

小麦留茬对陕北农田风蚀影响的室内风洞模拟

刘振东¹, 王 飞^{1,2*}, 穆兴民^{1,2}, 范清成^{1,2,3}, 李 锐^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源与环境学院, 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: 作为风蚀区主要保护性耕作措施之一, 秸秆留茬覆盖可以通过增加地表粗糙度(Z_0)减少近地表风速和侵蚀动力, 并缩短风蚀颗粒的搬运距离和搬运高度, 从而减少地表风蚀量。本研究采用室内模拟风洞实验, 测定并分析了陕北 2 种主要土壤类型(风沙土和黄绵土)在 4 个风速、3 种小麦留茬高度和 2 种留茬行距处理下土壤风蚀强度和在 0~60 cm 风洞断面风沙流结构。结果表明: 当土壤表面裸露时, 风沙土的风蚀量大于黄绵土; 各种留茬高度都可以不同程度地减少土壤风蚀量, 但相同风速时, 留茬对黄绵土风蚀量的影响大于对风沙土的影响; 行距由 20 cm 减到 15 cm 后, 留茬对黄绵土风蚀表现的抑制作用强于对风沙土风蚀的抑制作用; 对风沙流结构分析的结果是风沙土和黄绵土可蚀性颗粒分别集中在观测断面 45~60 cm 和 0~15 cm 高度范围内。留茬密度的增大对两种土壤风蚀的消弱存在明显正效应。

关键词: 风蚀; 风洞模拟; 小麦留茬; 留茬密度

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0195-07

风蚀是种气固两相流, 是以一定流速流动的空气和表层土壤颗粒相互作用的结果。该试验的两个取样地——榆林和安塞都具备大陆性季风气候、年均降雨量少、干旱时间较长、少雨和干旱重叠来临等易风蚀条件, 农田土壤沙化严重, 严重地影响当地农田的可持续生产力^[1]。小麦留茬可以有效地分解风力对土壤表层的剪切应力^[2], 消耗风动量, 且抬升了风速廓线^[3,4], 从而起到降低农田风蚀的作用。不同的留茬高和留茬密度(行距)对土壤风蚀量的消减程度不尽相同, 至于能消减到何种程度, 不同的处理对风沙流结构(不同高度上的风蚀量)会造何种影响, 有必要进行一次较为系统全面的试验研究。鉴于上述考虑, 该试验通过室内模拟小麦留茬下黄土风蚀区两种土壤的风蚀规律, 为当地提供科学的理论依据和借鉴作用。

1 试验材料及方法

1.1 取样地气候以及土质基本情况

榆林位于东经 107°28' 至 111°15', 北纬 36°57' 至 39°34' 之间, 属暖温带和温带半干旱大陆性季风气候, 年均温 8℃, 年均降水 400 mm, 地处毛乌素沙漠和黄土高原过渡地带, 风蚀沙化和水土流失严重。风沙土根据我国土壤质地分类属砂土。通常存在 10~20 cm 左右的干沙层, 其含水率仅 2%~3%, 有

机质含量约在 0.1%~1.0% 范围内, 细砂粒(0.25~0.05 mm)含量高达 80% 以上, 其中的极细砂(0.05~0.1 mm)含量在 60% 左右。风沙土渗水快、蒸发强、持水性差, 随起沙风而移动。本实验土样采集于榆林市神木县神木站, 土样中粘粒 0.28%, 粉砂 12.41%, 极细砂 52.94%, 细砂 30.63%, 中砂 2.17%, 粗砂 1.57%。

安塞位于东经 108°5'44" 至 109°26'18", 北纬 36°30'45" 至 37°19'3", 中温带大陆性半干旱季风气候, 地貌类型是典型的黄土高原丘陵沟壑区, 年均温 9℃, 年均降水 500 mm, 干旱风大的春季是风蚀事件的频发期。黄绵土母质为黄土性物质, 疏松多孔, 容量小, 透水性良好, 蓄水能力强, 耕性好, 属壤土, 颗粒组成中粉粒(0.002~0.05 mm)约占 60%, 所采黄绵土土样含粗砂 0.06%, 细砂 3.49%, 粉砂 31.47%, 粘粒 64.98%。

