

植被盖度对典型草原区地表风沙流结构及风蚀量影响

邢恩德¹, 马少薇², 郭建英¹, 李锦荣¹, 蓝登明²

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘 要:选择内蒙古锡林郭勒盟典型草原为研究区域,通过风洞模拟试验开展典型草原植被盖度对土壤风蚀的量化分析研究,旨在探明不同植被盖度下起动风速、地表风沙流结构及风蚀量影响的规律,从而为该地区制定合理的防风固沙技术提供理论依据。结果表明:起动风速随植被盖度的增加而增大;受植被的影响风沙流结构呈跳跃式分布,近地层的输沙率随植被盖度的增加而减小,最大输沙率的高度层随植被盖度的增加不断上移;不同植被盖度下,风速与总输沙量之间均呈幂函数关系,各风速下总输沙量随着植被盖度的增加而减少。

关键词:典型草原; 风蚀; 植被盖度; 风洞

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0331-04

Effect of Vegetation Cover on Sandstorm Structure and Rate of Wind Erosion in Typical Steppe

XING Ende¹, MA Shaowei², GUO Jianying¹, LI Jinrong¹, LAN Dengming²

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China;

2. College of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: The typical steppe in Xilingol League of Inner Mongolia was selected as studied area. The quantitative analysis on the effect of vegetation cover on wind erosion was carried out by means of wind tunnel simulation experiment, which aimed at discussing the characteristics of threshold wind velocity, sandstorm structure and rate of wind erosion under different vegetation coverage. The results show that the threshold wind velocity increases with the increase of vegetation coverage. Influenced by vegetation, sandstorm structure presents the leaping distribution. The sand transfer rate decreases with the increase of vegetation coverage in the lower layer, and the height layer of the maximum sand transfer rate increases. The relationship between the total sediment discharge and wind speed follows the power function under different vegetation coverage. The total sediment discharge decreases gradually with the increase of vegetation coverage under the same wind speed. The conclusion will provide the theoretical basis for development of the reasonable sand-fixation technology.

Keywords: typical steppe; wind erosion; vegetation cover; wind tunnel

土壤风蚀是指土壤及其母质在风力作用下的剥蚀、分选、搬运过程^[1],严重的土壤风蚀不仅会使土壤流失、质地发生变化,还会使土地生产力急剧降低,同时造成了当地及周边地区生态环境的恶化^[2-3]。中国是世界上受土壤风蚀危害最严重的国家之一,主要分布于北方干旱、半干旱和部分半湿润地区^[4],其中内蒙古自治区是荒漠化强烈发展的地区之一,风力侵蚀面

积 52.66 万 km²,占全区土壤侵蚀总面积的 83.27%。地表植被对土壤风蚀具有一定的保护性作用,刘艳萍等^[5]通过风洞试验研究了荒漠草原区植被对土壤风蚀的影响,证明了风速越大植被对地表的保护作用越明显,各风速下风蚀量与植被盖度之间呈幂函数相关。董治宝等^[6-7]研究了植被对土壤风蚀作用的影响,证明了增加植物密度对有效防止风蚀具有重要作

收稿日期:2015-07-16

修回日期:2015-08-25

资助项目:水利部公益性行业科研专项经费(201301049);国家自然科学基金(41301302,41301303);中国水科院科研专项项目(MK2013J08, MK2014J04)

第一作者:邢恩德(1974—),男,吉林省扶余市人,高级工程师,硕士,主要从事草地水土保持研究。E-mail:mksxnd@126.com

通信作者:郭建英(1979—),男,内蒙古清水河县人,高级工程师,博士,主要从事干旱、半干旱地区水土流失与植物生态方面的研究。E-mail:guojianying1980@163.com

