

不同治理措施下的农田土壤风蚀控制机理研究

韩磊¹, 杨治国², 贺康宁¹, 郑国强¹

(¹北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; ²赤峰市林业科学研究所, 赤峰 024006)

摘要:通过对黄羊滩沙地风速、粗糙度、防风效能、输沙量的野外观测, 分析了不同治理措施下的农田土壤风蚀控制机理, 研究结果表明: 小网窄带防风效能高, 是风沙区农田防护林合理的配置方式; 此外, 不同覆盖方式和不同留茬方式的地表粗糙度与秋翻裸地均是数量级的差别。在覆盖物和留茬密度基本相同的情况下, 地表粗糙度和防风蚀效果均随覆盖度和留茬高度的增加而增加; 在覆盖度基本相同的情况下, 地表粗糙度和防风蚀效果均随覆盖物和留茬高度的增加而增加。

关键词:黄羊滩; 防风效能; 粗糙度; 土壤风蚀

中图分类号: S151+1 文献标识码: A

Study on Mechanism of Controlling Wind Erosion in Farmland under Different Improving Measures

Han Lei¹, Yang Zhiguo², He Kangning¹, Zheng Guoqiang¹

(¹College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

²Chifeng Forestry Sciences Academy of Chifeng City, Inner Mongolia, Chifeng 024006)

Abstract: Based on the field observation of wind speed, roughness, wind-break potency and sediment yield in Huang Yangtan sandy land, this paper analyzed the mechanism of controlling wind erosion under different measures. The results are mainly as follows: the small network of narrow-band which has a high performance in wind-break is a reasonable protection forest allocation in sandy areas farmland. In addition, the surface roughness of coverage and stubble in different ways are orders of magnitude difference to the autumn bare land. When there is the same density of coverage and stubble, the surface roughness and wind-break potency increase along with the rise of coverage and stubble height. On the other hand, the surface roughness and wind erosion resistance increase with the height of cover and stubble in the case of the same coverage.

Key words: Huang Yangtan sandy land, wind-break potency, roughness length, soil wind erosion

中国北方旱作农田土壤风蚀问题严重, 影响范围大, 是沙漠化土地扩张和频发沙尘暴的主要原因^[1]。黄羊滩沙地旱作农田面积相对较大, 在治理初期的 1999 年达到 3179.1 hm², 由于冬春季节土地表面没有农作物覆盖, 加之与该季节干旱多风的相互耦合, 并缺少防护林网的有效保护, 导致土壤风蚀严重, 是该地区沙漠化发生和发展的主要原因之一^[2], 因此研究该地区农田风蚀及控制机理, 对该地区及京津风沙源工程区沙漠化防治总体战略的实现具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

研究地区黄羊滩位于河北省张家口市宣化县境内, 地理坐标为 E115°2'34"~115°12'30", N40°25'12"~40°32'6", 总面积 9733.2 hm², 流动沙地占总面积的 37.5%。地处半湿润区向半干旱区的过渡地带, 是华北到蒙新区的过渡气候类型, 属大陆性季风气候。该地区年均气温 7.6 °C, 极端最高气温 38 °C, 极端最低气温 -25.8 °C, ≥10 °C 年积温 2000~3400 °C, 无霜期 130 d。

基金项目: 国家林业局重点推广项目“洋河沿岸沙地综合治理技术研究”(2006 年 33 号)。

第一作者简介: 韩磊, 男, 1985 年出生, 宁夏人, 硕士, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程。通信地址: 100083 北京林业大学 415 信箱, Tel: 010-82380527, E-mail: layhan@163.com。

通讯作者: 贺康宁, 1962 年出生, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 水土保持、林业生态工程等, Tel: 010-62338356, E-mail: hkn@bjfu.edu.cn。

收稿日期: 2008-09-30, 修回日期: 2008-10-14。

多年平均降雨量 361 mm,且降雨年内分配不均,6~8 月的降水量占全年降水量的 80%以上;年蒸发量 2000 mm,为降雨量的 5.3 倍;8 级以上大风天数 37~40 天,冬春季植物枯黄,降水稀少,地表干燥疏松,常常导致风沙灾害的发生。