1.2 试验设计

取样地为当地主要作物的种植地, 以避免由于所种植作物而对土壤带来的理化性状的改变, 并取其耕层部分。试验包括的处理有: 分别来自榆林的风沙土和安塞的黄绵土 2 种土壤, 根据小麦种植的实际行距设置的 2 种行距(15 cm 和 20 cm), 3 种留茬高度(对照的裸土和分别留茬 5、10、20 cm)和 4 种风速(6 m/s、8 m/s、10 m/s 和 12 m/s), 最小风速的

收稿日期: 2011-05-05

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B00); 欧盟第六框架计划 DESIRE(FP6, 037046)

作者简介: 刘振东(1985—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事保护性耕作研究。E-mail: LZD851212@163.com。

* 通讯作者: 王 飞(1971—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事研究区域水土保持环境效应。E-mail: wafe@ms.isw.ac.cn。

设定是根据土壤沙粒的起动风速范围的上限 6 m/s 而定的^[5]。

1.3 试验仪器和方法

该试验在中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室内进行,风洞示意图见图 1,全长 19.8 m,高 1.2 m,宽 1 m,由动力段、调风段、整流段、试验段和集沙段五个

主要部分组成。模拟试验所用的土槽尺寸为 0.12 m×1 m×1.25 m,试验时由实验段处推进风洞;集沙仪布置为 3 层,每层 3 个,安置在集沙段,距土槽的后边缘约 1 m 处,共 3 个高度:0~15 cm 一下层、15~30 cm 中层、45~60 cm 上层。集沙仪进风口为 5 cm×15 cm 的长方形,末端的出风口尺寸为 15 mm×15 mm,并设置 200 目的筛网。

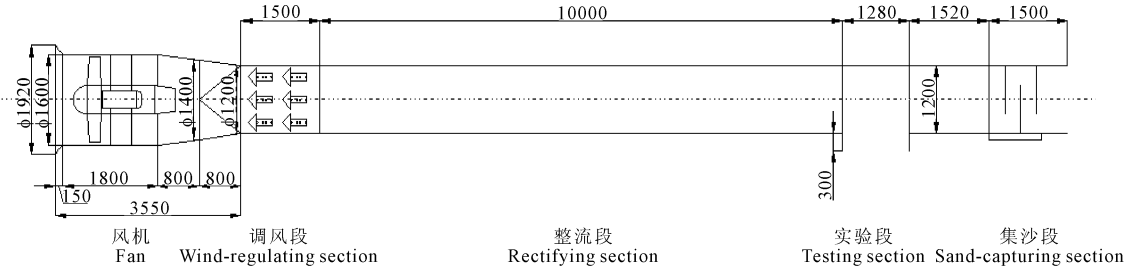


图 1 风洞结构示意图(标注单位:mm)

Fig.1 The structure of wind tunnel (dimension unit : mm)

本试验采用野外采样、室内风洞模拟的方式进行。正式试验前需调试风速至设定风速,方法是调节风洞调风段的 12 个锥形扰流器的位置,不同的位置组合对风速的影响不一样,依次调整其位置直至确定 12 个扰流器的合适组合位置,扰流器的排列布局见图 2 和图 3。

经过对实验土样进行分析,两种土壤的风干含水量均为干土重的 1%左右,因此本研究忽略了含水量对风蚀的影响。每组模拟试验用设定风速吹蚀 15 min,用 1%天平称量每层集沙仪中风蚀物的重量和总风蚀量,这里的总风蚀量指的是一次吹蚀模拟试验中减去集沙仪中收集到的风蚀物后的所有风蚀量,利用尾沙收集装置收集得到。每次吹蚀结束后重新装槽,因为每次吹蚀后由于气流的分选作用会将土槽表面粗粒化,改变了土槽表层土壤颗粒的机械组成,需重新装槽消除这种影响。

2 试验结果与分析

2.1 不同土壤粒径组成对风蚀的影响

土壤质地是土壤结构单元形成的物质基础^[6],而土壤质地的属性是影响土壤风蚀非常重要的因子之一,特别是在没有植被覆盖的情况下,土壤的理化性质会直接影响到土壤颗粒的起动风速,对风蚀量的影响至关重要。土壤的理化性状包括含水量、有机质量、容重和粒度组成等。不同的土壤质地含有特定的机械组成,有些土壤之间差异非常大,而不同的机械组成预示着不同的土壤中含有可蚀性与不可蚀性颗粒的比重会有所不同^[7]。

