

植被对风及土壤风蚀影响的野外观测研究

尚润阳, 祁有祥, 赵廷宁, 丁国栋

(北京林业大学, 北京 100083)

摘 要:采用野外定点观测法,主要研究植被各个特征对风力作用及土壤风蚀的影响。实验结果表明:植被对风速轮廓线的影响取决于植物总体的生态性和其本身的结构形态。植被盖度和高度均对风速轮廓线有明显影响,植被分布形式对其影响相对较小。在相同地风力条件下,植被的盖度是影响土壤风蚀的关键因子。植被高度和分布形式对土壤风蚀影响相对较小。

关键词:植被特征;风速轮廓线;土壤风蚀

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)04-0037-03

Field Investigation on the Influence of Vegetation on Wind and Soil Erosion

SHANG Run-yang, QI You-xiang, ZHAO Ting-ning, DING Guo-dong

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:Through field investigation, the influences of vegetation characteristics on wind profile and soil erosion were main studied. The result indicated that the effects of vegetation on wind profile lie in the ecological characteristic, both vegetation coverage and height have an obvious effect on wind profile, the influence of distribution type is little. If the wind condition is same or similar, the vegetation coverage is the key factor to the influence of the soil erosion; the effect of vegetation height and distribution type is relatively small.

Key words:vegetation characteristics; wind profile; soil erosion

土壤风蚀是干旱半干旱地区主要的土地退化过程,是干旱、半干旱地区土地沙漠化与沙尘暴灾害的首要因素,也是世界上许多国家和地区的主要环境问题之一。^[1]在沙地环境中,植被能够有效降低风速、减轻土壤风蚀,从而减少地表土壤细微颗粒及养分的损失^[1,2]。植被的这种防风抗蚀生态效应一直是国内外有关学者关注和研究的焦点。已有的研究结果表明:植被主要通过覆盖地表、增加下垫面粗糙度和拦截运动的沙粒 3 种生态过程来缓解气流对地表的侵蚀作用;植被对气流的影响主要反映在地表粗糙度和摩擦速度的改变上;而植被对风蚀的影响则直接表现在地表风蚀率的变化上,其影响程度主要取决于植被类型及植被特征诸如盖度、高度等^[9]。长期以来,由于风蚀发生期与植物生长期在时间上的不完全一致性,加之风蚀过程的复杂性及野外观测难度的局限,以往关于植被影响风蚀的研究结果多通过理论推导或风洞模拟实验而获得,且得出了许多有关粗糙度、摩擦速度及风蚀率等随植被特征变化的重要规律。^[2,6,7]而植被尤其是沙质植被防风抗蚀生态效应的野外观测研究尚不多见。本文以地处我国半干旱农牧交错带、距离京津地区最近的沙化土地为主要研究区域。选该区域内典型的植被为研究对象,通过对各植被特征及风沙活动特征的野外定位观测,定性分析了植被对下垫面空气动力学参数及近地层风况、输沙量的影响,旨在探明植被特征对风力作用及土壤风蚀的影响。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于河北省丰宁满族自治县小坝子乡,其隶属冀

北接坝山区,地理坐标北纬 41°22'8"~41°34'6",东经 116°12'49"~116°29'30",土地总面积 31 002 hm²。大陆性季风型半干旱气候,年平均降水量 478 mm,年均无霜期 105 d,年平均气温为 4℃左右,年 4 级以上风日数 210 d 左右,其中 8 级以上大风的日数最高可达 65 d。地带性植被为温带落叶阔叶林,北部坝上地区呈干草原景观,小坝子乡境内多为原始森林破坏后经过封育或天然更新发展起来的次生林,辅以人工林和经济林。主要林种有油松(*Pinus. tabulaeformis* Carr.)河北杨(*Populus hopeiensis*)山杏(*Prunus armeniacavar. ansumarim*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等,灌木以锦鸡儿(*Cavagana microphylla*)、酸枣(*Ziziphusjujuba* Mill. Var.)、红柳(*Tamarix chinensis*)、等为主,草本植物多禾本科(*Gramineae*. Grass Family)为主。河谷盆地多人工栽培的杨、柳(*salixbabyloaica* L.)、榆(*U. pumila* L.)等。土壤以棕壤为主,褐土、潮土为辅,以北梁为中心到小坝子村以及河谷滩地,分布有风沙土。

1.2 研究方法和布局

本实验以野外实地调查和定位观测为主,观测时间为 2004 年 3 月下旬到 5 月上旬,正值风沙活动频繁期。在实验区的沙质土地上,样地土壤类型为风沙土,选择当地典型代表性植被红柳(*Tamarix amurensis* Ldb.)灌丛实验片林为研究对象,样地面积为 5 m × 5 m,利用中科院寒旱所研制的十通道自记风速仪、AVM-03 型手持风速仪相结合及阶梯状集沙仪等仪器,在各类型植被样方内设置固定观测点并进行观测和记录。

