

北方农牧交错区草原地表土壤风蚀原位测试技术*

孙悦超¹ 麻硕士² 陈智² 赵永来¹ 冬梅²

(1. 内蒙古农业大学职业技术学院, 包头 014109; 2. 内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

【摘要】 为定量评价风洞中心风速、植被盖度及交互作用对草原地表风蚀的作用情况,按正交试验设计方案,采用野外风洞原位测试方法,进行了草地土壤风蚀试验。分别用灰色关联度、极差分析、偏最小二乘回归理论,对测试结果进行了分析。结果表明,各因素对输沙率影响主次顺序为:中心风速、植被盖度、二者的交互作用。

关键词: 草地土壤 风蚀风洞 原位测试 灰色关联度

中图分类号: S151⁺.1; S155.4⁺7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)06-0049-04

In Situ Testing on Soil Erosion of Grassland Surface
in the Northern Farming-pastoral Zone

Sun Yuechao¹ Ma Shuoshi² Chen Zhi² Zhao Yonglai¹ Dong Mei²

(1. College of Vocational and Technical, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract

In order to quantitative evaluate the wind erosion effect of wind speed in wind tunnel center, vegetation coverage and their interaction,orthogonal experimental design and wind tunnel testing in situ field was adopted. The soil erosion experiment of grassland was completed. Test results were analyzed by using grey correlation, range analysis and partial least-square regression theory. The results showed that the sequence of factors influencing on sediment transport rate from larger to little was the center wind speed of wind tunnel, vegetation coverage, their interaction.

Key words Grassland, Erosion wind tunnel, In situ test, Grey correlation

引言

北方农牧交错区沙漠化迅速发展,不仅给当地社会经济和生态环境带来严重危害,而且影响到周边地区的环境质量。近年来,开始有学者致力于草地土壤风蚀研究,但主要集中于土壤风蚀单因素研究。而关于植被盖度、风速等主要风蚀因素及其交互作用对草地风蚀作用的资料还未见。因此,对不同状态草原地表进行野外风洞原位测试,根据测试结果计算地表输沙率与中心风速、植被盖度的关系,为定量评价草地土壤风蚀、恢复草地植被提供依据。

1 研究区概况

试验区位于阴山北麓,包头市达茂旗召河草原。该区年平均降水量150~250 mm,年平均气温约2~5℃,大于或等于10℃积温2 200~3 000℃。每年风速为18 m/s以上的天数有35 d左右,为典型的荒漠化草原,是温带干旱地区有代表性的草地类型。土壤主要为棕钙土,肥力较低,有机质质量分数一般低于2%。植物种类组成比较简单,每平方千米有植物10~15种。由于气候条件比较恶劣,植物生长较差,生产力较低,植物以多年生禾本科如针茅(*Stipa*

收稿日期: 2009-07-15 修回日期: 2009-09-27

* 国家自然科学基金资助项目(40861013)

作者简介: 孙悦超,副教授,博士,主要从事农业工程测试与控制、土壤风蚀研究,E-mail: yuechaosun@sina.com

通讯作者: 陈智,副教授,主要从事农业工程和土壤风蚀防治研究,E-mail: chz6653@sohu.com

gtandis)、扁穗 (*Agropyron cristatum*)、冰草 (*Cyperus compressus*) 为主。

2 测试设备及方案

2.1 测试设备

主要设备为内蒙古农业大学研制的 OFDY-1.2 型直流吹气式可移动风蚀风洞,由过渡段、整流段、收缩段和试验段组成。经鉴定风洞结构符合低速风洞设计要求,在试验段模拟的自然风风速廓线与真实地表基本一致。

风速范围在 0~20 m/s 连续可调,风速由风速廓线仪采集后通过数据采集卡传给以 LabWindows/CVI 作为平台开发的数据采集软件,并显示、记录、保存于计算机中。风蚀物用旋风分离式集沙仪收集,其高 840 mm,沿高度方向分布 10 个气流管,通过气流管收集垂直方向上 10 个不同高度 (20、60、120、180、240、300、400、500、600、700 mm) 的风蚀物。风蚀物由精度为千分之一的电子天平称量。仪器设备布置如图 1 所示。