农田风蚀这种气固两相流的两个最主要参与对象就是有达到侵蚀强度的空气流和与其接触到的土壤表层颗粒,也就是大于风蚀临界的风速和与其发生相互作用的下垫面,如果土壤表层可蚀性颗粒比重大,那么可能随侵蚀风跃移、悬移和蠕移的潜在颗

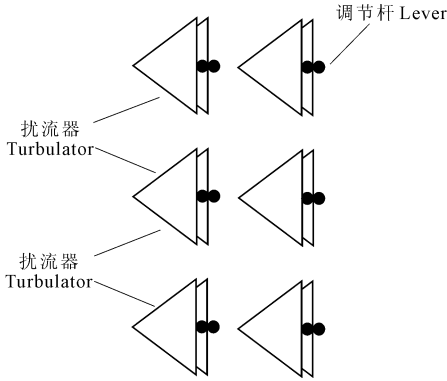


图 2 扰流器的侧视图

Fig.2 The side view of turbulators

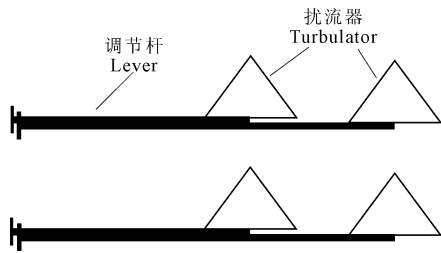


图 3 扰流器的俯视图

Fig.3 The plan view of turbulators

粒总量就会越大,如果遇到侵蚀风,直接的表现就是风蚀量会很大。相反,不可蚀性颗粒比重越大,土层表面的粗糙度就会越大,对细小颗粒的覆盖保护作用就越大,风蚀量因此会减少^[8]。所以说,不同的土壤质地对风蚀的影响呈现出了不同的规律特征^[9]。

从图 4 可以看出,随着风速值的增加,两种土壤的风蚀量随之增加,两者呈现明显的正相关关系。但是由于风沙土的细砂粒部分(0.05~0.25 mm)占据了非常大的比重,细砂粒的差持水性决定了很弱的团聚性,这就决定了其抗风蚀性很差。另外,根据董治宝和李振山的研究可知,松散沙物质抵抗风力的阻力主要有惯性力与内聚力,而以惯性力为主要阻力的粒径范围一般小于以内聚力为主要阻力的粒径范围,这个粒径边界值就是 0.09 mm。在 <0.09 mm 的粒径范围内,颗粒间的作用力主要是内聚力;在 >0.09 mm 的粒径范围内,颗粒间的主要作用力是惯性力^[10]。风沙土粒径 >0.09 mm 的比重很大,所以其颗粒间的主要作用力就是上述的惯性力,而黄绵土的粘粒占据着较大的比重,粘粒间的强团聚性将大量颗粒束缚在了地表,也就是颗粒间的内聚力起着主要的抗风蚀作用。但是总体而言风沙土的可蚀性颗粒量要多于黄绵土的,所以在风速大于起沙风速的上限,且继续增加的时候,风沙土的风蚀量就会大于黄绵土的风蚀量。6 m/s 的风速下,前者和后者的裸土风蚀量比值为 3.4125,随着风速逐渐增加,风速在 8 m/s、10 m/s、12 m/s 时的比值依次为 2.1822、3.003、2.2236。

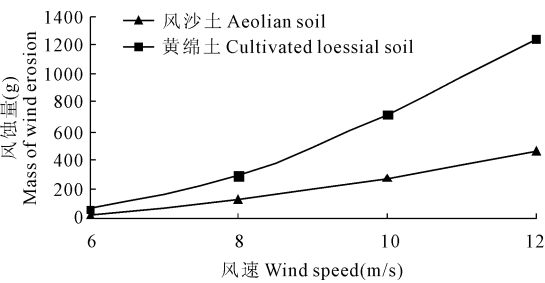


图 4 风沙土和黄绵土的土壤风蚀量

Fig.4 Mass of wind erosion of aeolian soil and cultivated loessial soil

2.2 风沙土、黄绵土在不同处理下的风沙流结构

不同的地表情况会影响到风蚀发生时与气流发生直接作用的下垫面的动力性状,最直接的影响就是沙尘载体——气流的风速廓线会发生变化。风速一旦发生变化,其挟沙能力就势必会和原始下垫面时的挟沙能力有所不同,因为一般情况下人们的防风蚀措施都会降低风速,所以此时的下垫面状况对

