

# 内蒙古希拉穆仁草原风蚀水平观测研究

张瑞强, 高天明, 郭建英

(水利部 牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:** 近年来,草原由于遭受不合理利用而严重退化、沙化,风蚀愈加严重。采用集沙仪和移动式风洞模拟相结合的方法,对位于阴山北麓中部的希拉穆仁草原风蚀特征进行了连续 6 a 的观测研究。结果表明:(1) 植被是控制风蚀的决定性因素,并且植被高度对风蚀的抑制作用强于植被盖度。(2) 研究区风蚀模数在围封初期很高,达到 1 313.7 t/(km<sup>2</sup>·a),随着植被的改善,草原风蚀逐年下降。(3) 风蚀物以细沙粒为主,含量占 60% 以上。该地区每风蚀 1 000 kg 土壤,同时就损失 15 kg 有机质,227 g 速效氮,262 g 速效磷和 120 g 速效钾,肥力损失量惊人。保护基本草原,恢复退化草地,是防治草地风蚀的最根本途径。

**关键词:** 希拉穆仁草原; 风蚀; 集沙仪; 移动式风洞

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0178-04

中图分类号: S157.1, Q948.15

## Observation and Research on Wind Erosion in Xilamuren Grassland Area, Inner Mongolia

ZHANG Rui-qiang, GAO Tian-ming, GUO Jian-ying

(Institute of Water Resources in Pastoral Areas, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** Due to irrational landuse, grassland has degraded severely and wind erosion occurs remarkably in recent years. By employing sand sampler and mobile wind tunnel, an observation for 6 years was made to analyze the mechanisms of wind erosion in Xilamuren grassland, the center of North Yinshan Mountains. Results show that: (1) Vegetation is the decisive factor for controlling wind erosion and the inhibiting effect of vegetation height on wind erosion is greater than that of vegetation coverage. (2) Wind erosion modulus in the initial period of enclosure reaches 1 313.7 t/(km<sup>2</sup>·a) and with the improvement of the grassland vegetation, wind erosion decreases year by year. (3) The deflation content gives priority to fine sand particles that account for more than 60%. For every 1 000 kg soil eroded by wind, 15 kg organic matter, 227 g available nitrogen, 262 g available phosphorus and 120 g available potassium lose in the region at the same time, being a tremendous fertility loss. Therefore, the protection of base grassland and restoration of degraded grassland are two fundamental approaches to control wind erosion on the grassland.

**Keywords:** Xilamuren grassland; wind erosion; sand sampler; mobile wind tunnel

阴山北麓地区位于中国北方边陲,涉及内蒙古自治区 11 个旗县,总面积约  $6 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,是中国北方重要的生态安全屏障。近年来,由于干旱和人为干扰加剧,该地区草原出现了严重退化、沙化,风蚀现象愈演愈烈,不仅对当地人民的生产生活造成影响,而且威胁北方地区的生态安全<sup>[1-2]</sup>。因此,防治草原退化、沙化,降低草原风蚀水平刻不容缓。研究区位于阴山北麓的达茂旗希拉穆仁草原,其地理位置和植被类型在内蒙古草原中部地区具有较强的代表性,有关该区风

蚀特征的长期观测研究目前未见报道。本文通过观测该地区草原的风蚀特征,揭示草原风蚀机理,总结风蚀估算方法,为该地区草原退化、沙化防治,遏止草原风蚀提供理论指导和技术支撑。

### 1 研究区概况

希拉穆仁草原地处内蒙古包头市达尔罕茂明安联合旗(简称达茂旗),地理坐标为北纬 41°12′—41°31′,东经 111°00′—111°20′。气候类型属中温带

收稿日期:2013-02-03

修回日期:2013-04-07

资助项目:水利部公益性行业专项经费项目“干旱半干旱牧区饲草料地高用水技术研究”(201201008);国家自然科学基金项目“放牧强度对典型草原土—草—畜耦合界面水力侵蚀的影响机制”(41301302)

作者简介:张瑞强(1964—),男(汉族),内蒙古自治区呼和浩特市人,硕士,教授级高级工程师,主要从事草地水土保持与节水灌溉研究工作。E-mail:zrqabc@163.com。

