

民勤绿洲不同耕作方式农田表层土壤 风蚀规律的风洞模拟研究

赵宇浩¹, 王立¹, 杨彩红¹, 王军强²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃 武威 733007)

摘要: [目的] 比较分析不同耕作方式下农田表层土壤防风蚀机理和效果, 为区域社会经济和生态环境建设提供科学依据。[方法] 利用室内风洞及相关配套设备对甘肃民勤绿洲区的免耕、少耕、秋翻和深松农田表层土壤进行风蚀测试, 计算风蚀速率及输沙率, 研究其风沙运动规律, 分析各种耕作农田表层土壤防风蚀情况。[结果] 耕作措施对土壤风蚀速率的影响与风速大小相关, 风速较小时, 不同耕作方式对风速的影响差异不显著, 而当风速大于 14 m/s 后不同耕作农田表层土壤风蚀速率开始出现较明显差异; 少耕、秋翻、深松等耕作方式对农田表层土壤风蚀速率和输沙率的影响差异不明显; 免耕耕作方式下农田表层土壤风蚀速率和输沙率最低, 风速越高, 差距越大; 风速、耕作以及两者交互作用对农田表层土壤风蚀速率和输沙率有极显著影响。[结论] 免耕耕作能有效抵抗农田表层土壤的风蚀, 大幅度减少输沙率, 表现出极佳的防风蚀效果。

关键词: 耕作方式; 农田表层土壤; 风洞; 风蚀; 输沙率; 民勤绿洲区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2019)04-0202-05

中图分类号: S157

文献参数: 赵宇浩, 王立, 杨彩红, 等. 民勤绿洲不同耕作方式农田表层土壤风蚀规律的风洞模拟研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 202-206. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.032; Zhao Yuhao, Wang Li, Yang Caihong, et al. Wind tunnel simulation of wind erosion in surface soil of farmland under different tillage patterns in Minqin oasis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 202-206.

Wind Tunnel Simulation of Wind Erosion in Surface Soil of Farmland Under Different Tillage Patterns in Minqin Oasis

Zhao Yuhao¹, Wang Li¹, Yang Caihong¹, Wang Junqiang²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Academy of Agri-engineering Technology, Wuwei, Gansu 733007, China)

Abstract: [Objective] The mechanism and effects of wind erosion prevention of farmland surface soil under different tillage patterns were compared and analyzed, so as to provide scientific basis for regional socio-economic and ecological environment construction. [Methods] Wind erosion tests were carried out on no-tillage, less tillage, autumn ploughing and subsoiling farmland surface soil in Minqin Oasis, Gansu Province, using indoor wind tunnel and related supporting equipment, wind erosion rate and sand transport rate were calculated, wind erosion movement law was studied, and wind erosion prevention of farmland surface soil was analyzed. [Results] The results showed that the effects of tillage measures on soil wind erosion rate were related to wind speed. When wind speed was small, the effects of different tillage patterns on wind speed were not significant, but when wind speed was greater than 14 m/s, the wind erosion rates of surface soils began to show significant differences in different tillage fields; the effects of less tillage, autumn tillage, deep loosening and other tillage patterns on wind erosion rate and sand transport rate of surface soils were significant. The

收稿日期: 2019-01-28

修回日期: 2019-03-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“荒漠绿洲区保护性多熟轮作的防风蚀效应”(41561062), “耕作方式下民勤绿洲区土壤有机碳的稳定性及风蚀效应”(31560170), “半干旱风蚀区耕作过程对土壤团聚体中碳的迁移释放的影响机制研究”(41867013); 甘肃省自然科学基金项目(18JR3RA176); 甘肃省高等学校基本科研项目(2017A-030); 甘肃农业大学学科建设开放项目(GSAU-XKJS-2018-106)

第一作者: 赵宇浩(1992—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: 752199193@qq.com。

通讯作者: 王立(1963—), 男(汉族), 甘肃省甘谷县人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持、保护性耕作和荒漠化防治的教学与科研工作。E-mail: wangli@gsau.edu.cn。

wind erosion rate and sediment transport rate of farmland surface soil were the lowest under no-tillage tillage, and the higher the wind speed, the greater the gap. Wind speed, tillage and their interaction had a significant impact on the wind erosion rate and sediment transport rate of farmland surface soil. [Conclusion] No-tillage could effectively resist the wind erosion of the surface soil of farmland, greatly reduce the sand transport rate, showing excellent anti-wind erosion effect.