1.2 试验方法

1.2.1 实验设计 黄洋滩沙地大风和沙尘天气主要集中在春季,以 4 月份出现频率最多,为此野外观测主要在 2006 年 4 月份进行。该研究选取的试验地主要以耕地为主,具体分为没有防护林保护的作物留茬地、地膜覆盖地、秸秆覆盖地、2003 年营造的小网窄带幼龄防护林网内的耕地和裸耕地。所选取的试验地在京津风沙源治理工程中具有典型代表性。

地表覆盖控制土壤风蚀实验布设在黄洋滩沙地籽瓜和玉米的旱作农田内。籽瓜秋季收获后仍残留地膜不翻耕,一种是地膜宽度 50 cm,膜间距 50 cm,覆盖度约为 50%;另一种是地膜宽度 50 cm,膜间距 30 cm,覆盖度约为 62.5%。玉米收获后残留秸秆设置堆状覆盖方式,秸秆堆大小 2×2.4 m,高 25 cm,呈品字形堆放,其覆盖度分别布设为约 50%和 62.5%两种。此外,黄洋滩沙地农田种植最多的高秆作物是玉米和向日葵,2005 年秋季在玉米和向日葵收获后,在原有种植密度的基础上,做不同高度留茬控制土壤风蚀试验,并与裸耕地进行比较。

1.2.2 测定指标

(1)林分状况及风速观测 林分状况采用常规测树工具进行调查,植被盖度采用垂直摄影方法分析获得。采用校正的 DEM-6 型三杯风速仪观测风速,观测高度分别为 1 m、1.5 m 和 2 m。

(2)不同土地利用类型下垫面粗糙度的观测 粗糙度不仅是反映风沙流空间分布状况的重要参数,而且可有效衡量防沙治沙的效果^[3,4]。粗糙度依据以下公式

$$\text{计算}^{[5]}: \lg Z_0 = \frac{\lg z_2 - \frac{u_2}{u_1} \lg z_1}{1 - \frac{u_2}{u_1}}$$

式中, Z_0 为地表粗糙度 (cm), u_1 、 u_2 分别为高度 z_1 、 z_2 处的风速 (m/s)。

(3)不同结构林分防风效能的观测 防风效能采用如下公式计算^[6]:

$$E_{xh} = (u_{0h} - u_x h) / u_{0h} \times 100\%$$

式中 E_{xh} 是距植被距离为 x 、高度为 h 处的防风效能, u_{0h} 为观测点为高度为 h 处对照点的风速, $u_x h$ 为距林分距离为 x 、高 h 处的平均风速。

(4)不同土地利用类型输沙量的测定 在不同的林地、草地、农田和流动沙地布设 10 孔阶梯式集沙仪,观测高度为 20 cm,每 2 cm 一层,集沙仪进沙口垂直主风向,同步测定不同土地利用类型不同风速下的输沙量,将集沙仪收集的沙子装入密封袋,带回实验室用精度 0.001 的电子天平称重。

(5)不同土地利用类型风蚀(积)深度的测定 用标杆法测定不同土地利用类型的风蚀(积)深度,每次大风前后观测其距地表的高度,差值为“+”表示风积,差值为“-”表示风蚀。

2 结果与分析

2.1 幼龄农田防护林带的防风效益分析

针对黄洋滩沙化农田风大沙多的特点,2003 年借鉴中国风沙区防护林建设的成功经验,采用“小网窄带连续平行的正方形”规划设计方式,在 63.7 hm² 的沙化农田上建立了防护林网。并与 2001 年为达到保护道路和改善道路景观效果的目的,沿工程区主干道营造东西走向的新疆杨 (*Populus alba var. pyramidalis.*) 路林(相当于单条林带牧场防护林)做对比。牧场防护林带和农田防护林的林分特征如表 1。

林带的防护作用体现在林带迎风面和背风面两个方向上,为此该研究主要观测了防护林带背风面主防护区 1~10 倍树高(1H~10H)和迎风面次防护区 1~5 倍树高(1H~5H)范围内距地面 1m 高处的风速,并与空旷地做对比,结果见表 2。