通信作者:高天明(1981—),男(蒙古族),内蒙古自治区赤峰市人,硕士,工程师,主要从事草地生态研究。E-mail:zaohuer@163.com。

半干旱大陆性季风气候,春秋季干旱多风,夏季雨量较充沛,冬季干燥寒冷,多年平均降水量为 284 mm,集中于 7、8 月;多年平均蒸发量 2 305 mm;年平均气温 2.5 °C,  $\geq 10$  °C 年积温 1 985~2 800 °C;年平均日照时数 3 100 h,无霜期 83 d 左右;年平均风速 4.5 m/s,主要风向为北风和西北风,年大风日数为 63 d,沙尘暴日数 20~25 d。该地区位于阴山山脉向内蒙古高原的过渡带,地形低缓起伏,由于长期受风蚀作用,地貌多呈浑圆丘陵波状,平均海拔 1 600 m。土壤为各种基岩上发育的幼年土壤,高处表土层较薄,且多为石质质地,粗糙,腐殖质含量很低。地带性植被群落建群种为克氏针茅 (*Stipa krylovii*),其他主要或优势种有冷蒿 (*Artemisia frigida*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、狭叶锦鸡儿 (*Caragana stenophylla*) 等多年生旱生草本半灌木植物,呈现典型草原特征。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

研究区位于达茂旗希拉穆仁镇以北 3 km 的水利部牧区水利科学研究所试验基地,基地面积 133.3 hm<sup>2</sup>,2007 年实现完全禁牧,其中 100 hm<sup>2</sup> 为自然修复区,无任何人为干扰。选取基地内自然修复区典型地段草地为研究样地。

### 2.2 研究方法

研究区布置两种集沙仪。一种为德国产 UGT 型固定进沙口高度的全向集沙仪,该设备进沙口为直径 5 cm 圆管形,安装高度为 25 cm,工作时由调向叶片控制可以始终朝向来风方向,风蚀物收集于密闭腔室的容器内,自动称重电子天平精度 0.1 g,测量范围 0~1 200 g。该集沙仪共 3 台,分别布置于坡顶、坡中和坡下部。另一种为自制固定朝向垂直集沙仪,集沙盒安装在 0—5,15—20,30—35,45—50,95—100,145—150 cm 6 个不同的高度。集沙盒尺寸为:总高 11.5 cm,其中进沙口 5 cm,下部储沙盒高 4 cm,连接处 2.5 cm;集沙盒前端进沙口宽 2 cm,尾部宽 8 cm,总长 28 cm,集沙盒通风网为 400 目的筛孔。自制固定朝向垂直集沙仪沿 80 m 直径圆周分布,分别布置在 8 个方向上,每个方向上设置 2 个集沙仪,分别朝向圆周内和圆周外。该集沙仪总共布置 16 个。

采用内蒙古农业大学研制的移动式风洞,在草地不同植被盖度下垫面条件下进行了野外模拟试验。该风洞由过渡段、整流段(包括开孔板、蜂窝器、阻尼网和非均匀网格)、收缩段和试验段组成,具有可拆装、可移动特点,能够根据试验需要安置在现场进行

试验。其试验段为矩形无底截面,长为 7.2 m,截面宽为 1 m,高为 1.2 m,风速为 2~20 m/s 连续可调,野外测试由 40 kW 柴油发电机提供动力。该风洞各截面不同高度上紊流度  $\epsilon \leq 1\%$ ,气流稳定度  $\eta \leq 3\%$ ,气流速度均匀性  $\sigma_v < 1\%$ ,试验段几乎没有静压损失,其轴向静压梯度  $\leq 0.005$ ,风洞能量比达到 0.15。经中国科学院寒区旱区环境与工程研究所测定,性能符合开展风蚀模拟试验要求。

对研究区内草地采用 1 m×1 m 的样方法进行植被监测,进行植被盖度和高度的测量。

风蚀物粒径和肥力分析化验交由内蒙古林科院完成。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被对风沙活动的抑制作用

许多研究表明,植被对抑制地表风沙活动,减少土壤风蚀有决定性的作用<sup>[3-7]</sup>。图 1 为研究区植被高度和盖度的年际变化,图 2 为 3 台 UGT 集沙仪总集沙量平均值的年际变化。由图 1—2 可以看出,2007 年基地封禁初期,植被尚未恢复,风蚀比较强烈。2008 年以后随着植被的恢复,近地表风沙活动骤降,风蚀被明显遏制。近几年风蚀水平基本为围封前的 1/4 左右。