Keywords: tillage patterns; topsoil of farmland; wind tunnel; wind erosion; sediment transport rate; Minqin oasis area

土壤风蚀是指松散的土壤物质被风吹起、搬运和堆积的过程以及地表物质受到风吹起的颗粒的磨蚀过程,其实质是风力作用下,表层土壤中细颗粒与营养物质的吹蚀、搬运和沉积自然地理过程^[1]。土壤风蚀强度乃至方向的变化受气候、植被、土壤、地形、地貌等多种因子的综合影响^[2]。风速是影响风蚀强弱的首要因素,风蚀量随风速的变化而改变,通常风速愈大,风蚀作用愈强^[2]。人为因素也会影响土壤风蚀,主要表现为土壤表层的扰动和破坏^[3]。

中国是世界上土地荒漠化最为严重的国家之一,全国 1/2 以上的面积受土壤风蚀或土地沙化影响,主要分布于北方的干旱、半干旱地区,而旱作农田土壤风蚀尤为严重^[4]。民勤绿洲盆地位于内蒙古自治区阿拉善左旗和阿拉善右旗之间,东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林两大沙漠包围,避免了中国第 3、第 4 大沙漠连成一片。同时,民勤绿洲是发生荒漠化的敏感地带,在全国生态战略格局中占有举足轻重的地位^[5]。这些地区耕地长期采用铧式犁翻耕等传统耕作技术,导致土壤结构遭到破坏,土壤表土细碎,冬春裸露休闲,在西北季风的强劲作用下,极易扬尘,成为沙尘暴的重要源头^[6]。随着耕作活动的频繁进行,该地区生态环境不断恶化,土壤风蚀现象持续加重。导致土壤质量下降甚至发生不可逆的退化,给当地社会经济和生态环境带来持续危害^[7]。多年以来,大批学者^[8]以不同的角度和深度对土壤风蚀进行了研究,发现各种保护性耕作措施对风蚀都能起到抑制的作用,而且有利于改善环境状况。对防风作物的研究发现,一定程度的植被覆盖度可以有效抵抗土壤风蚀^[9-11]。对外部防风蚀措施的研究发现,使用抗风蚀材料对土壤进行覆盖可以降低土壤风蚀量^[12-16]。对作物收获后留茬的研究发现,留茬可以有效较少风蚀^[17-21]。由于不同地域农田各种条件的限制,如经济作物的限制,经济条件限制,自然条件限制等,许多防风蚀措施无法顺利实施推广。所以本试验从农田土壤翻耕方式入手,研究其风沙运动规律,分析各个处理的防风蚀情况,比较分析不同保护性耕作对农田的防风蚀机理和防风蚀效果,开发土壤自身的抗风蚀能力,达到既减少投入,又减少土壤风蚀的目的。

1 试验设计、材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点在民勤绿洲区的民勤县苏武乡泉水村,平均海拔 1 400 m。为温带大陆性气候,冬冷夏热,昼夜温差大,年均温 7.8 ℃,最高可达 25.2 ℃。年均日照时数 2 799.4 h,光热充足,年均无霜期 162 d。该地降水稀少,年均降水量 113.2 mm,年蒸发量 2 000~2 600 mm,是降水量的 24 倍,该地区干燥度大于 5。当地常年盛行西北风,全年风沙日 83 d,多集中在 2—5 月份,年均风速 2.5 m/s,最大风速 23.0 m/s。该区耕作土壤为灌淤土,开垦种植早,熟化程度高,厚度可达 30—60 cm,耕层质地轻,土性热,保肥、保水性差。供试农田土壤有机质含量 9.8 g/kg,全氮含量为 4.84 g/kg,土壤 pH 值为 8.63,电导率值为 0.29 mS/cm,有效磷含量为 0.4 ug/ml,速效钾含量为 144.14 mg/kg,碳水化合物含量为 0.41 mg/ml。