风蚀量的影响就是降低风廓线上不同高度上风的挟沙能力。鉴于篇幅原因,这里仅通过讨论 15 cm 的留茬行距时土壤的风沙流结构,以揭示两种土壤在不同风速和茬高的组合下 3 个留茬高度的风蚀量关系情况。

从表 1 中可以看出,风沙土在 3 种茬高和 4 个风速值的所有组合中,3 层集沙仪风蚀量的比值关系呈现出了较为一致的规律性。从茬高的角度分析我们可知,随着茬高的增加,上层集沙仪的收集量与下层的比值越来越大,中层集沙仪的收集量与下层的比值同样表现出越来越大的趋势。从风速的角度分析我们又可以得出,随着风速的增加,上层集沙仪的风蚀量和下层的比值也在增加,只是风速在 12 m/s 时比值有所下降。而中层集沙仪的风蚀量与下层的比值变化规律和上层的不尽相同,在 20 cm 和 10 cm 茬高的情况下,该比值随着风速的增加呈增大的趋势,但在 5 cm 茬高的时候,该比值随风速的变化情况并没有呈现出和 20 cm、10 cm 茬高时相一致的规律。风沙土的可蚀性颗粒量非常多,其中极细砂粒的比重就有 45%~50% 左右,由于其沉降速度通常小于气流向上的分速度,所以很大可能上会以悬浮形式运动^[11],加之作物留茬不仅可以起到拦截蠕移颗粒和一部分跃移颗粒的作用,还对扬沙有一定的助长作用,即悬移颗粒的搬运高度会因此而有所增加,这就成了上层集沙仪收集量的沙源。20 cm 茬高的时候,本就含量极少的潜在蠕移颗粒和一部分潜在跃移颗粒被留茬截住,且留茬的高度越高,对蠕移和跃移的拦沙量就越多,所以上层集沙仪收集量的比重就相比增加了。随着风速的增加,更多的极细砂粒获得了足够的能量而被高度在 15~30 cm 的中层集沙仪和 45~60 cm 的上层集沙仪捕获,而蠕移的潜在颗粒量毕竟是有限的,所以该中、上两层集沙仪的比重就会表现出上升的趋势。总而言之,对于风沙土,上层集沙仪捕获的风蚀量占 3 层集沙仪风蚀收集总量的比重最大,其次是下层的比重,最后是中层。

从表 1 还可以看出,黄绵土在设定的风速和茬高的各种不同组合下,3 个高度上集沙仪收集到的风蚀量表现出了明晰一致的规律。从茬高的角度出发,随着茬高的增加,上层收集量的比重随着增加,中层同样表现出收集量的比重与茬高呈正相关的关系。从风速的角度分析不难看出,随着风速的增加上层集沙仪的收集量比重呈现出降低的趋势,中层集沙仪的收集量随着风速的增加在 20、10 cm 茬高时呈现出增加的规律,只是在 12 m/s 时有所下降。

在 5 cm 的时候,中层集沙仪的比重呈现了下降的趋势。黄绵土的粘粒比重较大,这不同于沙质风沙土。黄绵土粘粒间的内聚力起着主要的抗风蚀作用,细小的粘粒虽然占据着很大比重,但却因为被禁锢着而难以起沙,比重较小且以惯性力为主要抗风蚀力的细砂成分反而更容易发生位移而被集沙仪收集到,所以中、上层集沙仪的风蚀量并没有下层收集到的风蚀量多。

表 1 3 层集沙仪收集量的比值

Table 1 The specific value of mass of soil erosion captured in 3 layers

茬高 Stubble height (cm)	风速 Wind speed (m/s)	下层:中层:上层 Low:Middle:Up	
		风沙土 Aeolian soil	黄绵土 Cultivated loessial soil
20	6	1:0.80:1.94	1:0.33:0.75
	8	1:0.92:2.24	1:0.42:0.75
	10	1:2.57:5.43	1:0.63:1.00
	12	1:3.48:4.32	1:0.32:0.30
10	6	1:0.53:0.40	1:0.17:0.50
	8	1:0.65:1.63	1:0.38:0.47
	10	1:0.88:4.78	1:0.30:0.42
	12	1:0.86:3.98	1:0.51:0.39
5	6	1:0.50:1.31	1:0.33:0.50
	8	1:1.13:2.81	1:0.44:0.75
	10	1:0.42:3.32	1:0.28:0.65
	12	1:0.64:1.85	1:0.27:0.36

