为 30%左右。经实验测定,该土样的含水量为 1%。

1.3 试验的数据测定和处理

试验将土样按照实际情况进行处理后放进土槽(1 m×1.25 m×0.25 m)内,将土槽推入实验段使土壤表面与风洞底部表面持平进行吹蚀。风速取风速仪在 1 min 内的平均值。实验包括(表 1)两种秸秆

覆盖量(2 105 kg/hm²,4 210 kg/hm²,覆盖量的设定通过当地每 1 hm² 秸秆产量的 30%及 60%换算得到)和裸土、30 cm 的玉米留茬、30 cm 小麦留茬在 4 种风速(7.5,10,12.5,14 m/s)下的风蚀情况。集沙仪共有 5 层(0—10 cm,13—23 cm,26—36 cm,39—49 cm,52—62 cm),每层 2 个集沙仪收集风蚀物,收集的风蚀物用 1/1 000 的天平精确称量。本文中用到的风蚀总量是指 12 个集沙仪收集风蚀物的总量,是一个相对总量。集沙仪进风口为 3 m×10 cm 的长方形,末端为 10 m×10 cm 的正方形。每次吹蚀完以后,需将土样重新装入土槽,因为每次吹蚀后由于气流的分选作用使得土槽表面粗粒化,改变了土槽表层土壤颗粒的机械组成,因此需重新装槽消除这种影响。在每一次重新装槽时都通过天平称量土样,保持土壤容重一致。

表 1 不同保护性耕作措施设计

处理	耕作方式
CK	裸土
T ₁	30 cm 小麦留茬
T ₂	30 cm 玉米留茬
T ₃	小麦秸秆覆盖量 2105 kg/hm ²
T ₄	小麦秸秆覆盖量 4210 kg/hm ²

1.4 抗风蚀效率计算

由于不同耕作方式的保护性耕作对土壤具有不同程度的抗风蚀作用,风蚀量会有一定的减少。将风蚀量的减少量占基准风蚀量的比率称为保护性耕作农田的抗风蚀效率^[10]。计算公式为:

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

式中:Q₁——CK 的风蚀量(g);Q₂——保护性耕作措施的风蚀量(g);n——保护性耕作农田的抗风蚀效率(%)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式的风蚀量及抗风蚀效率

由表 2 分析表明,与 CK 相比,小麦留茬、玉米留茬以及秸秆覆盖 4 种耕作方式都可以不同程度地减少风蚀,特别是 T₄ 抗风蚀效率最高,达到了 95.9%,T₃ 和 T₁ 也都能有效地抗风蚀,抗风蚀效率分别达到了 95.5%和 94.4%。T₂ 的抗风蚀效率比较低,只有 62.4%。对比各个处理的风蚀量发现:在 7.5 m/s 风速时,T₁<T₂<T₄<T₃<CK,当风速大于 7.5 m/s 时,T₄ 的风蚀量始终处于最小,T₄<T₃<T₁<T₂<CK。分析得到:与裸土 CK 相比,通过秸秆高覆盖处理(T₄)在各个风速下风蚀量最小,抗风蚀效率最高。30 cm 玉米留茬(T₂)在各个风速下风蚀量最大,抗风蚀效率最低。

表 2 不同耕作方式的风蚀量及抗风蚀效率

处理	风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)				风蚀总量/g	抗风蚀效率/%
	7.5	10	12.5	14.5		
CK	1.859	16.098	93.059	272.956	383.972	0
T ₁	0.242	1.090	6.200	13.941	21.469	94.4
T ₂	0.438	4.215	55.497	114.177	174.327	62.4
T ₃	0.910	1.087	4.495	11.344	17.836	95.6
T ₄	0.472	1.022	3.343	10.734	15.571	95.9

