

农田休闲期作物留茬对近地表风场的影响

刘目兴¹, 刘连友^{2,3}

(1. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 留茬是防治农田休闲期土壤风蚀的有效措施。该文利用野外观测数据, 通过比较不同高度的 4 种作物留茬及冰草覆盖地表的风速廓线, 分析各种处理下近地面风速和空气动力学特征, 揭示作物留茬防止土壤风蚀的机制。结果表明: 作物留茬降低了地面上 2 m 高度内的风速, 降低幅度与留茬高度成正比, 与观测高度成反比。高度相同时不同类型的留茬比较, 苜蓿和小麦茬下风速降低幅度较大, 植株稀疏的油菜茬和秸秆较细的胡麻茬的防风效果较差。同类作物不同高度的留茬覆盖下, 地表空气动力学粗糙度随留茬高度的增加而增大, 在苜蓿、油菜和小麦茬高度达到 15、30 和 15 cm 时显著增大, 是 3 种留茬防风的有效高度。可见, 高度适宜的作物留茬能降低近地面风速, 削弱侵蚀力, 有效防治土壤风蚀。

关键词: 侵蚀, 空气动力学, 粗糙度测量, 作物留茬, 摩擦速度, 土壤风蚀

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.09.052

中图分类号: X169, S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-9-0295-06

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): 295-300.

Liu Muxing, Liu Lianyou. Effect of crop stubble on wind field above field surface during fallow period of cropland[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(9): 295-300.(in Chinese with English abstract)

0 引言

风是塑造干旱半干旱区地表景观的主要外力之一, 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]。中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]。风蚀发生的动因包括自然和人为两个方面, 前者通过气流与地表的相互作用实现, 后者则是在前者基础上人为的加速或抑制过程^[5]。农田土壤风蚀的防治主要从人为可控因素出发, 采取免耕、留茬和秸秆覆盖等保护性耕作措施, 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^[6]。目前有关保护性耕作防治风蚀的研究以免耕留茬、秸秆覆盖、垄作与传统耕作的对比为主, 对作物留茬降低近地面风速, 控制土壤风蚀的机制研究较少^[7-8]。此外, 中国北方农牧交错区内作物秸秆和留茬通常被用作燃料和饲料。因此, 确定合理的留茬高度可协调生活取暖、饲养牲畜与风蚀防治在秸秆需求上产生的矛盾。本文利用野外观测的风速资料, 分析不同类型和高度的留茬下农田近地表气流场特征, 探讨留茬措施降低侵蚀力的机制, 确定防止风蚀的留茬高度, 期望为农牧交错区的土壤风蚀防治提供依据。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区中南部的太仆寺旗三道沟村, 地理位置为 115°22' E, 42°04' N, 海拔 1 440 m 左右。该区位于阴山山脉东缘, 属温带半干旱大陆性气候, 年平均降水量 387 mm, 年际变率大, 且 49% 的降水发生在 7、8 两月。单次降水历时短、强度大, 易形成地表径流。蒸发强烈, 年平均蒸发量 1 734 mm, 约为年均降水量的 4.5 倍, 水分亏缺严重, 旱灾频发。年平均气温 2℃, 无霜期 90~120 d^[9]。由于地处坝上高原与内蒙古高原的交接地带, 受蒙古高压的影响, 该区冬春季节风力强劲, 年平均风速 3.4 m/s, 年大风日数 50~80 d, 是中国风力最为强劲的地区之一。在强风的作用下, 以粉砂为主要成份的栗钙土极易风蚀沙化, 产生扬沙、浮尘及沙尘暴等灾害性天气。1971—2000 年间, 该区共发生沙尘暴 45 场, 其中 4、5 两月占 80%; 扬沙日数为 101 d, 4、5 月份占 67%^[9]。研究区地处温带典型草原区, 群落的优势种以克氏针茅 (*Stipa krylovii*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*) 为主。农业机械化水平低, 集约化程度差, 属于粗放型的传统平作, 干旱和土壤风蚀是限制农业发展的主要因素。

2 试验设计及研究方法

试验于 2006 年在研究区内地势平坦, 种植苜蓿、小麦、油菜及胡麻的同一块农田内进行。在作物收获时进行不同高度的留茬, 依据留茬高度的不同划分面积不等的试验小区, 人工修剪作物留茬至设计高度。各小区随机分布, 两两间互不影响, 处理后各小区的特征参数见表 1。试验中观测位置与小区上风向边界的距离在留茬或

