

# 玉米茎秆汁液防治土壤风蚀的风洞试验研究

魏宁<sup>1\*</sup>, 魏霞<sup>2#</sup>, 尹志强<sup>2</sup>, 童帮会<sup>2</sup>, 朱敏翔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西北农林科技大学理学院, 陕西 杨陵

<sup>2</sup>兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州

Email: weining@nwafu.edu.cn, #weix@lzu.edu.cn

收稿日期: 2020年8月18日; 录用日期: 2020年9月2日; 发布日期: 2020年9月10日

## 摘要

风蚀是我国干旱、半干旱地区土壤退化的主要影响因素。本实验采用室内风洞实验, 研究了不同玉米茎秆汁液处理对土壤的风蚀控制效果。试验风速为20 m/s, 吹蚀时间为5 min, 吹角(坡度) 3°、5°、7°和15°, 玉米茎秆汁液的施加量为25%、50%和75%。研究表明, 土壤表层施加玉米茎秆汁液减少土壤的吹蚀量(风蚀量)和吹蚀度(风蚀速率), 且风蚀量与风蚀速率随着玉米茎秆汁液施加浓度的增加而降低。25%、50%和75%玉米茎秆汁液施加处理下, 风蚀量分别为0.37、0.21、0.09 kg, 风蚀速率分别为1.48、0.84、0.36 kg/(m<sup>2</sup>·s)。相同浓度玉米茎秆汁液条件下, 风蚀量和风蚀速率随坡度的增大而增大, 当坡度为3°、5°、7°和15°时, 风蚀量分别为0.10、0.17、0.27和0.47 kg, 风蚀速率分别为0.39、0.70、1.09和1.90 kg/(m<sup>2</sup>·s)。研究可为风力侵蚀的防治提供新方法。

## 关键词

土壤, 风蚀, 玉米茎秆汁液, 风洞试验

# Wind Tunnel Experimental Study on Soil Wind Erosion Control with Corn Stalk Juice

Ning Wei<sup>1\*</sup>, Xia Wei<sup>2#</sup>, Zhiqiang Yin<sup>2</sup>, Banghui Tong<sup>2</sup>, Minxiang Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Science, Northwest A& F University, Yangling Shaanxi

<sup>2</sup>College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu

Email: weining@nwafu.edu.cn, #weix@lzu.edu.cn

Received: Aug. 18<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2020; published: Sep. 10<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Soil wind erosion is one of the most serious land degradation problems in the arid and semi-arid

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 魏宁, 魏霞, 尹志强, 童帮会, 朱敏翔. 玉米茎秆汁液防治土壤风蚀的风洞试验研究[J]. 水土保持, 2020, 8(3): 17-22. DOI: 10.12677/ojswc.2020.83003

regions. Wind tunnel experiments were conducted to research the change process of soil wind erosion with the change of corn stalk juice controlling the soil wind erosion under the condition of the wind velocity of 20 s/m, the blown angle of 3°, 5°, 7° and 15°, the corn stalk juice application of 25%, 50% and 75%. The study results indicated that all kinds of corn stalk juice application can reduce the wind erosion amount and wind erosion rate. Wind erosion amount and wind erosion rate decreased with corn stalk juice concentration increasing. When corn stalk juice application concentration increased from 25% to 50% and 75%, wind erosion amounts were 0.37, 0.21, 0.09 kg, respectively and wind erosion rates were 1.48, 0.84, 0.36 kg/(m<sup>2</sup>·s), respectively. Wind erosion amount and wind erosion rate increased with slope gradient under the same corn stalk juice application. When slope gradients were 3°, 5°, 7°, 15°, respectively, wind erosion amounts were 0.10, 0.17, 0.27, 0.47 kg, respectively and wind erosion rates were 0.39, 0.70, 1.09, 1.90 kg/(m<sup>2</sup>·s), respectively. This paper can provide a new idea for prevention and control of wind erosion.