用。何京丽等^[8]对半干旱草原土壤风蚀的空间格局进行研究,结果表明风力侵蚀各影响因子的时空异质性是导致半干旱草原风力侵蚀空间异质性的主要原因。徐军等^[9]对乌兰布和沙漠不同下垫面风沙流结构进行了研究,结果表明不同的风速下,总输沙量大小为流动沙丘(植被覆盖度 $<15\%$) $>$ 半固定沙丘(植被覆盖度 $>15\%$) $>$ 固定沙丘(植被覆盖度 $>30\%$)。目前对北方干旱、半干旱荒漠化地区的土壤风蚀做了大量研究,而关于典型草原区土壤风蚀的定量化研究较少,因此,对内蒙古锡林郭勒盟典型草原不同植被盖度的土壤进行风洞模拟试验研究,探究植被盖度对起动风速、风沙流结构特征及土壤风蚀量影响的规律,为进一步研究典型草原地区土壤风蚀过程、制定合理的防风固沙技术提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于锡林郭勒盟锡林浩特市神华北电胜利能源有限公司露天矿南,地理位置 $43^{\circ}59'29.24''\text{N}$, $116^{\circ}02'10.26''\text{E}$ 。该地区属中温带半干旱大陆性气候,年平均气温 2.2°C ,极端最高气温 39.9°C ,极端最低气温 -42.4°C ;年平均降水量 289.2 mm ,主要集中在6—9月,年平均蒸发量 $1\,805.1\text{ mm}$;年平均无霜期 106 d ;多年平均风速 3.5 m/s ,全年主导风向西南,年大风日数 58 d ,沙尘天数为 52 d 。试验区土壤主要为栗钙土,土壤腐殖质层厚度 $20\sim 30\text{ cm}$,有机质含量 $2\%\sim 3\%$ 。试验区属于典型草原植被类型,主要优势植物种有克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev.)、羊草(*Leymus chinensis* Trin. Tzvel.)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)、冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.)等。

1.2 试验方法

1.2.1 土样采集 试验于2011年4月进行,本试验中只考虑植被因子的影响,在试验区露天矿南一号排土场采集无植被覆盖的土样(即扰动土),该土样土体结构和地表植被均已破坏;同时在矿区外北侧草地上采集植被盖度 15% , 30% 和 45% 的下垫面土样,不破坏土体结构和地表植被,取样体积为 $20\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。用密封的铁皮箱装集采好的土样,运回实验室进行风洞土壤风蚀模拟试验。

1.2.2 试验设计 风洞模拟试验风速(洞体试验段内部 30 cm 高度处风速)分别控制为 7 m/s , 10 m/s , 13 m/s , 16 m/s , 19 m/s , 22 m/s , 25 m/s ,将土样置于风洞试验段中部,土壤表面与风洞底板持平,将放置在样品盘下风向 30 cm 中间位置,每个土样在不同风速水平下吹蚀 10 min 。每次吹蚀结束后将其取出,

收集集沙仪内各沙盒的沙土样品并用精度为千分之一克的天平称量,然后将吹蚀后的样品重新铺设进行下一次试验。试验过程中测定不同土样和风速条件下的起动风速、距地表 30 cm 高度内的风沙流结构特征及风速对土壤风蚀量的影响。

本试验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室风沙环境风洞进行,该风洞是直流闭口吹气式低速风洞,由动力段、整流段、试验段、扩散段四部分组成,洞体长 37.78 m ,试验段长 16.23 m ,矩形横截面积 $1\text{ m}(\text{宽})\times 0.6\text{ m}(\text{高})$,洞身为木制结构,风速由 $1\sim 40\text{ m/s}$ 连续可调。

WITSEG集沙仪总高 40 cm ,是按垂直方向排列的线状被动式集沙仪,楔形入口段有 30 个进沙口,分别与 30 个集沙盒相连,每个进沙口为 $1\text{ cm}(\text{高})\times 0.5\text{ cm}(\text{宽})$,每个集沙盒的最大集沙量为 18 g 。在数据分析时 1 cm 高度代表 $0\sim 1\text{ cm}$ 高度内集沙, 2 cm 高度代表 $1\sim 2\text{ cm}$ 高度内集沙,依次类推。