收稿日期: 2008-01-12 修订日期: 2009-01-12

基金项目: 华中师范大学“丹桂计划”项目; 推进流域水环境治理的政策研究; “十五”国家科技攻关项目 (2005BA517A11)

作者简介: 刘目兴 (1979—), 男, 山东省钜野县人, 博士, 主要从事土壤侵蚀与保护性耕作技术研究。武汉 华中师范大学城市与环境科学学院, 430079。Email: liumx@ires.cn

冰草高度的 60 倍以上, 满足边界层充分发育需要的条件^[10]。风速观测用中国沙漠研究中心与北京市气象局联合研制的自记梯度风速仪, 数据采集器的频率为 1/60 Hz, 记录每分钟的平均风速。试验对 12 种留茬处理和 4 种冰草对照分别进行了 30 min 的观测。风速仪的风杯高度设 4、3、2.5、2、1.5、1、0.5、0.3、0.1 m 9 个高度。用风速与高度对数的回归模拟方程: $u_z = a + b \ln z$, 分析下垫面的空气动力学粗糙度, 式中 u_z 为高度为 z 处的风速, a 、 b 为回归系数。空气动力学粗糙度 z_0 为 $\exp(-a/b)$, 摩阻速度 u_* 为 kb , k 为卡曼常数取 0.41^[11]。

表 1 不同留茬地表的特征参数

Table 1 Characteristic parameters of different crop stubble treatments

留茬类别	高度 /cm	密度 / (株·m ²)	田块长度 /m	田块宽度 /m	风速观测时间/min
莜麦茬	25	730	25	25	60
	15	864	15	15	60
	10	1002	10	10	40
	5	870	10	10	40
	5	880 (覆盖秸秆 1500 kg/hm ²)	10	10	40
油菜茬	30	92	20	5	30
	20	61	15	5	30
	10	74	10	5	40
	5	74	10	5	30
小麦茬	25	320	20	5	30
	15	272	15	5	30
	5	323	10	5	30

胡麻茬	11.4	405	15	5	30
	22	75%	20	10	30
冰草	18	65%	20	10	30
	13	70%	10	10	30
	10	50%	10	10	30