## Keywords

Soil, Wind Erosion, Corn Stalk Juice, Wind Tunnel Experiment

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤风蚀是指一定风速的气流作用于土壤或土壤母质, 土壤颗粒发生位移造成土壤结构破坏、土壤物质损失的过程, 实质是气流或气固两相流对地表物质的吹蚀和磨蚀过程[1]。土壤风蚀是我国北方地区土壤退化的主要影响因素之一, 也是黄土高原地区的主要环境问题之一。由土壤风蚀的定义可知, 控制土壤风蚀有两个主要的措施, 一是覆盖土壤表面阻断风力与土壤的直接接触; 二是改善土壤特性, 提高土壤颗粒间的粘滞吸引力, 增强土壤的抗风蚀能力[1] [2]。对于前者, 目前已经有很多成熟的方法, 比如在地表覆盖植被[3] [4] [5]、秸秆还田[2] [3]、作物残茬[7] [8] [9] [10]、生物篱[8] [9]、砾石[11]等, 但是由于当地的生产生活条件决定了在土壤表面大量覆盖是不现实的。对于后者, 关键是寻找一种成本低、使用方便、且不伤害植被和环境, 同时又能很好地提高土壤颗粒间粘结力的材料, 比如保水剂[12] [13]、PAM [14]、液化玉米秸秆[15]等, 在大量控制土壤水蚀的研究中, 获取简捷, 成本低, 也不存在对人体伤害的问题, 是一种非常有效的防治土壤水蚀的方法[16], 但目前, 有关玉米茎秆汁液的抗侵蚀研究多集中在土壤水蚀方面, 对土壤风蚀的研究尚属空白, 鉴于此, 本实验利用室内风洞试验研究玉米茎秆汁液控制土壤风蚀的作用与效果。该研究对水土流失和水蚀荒漠化的防治具有重要科学指导意义。

## 2. 材料与方

### 2.1. 试验材料与装置

试验在兰州大学西部灾害与环境力学教育部重点实验室的多功能环境风洞实验室进行。本试验的供试土样采自兰州大学榆中校区实验室附近农田表层土壤(0~10 cm)。供试土壤>0.05、0.05~0.005、<0.005 mm的粒径(质量)百分比为 13%、53%、34%。将采集的土壤剔除植物根系和杂物后自然风干备用。供试玉米茎秆汁液用榨汁机榨汁提取, 玉米茎秆来自于兰州大学榆中校区草科院试验田。兰州大学多功能环境风洞装置由哈尔滨空气动力研究院设计并承建, 风洞最大指示风速可达 40 m/s, 实验段为 1.3 m × 1.3 m × 20 m, 全长 55 m, 配置的测量仪器有 PIV 粒子动态分析仪、集沙仪、风沙电场实时数据采集系统、风场实

时数据采集系统、高速摄影仪、六分力天平等。

## 2.2. 试验设计与指标

实验土壤分别按照农田的实际容重装入长、宽、高为  $0.3\text{ m} \times 0.165\text{ m} \times 0.02\text{ m}$  的木质土盘中，表面刮平，玉米茎秆汁液按一定比例进行稀释，均匀洒在沙盘土壤的表层，将土盘在实验室内静置风干，放入风洞的测试部位以备实验。在测试部位前铺一层厚  $5\text{ cm}$ ，长  $5\text{ m}$  的沙层，形成挟沙气流。测试玉米茎秆汁液不同浓度下的抗风蚀效果的对比实验。试验中玉米茎秆汁液施加浓度分别为  $25\%$ 、 $50\%$  和  $75\%$  三种，控制试验为不添加任何茎秆汁液的风干试验用土。试验风速为  $20\text{ m/s}$  和  $17\text{ m/s}$  两种，吹蚀时间为  $5\text{ min}$ ，试验吹角(坡度)约为  $3^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $7^\circ$  和  $15^\circ$ 。试验时，将土样盘轻轻放入风洞试验机的试验段中，并保持土样盘底部与风洞试验机底部相平行，然后开动风机进行测试。将土壤样品放入风道中，升高风速到设定值，在设定的风速下吹蚀，并称量吹蚀前、后的样品质量，即为吹蚀量(风蚀量)，单位为  $\text{kg}$ ，吹蚀量除以土样盘的表面积和时间，即得到样品在该风速下的吹蚀度(风蚀速率)，单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

## 2.3. 数据分析方法

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 进行处理作图。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤风蚀量与风蚀速率随玉米茎秆汁液施加浓度的变化