2.2 风蚀量与风速的关系

2.2.1 不同作物留茬风蚀量与风速的关系 风是土壤风蚀的直接动力来源,风速的大小直接影响风蚀的轻重。图 2 表明,风蚀量与风速成正相关关系,即土壤风蚀量随着风速的增加而增加。将各个风速下风蚀量相比,CK 为 1 : 8 : 50 : 146, T₂ 为 1 : 9 : 126 : 260, T₁ 为 1 : 4 : 25 : 119, 表明: T₁, T₂ 和 CK 都出现了风蚀量随风速的变化均存在突然增大的转折点,与 CK、T₂ 相比, T₁ 的转折点明显滞后, CK, T₂ 的转折风速大约是 7.5 m/s, T₁ 的转折风速大约是 10 m/s。CK, T₂ 从风速 7.5 m/s 开始,风蚀量就随着风速的增加突然增大,而 T₁ 存在当风速小于转折风速时,随着风速的增加,它们的风蚀量增加缓慢,当风速超过转折风速时,风蚀量会急剧增大。通过对风蚀量对比(表 2),当风速为 7.5 m/s 时, T₁ : T₂ : CK = 0.13 : 0.24 : 1, 风速为 10 m/s 时, T₁ : T₂ : CK = 0.07 : 0.26 : 1, 当风速为 12.5 m/s 时, T₁ : T₂ : CK = 0.07 : 0.60 : 1, 当风速为 14.5 m/s 时, T₁ : T₂ : CK = 0.05 : 0.41 : 1, 得出: 随着风速的增加, T₁ 的风蚀量与 CK 比值逐渐变小, T₂ 风蚀量与 CK 的比值逐渐变大, T₁ 的风蚀量与 T₂ 的比值也逐渐增大。即随着风速的增加,风蚀量增加速率关系上: CK > T₂ > T₁。分析得出, 30 cm 小麦留茬的抗风蚀能力要好于 30 cm 玉米留茬。

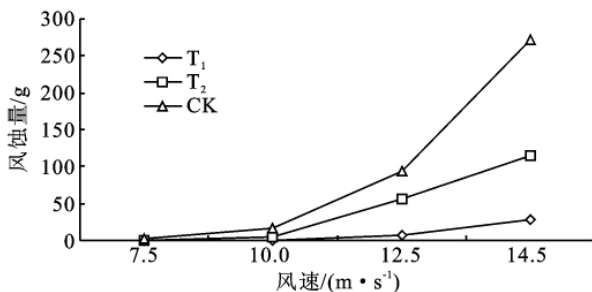


图 2 不同作物留茬的风蚀量

2.2.2 不同覆盖度下的抗风蚀效率与风速的关系 由表 3 表明,在各个风速下随植被盖度的增加土壤抗风蚀效率增强。在 T₃, T₄ 中,在同一风速下,抗风蚀效率关系为 T₄ > T₃; 当风速为 7.5 m/s 时,两者的土壤抗风蚀效率分别 51.05%, 74.61%, 分别为各个处

理的最低水平;在风速大于 10 m/s 时,它们的抗风蚀效率都大于 93%;当风速为 14.5 m/s 时,两者的土壤抗风蚀效率分别为 95.84%, 96.47%, 为各个处理的最高,即随着风速的增加土壤的抗风蚀效率也会逐渐增强。

表 3 不同覆盖度的抗风蚀效率

风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	抗风蚀效率/%	
	T ₃	T ₄
7.5	51.05	74.61
10.0	93.25	93.65
12.5	95.17	96.41
14.5	95.84	96.47

2.3 土壤风蚀的风沙流结构

沙流结构是气流中输沙率随高度的分布,其结构受风速、可风蚀颗粒含量及下垫面等因子的影响^[11]。风土壤颗粒运动形式可以分为 3 种:跃迁、蠕动、悬浮,其中跃迁物质在风沙流中占绝对优势,也是产生风蚀危害的主要形式^[12],跃迁颗粒机械组成主要是中砂和细砂,分布高度集中在 0~10 cm 高程内。

通过对不同耕作方式 0~62 cm 高度共 5 层范围内输沙量的观测结果(表 4)分析表明:风洞内风蚀沙流结构特征体现在以下 3 方面:

(1) 同一风速下,各种耕种方式的风蚀量随着高度的增加而减少。大部分风蚀量都集中在 0~10 cm 高度,而 52~62 cm 的风蚀量最小。超过 90% 的风蚀量都集中在 0~36 cm 高度范围内,这与贺宝根等人^[13]的研究中认为土壤风蚀过程中风沙活动属于近地面运动,且在风沙流中 90% 沙物质高度低于 31 cm 的结论一致。