表 1 农田防护林和牧场防护林林分特征表

防护林类型	造林树种	造林时间年/月	株行距/m	行数	带宽/m	平均胸径/cm	平均树高/m	网格/m
农田防护林	新疆杨	2003/4	3×3	4	12	5.2	3.8	150×150
牧场防护林	新疆杨	2001/4	3×3	10	30	6.2	5.3	单条

表 2 农田防护林和牧场防护林防风效能比较

林种	迎风面距迎风缘风速/m·s ⁻¹			防风效能(%)	林种	背风面距背风缘风速/m·s ⁻¹					防风效能/%
	1H	3H	5H			1H	3H	5H	7H	10H	
农田防护林	4.8	5	5.2	5.6	农田防护林	5.5	4.4	4.5	4.7	5.1	9.4
牧场防护林	3.4	3.6	3.9	9.1	牧场防护林	2.8	3.1	2.5	3.5	3.9	22.1

从表 2 可以看出,同是新疆杨幼龄防护林带,由于林带结构(带宽、平均胸径、平均树高和疏透度)的差异,导致两个林带防风效能的明显差异,虽然防护距离迎风面 1~5 倍树高范围内防风效能相差不大(相差 3.5%),但背风面 1~10 倍树高范围内相差达 12.7%,草场防护林的防风作用好于农田防护林,其主要原因是不仅牧场防护林的带宽大于农田防护林,而且由于草场防护林的造林时间稍长,林分生长状况也好于农田防护林。结合中国新疆和田等北方风沙区农田防护林建设的实践表明,小网窄带正方形连续平行的防护林

网是风沙区农田防护林比较合理的配置方式。

2.2 地表覆盖控制农田土壤风蚀机理分析

黄洋滩地区沙化农田的地表覆盖措施因地制宜地采取了秸秆和地膜覆盖两种形式,其机理都是增加地表粗糙度^[7,8],并部分隔绝风沙流与土壤表面的直接接触,从而起到防止土壤风蚀的作用。该试验布设在黄洋滩沙地籽瓜和玉米的旱作农田内,两试验地相互毗邻,以未有任何覆盖措施的秋翻裸耕地做对照,在 2005 年 11 月和 2006 年 4 月对各地块同步开展土壤风蚀量和风速测试,具体见表 3。

表 3 不同地表覆盖下粗糙度和风蚀量的比较

观测内容	秋翻裸耕地	籽瓜覆膜地	籽瓜覆膜地	玉米秸秆堆状覆盖	玉米秸秆堆状覆盖
覆盖度/%	0	50	62.5	50	62.5
粗糙度 Z_0 /cm	0.02	0.26	0.43	0.67	2.21
0~100 cm 总风蚀量/g	21.47	5.32	3.01	1.46	0.93
0~20 cm 风蚀量/g	17.07	3.61	2.47	0.21	0.14

由表 3 可知,不同覆盖方式下农田和秋翻裸耕地地表粗糙度之间均是数量级间的差距,地表覆盖后的粗糙度是秋翻裸地的 13~110.5 倍,而不同覆盖方式之间其地表粗糙度也存在差异。在覆盖物相同的情况下,地表粗糙度随着地表覆盖度的提高而大幅度增加,同样是籽瓜覆膜地,地表覆盖度从 50%增加到 62.5%(增加了 12.5%),地表粗糙度从 0.26 cm 增加到 0.43 cm,增加了 65.38%;同样是玉米秸秆堆状覆盖地,地表覆盖度从 50%增加到 62.5%左右,地表粗糙度从 0.67 cm 增加到 2.21 cm,增加了 229.85%。在覆盖度基本相同的情况下,随着地表覆盖物高度的增加,地表粗糙度也在大幅度提高,同样是 50%左右的覆盖度,高 25 cm 的玉米秸秆堆状覆盖的地表粗糙度为 0.67 cm,而籽瓜覆膜地仅为 0.26 cm,前者是后者的 2.58 倍;同样是 62.5%左右的覆盖度,高 25 cm 的玉米秸秆堆状覆盖的地表粗糙度为 2.21 cm,而籽瓜覆膜地为 0.43 cm,前者是后者的 5.14 倍。