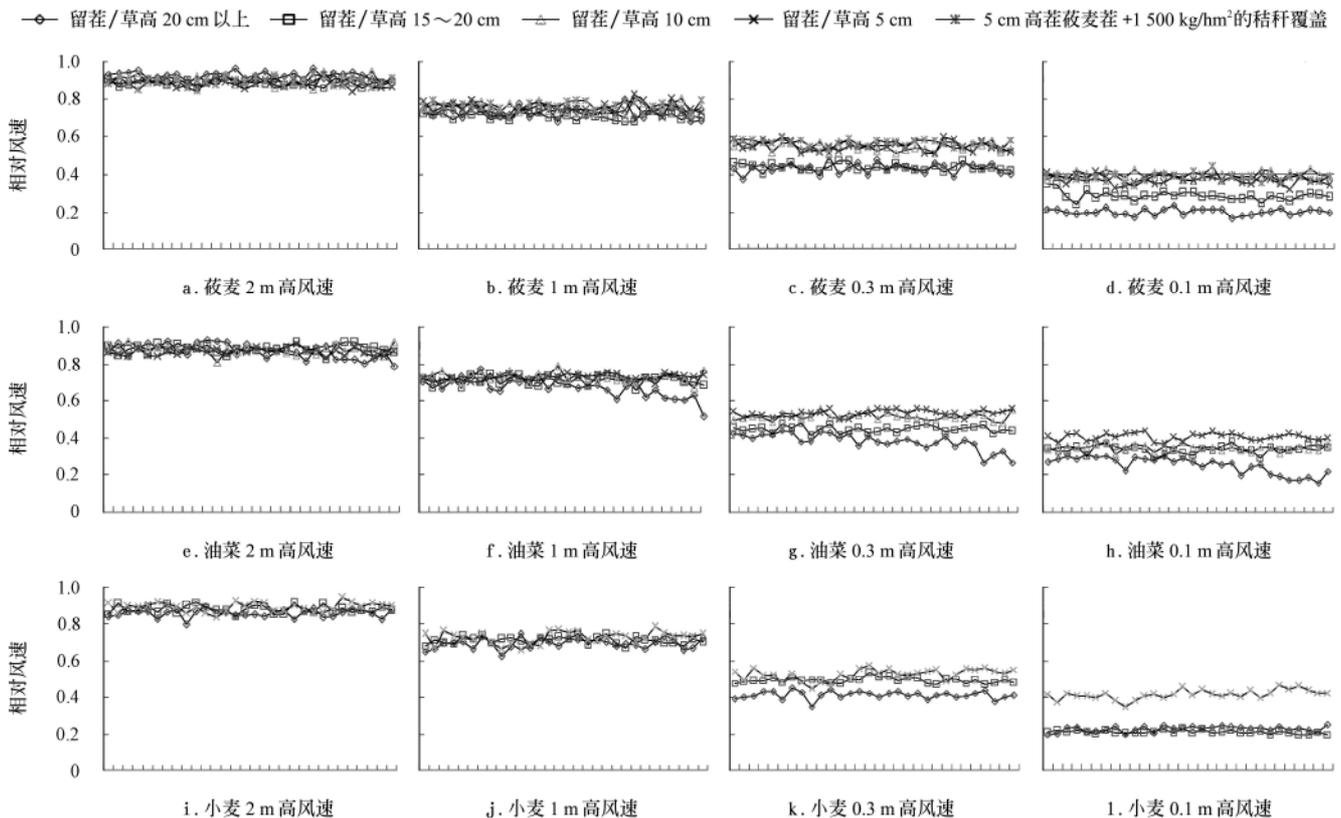
注: 表中%表示冰草覆盖的盖度。

3 结果与分析

3.1 留茬对近地表风速的影响

土壤表面风速是风蚀发生的动力因素, 研究表明作物留茬通过吸收风能, 降低侵蚀强度, 而对留茬高度和种类与风速降低幅度之间关系的研究较少^[12]。本文通过比较不同高度的各类作物留茬对地表风速削弱幅度, 探讨休闲期农田最佳留茬高度。因风速仪台数不足, 各种处理的风速观测未能同步。为使不同处理间具有可比性, 分析中采用 4 m 高度风速对 2、1、0.3、0.1 m 4 个高度的风速进行标准化 (作物留茬和冰草对 4 m 高度的风速基本无影响, 可作为自由风速), 用标准化后的相对风速分析留茬和草地处理对近地表风速的影响^[13]。图 1 中的系列图分别表示不同高度的莜麦、油菜、小麦留茬和冰草覆盖下, 地面以上 2、1、0.3 和 0.1 m 高度与 4 m 高度比较所得的相对风速。

图 1 中横向比较显示, 同种作物留茬或冰草覆盖处理下相对风速随观测高度的降低而降低。纵向对比分析表明, 不同高度的作物留茬和冰草覆盖下 2 m 高的相对风速均在 0.8 以上, 无显著差异。3 类作物留茬下 1 m 高度的风速均低于 0.8, 而冰草覆盖地表草高于 10 cm 时



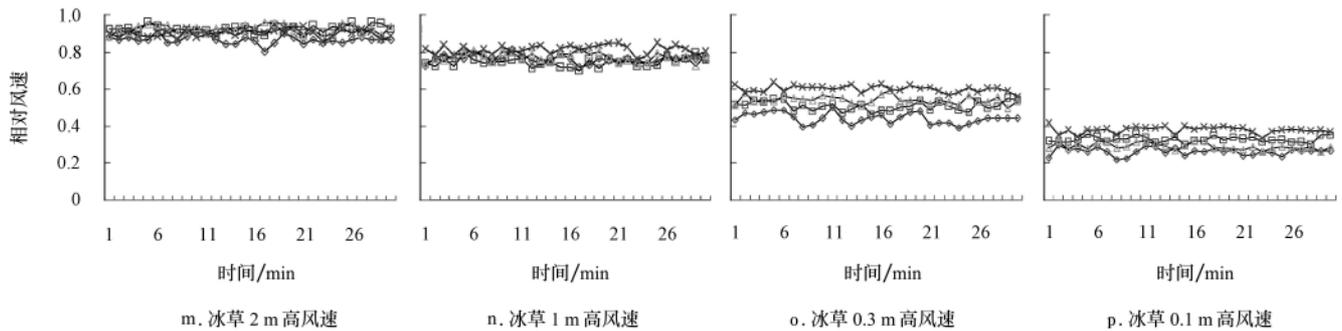


图 1 不同留茬和草地处理下的相对风速

Fig.1 Relative wind velocities under different crop stubble and grassland treatments