图 1 为根据试验数据绘制的土壤风蚀量与风蚀速率随玉米茎秆汁液施加浓度的变化，图 1(a)和图 1(b)分别为风蚀量随玉米茎秆汁液施加浓度的变化和风蚀率随玉米茎秆汁液施加浓度的变化。由图 1(a)和图 1(b)可知，玉米茎秆汁液的施加，可以显著降低土壤的风蚀量和风蚀率。风蚀量和风蚀速率随着玉米茎秆汁液施加浓度的增大而减小，经拟合发现风蚀量和风蚀速率与玉米茎秆汁液的施加浓度均呈现指数函数递减关系，具体函数关系如式(1)和式(2)所示：

$$y_1 = 0.7501e^{-2.754x} \quad R^2 = 0.9951 \quad (1)$$

$$y_2 = 3.0307e^{-2.754x} \quad R^2 = 0.9951 \quad (2)$$

式中， $y_1$  为风蚀量，单位为  $\text{kg}$ ； $y_2$  为风蚀速率，单位为  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ； $x$  为玉米茎秆汁液的施加浓度。 $R^2$  为决定系数。

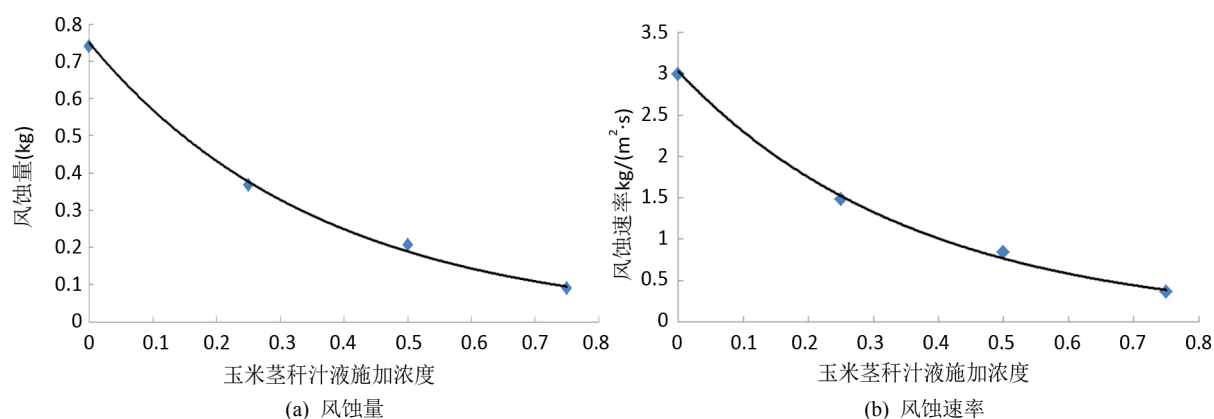


Figure 1. Changes of soil wind erosion amount and wind erosion rate with the applied concentration of corn stalk juice  
图 1. 土壤风蚀量与风蚀速率随玉米茎秆汁液施加浓度的变化

上式说明土壤表面的玉米茎秆汁液施加浓度越高, 风蚀量和风蚀速率越小, 对风蚀的控制作用越有效。表 1 给出了不同玉米茎秆汁液施加浓度下风蚀量、风蚀速率与风蚀量减小百分比。由表 1 可知, 当土壤表面未添加玉米茎秆汁液时, 土壤风蚀量和风蚀速率分别为 0.74 kg 和 2.99 kg/(m<sup>2</sup>·s), 当玉米茎秆汁液的施加浓度为 25%、50%和 75%时, 土壤风蚀量分别为 0.37、0.21、0.09 kg, 相应的风蚀速率分别为 1.48、0.84、0.36 kg/(m<sup>2</sup>·s)。相对于控制试验(未添加玉米茎秆汁液), 25%、50%和 75%玉米茎秆汁液施加量下其风蚀量的减小百分比分别为 50%、72%和 88%。可见, 不同浓度玉米茎秆汁液的施加具有显著的降低风蚀量和风蚀速率的作用, 即土壤表面施加玉米茎秆汁液可以有效地增加土壤的抗风蚀能力。

**Table 1.** The wind erosion amount, wind erosion rate and decrease percentage of wind erosion amount under different applied concentration of corn stalk juice

**表 1.** 不同玉米茎秆汁液施加浓度下风蚀量、风蚀速率与风蚀量减小百分比

玉米茎秆汁液施加浓度	风蚀量(kg)	风蚀量减小百分比	风蚀速率 kg/(m <sup>2</sup> ·s)
0	0.74		2.99
25%	0.37	0.50	1.48
50%	0.21	0.72	0.84
75%	0.09	0.88	0.36