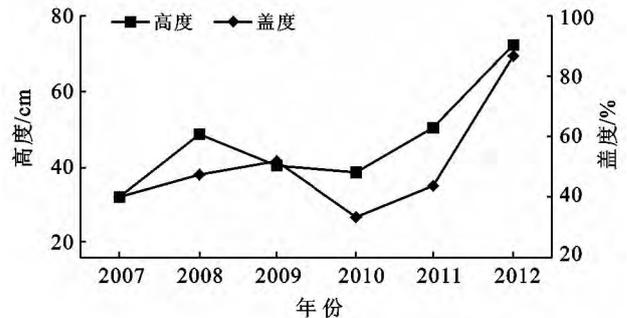


图 1 研究区植被高度和盖度年际变化

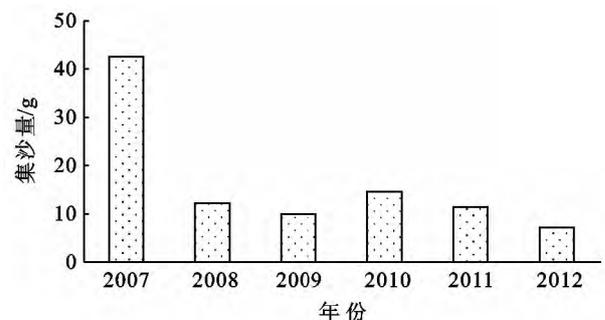


图 2 UGT 集沙仪集沙量年际变化

将历年植被高度和盖度分别与 3 台 UGT 集沙仪集沙量平均值进行回归分析(图 3)。植被高度和盖度与集沙量均呈乘幂关系,回归分析显示集沙量与植被高度:相关系数  $r = 0.813 > r_{0.05,4} = 0.811$ ,回归

效果  $F=7.79 > F_{0.05}(1,4)=7.71$ , 相关较显著, 回归效果较强; 集沙量与植被盖度: 相关系数  $r=0.638 < r_{0.05,4}=0.811$ , 回归效果  $F=2.74 < F_{0.05}(1,4)=7.71$ , 相关不显著, 回归效果不强。该结果与海春兴

等<sup>[4]</sup>, 李琳等<sup>[5]</sup>, 王翔宇等<sup>[6]</sup>, 廖允成等<sup>[7]</sup>的研究结果略有不同, 这主要是因为 6 a 的数据对于分析集沙量与植被盖度的相关关系显得样本数量较小, 还需要今后继续开展监测工作以增加样本数量。

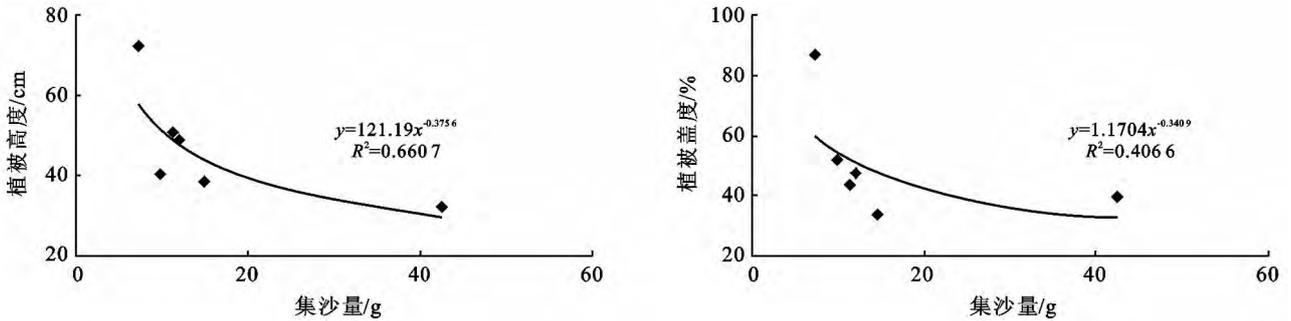


图 3 植被高度和盖度与 UGT 集沙仪集沙量回归关系

### 3.2 近地表风沙流廓线规律

根据自制固定朝向垂直集沙仪(6 个高度, 分别为 0—5, 15—20, 30—35, 45—50, 95—100, 145—150 cm)实地监测和风洞模拟试验结果(12 个高度, 分别为 0—10, 10—20, …, 110—120 cm), 分析近地表风沙流廓线规律符合半对数线性关系, 而且其活动范围基本在 1 m 高度范围内。研究区集沙仪和风洞模拟试验监测数据拟合整理得如下经验公式:

