

不同风沙土含水量因子的抗风蚀性*

移小勇¹ 赵哈林¹ 赵学勇¹ 李玉强¹ 左小安¹ 傅朝²

(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州 730000)

(2 兰州市气象局,兰州 730030)

ERODIBILITY OF AEOLIAN SOILS IN MOISTURE CONTENT

Yi Xiaoyong¹ Zhao Halin¹ Zhao Xueyong¹ Li Yuqiang¹ Zuo Xiaohan¹ Fu Zhao²

(1 Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China)

(2 Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 730030, China)

关键词 土壤含水量;便携式风洞;风蚀性

中图分类号 157.1 文献标识码 A

土地荒漠化是当今世界环境、社会和经济所面临的一个最大问题。它是风沙活动为主要标志,包括土壤风蚀、风沙流、风沙沉积和沙丘前移的一系列过程,其中土壤风蚀是导致土地沙漠化的主要原因和首要环节。我国是世界上受沙漠化影响最严重的国家之一。全国沙漠、戈壁和沙漠化土地约为 165.3 万 km²,分布在干旱、半干旱地区以及部分半湿润地区^[1]。

影响风蚀的因素是多方面的,当土壤中有水分存在时,水分子与土壤颗粒之间的拉张力增加了颗粒间的内聚力^[2],因此增加了土壤的抗风蚀性。Chipil^[2]和 Bisa 等^[3]分别利用风洞研究了土壤含水量与风蚀之间的关系,认为土壤含水量是抑制风蚀的主要因素之一。胡孟春等的风洞模拟结果也表明,沙土含水量是重要的抗风蚀因子,沙土含水量 2% 是转折点,当含水量小于 2% 时抗风蚀能力变化大,大于 2% 时抗风蚀能力趋于稳定。并且,土壤风蚀率随含水量的变化过程具有缓变与陡变区间交替出现的动态超稳定平衡系统行为^[4]。许多学者对于土壤含水量因子的抗风蚀性进行过研究,但基本上都是针对单一土壤类型进行的^[5,6]。由于土壤质地

多种多样,因而实验数据各不相同,结论也并不完全一致,缺乏对比性。因此,有必要对不同的土壤类型进行对比研究,系统分析其含水量因子的抗风蚀性,从而为防治沙漠化提供理论依据,实现沙漠化发展趋势的整体逆转,促进生态环境的改善。

1 实验方法

1.1 实验用土样的选取

风蚀过程不仅发生在缺少植被的沙地和沙丘上,由于我国北方大部分地区冬、春季农田表面缺少植被保护,因此,农田风蚀也是一个不容忽视的实际问题。结合这种情况,选取来自内蒙古自治区科尔沁沙地奈曼旗流动沙丘和耕地的风沙土为实验研究对象,进行风蚀特征的对比分析。科尔沁沙地历史上一直以牧业为主,近百年来随着农业的发展,天然草地面积不断萎缩,耕地面积不断增加,已经成为名副其实的农牧交错区,风蚀活动强烈。本地土壤类型主要是沙质栗钙土,遭风蚀活动破坏后退化为风沙土。沙土基质分布广泛,有机质含量低,土质疏松,风沙活动强烈^[7,8]。虽然两种土样均属风沙土,

* 国家自然科学基金项目(40471004)、中国科学院野外台站基金资助项目(1731690200015)资助

作者简介:移小勇(1964~),男,博士研究生,主要从事干旱区生态和环境保护方面的研究。E-mail:xyx2588@126.com

收稿日期:2005-01-02;收到修改稿日期:2005-05-23

但在粒径组成上却有较大的不同。其结果见表 1。

表 1 土壤粒径组成 (%)

土样来源	粒径						盐酸洗失量
	中砂粒 > 0.25 mm	细砂粒 0.25 ~ 0.10 mm	极细砂粒 0.10 ~ 0.05 mm	粉粒 0.05 ~ 0.02 mm	粉粒 0.02 ~ 0.002 mm	粘粒 < 0.002 mm	
流动沙丘	23.04	73.21	1.58	0.50	0.40	1.01	0.26
农田	3.38	21.28	43.45	18.65	3.12	8.12	2.10