1 m 高度的相对风速为 0.82。地上 0.3 m 高度的相对风速比较,高 15 cm 的苜蓿茬和小麦茬及高 20 cm 的油菜茬分别比 18 cm 高的冰草覆盖下低 14%、13%和 6%。10 cm 高的冰草地上 0.1 m 高度的风速与高 5 cm 的苜蓿留茬相当。可见,高度相近时,作物留茬地表 0~2 m 内风速明显低于冰草草地,且风速降低幅度随观测高度的降低而增大。冰草的防风效果不及作物留茬,与冰草直立性差,受风吹时易倒伏的特点有关。

不同高度的留茬处理间差异同样显著。茬高 25、15、10、5 cm 苜蓿处理下,距地面 0.1 m 高度处的风速分别为 4 m 高度风速的 20%、29%、37%和 40%,多重比较显示除茬高 10 cm 和 5 cm 处理间无显著差异外,各苜蓿留茬处理间在 0.01 的水平上存在显著差异。油菜茬高 30、20、10、5 cm 时,0.1 m 高度处风速为 4 m 高度的 25%、34%、34%和 41%,除茬高 20 cm 和 10 cm 处理间相同外,油菜茬处理两两比较均在 0.01 的水平上存在显著差异。茬高 25、15 和 5 cm 的小麦茬处理下 0.1 m 高度处风速分别为 4 m 高度的 22%、20%和 41%,前两者间差异不显著,但均与茬高 5 cm 的处理间差异显著。可见,苜蓿、油菜、小麦的留茬处理对地表 1 m 以上的风速影响较小,对 0.1 m 和 0.3 m 高度的近地表风速影响显著,其中近地面 0.1 m 高度处风速分别在留茬高度为 15、30 和 15 cm 时显著降低,故 3 类留茬处理降低地面风速的有效茬高为 15、30 和 15 cm (图 2)。

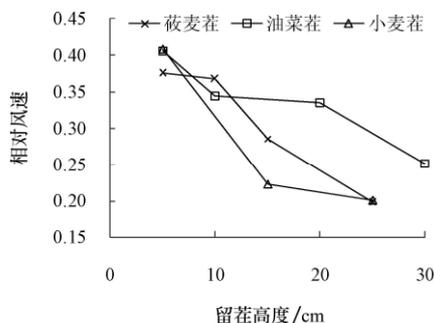


图 2 不同高度留茬地表以上 0.1 m 高度的相对风速

Fig.2 Relative wind velocities at 0.1 m height for crop stubble height treatments

冰草覆盖下,草高 22 cm 时 0.1 m 处风速是 4 m 高

度的 27%,显著低于草高 10 cm 时的 38%和草高 18 cm 的 33%,故冰草防风的有效群落高度在 22 cm 以上。此外,据观测茬高 11.4 cm 的胡麻茬 0.1 m 高度处风速是 4 m 高度的 42%,仅与 5 cm 高度的苜蓿、小麦和油菜茬降低风速的幅度相当。

留茬高度相同时,苜蓿和小麦茬距地面 0.1 m 处风速差异不显著,但都在 0.01 的水平上显著低于高度相同或相近的油菜、胡麻留茬和冰草草地。可见,作物留茬防风效果不仅与茬高有关,而且与植株密度、侧影面积及直立性有密切关系^[14-15]。苜蓿和小麦茬植株密度分别为 866 株/m²和 305 株/m²,而油菜茬仅为 75 株/m²。虽然胡麻茬密度为 405 株/m²,但其秸秆较细,侧影面积小,防风效果最差。此外,在高 5 cm 的苜蓿留茬地表上,均匀覆盖 1 500 kg/hm²的秸秆对近地表风速的影响甚微,其主要通过对地表可蚀性颗粒的掩盖降低农田风蚀度。

3.2 留茬高度对近地表空气动力学性质的影响

由于近地表空气动力学参数因风速的变化存在差异,本文采用 4 m 高度处 10 min 内平均风速为 5 m/s 时的风速记录绘制近地表风速廓线。结果显示,各种留茬和草地处理下风速均与高度的对数呈线性相关,相关系数在 0.98 以上(图 3)。可见试验观测期间近地表大气处于中性层结,空气动力学粗糙度和摩擦风速均可通过风速与高度的拟合方程求得^[11]。