### 3.2. 土壤风蚀量和风蚀速率随坡度的变化

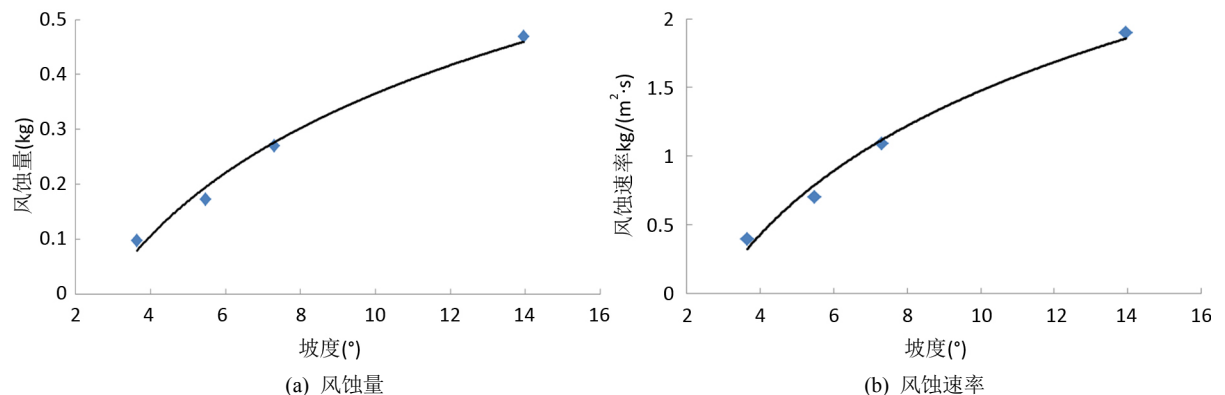
图 2 为根据试验数据绘制的土壤风蚀量和风蚀速率随坡度的变化, 图 2(a)和图 2(b)分别为风蚀量随坡度的变化和风蚀速率随坡度的变化。由图 2(a)和图 2(b)可知, 土壤的风蚀量和风蚀速率随坡度的增大而增大。经拟合发现风蚀量和风蚀速率与坡度均呈对数函数递增关系, 具体函数关系如式(3)和式(4)所示:

$$y_1 = 0.2829\ln(x) - 0.2861 \quad R^2 = 0.9882 \quad (3)$$

$$y_2 = 1.1432\ln(x) - 1.156 \quad R^2 = 0.9882 \quad (4)$$

式中,  $y_1$  为风蚀量, 单位为 kg;  $y_2$  为风蚀速率, 单位为 kg/(m<sup>2</sup>·s);  $x$  为坡度, 单位为°。R<sup>2</sup> 为决定系数。

为了进一步分析坡度对风蚀量和风蚀速率的影响, 给出了表 2, 表 2 为不同坡度下的风蚀量、风蚀速率和风蚀量的增大百分比。由表 2 可知, 在试验设计的各坡度 3°、5°、7°和 15°下, 土壤风蚀量分别为 0.10、0.17、0.27 和 0.47 kg, 风蚀速率分别为 0.39、0.70、1.09 和 1.90 kg/(m<sup>2</sup>·s), 风蚀量的增大百分比分别为 78%、178%、382%。可见, 随着坡度的增大, 土壤的风蚀量和风蚀速率显著增大。



**Figure 2.** Changes of soil wind erosion amount and wind erosion rate with the slope gradient

**图 2.** 土壤风蚀量和风蚀速率随坡度的变化

**Table 2.** The wind erosion amount, wind erosion rate and the increase percentage of wind erosion amount under different slope gradients**表 2.** 不同坡度下的风蚀量、风蚀速率和风蚀量的增大百分比

坡度	风蚀量(kg)	风蚀量增大百分比	风蚀速率 kg/(m <sup>2</sup> ·s)
3°	0.10		0.39
5°	0.17	0.78	0.70
7°	0.27	1.78	1.09
14°	0.47	3.82	1.90