注:土壤粒级分类采用美国农业部制

1.2 实验设计

实验在便携式风洞内进行。风洞由稳压器、风速调控装置、轴流风机、整流网、实验段和风速测量装置等组成,风机和各实验段连接好后,在连接处用胶带密封,以防漏气。通过 F1 000-G0015S2B 型变频器对风机(1 kW)转速进行调控,可以实现在最高风速以下对风速的任意调节。变频器输入单相、220 V、50/60 Hz,输出 3 相、1.5 kW、7 A、0~220 V,电流频率调控范围 0.5~400 Hz。实验段分为三部分,每段长 1 m,宽、高均为 0.5 m,其中放置样本的一段在顶部留有测量槽,侧面开有观测窗口,通过玻璃可以观察风蚀过程。为了便于搬运,制作材料选用五合板,各边用木龙骨固定。在风机出口和实验段末尾安装整流纱网,与平铺在实验段底部起阻尼作用的尼龙毯配合来达到控制风速廓线的目的。使用 QY200 型倾斜压力计和 S 型皮托管(校正系数 0.85)测定动压,根据柏努利方程,计算当前环境下的风速值。

近地面风速与高度之间服从普朗特-冯·卡曼的对数分布律。测试前先将样本段放置在不同部位,在垂直于风速的截面上选取 91 个点,在 3 种不同风速下测定各点的风速值,利用绘图软件进行流场分析。由于边界的阻尼作用,在边界层充分发育的情况下,风速与高度(在距下边界一定范围内)存在对数关系。但由于风机线速度在边缘最大,而在中心最小,加上实验段长度有限,因此,在没有其他调整措施的情况下,边界层厚度很小,风速近似均匀分布。为此,在实验段前后安装了整流网,通过与平铺在实验段底部起粗化作用的尼龙毯配合来达到增加边界层厚度的作用。由于受两侧边界的影响,在风洞两侧附近风速受阻尼作用而衰减,稳定段在中心 20 cm 范围内,因此,样本宽度也限制在此范围内。通过以上措施,在实验段末端样本上方的风速与高度之间服从对数分布,风速廓线与自然风状况下的风速廓线相近,达到了对自然风的相似模拟。由于实验用样本均为实物,故不考虑模型相似性。

1.3 实验步骤

将测试土样先在室外阳光下进行风干,然后用烘干法测定其含水量。根据所测含水量,按实验要求加入所需水量,配置不同含水量的实验用土,搅拌后装入塑料袋中,放置 24 h,其间不定时翻动塑料袋,使水分均匀地与土样结合,达到与自然状况下的物理结构相近似的目的。实验前,再测定土样的实际含水量,流动沙丘土样的实测含水量为 0.80%、1.13%、1.45%、1.93%、2.04%、2.38%和 2.82%,农田土样的实测含水量为 1.13%、1.72%、2.25%、2.59%、3.14%、3.83%、4.74%和 5.32%。实验时将土样装入长 40 cm、宽 20 cm、高 5 cm 的沙盘,放置在风洞内进行吹蚀实验,以样本上方 25 cm 高处的风速作为代表性风速。测定临界起沙风速时,在样本后面放置一条白色的胶带,当胶带上吹蚀掉的颗粒物存在时,记录动压值,换算为临界起沙风速。用 1/1 000 天平称量沙盘质量,风蚀量由吹蚀前后沙盘中土样的质量差确定,根据沙盘面积换算为每分钟、每平方米的数值,以利于同其他结果进行比较。吹蚀时间随土样含水量的增加依次递减,以保证风蚀过程的一致性。

2 结果与分析

2.1 土样含水量与临界起沙风速的关系

临界起沙风速是在风力作用下土壤颗粒开始运动的最小风速值。决定临界起沙风速的因素很多^[9],土壤结构越紧密,抵抗风蚀的能力越强,临界起沙风速也就越高。从图 1 可以看出,临界起沙风速随土样含水量的增加而增大。流动沙丘土样的临界起沙风速由含水量 0.85% 时的 4.5 m s^{-1} 增加到了 8.5 m s^{-1} ,农田土样的临界起沙风速由含水量 1.39% 时的 4.2 m s^{-1} 增加到了 8.0 m s^{-1} 。流动沙丘土样的临界起沙风速与含水量之间存在线形关系,而农田土样的临界起沙风速与含水量之间有二