$$W = -125.53 \ln(h) + 580.8 \quad (1)$$

式中:  $h$ ——集沙仪进沙口离地高度(cm);  $W$ ——集沙量(代表风沙流密度)(g)。

拟合相关性指标  $R^2=0.9322, r=0.966 > r_{0.05,4}=0.811, r_{0.05,10}=0.57, F=17.98 > F_{0.05}(1,4)=7.71, F_{0.05}(1,10)=4.97$ , 相关显著, 回归效果较好。

沙粒跃移是最为重要的运动形式, 这不仅是因为跃移沙粒占全部输沙量的 75% 以上, 而且它也是导致蠕移和悬移的重要原因, 如戴全厚等<sup>[8]</sup>, 董治宝等<sup>[9]</sup>。20—30 cm 高度内沙粒移动以跃移为主, 如董治宝等<sup>[10]</sup>, 赵永来等<sup>[11]</sup>, 王嘉珺等<sup>[12]</sup>。

根据这一关系, 推导 UGT 集沙仪安装高度(25 cm)集沙量和 1 m 高度剖面平均输沙密度( $\bar{w}$ )有如下经验关系:

$$\bar{w} = 0.3108 \cdot W_{25} + 0.8258 \quad (2)$$

### 3.3 风蚀模数估算

根据上述观测研究成果, 可推导出如下估算研究区风蚀模数的经验公式, 即:

$$F_w = \frac{1707.1W_{25} + 9762.9}{L^2} \quad (3)$$

式中:  $F_w$ ——风蚀模数 [ $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ];  $W_{25}$ ——25 cm 高度集沙仪全年集沙量(g);  $L$ ——风蚀仪控制范围半径(m),  $L$  取 2.5 m。

因此, 风蚀模数经验公式又可以简化为:

$$F_w = 273.1W_{25} + 1562.1 \quad (4)$$

用式(4)和集沙仪监测结果估算近年风蚀模数如表 1 所示。

表 1 风蚀模数估算结果

年份	UGT 集沙仪平均集沙量/g	风蚀模数估算值/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )
2007	42.39	1 313.7a
2008	12.03	484.7b
2009	9.97	428.4b
2010	14.81	560.7b
2011	11.45	468.9b
2012	8.67	393.0b

注: 同列数据不同小写字母代表差异显著 ( $p < 0.05$ )。

由表 1 可以看出, 2007 年风蚀模数明显大于其他年份, 2008 年以后, 风蚀模数呈现出波动下降的趋势。

### 3.4 风蚀物分析

对风蚀仪收集风蚀物进行粒径分析, 发现其中黏粒( $<0.002 \text{ mm}$ )、粉粒( $0.002 \sim 0.02 \text{ mm}$ )、细沙粒( $0.02 \sim 0.5 \text{ mm}$ )3 种粒径所占比例分别为 1.52%~3.79%, 15.27%~35.9%, 60.31%~83.03%。不同地势、不同年份收集的风蚀沙粒径组成基本一致。对风蚀物进行肥力分析, 得结果如表 2 所示。

表 2 风蚀物养分含量化验结果

项目	有机质/ %	速氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
养分含量	1.5	227.1	262	120

由表 2 中可以看出,风蚀使土壤养分也遭受损失。根据表 2 可以估算出,每侵蚀 1 000 kg 土壤,同时就损失 15 kg 有机质,227 g 速效氮,262 g 速效磷和 120 g 速效钾,肥力损失量惊人。

## 4 结论

(1) 草原封禁促使植被恢复良好,有效地控制了风沙活动。因此,科学利用,适时封育,是保障中国北方草原生态安全的有效途径。

(2) 希拉穆仁草原地区在风力的作用下,地表土壤颗粒被吹起形成近地表风沙流,其范围基本在 1 m 高度内。植被高度与集沙量呈明显乘幂关系,植被盖度与集沙量的相关关系由于目前样本数量较小而无法明确,这需要今后继续开展监测工作增加样本数量。