2.3 小麦留茬量对风蚀的影响

小麦的留茬量包括留茬高度和留茬密度。不同的留茬高度直接影响地表粗糙度,分离了侵蚀风和侵蚀对象——表层土壤,近地表风速值会因此而削弱,特别是在留茬高度内,越贴近土壤表层,风速消减的越迅速,显著地减弱了对地表土壤的风蚀能量^[12],削弱了土壤颗粒和气流之间相互的作用,影响沙粒的起动风速,进而影响绝对和相对输沙量^[13],达到降低风蚀的目的。不同的留茬密度会影响连续两排残茬之间的风速值,会影响颗粒起动后和留茬发生碰撞的几率或次数,同时会影响对风力消减作用大小,随着间距的减小,相邻两行留茬范围内的风速逐渐降低到侵蚀风的边界风速,直至近乎为零,风蚀现象便会由强到弱,最后消失。

2.3.1 两种土壤在不同留茬高度下的风蚀量 由图 5~8 可以看出两种土质的土壤随着留茬高度的增加,风蚀量都表现出减少的规律,两者为负相关关系,这一点和国内外学者 E. L. Skidmore、Leon Lyles 和周建忠等人的研究结果相一致^[14~16]

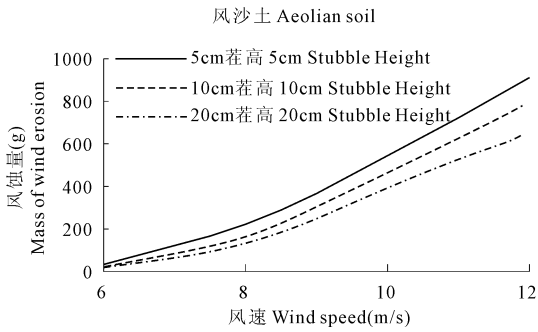


图 5 15 cm 留茬行距时风沙土的风蚀量

Fig. 5 Mass of wind erosion of aeolian soil under 15 cm row spacing

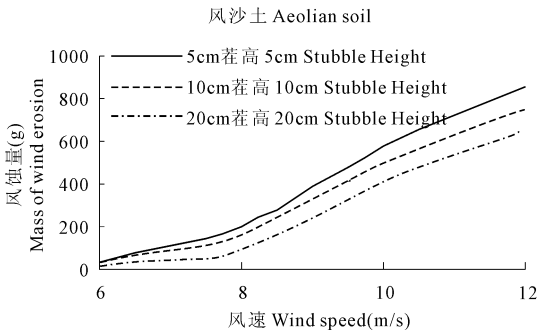


图 6 20 cm 留茬行距时风沙土的风蚀量

Fig. 6 Mass of wind erosion of aeolian soil under 20 cm row spacing

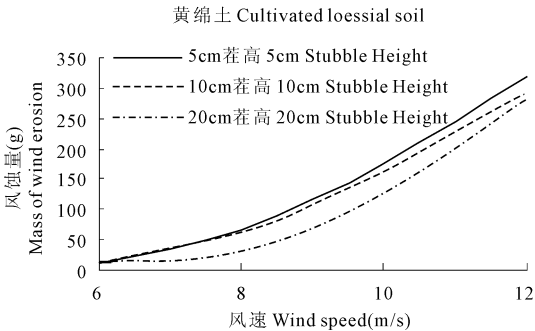


图 7 15 cm 留茬行距时黄绵土的风蚀量

Fig. 7 Mass of wind erosion of cultivated loessial soil under 15 cm row spacing

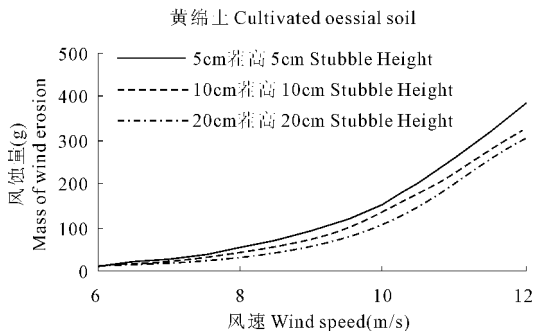


图 8 20 cm 留茬行距时黄绵土的风蚀量

Fig. 8 Mass of wind erosion of cultivated loessial soil under 20 cm row spacing

小麦秸秆留茬措施防治农田土壤风蚀及沙尘暴事件的机理就是通过提高零风速距地面的高度来消耗近地表风能,同时产生近地面的气流阻尼^[17,18],降低风对地表的剪切应力,从而达到抑制农田地表土壤风蚀的目的,留茬高度的增加有效地减弱了近