次函数关系。这种差别出自两个方面的原因,一是土壤质地不同,对水分的响应不同。流动沙丘土壤

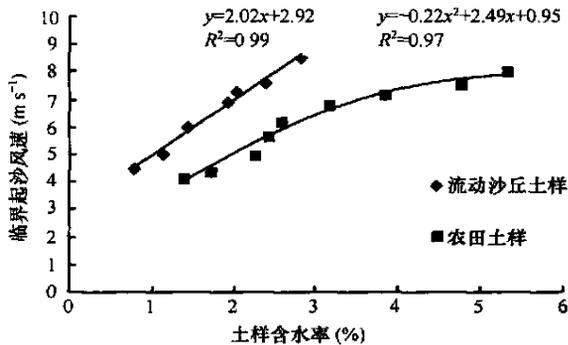


图1 土样含水量与临界起沙风速的关系

在含水量4%时几乎已达饱和,而农田土壤的饱和含水量是流动沙丘土壤的3倍左右,流动沙丘土壤对含水量的响应要比农田土壤更敏感一些;二是实验时对两种土样所选择的含水量范围不同。农田土壤的束缚水含量要明显高于流动沙丘土壤,在低含水量和高含水量时对水分的响应不甚敏感,因此,临界起沙风速与含水量之间在此范围内有近似“S”型二次函数关系^[4,10]。对于呈线性关系的数据来说,线性分布一般只在某一区间范围内存在,超过一定的范围,数据之间的响应会发生钝化。因此,流动沙丘土样的临界起沙风速与含水量之间的关系,在含水量接近饱和值后,也会变得比较平直。

2.2 土壤含水量与风蚀量的关系

在风速为 8 m s^{-1} (中心 25 cm 高处) 的净风吹蚀下,两种土样的风蚀量均随含水量的增加而减小,呈负幂函数关系。在风蚀量随含水量减小的过程中,起初随着含水量的增加,风蚀量急剧减小,这种减小的幅度会随着土样含水率的增加而变小,到土样含水率达到近饱和时,风蚀量的增加已经很不明显,从图2中可以看出,曲线已变得比较平直。

虽然两种土样的风蚀量随含水率的变化具有相同的趋势,但两种土样又有各自不同的特点。首先是流动沙丘土样对含水率的响应要更敏感一些,在开始时少许的水分增加,所引起风蚀量的减小要比农田土样更大。二是流动沙丘土样在含水率2%附近时,风蚀量已减小到一个很低的程度,由含水率0.8%时的 $9.08 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 减小到含水率2.04%时的 $0.28 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,减小了96.9%;农田土样的这一转折点在含水率4%附近,风蚀量由含水率

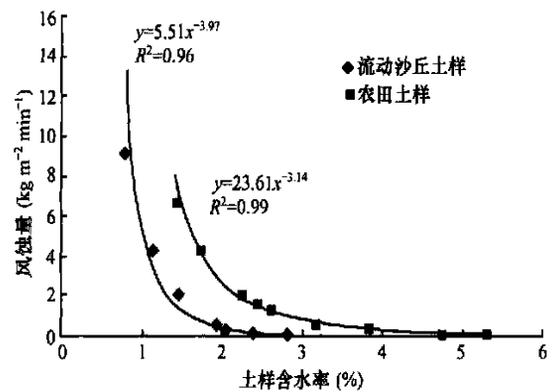


图2 土样含水量与风蚀量的关系

1.39%时的 $6.6 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 减小到3.83%时的 $0.41 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$,减小了93.8%。这种差异主要也是因为两种土样的质地不同引起的,从表1中可以看出,流动沙丘土样主要是由中砂粒和细砂粒组成,粘粒含量很低,而农田土样则含有更多的极细砂、粉粒和粘粒成分。这种粒径组成上的差异导致了两种土样饱和含水率的不同,也体现在风蚀量随土样含水率变化的差别中。三是两种土样在同一含水量情况下的风蚀量不同,耕地土样的风蚀量要大于流沙,但随着含水量的增加,其差异会趋于缩小。