此外,对照秋翻地 0~100 cm (5 min) 的总风蚀量最高,而地表覆盖下农田的风蚀物含量大大减少,且不同覆盖方式的风蚀物含量及其变化方式不同。平均风速为 7.51 m/s 时,对照秋翻裸耕地 0~100 cm 总风蚀量为 21.47 g,且风蚀物含量随高度的增加而减少,其中 0~20 cm 风蚀物含量占总量的 79.51%,这充分说明了土壤风蚀是一种贴近地表的风沙活动。覆盖度分别为 50%和 62.5%的籽瓜覆膜地 0~100 cm 的总风蚀量分别只是裸耕地的 24.78%和 14.02%,覆盖度分别为 50%和 62.5%的玉米秸秆堆状覆盖地 0~100 cm 的总风蚀量分别是裸耕地的 6.8%和 4.33%,不同的覆盖方

式相比,与地表粗糙度相对应,相同盖度的玉米秸秆堆状覆盖其风蚀量要小于地膜覆盖,同时可以发现,与裸地的积沙规律相同,地膜覆盖的积沙也集中在 0~20 cm 的范围之内,而玉米秸秆堆状覆盖 0~20 cm 范围内的积沙占总积沙的比例要小得多,说明玉米秸秆堆状覆盖减少近地面风蚀量的作用更为明显。

由上述分析可知,地表覆盖降低了近地表风速,增大了地表粗糙度,而且覆盖后对地表的绝大多数颗粒起到了屏蔽作用,减少了风沙流中地表土壤颗粒的撞击而带来的新的跃移质的产生,从而极大地减少了地面风蚀^[9,10]。此外,覆盖物高度和覆盖率的不同,造成近地面风速和遮蔽土壤表面积的差异,并最终导致农田土壤风蚀量的区别,这是不同地表覆盖措施控制土壤风蚀的作用机理所在。

2.3 免耕留茬控制农田土壤风蚀机理分析

留茬作为简便易行的保护性耕作措施之一,逐渐被各地推广应用。黄洋滩沙地农田种植最多的高秆作物是玉米和向日葵,2005 年秋季在玉米和向日葵收获后,在原有种植密度的基础上,做不同高度留茬控制土壤风蚀试验,并与裸耕地进行比较(见表 4)。

由表 4 可以看出,不同留茬方式均有降低近地表风速和增加地表粗糙度的作用,特别是玉米高留茬降低近地表风速的作用最为明显,以下依次为向日葵高留茬、玉米低留茬和向日葵低留茬,与裸耕地相比,0.5 m 处风速分别降低了 62.96%、54.82%、39.61%和 22.06%。不同留茬方式间降低近地表风速效果的差异导致了其地表粗糙度的不同,在相同的密度下,玉米高留茬地块的粗糙度是低留茬地块的 4.22 倍,向日葵高

表 4 裸耕地与不同留茬方式下风速与粗糙度的比较

留茬类型	密度 (株/hm ²)	留茬高/cm	0.5m 处风速/m·s ⁻¹	2m 处风/m·s ⁻¹	粗糙度 Z/cm	平均蚀积深度/cm
秋翻裸耕地	0	0	4.67	5.7	0.02	-1.28
玉米低留茬	83375	20	2.82	3.68	0.53	0.37
玉米高留茬	83375	20	1.73	2.5	2.24	0.83
向日葵低留茬	47642	150	3.64	4.61	0.28	0.21
向日葵高留茬	47642	150	2.11	2.91	1.29	0.65

留茬地块的粗糙度是低留茬地块的 4.60 倍;在相同的留茬高度下,由于密度的不同也可导致地表粗糙度的差异,玉米高留茬地块的地表粗糙度是向日葵高留茬地块的 1.74 倍,玉米低留茬的地表粗糙度是向日葵低留茬的 1.89 倍。同时对秋翻裸耕地和不同留茬方式蚀积深度的同步观测表明,裸耕地由于地表粗糙度小,地表物质容易被吹蚀,其总体上处于风蚀状态,平均风蚀深度达到 1.28 m。而由于不同留茬方式均大大提高了地表粗糙度,因而留茬农田通常处于积沙状态,虽也可偶见风蚀点,但风蚀深度较浅,蚀积总体平均后均处于堆积状态,与地表粗糙度相对应,玉米高留茬农田堆积深度最大,达 0.83 m,以下依次为向日葵高留茬、玉米低留茬和向日葵低留茬,其堆积深度分别为 0.83 cm、0.65 cm 和 0.37 cm。