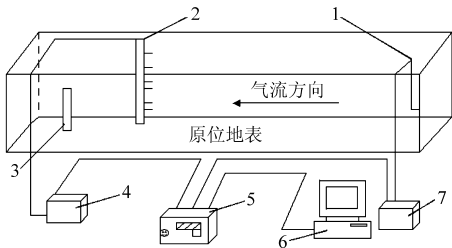


图 1 试验仪器布置图

Fig. 1 Test equipment layout

1. 风洞中心风速皮托管 2. 风速廓线仪 3. 集沙仪 4、7. 压差传感器 5. 数据采集器 6. 计算机

2.2 试验方案与方法

鉴于研究区气候特征,试验选择在植被未返青土壤风蚀最严重的春季进行。测试期间自然风力为 7 级 (13.9~17.1 m/s) 左右,大气平均温度为 8.5℃,大气平均压力为 823 kPa,地表 5 cm 深度土层平均含水率为 2.1%。由于枯萎的植被贴在地层表面,因此不能把植被高度作为考察因素,只将植被盖度和风洞中心风速作为试验因素,以风蚀输沙率为试验指标,用正交试验方法安排试验,考虑到中心风速和植被盖度对输沙率可能存在交互作用,方案如表 1 所示。

测试时,将移动式风洞按预定方案分别放置在不同原位地表上,以不同中心风速用净风和挟沙风分别进行吹蚀测试,吹蚀时间为 10 min。植被盖度为植被垂直投影面积占地表面积的百分比,用压线法测定得出。净风是在风洞试验时排沙器不工作,由风洞风机产生风力直接吹蚀地表。挟沙风试验

时,排沙器向风洞入口距地面 15 cm 处均匀排沙,使气流中含有一定的颗粒沙尘来模拟沙尘天气。集沙仪放置在风洞轴线距出口 1 200 mm 处的轴线处。每次试验结束后分别称取集沙仪在 20、60、120、180、240、300、400、500、600、700 mm 10 个高度上的风蚀量。

表 1 草地多因素正交试验方案

Tab. 1 Multi-factor orthogonal test program for grassland

试验 序号	中心风速 $x_1/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	植被盖度 $x_2/\%$	净风输沙率 y_1 / $\text{g}\cdot(\text{h}\cdot\text{m}^2)^{-1}$	挟沙风输沙率 y_2 / $\text{g}\cdot(\text{h}\cdot\text{m}^2)^{-1}$
1	7	30	17.53	241.32
2	7	55	12.31	83.23
3	7	80	9.47	27.25
4	11	30	27.10	372.27
5	11	55	18.46	277.08
6	11	80	12.41	251.10
7	15	30	27.74	903.53
8	15	55	25.55	549.21
9	15	80	26.99	475.35

3 结果与分析

3.1 灰色关联分析

用灰色关联理论计算试验指标与因素间的灰色关联度,对草地风蚀进行比较和评价。按灰色理论计算出对草原地表输沙率影响因素的灰色关联度如表 2 所示。由表 2 可见:净风和挟沙风 2 种情况下,中心风速和植被盖度 2 个因素对草原地表输沙率的灰色关联度均是中心风速大于植被盖度,这与保护性农田地表输沙率的作用情况不同^[17]。说明风蚀影响因素对输沙率的作用情况与地表类型和植被覆盖方式关系密切。草原地表植被枯萎后紧贴于地表,对风蚀物进行拦截的能力降低;而保护性耕作农田主要以较高的直立秸秆残茬覆盖地表,直立秸秆残茬对风蚀物的截留率较高。

表 2 草地输沙率影响因素的灰色关联度

Tab. 2 Grey correlation of grassland sediment transport rate influencing factors

参数	因素	
	中心风速	植被盖度
净风关联度	0.731 3	0.586 4
挟沙风关联度	0.778 9	0.602 6

3.2 极差分析

表 3 是草地中心风速和植被盖度对输沙率作用的极差。由表可以看出,草地净风和挟沙风吹蚀下中心风速和植被盖度的交互作用对输沙率的影响均

较小,低于单个因素对输沙率的作用。两种风况下中心风速对输沙率的影响也均大于植被盖度,与灰色关联度计算结果一致。

表 3 草地输沙率极差分析

Tab.3 Range analysis of grassland transport rate			
参数	因素		
	中心风速	植被盖度	交互作用
净风极差	13. 66	7. 83	3. 63
挟沙风极差	525. 43	254. 48	92. 34