* 收稿日期:2005-08-15

基金项目:环北京地区(首都圈)防沙治沙应急技术与示范“燕山丘陵山地(河北丰宁)防沙治沙技术示范区项目”(FS2000-004);基于空气动力学流动阻力及绕流理论的植被防风蚀机理研究,编号:30471422

作者简介:尚润阳(1981-),男,山西省临猗县人,北京林业大学水土保持学院硕士研究生,从事水土保持与荒漠化治理研究。

野外观测植被盖度对风及土壤风蚀的影响时,在红柳林样地平均高度和均匀度基本相似的前提下,选择盖度分别为 10%、20%、40% 的红柳灌木林样地,在其上风向选择与主风向垂直的一条直线,在直线上选择均匀分布的 5 个点,每个点相隔 1 m,在同一时间内,利用十通道自记风速仪由左向右测高度分别为 25 cm、50 cm、90 cm、120 cm、150 cm 的风速,同时观测空旷裸沙 200 cm 高度的风速为对照。风速观测间隔时间为 2 s,每次观测时间 40 min。在同时同地的条件下,利用阶梯状集沙仪收集不同下垫面 0~20 cm 气流层内的输沙量单位是 g/min。

同理,在其它植被特征相似的前提下,利用相同的实验仪器和实验布局分别对不同高度和不同均匀度的实验样地进行相同内容的观测。

1.3 数据分析

不同植被特征之上粗糙度的计算

$$\text{由 } U_z = (U^*/k) \ln(z/z_0) \quad z, z_0 \quad (1)$$

式中: U_z —— z 高度上的水平风速; U^* ——摩阻速度,与风速随高度变化率呈正比; K ——卡曼系数; z_0 ——水平风速为零的高度,即粗糙度。由(1)可知,在光滑地表之上,水平风速随高度呈对数增大。

$$z_0 = \text{EXP}[(V_1 \ln Z_2 - V_2 \ln Z_1)/(V_2 - V_1)] \quad (2)$$

式中: V_1 、 V_2 ——及高度上的水平风速。

如前所述, z_0 可用衡量地表的粗糙状况,计算其的关键是选择高度 Z_2 、 Z_1 及其风速 V_1 、 V_2 的测定。

文中的统计学分析均使用 SPSS100 for windows 软件完成,其中植被特征影响值的差异,均采用单因素方差分析(ANOVA)和 LSD 法检验;植被特征与风蚀强度间的关系均采用相关分析和回归分析法确定。

2 实验结果与分析

植物对风力作用性质的影响反映在两方面,即风速轮廓线和流场特征。近地表风的水平速度随高度的增加而增大。风速随高度的变化称为风速梯度或风速轮廓线。风速轮廓线决定风施于地面的切应力或拖拽力的大小。故风速轮廓线在风蚀动力学研究中具有十分重要的意义。地面粗糙度 z_0 是描述下垫面空气动力学特征的主要参数,它可以表征气流与下垫面相互作用。因此,对于空气动力学粗糙度的研究是深入理解不同下垫面风沙活动的产生机制,从理论上指导防沙、治沙的关键。

2.1 植被覆盖度对风及土壤风蚀的影响

根据实验布设,红柳林高度均为 95 cm 且均为均匀分布,观测盖度分别是 10%、20%、40%,观测高度分别为 25 cm、50 cm、90 cm、120 cm、150 cm 五个高度上的风速。选择裸地风速分别为 5.25 m/s、7.46 m/s、8.27 m/s 为对照,用 50 cm、150 cm 高度的风速来计算粗糙度长度。用电子天平称量单位时间内集沙仪中的沙量得出风蚀强度。

实验结果(表 1)表明,在同一高度上,风速随着植被盖度的增大而减小,这是由于植被的对气流的阻碍和干扰作用使风速轮廓线被抬升的结果,而且植被盖度越大,风速的垂直变化越平缓;在有植被覆盖的条件下,当观测高度小于植被高度时,风速受植被冠层结构影响非常明显,风速随高度变化复杂,几乎呈无规律状态,而风速在接近植株顶部时的变化非常迅速,当观测高度超过植被高度时,各盖度下风速变化率显示出比较一致的规律。

由(表 2)可以看出,当裸地 2 m 高风速为 8.77 m/s 时计算得各盖度下的粗糙长度。在春季风沙活动期,随着植被盖度的依次增大,地表的粗糙长度和临界侵蚀风速都呈现出明显增大的态势,其中粗糙长度 z_0 从植被盖度为 10% 的 0.924 cm 增至 40% 的 4.824 8 cm,增加了 5 倍;当盖度为