试验田在 2015 年以前均采用秋翻耕作,试验于 2015 年玉米播种前,共设计免耕、少耕、秋翻和深松等 4 种耕作方式处理,每个处理设置 3 个重复,各处理小区面积介于 533.34~1 100.01 m² 之间,随机区组排列。试验设计的 4 个处理分别为:①免耕。对土地不做翻耕,地膜一直到试验结束才更换;②少耕。收获后到播种前不搅动土壤,播种前 1 周左右进行旋耕整地 7.5~10.0 cm,覆膜和播种;③秋翻。包括每年秋收后耕翻土地,翻动土层深度大约为 20 cm,春季旋耕 7.5~10 cm 整地、覆膜、播种等田间作业;④深松。秋收后利用深松铲对耕地进行翻耕 30 cm,春季旋耕整地、覆膜、播种。

试验田全部种植玉米,品种为甘鑫 2818,每年 4 月 20 日播种,株距 20 cm,行距 30 cm,定植 7.2×10^4 株/hm²。采用统一的施肥措施,所施用化肥为尿素、磷酸二铵、普钙、氯化钾,各处理化肥用量统一为每年施用 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 95~98 kg/hm²。整个生育期灌水 34.1~36.3 m³/hm²。免耕、少耕、秋翻和深松 4 种不同耕作方式的玉米地的施肥、灌水、管理

方式等均相同,仅在耕作方式上有差异。本试验中铺设的地膜,少耕、秋翻、深松田每年更换一次,免耕则从试验开始一直到试验结束。

1.2 试验设计

采样时间在 2017 年 5 月 23 日,从 4 种耕作方式的 3 个重复样地中各选择一片样地,随机选择取样点,小心去掉地膜,用铁锹挖去样点周围多余的土,使用面积 $30.5\text{ cm} \times 20.5\text{ cm}$ 的无盖铁盒采集原状土,期间避免对土样结构的破坏。采样后用硬纸板封口。试验后再打开。

风洞试验在中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室沙坡头沙漠试验站土壤风洞中进行。

对每种样品,选取 6, 10, 14, 18 和 22 m/s 这 5 种风速值进行吹蚀试验,吹蚀时间分别为 15, 12, 10, 8 和 5 min, 样品与风口距离为 11.5 m, 感应高度 60 cm。试验前用精度为 1/100 的电子天平称出吹蚀前样品重量 w_1 , 经过一个风速的吹蚀后再称出吹蚀后样品的重量 w_2 , 每个风速的吹蚀量用 w_0 表示 ($w_0 = w_1 - w_2$), 利用公式计算风蚀速率:

$$R_1 = w_0 / (S_1 \cdot T)$$

式中: S_1 ——样品截面面积 ($30.5\text{ cm} \times 20.5\text{ cm} = 625.25\text{ cm}^2$); T ——每种样品的吹蚀时间。

在距土样末端下风向 57 cm 处, 用高 20 cm, 单格为 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的积沙仪收集不同高度的风蚀物, 用 1/1 000 的电子天平称重, 获取每种耕作方式风蚀物的收集量 w_3 , 利用公式计算单位面积的输沙率:

$$R_2 = w_3 / (S_2 \cdot T)$$

式中: S_2 ——样品截面面积 ($2\text{ cm} \times 2\text{ cm} = 4\text{ cm}^2$)。

1.3 数据分析

各测定数据经 Excel 初处理, 所有数据测定结果均以平均值表示, 采用 SPSS 19.0 进行双因素方差分析 (two-way ANOVA) 和回归分析。统一采用 Excel 做图。