地表气流对土壤颗粒的直接吹蚀力,减小了土壤颗粒运动的直接动力来源。此时,颗粒的运动形式就会由原来的远距离运移和高高度跃移逐步转变为近距离运动和低高度跃移,拦截量便会增加,流失量便会减少。

表 2 3 种茬高的抗风蚀效率
Table 2 The wind erosion resistance efficiency of 3 heights of stubble

行距 Row spacing (cm)	茬高 Stubble height (cm)	风沙土留茬的抗风蚀效率(%) Wind erosion resistance efficiency of stubble for Aeolian soil				黄绵土留茬的抗风蚀效率(%) Wind erosion resistance efficiency of stubble for cultivated loessial soil			
		6 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s	6 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s
15	20	86.82	59.53	53.37	37.49	53.26	80.80	61.61	44.60
	10	55.84	50.66	52.07	33.21	42.73	76.74	52.80	38.05
	5	42.25	41.57	29.91	24.99	11.96	62.86	43.49	31.73
20	20	88.30	53.87	51.00	33.44	56.64	79.06	55.33	35.53
	10	45.60	45.04	40.02	24.52	39.24	57.39	47.71	30.12
	5	41.11	32.21	29.11	18.23	34.95	52.44	41.03	17.77

在和裸土的风蚀量对照后不难看出,总体上作物留茬在不同程度上都起到了固沙作用(见表 2)。这里我们用抗风蚀效率这个指标表示各种茬高和行距的不同组合下对风蚀量的抑制作用和效率情况。在这里抗风蚀效率指的是将裸土处理(对照组)在各风速下的总输沙量作为基准输沙量,由于留茬处理具有抗风蚀作用,输沙量会有不同程度的减少,将做过留茬处理(一定的行距和茬高组合)下输沙量的减少量占基准输沙量的比值称为该组合的抗风蚀效率^[19],由于裸土处理的抗风蚀效率指的是其风蚀量和本身的比值,值全是 100%,故表 2 中略去裸土(对照组)的抗风蚀效率。随着留茬高度的增加,抗风蚀效率也随之增加,风沙土和黄绵土分别由最小减少 18.23%到最大减少 88.3%和由最小减少 11.96%到最大减少 80.80%。从表 3 还可以得知,对于两种土壤而言,随着茬高的增加,抗风蚀效率都是随之增加,基本上是 20 cm 茬高>10 cm 茬高>5 cm 茬高。留茬不仅增加了地表粗糙度,增大了表面对气流运动的摩擦阻力^[20],小麦留茬还降低了近地面风速,特别是极大地消减了留茬范围内的风速值,减少了扬沙量。15 cm 行距下,3 种留茬高度(从 20 cm 到 10 cm,再到 5 cm 茬高)在各风速下的平均值依次为:风沙土 59.30%、47.95%、34.68%,黄绵土 60.07%、52.58%、37.51%;同理,20 cm 行距下,风沙土 56.65%、38.8%、30.17%,黄绵土 56.64%、43.62%、36.55%,相比之下可以得出两种行距下,黄绵土在 3 种留茬高度的抗风蚀效率均值基本上都