3.3 回归分析

3.3.1 回归方程建立及精度检验

为分析自变量对试验指标的交互作用情况,根据偏最小二乘回归方法,利用 DPS 数据处理软件,建立了输沙率回归方程。

净风输沙率方程

$$y_1 = 30.80 - 0.14x_1 - 0.61x_2 + 0.038x_1^2 + 0.023x_2^2 + 0.018x_1x_2 \tag{1}$$

挟沙风输沙率方程

$$y_2 = 451.73 - 14.65x_1 - 12.45x_2 + 4.99x_1^2 + 0.12x_2^2 - 0.54x_1x_2 \tag{2}$$

为评价方程的精度,以误差平方和、相关系数 R^2 和 Press 残差作为精度的检验指标,各评价指标计算结果如表 4 所示。由表可以看出,两个方程的相关系数都在 0.9 以上,误差平方和及 Press 残差较小,说明方程具有较高的拟合精度。

表 4 草地输沙率方程精度指标

Tab.4 Precision index of grassland sediment transport rate equation			
试验指标	误差平方和	相关系数 R^2	Press 残差
净风输沙率 y_1	0.665 9	0.916 8	3.815 1
挟沙风输沙率 y_2	0.249 9	0.968 8	1.393 2

3.3.2 主效应分析

根据回归方程计算各自变量对试验指标作用的主效应标准回归系数如表 5 所示。从表可以看出,中心风速对净风、挟沙风输沙率的主效应高于植被盖度。中心风速、植被盖度对净风、挟沙风输沙率的主效应明显高于它们间的交互作用。因素间虽然存在一定的交互作用,但作用效果不如保护性耕作农田明显。这是由于草原地表植被贴于地层表面,与保护性耕作农田相比地表粗糙度较低,分解地表风动力的能力弱,地表风速较高。因此,中心风速与植被盖度相比,中心风速对输沙率的影响占主要地位。

3.3.3 曲面图分析

根据回归方程,利用 Matlab 软件分别绘制出输

表 5 自变量对草地输沙率作用的主效应标准回归系数

Tab.5 Main effect standard regression coefficient of independent variable effect on grassland sediment transport rate					
试验指标	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2
净风输沙率 y_1	0.810 9	-0.465 1	0.041 7	0.098 3	0.177 2
挟沙风输沙率 y_2	0.856 6	-0.414 8	0.150 3	0.141 7	-0.142 5

沙率双因素效应曲面图如图 2、3 所示。

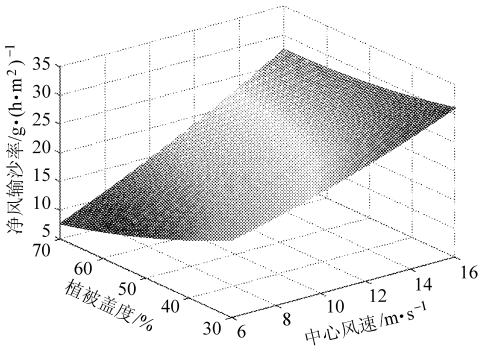


图 2 风洞中心风速和植被盖度对净风输沙率影响的曲面图

Fig.2 Wind speed in wind tunnel center and vegetation coverage effect on wind net sediment transport rate

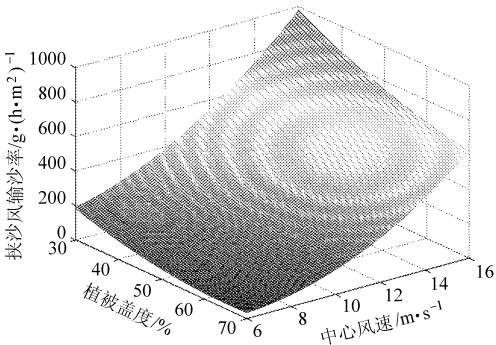


图 3 风洞中心风速和植被盖度对挟沙风输沙率影响的曲面图

Fig.3 Wind speed in wind tunnel center and vegetation coverage effect on wind sediment transport rate

综合分析图 2、3 可知,在植被盖度一定时随风洞中心风速的增加,输沙率呈增加的趋势;在风洞中心风速一定时,输沙率随植被盖度的增加而下降,但输沙率受植被盖度的影响不如中心风速大。草原地表在较高的植被盖度和较低的风速时所对应的输沙率最小,风蚀程度最弱。由图 3 可以发现,挟沙风时,草地植被盖度大于 50%、风速低于约 12 m/s 所在的范围内输沙率比较低,当因素水平超出这一范围时,对应的输沙率有快速增加的趋势。鉴于召河草原地区春季天多刮 7 级以上的大风,因此要有效控制这一地区的土壤风蚀,应当合理放牧恢复生态,草原地表植被盖度应至少恢复到 50% 以上。