3 结论

1) 土壤含水量的增加可以提高临界起沙风速。土壤含水量的增加可增强土壤颗粒之间的结合力,从而增强了土壤的抗风蚀能力。在本次实验所确定的含水率范围内,流动沙丘土壤的临界起沙风速与含水率之间存在线性关系,而农田土壤的临界起沙风速与含水率之间有二次函数关系。

2) 增加土壤含水率能大大降低风蚀量。土壤风蚀量与含水率之间存在负幂函数关系,但流动沙丘土壤对含水量的响应要比农田土壤更敏感。流沙在含水率降到2%附近时,风蚀量已经很小,再增加含水量,风蚀量已不会有明显变化,但农田土壤的这一临界点在4%含水率附近。

3) 流动沙丘土壤与农田土壤在风蚀特征方面所表现出来的差异性,实际上主要是由其土壤粒径不同决定的。据拜格诺的研究,起动风速最小的石英砂粒的粒径为0.08 mm左右^[11]。从表1中我们也可以看出,在0.10~0.05范围内的砂粒,流动沙丘土壤只占总量的1.58%,而农田土壤则高达43.45%,这也说明

农田土壤的临界起沙风速应该低于流动沙丘土壤,而我们的实验结果也与此相符;胡孟春对不同粒径土壤进行的对比实验表明,在相同风速下,粉砂风蚀量仅为中细砂风蚀量的 $1/1.089^{[4]}$ 。我们的结果也表明,在同样的风干情况下,含有粉砂粒较多的农田土壤,其风蚀量要小于含粉砂粒较少的流动沙丘土壤。

4) 大风天气主要发生在冬春季节,这个时期沙地植被稀疏,农田地表裸露,防风林的保护效果差,再加上降水稀少,土壤风蚀严重。农田风蚀不仅使土壤有机质被吹失,土壤肥力下降,而且也使土地粗化,保水、保肥能力降低^[12]。适时灌溉,增加土壤含水量以减小风蚀,具有特别重要的意义。由于冬春季节气温低,蒸发小,再加上地表冻结,含水量稳定少变。因此,增加土壤含水量,是冬春季节防止风蚀最有效的办法之一。

参考文献

- [1] 王涛. 我国沙漠化研究的若干问题 —2. 沙漠化的研究内容. 中国沙漠, 2003, 23(9): 477 ~ 482
- [2] Chipil W S. Properties of soil which influence wind erosion: State of dry aggregate structure. Soil Science, 1951, 72: 387 ~ 401
- [3] Bisal F, Hsieh J. Influence of moisture on the erodibility of soil by wind. Soil Science, 1966, 102: 143 ~ 146
- [4] 胡孟春, 刘玉璋, 乌兰, 等. 科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究. 中国沙漠, 1991, 11(1): 22 ~ 29
- [5] Azizov. The influence of soil moisture on the resistance of soil to wind erosion. Soviet Soil Science, 1997, 9: 105 ~ 108
- [6] 陈渭南. 蒙陕接壤区土壤母质风蚀的实验研究. 水土保持学报, 1991, 5(1): 33 ~ 40
- [7] 赵哈林, 黄高文, 何宗颖. 科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 242 ~ 248
- [8] 董治宝, 陈渭南, 李振山, 等. 风沙土开垦中的风蚀研究. 土壤学报, 1997, 34(1): 74 ~ 80
- [9] 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. 地球科学进展, 1994, 7(5): 6 ~ 12
- [10] Hotta S, Kubota S, Katori S, *et al.* Sand transport on a wet sand surface. Proc. 19th Coastal Eng. Conf. Houston, 1 265 ~ 1 281
- [11] 拜格诺 R A. 风沙和荒漠沙丘物理学. 北京: 科学出版社, 1959
- [12] 徐斌, 刘新民, 赵学勇. 内蒙古奈曼旗中部农田土壤风蚀及其防治. 水土保持学报, 1993, 7(2): 75 ~ 80