## 4. 讨论

研究表明玉米茎秆汁液可降低土壤的风蚀量和风蚀率，且风蚀量和风蚀速率随着玉米茎秆汁液施加浓度的增大而减小。本研究是探索玉米茎秆汁液作为土壤改良剂来防治风力侵蚀的功效，结果表明玉米茎秆汁液可以作为土壤改良剂来降低风蚀量和风蚀速率，因此，天然副产品玉米茎秆汁液作为土壤改良剂来防治风力侵蚀具有重要的应用前景。但由于本研究的主要目的是探索玉米茎秆汁液作为土壤添加剂能否起到降低风蚀量与风蚀速率的作用及风蚀量随施加浓度的变化规律，所以主要侧重点是对现象的描述，尚未从内部规律上揭示玉米茎秆汁液作为土壤改良剂降低风蚀量和风蚀速率的原因。此外，从实际应用的角度来考虑，在后续研究中需要开展低浓度的玉米茎秆汁液施加的研究，并且量化低浓度的施加的防风蚀效益，为等量的玉米茎秆汁液作为土壤改良剂应用于风力侵蚀的防治实践提供具体的施加剂量参考，以便用尽可能少的玉米茎秆汁液的施加来控制尽可能多的风力侵蚀面积，为玉米茎秆汁液作为土壤改良剂大规模应用于风力侵蚀的防治提供科学指导。

## 5. 结论

本文通过对施加不同浓度玉米茎秆汁液的土盘进行室内风洞试验，探索了玉米茎秆汁液作为土壤添加剂防治风力侵蚀的作用，取得如下主要结论：

- 1) 土壤表面施加玉米茎秆汁液可以降低土壤风蚀量和风蚀速率，有效地增加土壤的抗风蚀能力，25%、50%和 75%玉米茎秆汁液施加量下，土壤风蚀量分别为 0.37、0.21、0.09 kg，风蚀量的减小百分比分别为 50%、72%和 88%。
- 2) 土壤表面施加相同浓度的玉米茎秆汁液时，土壤的风蚀量和风蚀速率随着坡度的增大而增大，当坡度为 3°、5°、7°和 15°时，土壤风蚀量分别为 0.10、0.17、0.27 和 0.47 kg，风蚀量的增大百分比分别为 78%、178%、382%。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(51679115)；兰州大学西部环境教育部重点实验室开放基金及兰州大学中央高校基本科研业务费专项基金(lzujbky-2018-kb01)。

## 参考文献

- [1] 臧英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 195-198.
- [2] 马月存, 陈源泉, 隋鹏, 等. 土壤风蚀影响因子与防治技术[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1390-1394.
- [3] 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.
- [4] Sun, Y., Ma, S., Chen, Z., et al. (2010) Influences of Vegetation Coverage and Residual Stubble Height on Preventing Resistance to Wind Erosion Effect of Conservation Tillage Farmland. *Transactions of the Chinese Society of Agricul-*

*tural Engineering*, **26**, 156-159.

- [5] 孙铁军, 肖春利, 滕文军. 不同草地建植模式对荒坡土壤风蚀及理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 44-48.
- [6] 闻杰, 王聪翔, 侯立白, 等. 秸秆还田对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 678-681.
- [7] 刘汉涛, 麻硕士, 窦卫国, 等. 残茬高度对土壤风蚀量影响的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 30-34.
- [8] 赵沛义, 李焕春, 妥德宝, 等. 作物残茬与生物篱组合对减轻土壤风蚀的作用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 231-235.
- [9] Zhao, P., Li, H., Tuo, D., *et al.* (2009) Effects of Crop Stubble Combined with Biological Fences on Reducing Soil Wind Erosion. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **25**, 231-235.
- [10] 赵永来, 陈智, 孙悦超, 等. 作物残茬覆盖农田地表土壤抗风蚀效应试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 38-42.
- [11] 孙悦超, 麻硕士, 陈智, 等. 砾石覆盖对抑制旱作农田土壤风蚀效果的风洞模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 151-155.
- [12] 赵沛义, 妥德宝, 李焕春, 等. 土壤含水率及物理性砂粒含量对风蚀模数影响的风洞模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 28(24): 188-195.
- [13] 孙宏义, 李芳, 杨新民, 等. 保水剂处理土壤的抗风蚀性能研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 618-622.
- [14] 和继军, 蔡强国, 唐泽军. PAM 控制土壤风蚀的风洞实验研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 12-15.
- [15] 王体朋, 毛志怀. 液化玉米秸秆基固沙剂控制土壤风蚀试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 36-40.
- [16] 魏霞, 李勋贵, Huang Chihua. 玉米茎秆汁液防治坡面土壤侵蚀的室内模拟试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 173-178.