4 结束语

对草地进行野外风洞原位测试,并进行灰色关联分析、极差分析、回归分析。结果表明,风洞中心风速对输沙率的影响大于植被盖度;中心风速和植被盖度的交互作用低于单因素对输沙率的作用。

随草地植被盖度的增加,输沙率降低。挟沙风时,草地植被盖度大于50%、风速低于12 m/s时输沙率比较低,当因素水平超出这一范围时,对应的输沙率快速增加。鉴于北方农牧交错区草原春季天多刮7级以上的大风,因此要有效控制这一地区的土壤风蚀,应当合理放牧恢复生态,草原地表植被盖度应至少恢复到50%以上。

参 考 文 献

1 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京:科学出版社,2003.

2 移小勇,赵哈林,李玉强. 土壤风蚀控制研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(4):905~911.
Yi Xiaoyong, Zhao Halin, Li Yuqiang. Research progress on wind erosion control[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(4):905~911. (in Chinese)

3 胡伟华. 阴山北麓农牧交错地带经济发展制约因素分析[J]. 前沿,2005(4):74~76.

4 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报,2000,55(5):513~521.
Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Jiyan, et al. Causes of sand-stormy weather in northern China and control measures[J]. Acta Geographica Sinica,2000, 55(5):513~521. (in Chinese)

5 王永,赵举,程玉臣. 阴山北麓农牧交错带风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J]. 华北农学报,2005,20(增刊):57~60.
Wang Yong, Zhao Ju, Cheng Yuchen. Analysis of wind erosion climatic erosivity at agri-pasture transition zone in north area of Yinshan mountain[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2005,20(Supp.):57~60. (in Chinese)

6 许中旗,李文华,闵庆文,等. 典型草原抗风蚀能力的实验研究[J]. 环境科学,2005,26(5):164~168.
Xu Zhongqi, Li Wenhua, Min Qingwen, et al. Experimental research on the anti-wind erosion of typical grasslands[J]. Environmental Science,2005,26(5):164~168. (in Chinese)

7 韩永伟,韩建国,张蕴薇,等. 农牧交错带退耕还草地土壤风蚀影响因子分析[J]. 生态环境,2005,14(3):382~386.
Han Yongwei, Han Jianguo, Zhang Yunwei, et al. Effect factors analysis of soil erosion in the agro-pastoral transitional zone after cropland being transformed into grassland[J]. Ecology and Environment,2005,14(3):382~386. (in Chinese)

8 Daniel E, Buschiazio Ted, Oobeck Sergio A, et al. Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid pampas of Argentina[J]. Journal of Arid Environments,2007,69(1):29~39.

9 曹子龙. 内蒙古中东部沙化草地植被恢复若干基础问题的研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
Cao Zilong. Basic studies on vegetation restoration of desertification grassland in mid-eastern inner mongolia[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2007. (in Chinese)

10 陈智. 阴山北麓农牧交错区地表土壤抗风蚀能力测试研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
Chen Zhi. Testing study on resistance to wind erosion of land surface soil in the cross region between farmland and grassland in Yinshan mountain area[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006. (in Chinese)

11 董治宝,王涛,屈建军. 风沙物理学学科建设的若干问题[J]. 中国沙漠,2002,22(3):205~209.
Dong Zhibao, Wang Tao, Qu Jianjun. Some points to development of blown sand physics as a science[J]. Journal of Desert Research,2002,22(3):205~209. (in Chinese)

12 方开泰,马兴长. 正交与均匀实验设计[M]. 北京:科学出版社,2001.

13 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版,1992.

14 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1999.

15 王惠文,刘强. 偏最小二乘回归模型内涵分析方法研究[J]. 北京航空航天大学学报,2000,26(4):473~476.
Wang Huiwen, Liu Qiang. Identification of optimal subspace from PLS regression[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2000,26(4):473~476. (in Chinese)

16 孙悦超,麻硕士,陈智,等. 阴山北麓干旱半干旱区地表土壤风蚀测试与分析[J]. 农业工程学报,2007,23(12):1~5.
Sun Yuechao, Ma Shuoshi, Chen Zhi, et al. Test and analysis of wind erosion of land surface soil in arid and semi-arid regions in north areas of Yinshan mountain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007, 23(12):1~5. (in Chinese)