裸耕地地表粗糙度较小,冬春季节在风沙流的作用下,地表有机质等细粒物质容易被吹蚀,地表不断处于风蚀状态,致使土壤理化性质不断恶化。而留茬后可有效降低近地表风速,增大地表摩擦阻力和粗糙度^[1],致使风沙流对地表沙粒的搬运能力减弱,并防止跃移质在运动过程中获得能量而重新启动,有效控制了土壤风蚀的发生和地表有机质及细粒物质的流失。其次,免耕留茬地块与秋翻裸耕地相比较,留茬不破坏耕层结构,使土壤保持自然状态,因而其团粒结构稳定,土壤颗粒间黏着力较大^[2]。此外,留茬地减少了人为和机械扰动,加之根茬的固结作用,使土壤的机械稳定性进一步增强,从而大大减少了风蚀量,有利于土壤保持较好的团聚体结构和较高的生物生产力。

3 结论与讨论

同为幼龄防护林带,由于林分结构的差异,窄带农田防护林和宽带草场防护林的防风效能存在很大差异。虽然林带迎风面 1~5 倍树高范围内的防风效能相差只有 3.5%,但背风面 1~10 倍树高范围内相差达 12.7%,由此看来小网窄带是风沙区农田防护林合理的配置方式。

此外,地表覆盖和免耕留茬都可以大大提高地表

粗糙度,从而有效地控制土壤风蚀。不同覆盖方式和不同留茬方式的地表粗糙度与秋翻裸地均是数量级的差别。在覆盖物和留茬密度基本相同的情况下,地表粗糙度和防风蚀效果均随覆盖度和留茬高度的增加而增加;在覆盖度基本相同的情况下,地表粗糙度和防风蚀效果均随覆盖物和留茬高度的增加而增加。

实践证明,任何一种单一的防护措施对防止土壤风蚀都不能达到一劳永逸的目的,无论是地表覆盖,还是免耕留茬,都应当与草田轮作、间作套种、培肥地力、合理耕作、营造多种形式的防护林体系等措施相互配合,才能从根本上消除沙化农田的土壤风蚀现象,使沙化农田的生态过程向有利于生态系统稳定性和生产力提高的方向转化,从而实现沙区农业生产的可持续发展。

参考文献

- [1] 董治宝,董光荣,陈广庭.风沙物理学研究进展与展望.大自然探索,1995,3(14):30-38.
- [2] 李君,谭利华,邱维理,等.黄羊滩沙地的形成及其对北京沙尘暴天气的影响.北京师范大学学报:自然科学版,2002,2(38):282-283.
- [3] 陈广庭.沙害防治技术.北京:化学工业出版社,2003:45-52.
- [4] 刘小平,董治宝.空气动力学粗糙度的物理与实践意义.中国沙漠,2003,4(23):337-346.
- [5] 朱朝云,丁国栋,杨明远.风沙物理学.北京:中国林业出版社,1998:143-144.
- [6] 李振山,陈广庭.粗糙度研究的现状及展望.中国沙漠,1997,1(17):99-102.
- [7] 董治宝.中国风沙物理研究五十年(I).中国沙漠,2005,3(25):293-305.
- [8] 董治宝,郑晓静.中国风沙物理 50a(II).中国沙漠,2005,6(25):795-815.
- [9] 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.农业工程学报,2003,2(19):56-57.
- [10] 王翔宇,丁国栋,尚润阳,等.秸秆、地膜覆盖控制农田土壤风蚀机理.安徽农学通报,2007,16(13):49-50.
- [11] 胡霞,刘连友,严平,等.不同地表状况对土壤风蚀的影响——以内蒙古太仆寺旗为例.水土保持研究,2006,4(13):118-119.
- [12] 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.华北农学报 2002,4(17):63-67.