10% 时,临界侵蚀风速为 4.979 m/s,当植被盖度增至 40% 时,临界侵蚀风速变为 7.281 m/s,这是由于地表植被通过增大空气动力学粗糙度而改变了风力作用的强度,增大了地表剪切力,提高了临界侵蚀风速。土壤风蚀强度随植被盖度增大,而显著减小,两者呈显著非线性负相关,通过对实验数据进行相关分析得出风沙活动期风蚀率和植被盖度非线性关系式为: $E = 41.872 \times (1.36 \times 10^{-2})^D$ [$R^2 = 0.9178$, $P < 0.001$, E 为风蚀率(g/min), D 为植被盖度],因为随着植被盖度增大,临界侵蚀风速的提高,可以降低有效风速,从而发挥抑制风蚀的作用。同时由于植被起到覆盖地表的作用,防止风对土壤表面的作用,也有效防止了风蚀。可以看出,植被盖度是土壤风蚀的关键因子。

表 1 不同植被盖度风速梯度测定结果

植被盖度 / %	观测高度 / cm	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
40	25	0.94	0.96	0.91
	50	1.43	1.01	1.86
	90	1.89	2.19	3.26
	120	2.44	3.01	4.15
	150	3.07	3.84	5.04
20	25	0.77	1.36	2.11
	50	1.12	2.05	2.77
	90	1.73	2.76	3.68
	120	2.65	3.44	4.11
	150	3.32	4.17	5.22
10	25	1.27	2.65	3.69
	50	1.98	2.98	4.10
	90	2.58	3.43	5.12
	120	2.46	3.91	5.46
	150	3.43	4.32	5.57

表 2 不同植被盖度土壤风蚀因子测定结果

植被盖度 / %	临界侵蚀风速 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	地表粗糙 长度/cm	风蚀强度/ ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)
40	7.281	4.8248	27
20	5.135	2.3526	68.74
10	4.979	1.024	127.33

2.2 植被高度对风力作用及风蚀的影响

在实验区选择植被盖度均为 30% 且均匀分布红柳灌木林,通过定位观测,筛选出在 4.67 m/s、6.02 m/s、7.33 m/s 三个不同裸地风速情况下,植被高度分别为 40 cm、70 cm、120 cm 的不同高度上的风速,观测高度分别是 10 cm、25 cm、50 cm、75 cm、100 cm。

根据风沙物理学原理,由表 3 得出,植被高度也影响着风速轮廓线,当气流遇到植被后,将在垂直方向分为两部分运动,一是植被以上速度相对较高的运动改称“自由流”,二是植被冠层下速度较低的运动,称为“束缚流”。^[2]当观测高度小于植被高度时,虽然风速随高度的增加而增加,但由于风速变化明显受植物个体影响,随机性影响占主导地位,掩盖了内在规律;当观测高度超过植被高度时,风速变化有明显的规律性。这是由于气流受植被高度的影响被迫抬升,此时风速廓线将相应地发生位移,把原来在裸露地面上的轮廓线垂直地抬高到某一新的高度,形成一零平面位移 Z_B , Z_B 是表征植被对风速轮廓线影响的关键因素。根据芒蒂斯(Monteith)在 1973 年得出 Z_B 和 H 的线性关系: $Z_B = 0.63 H$ 。^[2]即 Z_B 和植被高度呈线性函数关系。结合植被盖度对风速轮廓线的影响,可以得出,在风力条件相同时,植被对风速轮廓线的影响取决于下垫面植物本身的生态特性。

由表 4 可以看出,当裸地 2 m 高风速为 7.89 m/s 时计

算得各盖度下的粗糙长度。随植被高度变大,其临界侵蚀风速和粗糙度长度也随之变大,植被高度为 40 cm 和 120 cm 时的临界侵蚀风速分别为 6.289 m/s 和 7.858 m/s,粗糙度分别为 2.797 9 cm 和 3.927 8 cm;也可以得出,风蚀强度与植被高度也具有显著负相关关系($r = -0.449, P < 0.01$),表明植被高度对近地表风蚀强度也有一定的影响。但通过单因素方差分析进行纵向比较,可以得出植被高度对土壤风蚀的影响没有植被盖度显著。

表 3 不同植被高度风速梯度测定结果

植被高度 /cm	观测高度 /cm	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)
50	25	0.74	0.91	1.13
	50	1.69	1.94	3.67
	90	2.26	3.16	3.49
	120	3.07	3.51	4.12
	150	3.97	4.14	5.41
80	25	0.56	0.66	0.97
	50	1.17	1.65	2.77
	90	1.98	2.39	2.98
	120	2.71	3.17	3.47
	150	3.68	4.31	5.01
120	25	0.45	0.76	0.95
	50	1.34	1.89	1.93
	90	1.87	2.06	2.75
	120	2.66	3.33	3.35
	150	3.04	4.39	4.12