17 孙悦超,麻硕士,陈智,等. 保护性耕作农田抗风蚀效应的灰色关联分析[J]. 农机化研究,2008,30(11):54~56.
Sun Yuechao, Ma Shuoshi, Chen Zhi, et al. Gray correlation analysis of conservative tillage farmland anti-wind erosion effect [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2008,30(11):54~56. (in Chinese)

的趋势。相对压力对单粒率和空穴率的影响非常显著,对多粒率的影响并不显著。

(3)生产率增大,种子流动过程中跳动增大,种子群对已吸附种子的冲击力增大,单粒率呈先增大

后减小的趋势,多粒率总体趋势为先降后增,空穴率呈增大的趋势。生产率对单粒率和空穴率的影响非常显著,对多粒率的影响比较显著。

参 考 文 献

1 刘志侠,张宏友,刘颖. 工厂化育苗精量播种装置现状分析[J]. 农机化研究, 2005(2): 16 ~ 18.
Liu Zhixia, Zhang Hongyou, Liu Ying. The present situation and existing problems in application of precision seeding-machine equipment at home[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(2): 16 ~ 18. (in Chinese)

2 邱兵,张建军,陈忠慧. 气吸振动式秧盘精播机振动部件的改进设计[J]. 农机化研究, 2005(2): 66 ~ 67.
Qiu Bing, Zhang Jianjun, Chen Zhonghui. An improved design of the vibration parts for precision seeder with suction vibrating seedling plates[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(2): 66 ~ 67. (in Chinese)

3 盛江源,田宏伟,高玉林,等. 吸盘式排种器几个基本参数的试验研究[J]. 农业机械学报, 1989, 20(3): 102 ~ 104.
Sheng Jiangyuan, Tian Hongwei, Gao Yulin, et al. Experimental study of a few basic parameters for suction-type seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1989, 20(3): 102 ~ 104. (in Chinese)

4 Short T H, Huber S G. The development of a planetary vacuum seed metering device[J]. Transactions of the ASAE, 1970, 13(6): 803 ~ 805.

5 Sial F S, Persson S P E. Vacuum nozzle design for seed metering[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3): 688 ~ 696.

6 宋裕民,胡敦俊. 工厂化育苗精量播种装置的试验研究[J]. 山东工程学院学报, 2002, 16(3): 48 ~ 52.
Song Yumin, Hu Dunjun. Experimental study on vacuum nozzle precision seed-meter[J]. Journal of Shandong University of Technology, 2002, 16(3): 48 ~ 52. (in Chinese)

7 李耀明,刘彩玲,陈进. 水稻育苗播种装置气力吸种部件的研究[J]. 农业机械学报, 1999, 30(6): 46 ~ 50.
Li Yaoming, Liu Cailing, Chen Jin. Study on vacuum seed-metering device of rice seedling precision mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(6): 46 ~ 50. (in Chinese)

8 Shafii S, Holmes R G. Air-jet seed metering, a theoretical and experimental study[J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(5): 1 432 ~ 1 438.

9 张波屏. 播种机械设计原理[M]. 北京:机械工业出版社, 1982.

10 廖庆喜,李继波,覃国良. 气力式油菜精量排种器试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 44 ~ 48.
Liao Qingxi, Li Jibo, Qin Guoliang. Experiment of pneumatic precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 44 ~ 48. (in Chinese)

11 李耀明,赵湛,陈进,等. 气吸振动式排种器吸种性能数值模拟与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 95 ~ 99, 104.
Li Yaoming, Zhao Zhan, Chen Jin, et al. Numerical simulation and experiment on the seeds pickup performance of precision air-suction seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10): 95 ~ 99, 104. (in Chinese)

(上接第 52 页)

18 Wang X, Wang T, Dong Z, et al. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 65(1): 129 ~ 141.

19 Maurer T, Herrmann L, Gaiser T, et al. A mobile wind tunnel for wind erosion field measurements[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 66(2): 257 ~ 271.

20 闫志坚,孙红. 中国北方草地生态现状、保护及建设对策[J]. 四川草原, 2005(7): 31 ~ 33.

21 冯晓静,高焕文,王丽洁,等. 北京周边典型农田风蚀风洞试验与防治分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 64 ~ 67.
Feng Xiaojing, Gao Huanwen, Wang Lijie, et al. Wind erosion experiment and countermeasures on typical farmlands around Beijing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 64 ~ 67. (in Chinese)