由表 2,各种作物留茬处理下近地表空气动力学粗糙度随留茬高度的增大而增大。当苜蓿、油菜和小麦茬高度达到 15、30 和 15 cm 时,空气动力学粗糙度明显增大,分别是 5 cm 高留茬的 2.5、3.3 和 3.5 倍。而 15、15 和 30 cm 是苜蓿、小麦和油菜留茬处理防风的有效茬高,这与近地表 0.1 m 高度风速的对比分析结果一致。高度相同时,苜蓿和小麦留茬的空气动力学粗糙度最大,油菜茬次之,胡麻茬最小。这是由于油菜茬稀疏,胡麻茬秸秆较细,两者侧影面积较小,防风效果不如同高度的苜蓿和小麦茬。摩擦速度的大小则表示了近地表风速剃度的大小,4 m 处风速相同时风速剃度越大,近地表风速就越小。不同留茬下摩擦速度的分析与空气动力学粗糙度分析得出的结论一致,即苜蓿和小麦茬防风效果最佳,油菜茬次之,胡麻茬最差。

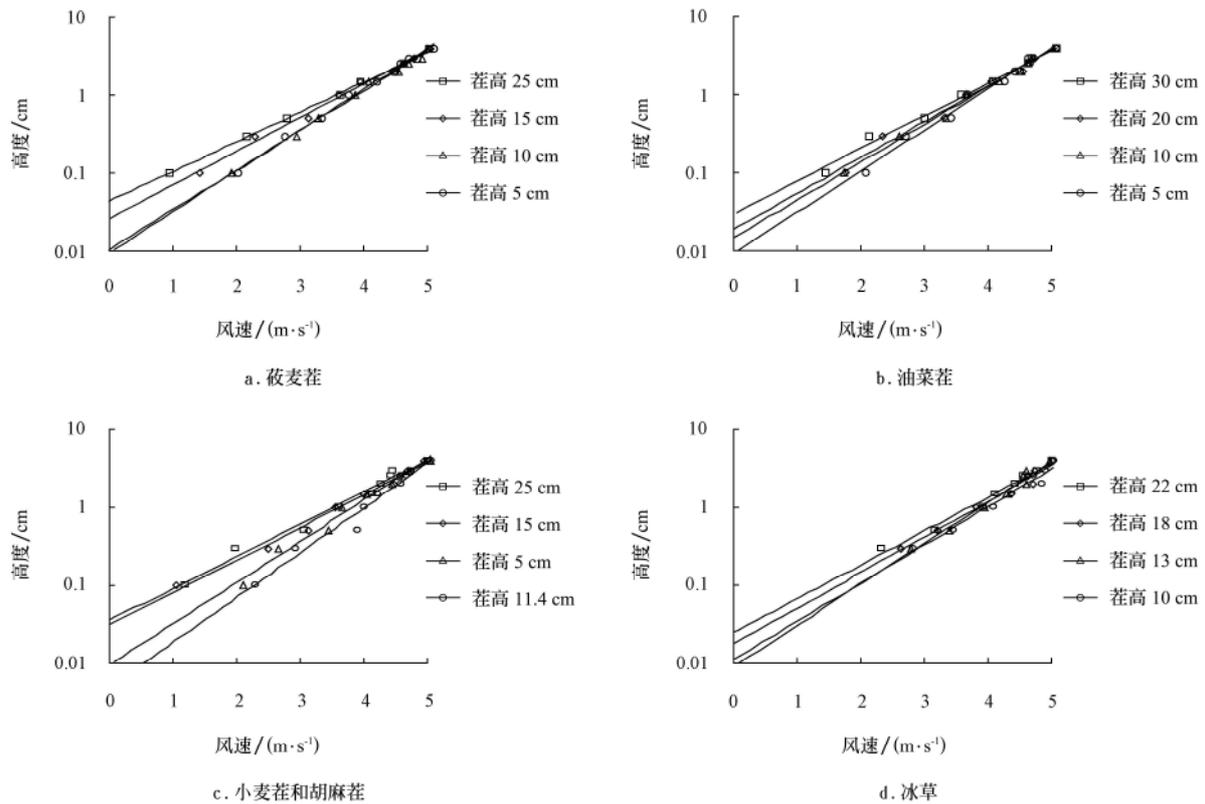


图3 不同作物留茬处理的近地表风速廓线

Fig.3 Wind velocity profile under different crop stubble treatments

表2 不同留茬和草地处理下的空气动力学参数

Table 2 Aerodynamic parameters under different crop stubble and grassland treatments