表 4 不同植被高度土壤风蚀因子测定结果

植被高度 /cm	临界侵蚀风速 /($m \cdot s^{-1}$)	地表粗糙长 度/cm	风蚀强度/ ($g \cdot min^{-1}$)
40	6.289	2.7979	74.22
70	6.724	2.7145	46.41
120	7.858	3.9278	23.33

2.3 植被分布状况对风力作用及风蚀的影响

在实验区选择植被分布形式不同的盖度均为 30 %且高度为 80 cm 的红柳灌木林。当裸地 2 m 高风速为 7.67 m/s 时计算得各盖度下的粗糙长度。从表 5、表 6 可以看到,植物分布形式对风速轮廓线影响较小,因为在同一风速风向下,植被盖度和高度相同的条件下,植被的总体生态性比较一致,植被总体对气流的扰动作用和影响程度基本相同,形成了相似的风速轮廓线。但均匀分布形式比丛状分布形式对土壤风蚀有较好的防止作用。这是因为当植物丛状分布时,其局部植被覆盖度较低,使其防风效应较均匀分布较差。但其对风蚀的影响效力远没有植被覆盖度大。

参考文献:

[1] [英]RA 拜格诺. 风沙和荒漠沙丘物理学[M]. 钱宁,林秉南译. 北京:科学出版社,1959.

[2] 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.

[3] 孙保平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000.

[4] 张华,李锋瑞,张铜会,等. 春季裸露沙质农田土壤风蚀量及变异特征[J]. 水土保持学报,2002,16(1):29-32.

[5] 董治宝,陈渭南,董光荣,等. 植被对风沙土风蚀作用的影响[J]. 环境科学学报,1996,16(4):442-446.

[6] 董治宝,陈渭南,李振山,等. 植被对土壤影响作用的实验研究[J]. 水土保持学报,1996,2(2):1-5.

[7] 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.

[8] 廖允成. 中国北方农牧交错带土地沙漠化成因及防治技术[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(2):34-37.

[9] 何文清,高旺盛,妥德宝,等. 北方农牧交错带土壤风蚀沙化影响因子的风洞试验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3):2-4.

[10] 张华,李锋瑞,伏乾科,等. 沙质草地植被防风抗蚀生态效应的野外观测研究[J]. 环境科学,2004,25(2):119-122.

[11] 李清河,包耀贤,王志刚,等. 乌兰布和沙漠风沙运动规律研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):86-89.

表 5 不同植被分布形式风速梯度测定结果

植被分 布形式	观测高度 /cm	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)	风速/ ($v \cdot s^{-1}$)
均匀分布	25	1.87	2.97	3.71
	50	2.74	4.16	4.87
	150	3.96	5.01	6.12
丛状分布	25	1.92	3.33	3.60
	50	2.98	4.12	4.71
	150	3.88	5.28	5.93

表 6 不同植被分布形式土壤风蚀因子测定结果

植被分布形式	临界侵蚀风速	粗糙度长度	风蚀强度
均匀分布	5.84	3.1436	49
丛状分布	6.22	2.6157	61

3 结论和讨论

3.1 结 论

(1) 本研究表明,植被对风速轮廓线的影响取决于下垫面植物总体的生态性。植被盖度和高度都有显著影响。在植被高度以下,风速受植物影响的十分明显,随机性影响占主导地位,风速在植物高度之上,两高度间的风速梯度变化呈现出明显的规律性。

(2) 植被盖度、高度和分布形式对土壤风蚀都有影响,但植被的盖度是影响土壤风蚀的主要因子。风蚀率和植被盖度非线性关系式为: $E = 41.8721 \times (1.36 \times 10^{-2})^D$ ($R^2 = 0.9178, P < 0.001$),风蚀强度与植被高度也具有显著负相关关系($r = -0.449, p < 0.01$),植物均匀分布状况较丛状分布状况防风蚀效果好。

(3) 在用生物措施防治土壤风蚀的过程中,在当地自然条件允许的前提下,应尽可能增加植被盖度和高度,尽量均匀散布植物才会收到较好的防风蚀效应。

3.2 讨 论

本实验是以野外观测数据为主得出结论,通过野外定位观测,充分考虑野外各自然因素的影响,定性描述了植被特征对风力作用和土壤风蚀影响。揭示了植被抑制风蚀的生态机理,即植物的覆盖可以增大空气动力学粗糙度,提高摩阻速度,从而增大气流作用于地表时所遇到的阻力,缓解气流对地表的侵蚀作用,减少土壤风蚀率,最终实现对地表的保护作用。但由于自然条件限制和水平有限,各植物特征实验样地精确度和风洞模型肯定存在一定的差距,且由于理想接近的样方数量的有限,没能得出更多的量化关系式来更精确地分析植被各特征对风及风蚀的影响。这是本实验以后需要改进之处。