大于风沙土的抗风蚀效率均值,也就是说留茬对黄绵土风蚀抑制作用强于对风沙土风蚀的抑制效果。
2.3.2 两种土壤在不同留茬密度下的风蚀量 如果假设 15 cm 行距下的风蚀量用 Q_{15} 表示,20 cm 行距下的风蚀量用 Q_{20} 表示,那么 3 种留茬高度下对应 15 cm 行距的风蚀量和 20 cm 行距的风蚀量比值就可以表达成 $\lambda=Q_{15}/Q_{20}$,见表 3,如果 $\lambda>1$,说明 15 cm 行距的风蚀量大于相应情况下 20 cm 行距的风蚀量,反之如果 $\lambda<1$,则说明 15 cm 行距的风蚀量小于相应情况下 20 cm 行距的风蚀量。由表 3 看出,相应风速下,风沙土和黄绵土的 15 cm 行距处理都存在比 20 cm 行距处理更有效的固沙作用。在高留茬和低风速交汇的象限,两种行距的拦沙效率趋于相同,甚至出现了 20 cm 行距的风蚀量偏少于 15 cm 行距的风蚀量。如果以茬高为标准,用 4 种风速下 Q_{15}/Q_{20} 的平均值表示该茬高的两种行距在 4 种风速下的综合拦沙效果,借此模拟定茬高一不定行距在可变风速下的拦沙效果。由表 3 的“均值”可以看出,15 cm 行距对两种土壤风蚀量的影响程度稍有不同,对黄绵土更显得有效($0.86<0.92$)。
这里再次对表 2 进行另一角度的分析可以得知,一定茬高的情况下,随着行距的缩小,抗风蚀效率有所增加。黄绵土 15 cm 行距下各留茬高度的平均抗风蚀效率为 50.05%,而 20 cm 行距的平均抗风蚀效率是 45.6%,对应风沙土的 15 cm、20 cm 行距的平均抗风蚀效率分别是 47.31%和 41.87%。

表 3 两种行距下的风蚀量比值

Table 3 The specific value of mass of soil erosion under two kinds of row spacing

茬高 Stubble height	风沙土 Aeolian soil— Q_{15}/Q_{20}					黄绵土 Cultivated loessial soil— Q_{15}/Q_{20}				
	6 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s	均值 Mean	6 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s	均值 Mean
20 cm	1.13	0.85	0.95	0.94	0.97	1.08	0.92	0.86	0.86	0.93
10 cm	0.81	0.90	0.80	0.88	0.85	0.94	0.55	0.90	0.89	0.82
5 cm	0.98	0.86	0.99	0.92	0.94	0.81	0.78	0.96	0.83	0.85
均值 Mean	0.97	0.87	0.91	0.91	0.92	0.94	0.75	0.91	0.86	0.86

经过对风速、茬高、行距分别和风蚀量进行拟合后,风沙土的 pearson 相关系数依次是 0.968、-0.142、0.057,黄绵土的相关系数依次是 0.933、-0.125、0.076,由此可以看出,对于风沙土和黄绵土,风速、茬高和行距对风蚀量的影响由强到弱的次序为:风速>茬高>行距。

3 结 论

1) 对于风沙土和黄绵土,由于土质的差异,疏松的砂土大都以单独的颗粒存在,颗粒间的惯性力对侵蚀风的抵抗作用有限,而质属壤土的黄绵土粘粒比重大,颗粒间内聚力具有较强的抗风蚀作用,故前者的风蚀量比相同风速下后者的风蚀量要多。

2) 风沙土的极细砂比重约占 60%左右,扬尘沙源充沛,上层集沙仪收集到的风蚀物量最大,风蚀物集中于 45~60 cm 高度以内,各高度上集沙仪收集量的比重大小关系是:45~60 cm>0~15 cm>15~30 cm;黄绵土微颗粒(<0.09 mm)间的内聚力的抗风蚀性强,一定程度上抑制了粘粒的运移,较大颗粒在留茬的影响下主要集中于 0~15 cm 高度范围以内,各高度上集沙仪收集量的比重大小关系是:0~15 cm>45~60 cm>15~30 cm。

3) 相比裸土处理,两种土壤的小麦留茬处理都明显地减少了土壤风蚀量,风沙土最少减少了 18.23%,最多可以减少 88.3%,黄绵土最少减少了 11.96%,最多可以减少 80.8%,且随着留茬高度的增加,风蚀量也都随之不同程度地减少。留茬对两种土壤风蚀量的抑制作用的强弱有所差异,虽然抗风蚀效率的最大值出现在风沙土组,最小值出现在黄绵土组,但是总体上,通过比较两种土壤在各茬高下的抗风蚀效率均值便不难看出留茬对黄绵土风蚀量的抑制作用强于对风沙土风蚀量的抑制作用。

4) 通过拟合三种变量和风蚀量之间的相关关系,得出不同留茬行距对风蚀量的影响没有风速和留茬高度对风蚀量影响的效果那么明显。风沙土和黄绵土在两种行距下风蚀量比值的均值分别是0.92