(3) 风蚀物以细沙粒为主,含量占 60% 以上。本地区每风蚀 1 000 kg 土壤,同时就损失 15 kg 有机质,227 g 速效氮,262 g 速效磷和 120 g 速效钾,肥力损失量惊人。

(4) 本研究推导出的风蚀经验公式,在该地区具有一定的指导意义,给广大基层水土保持工作者带来了方便。目前这些成果已应用于当地水土保持部门的工作中。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张瑞强,程荣香. 内蒙古希拉穆仁退化草场恢复治理的生态对策[J]. 水土保持通报,2005,25(1):25-28.
- [2] 高天明,张瑞强,刘昭. 希拉穆仁草原草地退化机理及各种修复技术的适用性[J]. 草业科学,2010,27(1):42-46.
- [3] 何京丽. 北方典型草原水土保持生态修复技术[J]. 水土保持研究,2004,11(3):299-301.
- [4] 海春兴,刘宝元,赵焯. 土壤湿度和植被盖度对土壤风蚀的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(8):1057-1058.
- [5] 李琳,杜玲,王俊英,等. 京郊农田不同植被的土壤风蚀模数比较[J]. 中国农学通报,2011,27(3):457-461.
- [6] 王翔宇,赵名彦,丁国栋,等. 天然灌草植被防治土壤风蚀机理[J]. 水土保持通报,2008,28(5):55-59.
- [7] 廖允成,付增光,贾志宽,等. 中国北方农牧交错带土地沙漠化成因与防治技术[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(2):95-98.
- [8] 戴全厚,喻理飞,刘明义,等. 吉林省西部沙地土壤风蚀机理分析[J]. 水土保持通报,2008,28(3):81-84.
- [9] 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.
- [10] 董治宝. 建立小流域风蚀量统计模型初探[J]. 水土保持通报,1998,18(5):55-62.
- [11] 赵永来,麻硕士,陈智,等. 旋风分离式集沙仪的标定[J]. 农机化研究,2007,34(4):95-98.
- [12] 王嘉珺,姬亚芹,赵雪艳,等. 集沙仪结构设计及其性能实验研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):116-122.

(上接第 153 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郭建国. 景观生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [2] 陈端吕,李际平. 西洞庭湖区森林景观格局的环境响应[J]. 林业科学,2008,44(7):29-35.
- [3] 吴家福,马友鑫,刘文俊,等. 毕节地区退耕还林前后景观格局变化[J]. 云南大学学报:自然科学版,2010,32(S1):405-410.
- [4] 刘华,黄成林,梅莹,等. 安徽省退耕还林工程建设现状及发展展望[J]. 安徽农业大学学报,2012,39(3):381-384.
- [5] 郭冻,刘蔚秋,江学顶,等. 广州市森林景观格局时空变化的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2006,45(5):76-80.
- [6] 郭晋平. 森林景观生态研究[M]. 北京:北京大学出版社,2001.
- [7] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [8] 彭月,魏虹,朱韦,等. 鼎湖山自然保护区森林景观时空格局变化研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2007,32(2):66-68.
- [9] 吴兆艳,汤孟平,洪海峰,等. 浙江天目山自然保护区森林景观格局分析[J]. 西南林业大学学报,2011,31(5):62-71.
- [10] 程晓燕. 北京山区森林景观格局分析[D]. 北京:北京林业大学,2009.
- [11] 赖长鸿. 基于 GIS 的川西道孚林区森林景观格局研究[D]. 四川雅安:四川大学,2006.
- [12] 杨志平. 徐州市土地利用变化及其驱动机制分析[J]. 国土与自然资源研究,2012(5):1-4.
- [13] 张远海,翟长亮,宋永进. 金寨县封山育林规划的实施及其生态评价[J]. 华东森林经理,2000,14(3):50-52.
- [14] 张远海. 退耕还林工程建设中存在的问题及对策[J]. 安徽科技,2003(10):20-21.
- [15] 吕一河,陈立顶,傅伯杰. 县域人类活动与景观格局分析[J]. 生态学报,2004,24(9):1833-1838.