1.2.3 数据处理 本次试验所采集的数据利用Excel 2010进行统计整理和相关性分析处理。

2 结果与分析

2.1 起动风速

静止的土壤沙粒必须在一定风力条件下才能开始运动,当风速增大到某一临界值时,地表沙粒得以从气流中获得足够的水平动量并最终脱离静止状态开始运动,这个使沙粒开始运动的临界风速称为起动风速^[10]。如表1所示,地表沙土的起动风速随着植被盖度的增加而增大,其中扰动土的起动风速最低,说明植被对地表起沙具有一定的保护作用。这主要是由于植被降低了风速,使起动风速增大,并且无破坏的土样表层具有结层,能够抵御一定强度的风速,从而提高起动风速,降低风蚀。

表1 植被盖度与起动风速

植被盖度/%	起动风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
0(扰动土)	7.1
15	8.6
30	10.2
45	12.8

2.2 风沙流结构特征

输沙率表示一定风速条件及沙源条件下的地表输沙能力^[11],是确定和衡量土壤抗风蚀能力的一个重要指标,在土壤风蚀研究中占有重要的地位。植被盖度是影响土壤风蚀最敏感的自然因素,植被覆盖可通过多种途径对地表土壤形成保护,本文只研究植被盖度对风沙流结构特征的影响。

当植被盖度为 0 时(图 1),随着风速的增加,在 0~2 cm 区间内输沙量逐渐增大,2 cm 以上输沙量随高度呈指数函数衰减,最大输沙率均在 2~3 cm 范围内。

当植被盖度为 15% 时(图 2),不同风速下输沙率均随着高度增加呈现先增加后骤减的趋势,最大输沙率在 2~3 cm 高度处,但风速为 19 m/s, 22 m/s 和 25 m/s 时,输沙率随着高度层(高度层>10 cm)的增加而上下波动。

当植被盖度为 30% 时,10 m/s 未收集到任何风积物。图 3 可知,13 m/s 和 16 m/s 两个风速在 0~5 cm 范围内呈增加趋势,最大输沙率在 4 cm 高度处,然后急剧减少,风沙流中风蚀物集中在 9 cm 高度以内;当风速为 19 m/s, 22 m/s 和 25 m/s 时,最大输沙率跳跃到 14~15 cm。

当植被盖度为 45% 时,10 m/s 未收集到任何风积

物;风速 13 m/s 时,仅在 17 cm 高度层收到 0.016 g 风积物;16 m/s 时在 6 cm 和 11 cm 高度层分别收集到风积物 0.002 g 和 0.006 g,其他高度均无风积物。由图 4 可见,风速 19 m/s 时,0~6 cm 高度内没有收集到风蚀物,6~9 cm 高度内呈增加趋势,最大输沙率在 9 cm 高度处,然后急剧减少,风沙流高度在 21 cm 以下;当风速为 22 m/s 时,最大输沙率跳跃到 7~11 cm;风速为 25 m/s 时,最大输沙率跳跃到 10~12 cm。

综上,由于植被影响风速,造成气流不稳定形成紊流,使得各高度层输沙率呈跳跃式分布;随着植被盖度的增加,近地层的输沙率不断减小,最大输沙率的高度层不断上移,说明植被盖度的增加对地表风力侵蚀具有一定的保护作用。这主要是因为风速增加时,植被影响吹起来的沙粒弹跳高度增加,使这一区域输沙率明显高于其他高度层输沙率。