处理方式	苜蓿茬				油菜茬				小麦茬			胡麻茬	冰草			
植被高度/cm	25	15	10	5	30	20	10	5	25	15	5	11.4	22	18	13	10
空气动力学粗糙度/cm	4.32	2.59	0.94	1.03	2.85	1.75	1.43	0.87	3.33	3.01	0.87	0.41	2.56	1.66	1.45	1.64
摩擦速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.47	0.41	0.34	0.35	0.42	0.38	0.37	0.33	0.42	0.42	0.33	0.30	0.41	0.38	0.37	0.39

高度相同或相近时,冰草草地的空气动力学粗糙度和摩擦速度与油菜留茬基本相同,比苜蓿和小麦留茬处理下小。此外,除草高22 cm的处理外,其他3种冰草草地的空气动力学粗糙度和摩擦速度无明显差异。这是由于冰草的直立性差,在受到风吹时易倒伏,植株高度相差不大时对近地表气流运动的阻碍差异不明显。可见,与直立性更强的苜蓿和小麦留茬比较,虽然冰草草地的盖度较大,但风吹后易倒伏的缺点限制了防风效果,其防止风蚀作用在于对土壤可蚀性颗粒的掩盖和根系的固结作用。因此,对冬春季节枯萎后直立性差,易倒伏的草地进行风蚀评价和预报时,应将盖度作为风蚀通用方程中植被因子的量化指标。

4 结论与讨论

通过对不同高度的苜蓿、油菜、小麦、胡麻留茬及冰草地的近风速观测和分析,得出以下结论:

1) 与冰草草地比较,作物留茬降低了近地表0~2 m内的风速,尤其是植株密度较大的苜蓿和小麦留茬效果明显。茬高5 cm的小麦和苜蓿留茬地0.1 m高度处风速

与平均高度为10 cm的冰草草地处理相当。油菜茬植株稀疏,胡麻茬秸秆较细,两者防风效果相对较差。

2) 各种作物留茬地上0~1 m高度的风速均随留茬高度的增加而降低,降低幅度与观测高度成反比。苜蓿、油菜和小麦留茬高度为15、30、15 cm时,地上0.1 m高度风速显著降低,是3种留茬降低风速的有效茬高。

3) 作物留茬处理的空气动力学粗糙度均随留茬高度的增加而增大,苜蓿、油菜和小麦茬高度为15、30和15 cm时,空气动力学粗糙度分别是茬高5 cm处理的2.5、3.3和3.5倍。由于直立性差,冰草草地空气动力学粗糙度随植被高度变化较小。

可见,作物留茬降低了近地面风速,增大了粗糙元对气流运动的摩擦阻力,是农田休耕期有效的风蚀防治措施。诚然,削弱近地面风速并非减轻土壤风蚀的唯一途径,风蚀严重地区退耕还草或种植人工牧草也是重要的风蚀防治措施。冰草等牧草虽然直立性差,对近地面风速的削弱不充分,但如覆盖严密,能掩盖可蚀性颗粒,增强地表抗侵蚀能力,也具有较好的防风蚀效果。因此,分析具体措施防风抗蚀的机制,确定其控制风蚀的主导

因素是保护性耕作技术在风蚀防治中应用的关键。

[参 考 文 献]