(2) 随着风速的增大,0~10 cm 风蚀量所占比例会逐渐增加,52~62 cm 风蚀量所占比例会逐渐减少。这说明近地表的风蚀明显加强,跃迁物质质量也明显增多。

(3) 与 CK, T₁, T₂ 相比, T₃ 和 T₄ 在 0~10 cm 高度的风蚀量所占比例始终较高,而且秸秆覆盖量越高,这种趋势越明显。这说明秸秆覆盖可以有效的阻止风蚀物上扬,让风沙在近地表活动。

3 结论

(1) 小麦留茬、玉米留茬以及秸秆覆盖都可以有效的减少风蚀。抗风蚀效率方面:小麦秸秆覆盖量 4 210 kg/hm² > 小麦秸秆覆盖量 2 105 kg/hm² > 裸土、30 cm 小麦留茬 > 30 cm 玉米留茬 > 裸土。总的来说,小麦秸秆覆盖越高,土壤抗风蚀效果越好;小麦留茬比玉米留茬抗风蚀效果好。

表4 不同耕作方式和风速下输沙量垂直分布特征

处理	风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	风蚀输沙量垂直分布比例/%				
		0~10 cm	13~23 cm	26~36 cm	39~49 cm	52~62 cm
CK	7.5	54.73	24.93	10.70	8.64	1.00
	10.0	50.05	30.51	13.02	5.22	1.20
	12.5	45.43	30.70	15.52	7.28	1.07
	14.5	47.63	30.38	12.37	5.42	4.22
T ₁	7.5	82.06	7.43	5.44	3.38	1.69
	10.0	79.96	6.29	5.97	5.48	2.31
	12.5	83.61	10.98	2.78	1.35	1.29
T ₂	14.5	80.78	14.84	3.06	0.76	0.56
	7.5	86.04	9.12	2.75	1.87	0.22
	10.0	84.08	8.83	4.14	2.76	0.18
	12.5	79.89	14.30	3.31	2.02	0.47
T ₃	14.5	79.92	17.05	1.89	0.86	0.29
	7.5	85.21	6.83	3.17	2.31	2.47
	10.0	93.51	5.06	0.83	0.37	0.23
T ₄	12.5	92.59	6.16	1.06	0.13	0.07
	14.5	90.15	7.61	1.61	0.40	0.23
	7.5	89.99	4.38	3.24	1.69	0.69
	10.0	95.87	2.47	0.57	0.40	0.69
T ₄	12.5	96.62	2.86	0.35	0.10	0.06
	14.5	95.17	4.04	0.61	0.13	0.04

(2) 风蚀量与风速成正相关关系,随着风速的增加,各个处理的风蚀量都会增加。风蚀量随风速的变化均存在突然增大的转折点,30 cm 小麦留茬会明显滞后于 30 cm 玉米留茬和裸土。当风速一定时,随秸秆盖度的增加土壤抗风蚀效率增强;风速越高,秸秆覆盖土壤的抗风蚀效率越强。

(3) 随着高度的增加风蚀量逐渐减小。随着风速的增加,0~10 cm 高度的输沙量比例逐渐升高,52~62 cm 高度的输沙量比例降低,说明近地表输沙强度增加。超过 90% 的风蚀量都集中在 0~36 cm 高度范围内。

参考文献:

- [1] 朱朝云,丁国栋,杨明远. 风沙物理学[M]. 北京:中国林业出版社,1992.
- [2] 刘玉璋,董光荣,李长治. 影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究[J]. 中国沙漠,1992,12(4):41-49.
- [3] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公告[M]. 北京:中国绿色,2005.
- [4] 刘秉正,吴发启. 土壤侵蚀[M]. 西安:陕西人民出版社,1996:216-233.
- [5] 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,1996,10(2):1-8.

- [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] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 吕甚悟,陈谦,袁绍良,等. 紫色土坡耕地水土流失试验分析[J]. 山地学报,2000,18(6):520-525.
- [13] 贺宝根,周乃晟,等. 农田非点源污染研究中的降雨径流关系—SCS 法的修正[J]. 环境科学研究,2001,14(3):49-51.