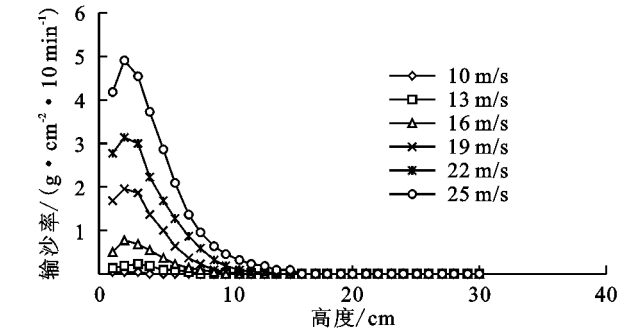


图 1 植物盖度 0 的不同风速风沙流结构

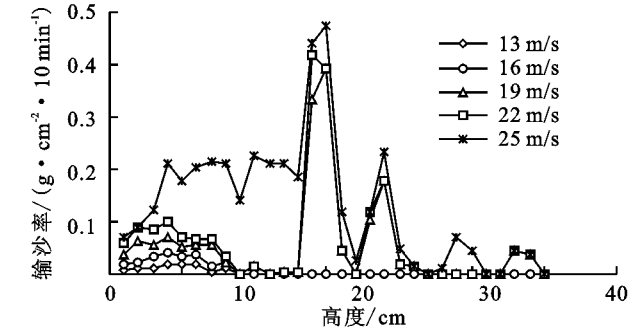


图 3 植物盖度 30% 的不同风速风沙流结构

2.3 对土壤风蚀量的影响

图 5 所示不同植被盖度下 0~30 cm 内总输沙量与风速的关系曲线。不同植被盖度下,总输沙量均随着风速的增加而增加,且总输沙量(y)与风速(x)的拟合关系曲线均为幂函数曲线。各风速水平下,总输沙量大小呈现规律性变化,表现为 0>15%>30%>45%,风速为 19 m/s 时,植被盖度 0 的总输沙量是植被盖度 45% 的 30.09 倍;风速为 22 m/s 时,植被盖度 0 的总输沙量是植被盖度 45% 的 20.51 倍;风速为 25 m/s 时,植被盖度 0 的总输沙量是植被盖度 45% 的 11.04 倍。

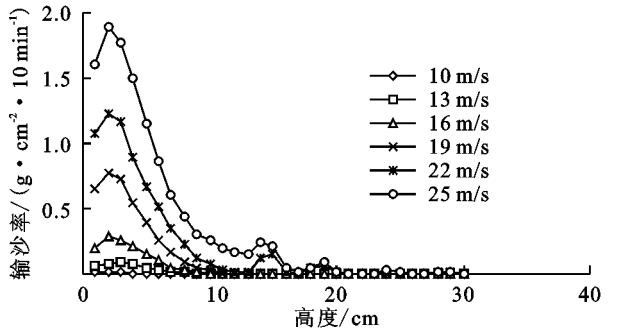


图 2 植物盖度 15% 的不同风速风沙流结构

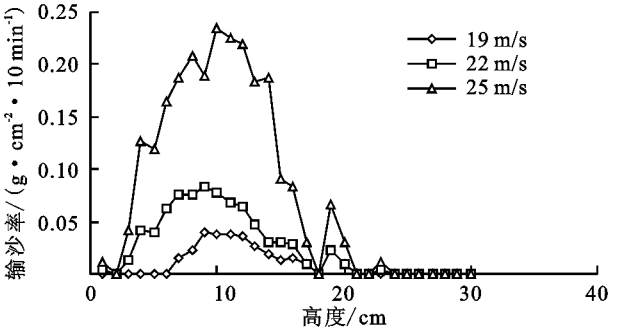


图 4 植物盖度 45% 的不同风速风沙流结构

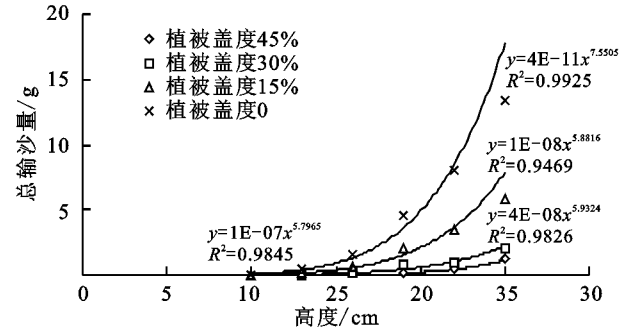


图 5 不同植被盖度下风速与总输沙量的关系曲线

3 结论与讨论

植被盖度是影响土壤风蚀的重要因素,对地表土

壤具有保护作用。不同植被覆盖度下,起动风速随植被盖度的增加而增大,植被盖度 0 的起动风速最低;受植被的影响风沙流结构呈跳跃式分布,近地层的输沙率随着植被盖度的增加而减小,最大输沙率的高度层随植被盖度的增加不断上移;相关性分析表明,不同植被盖度下,总输沙量均随风速的增加呈幂函数曲线趋势增大,各风速水平下,总输沙量随着植被盖度的增加而减少。