- [1] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
Wu Zheng. Aeolian Geomorphology[M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)
- [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.
Wang Tao, Wu Wei, Xue Xian, et al. Spatial-temporal changes of sandy desertified land during last five decades in northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(2): 203—212. (in Chinese with English Abstract)
- [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.
Chen Weinan, Dong Guangrong, Dong Zhibao. Achievements and needs of studies on wind erosion in northern China[J]. Advance in Earth Sciences, 1994, 7(5): 6—12. (in Chinese with English Abstract)
- [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.
Dong Zhibao, Chen Guangting. A preliminary insight into the wind erosion problem in Houshan area of Inner Mongolia[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1997, 3(2): 84—90. (in Chinese with English Abstract)
- [5] Chepil W S, Woodruff N P. The physics of wind erosion and its control[J]. Advances in Agronomy, 1963, 15: 211—302.
- [6] 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.
Dong Guangrong, Li Changzhi, Jin Jong, et al. Several results about wind erosion from wind tunnel experiments[J]. Chin. Sci. Bull., 1987, 32(2): 297—301.
- [7] 臧英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 195—198.
Zang Ying, Gao Huanwen. Research on occurrence mechanism and control technology of wind erosion in agricultural lands[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 195—198. (in Chinese with English Abstract)
- [8] 哈斯. 坝上高原土壤不可蚀性颗粒与耕作方式对风蚀的影响[J]. 中国沙漠, 1994, 14(4): 92—97.
Hasi Erdon. Influence of nonerodible clods and tillage practice on wind erosion over Bashang plateau[J]. Journal of Desert Research, 1994, 14(4): 92—97. (in Chinese with English Abstract)
- [9] 刘目兴, 刘连友, 王静爱, 等. 农田休闲期不同保护性耕作措施的防风效应研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 46—51.
Liu Muxing, Liu Lianyou, Wang Jing'ai, et al. Wind-breaking effect of various conservation tillage measures during fallow period of cropland[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(1): 46—51. (in Chinese with English Abstract)
- [10] Counihan J. Wind tunnel determination of the roughness fetch as a function of the fetch and the roughness densities of three-dimensional roughness elements[J]. Atmospheric Environment, 1971, 5(4): 637—642.
- [11] Wiggs G F S, Livingstone I, Thomas D S G, et al. Airflow and roughness characteristics over partially vegetated linear dunes in the southwest Karahali Desert[J]. Earth Surface Processes Landforms, 1996, 21: 19—34.
- [12] 常旭虹, 赵广才, 张雯, 等. 作物留茬对农田土壤风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 28—31.
Chang Xuhong, Zhao Guangcai, Zhang Wen, et al. Effect of crop stubble mulch on farmland wind erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(1): 28—31. (in Chinese with English Abstract)
- [13] 妥德宝, 段玉, 赵沛义, 等. 带状留茬间作对防治干旱地区农田风蚀沙化的生态效应[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 63—67.
Tuo Debao, Duan Yu, Zhao Peiyi, et al. Ecological Effect of intercropping strips keeping stubble on preventing field from wind erosion in dryland farming areas[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2002, 17(4): 63—67. (in Chinese with English Abstract)
- [14] 董治宝, 高尚玉, Fryrear D W. 直立植物—砾石覆盖组合措施的防风蚀作用[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 7—11.
Dong Zhibao, Gao Shangyu, Fryrear D W. Drag Measurement of standing vegetation-clod cover surface[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(1): 7—11. (in Chinese with English Abstract)
- [15] 刘小平, 董治宝. 直立植被粗糙度和阻力分解的风洞实验研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 82—87.
Liu Xiaoping, Dong Zhibao. Wind tunnel tests of the roughness and drag partition on vegetated surfaces[J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(1): 82—87. (in Chinese with English Abstract)

Effect of crop stubble on wind field above field surface during fallow period of cropland

Liu Muxing¹, Liu Lianyou^{2,3}

(1. College of City and Environmental Science, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China;

2. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Crop stubble is effective for soil wind erosion control during fallow period of cropland, whereas more studies

are needed on the mechanism of different crop stubble treatments to prevent wind erosion. Through field test, wind profiles for four kinds of crop stubble and grassland covered with *Agropyron cristatum* were observed. Two items of aerodynamic roughness and wind velocity were analyzed comparatively on all the underlying surfaces. The results indicated that compared with grassland, crop stubble treatments decreased wind velocities from the height of 0 to 2 m, and the decrement increased with the increasing of stubble height, decreased with the increasing of observed height. For the sparseness of oilseed rape stubble and thin stem of benne stubble, their wind-breaking effects were worse than wheat stubble and naked oats stubble. In addition, aerodynamic roughness of stubble field increased with the increasing of stubble height, until the heights reached 15, 30, 15 cm for naked oats stubble, oilseed rape stubble and wheat stubble, respectively. So those heights were regarded as the effective stubble heights for wind erosion control. In conclusion, crop stubble with reasonable height could control wind erosion by decreasing wind velocity and reducing near surface wind shear stress.

Key words: erosion, aerodynamic, roughness measurement, crop stubble, friction velocity, soil wind erosion