和 0.86,总体上 15 cm 留茬行距对黄绵土的拦沙效果比对风沙土的拦沙效果明显。不同茬高和两种行距的不同组合对风蚀量的影响也有所差异,基本是留茬高度越高、行距越密,对风蚀的消减作用越明显。所以建议在不影响小麦光合作用和产量的前提下,可适量提高种植密度。收割小麦的时候,可尽量增加留茬的高度,保持在 30~20 cm 的茬高,不仅可以有效地减少农田风蚀,还能降低收割机的工作量和提高其工作效率。

参 考 文 献:

[1] Leon Lyles. Wind erosion: processes and effect on soil productivity [J]. Transactions of the ASAE, 1977, 20(5): 880—884.

[2] 周建忠. 土壤风蚀及保护性耕作减轻沙尘暴的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

[3] 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.

[4] 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—121.

[5] 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.

[6] 于爱忠, 黄高宝. 保护性耕作对内陆河灌区春季麦田不可蚀性颗粒的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 6—9.

[7] Michels K, Sivakumar M V K, Allison B E. Wind erosion control using crop residue I. Effects on soil flux and soil properties[J]. Field Crops Research, 1995, 40: 101—110.

[8] 哈 斯. 坝上高原土壤不可蚀性颗粒与耕作方式对风蚀量的影响[J]. 中国沙漠, 1994, 14(1): 92—97.

[9] Stéphane C Alfaro. Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion[J]. Geomorphology, 2008, 93: 157—167.

[10] 董治宝, 李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 1998, 12(4): 1—5.

[11] 臧 英, 高焕文, 周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 56—60.

[12] 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.

[13] 刘小平, 董治宝. 空气动力学粗糙度的物理与实践意义[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 337—346.

[14] Leon Lyles, Bruce E A. Wind Erosion: The protective role of simulated standing stubble[J]. Transactions of the ASAE, 1976, 19(1):

61—64.

[15] Fryrear D W, Skidmore E L. Methods for controlling wind erosion [J]. Soil Erosion and Crop Productivity, 1985, 24: 443—457.

[16] 周建忠, 路 明. 保护性耕作残茬覆盖防治农田土壤风蚀的试验研究[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(2): 170—173, 178.

[17] Bilbor J D, Fryrear D W. Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover[J]. Agron J, 1994, 86: 550—553.

[18] Van de ven T A M, Fryrear D W, Spaan W P. Vegetation characteristics and soil loss by wind[J]. J Soil Water Conserv, 1989, 44: 347—349.

[19] 孙悦超, 麻硕士, 陈 智, 等. 砾石覆盖对抑制旱作农田土壤风蚀效果的风洞模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 151—154.

[20] 刘目兴, 刘连友. 农田休闲期作物留茬对近地表风场的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 295—299.

Impact of standing wheat stubble on soil wind erosion on cropland of northern Shaanxi: A indoor wind tunnel simulation

LIU Zhen-dong¹, WANG Fei^{1,2*}, MU Xing-min^{1,2}, FAN Qing-cheng^{1,2,3}, LI Rui^{1,2}
(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 Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Standing stubble coverage is one of the efficient conservation tillage (CT) measures. It could reduce the wind erosion of topsoil of land through increasing terrain roughness (Z_0). Indoor wind tunnel simulation tests were conducted to measure and analyze the mass of wind erosion and structure of wind and sand flow on 2 kinds of soil in the Loess Plateau of northern Shaanxi Province with 3 heights of stubble and 2 widths of row space under 4 wind speeds of 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s and 12 m/s. The results showed that, the mass of wind erosion of Aeolian Soil (AS) was much more than cultivated loessial soil (CLS)'s in the situation of bare soils. All kinds of heights of stubble could play a role in lessening the mass of the particles suspended in the air. Compared to the impact of stubble to AS, the impact of stubble had more effective manifestation to CLS under the same wind speed. With row space reducing to 15 cm from 20 cm, the inhibitory action increased, and the inhibitory action was more remarkable to CLS than AS. On the basis of elaborative analysis of spatial distributing structure of eroded particles, it was obvious that drifting sand flux of CLS with stubble mainly moved within 15 cm height of the ground surface, but drifting sand flux of AS floated primarily at 45~60 cm height. Increasing the stubble density on two kinds of soils could play an positive impact in decreasing the mass of wind erosion.

Keywords: wind erosion; wind tunnel simulation; wheat stubble; stubble density