风洞模拟试验具有不受自然条件的限制、可控性强等优点,克服了野外观测典型草原区风蚀过程中由于多影响因子的耦合,以至于难以区分单因子对风蚀特征影响的不足。但是,由于风洞模拟土壤风蚀过程缺乏了其他自然因素的影响,所以与野外实际结果比较时存在一定的差距。因此,风洞模拟结果如何有效地与野外观测土壤风蚀之间进行对比分析是今后研究工作应加强的内容。

参考文献:

- [1] 陈渭南. 蒙陕接壤地区土壤母质的风蚀试验研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 33-40.
- [2] 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): 1-4, 8.
- [3] 刘铁军, 赵显波, 赵爱国, 等. 东北黑土地土壤风蚀风洞模拟试验研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 67-70.
- [4] 董治宝, 董光荣, 陈广庭. 以北方旱作农田为重点开展我国的土壤风蚀研究[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(2): 31-37.
- [5] 刘艳萍, 刘铁军, 蒙仲举. 草原区植被对土壤风蚀影响的风洞模拟试验研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(3): 668-672.
- [6] 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.
- [7] 董治宝, 高尚玉, 董光荣. 土壤风蚀预报研究述评[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 312-317.
- [8] 何京丽, 李锦荣, 邢恩德, 等. 半干旱草原潜在土壤风力侵蚀空间格局研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 12-15, 22.
- [9] 徐军, 郝玉光, 刘芳, 等. 乌兰布和沙漠不同下垫面风沙流结构与变异特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 95-98.
- [10] 董智. 乌兰布和沙漠绿洲农田沙害及其控制机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [11] 张伟民, 汪万福, 张克存, 等. 不同沙源供给条件下砾石床面的风沙流结构与蚀积量变化风洞试验研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1015-1020.
- [12] 郭文华, 郝晋珉, 覃丽, 等. 中国城镇化过程中的建设用地评价指数探讨[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 66-72.
- [13] 刘明皓, 戴志中, 邱道持, 等. 山区农村居民点分布的影响因素分析与布局优化: 以彭水县保家镇为例[J]. 经济地理, 2011, 31(3): 476-482.
- [14] 谭雪兰, 段建南, 包春红, 等. 基于 GIS 的麻阳县农村居民点空间布局优化研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 177-180.
- [15] 张佳林, 尉晓君. 基于多目标决策方法的优选模型及其应用研究[J]. 财经理论与实践, 2007, 28(1): 116-119.
- [16] 倪九派, 李萍, 魏朝富, 等. 基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 202-209.
- [17] 周兵兵, 代云开, 张燕. 中国房地产业经济效应的省域差异分析[J]. 统计与决策, 2011(23): 76-79.
- [18] 吴小翠, 周兵兵, 朱继业. 我国中部地区能源消费省域差异的多层次分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(S): 357-361.

(上接第 330 页)

- [13] 双文元, 郝晋珉, 艾东, 等. 基于区位优势理论的农村居民点用地整治分区与模式[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 251-261.
- [14] 周伟, 曹银贵, 王静. 彭州市熙玉村农村居民点整理潜力的景观特征[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 316-321.
- [15] 杨悉廉, 杨齐祺, 周兵兵, 等. 县域农村居民点整理的潜力测算与时序分区[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 235-245.
- [16] 曲衍波, 张凤荣, 郭力娜, 等. 北京市平谷区农村居民点整理类型与优先度评判[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 312-319.
- [17] 刘玉, 门明新, 许喈, 等. 农用地综合生产能力测算及应用研究[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(1): 87-92.
- [18] 林常春, 张俊梅, 许喈, 等. 农村居民点用地整理时序研究: 以河北省卢龙县为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 115-119.
- [19] 张军民. “迁村并点”的调查与分析: 以山东省兖州市新兗镇寨子片区为例[J]. 中国农村经济, 2003(8): 57-62.