2 结果与分析

2.1 不同处理风蚀速率与风速的关系

不同风速水平、耕作措施下的风蚀速率如图 1 所示。从图 1 可以看出, 4 种耕作方式下土壤风蚀速率与风速呈正相关关系, 风蚀速率随着风速的增大而增大。当风速小于 14 m/s 时, 4 种耕作方式的土壤风蚀速率随风速的增加而缓慢增加, 4 种土壤的风蚀速率随风速变化的趋势线几乎重合。在风速大于 14 m/s 后, 少耕、秋翻、深松 3 种耕作方式的土壤的风蚀速率随风速的增长速度加快, 当风速大于 18 m/s 后几乎呈线性增加, 三种耕作方式的风蚀速率在风速为

14 m/s 时, 表现为: 深松 < 秋翻 < 少耕, 在风速为 22 m/s 时, 表现为: 少耕 < 秋翻 < 深松, 但风蚀速率差值不大, 趋势线近乎重合。而免耕耕作方式的土壤风蚀速率在风速大于 14 m/s 后, 随风速的增长速度变化相对不明显, 土壤风蚀速率与其他 3 种耕作方式的差距逐渐增大。免耕耕作方式的土壤风蚀速率与风速呈幂函数关系 ($y = 0.1458x^{1.7391}$, $R^2 = 0.9925$), 而少耕、秋翻、深松耕作方式的土壤风蚀速率与风速呈指数函数关系 ($y = ae^b$)。

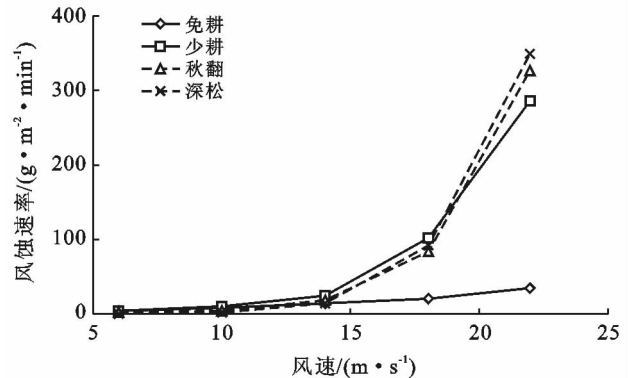


图 1 土壤风蚀速率与风速的关系

2.2 土壤风沙流结构垂直分布特征

由图 2 可以看出, 不同处理在风速小于 14 m/s 时输沙率都很低。免耕的单位面积输沙率曲线明显区别于其他 3 种处理, 在风速大于 14 m/s 时, 输沙率相对少很多, 且高度分布杂乱, 有较明显的随机性特征。观察少耕、秋翻、深松 3 种耕作方式的单位面积输沙率曲线发现, 在相同风速下, 高度越低, 输沙率越大, 随着高度提高输沙率逐渐减少; 各个处理的土壤, 输沙率随着风速的增加而增加, 高度越低, 增长幅度越大。当风速大于 14 m/s 时, 少耕、秋翻、深松 3 种耕作方式, 开始出现较明显的风蚀物, 风蚀物出现的高度略有不同, 随着风速增加, 发现较明显的风蚀物的高度也会提高。在风速 14 m/s 以上时, 收集到的风蚀物绝大部分集中在 0—10 cm 高度范围内, 低高度风蚀物所占比例还会随着风速增加而增大, 而高于 16 cm 的高度范围内, 几乎没有收集到风蚀物。在风速为 18 m/s 时, 3 种耕作方式的输沙率表现为: 秋翻 < 深松 < 少耕, 在风速为 22 m/s 时, 表现为: 少耕 < 深松 < 秋翻, 且输沙率差值较大。

2.3 耕作和风速对风蚀速率和输沙率的影响

由表 1 可知, 耕作方式、风速以及这两个变量的交互作用对该地区土壤风蚀速率和输沙率产生极显著的影响 ($p < 0.001$)。其中风速的影响高于耕作方式的影响, 高于两者的交互作用的影响。各变量对风蚀速率的影响高于对输沙率的影响。

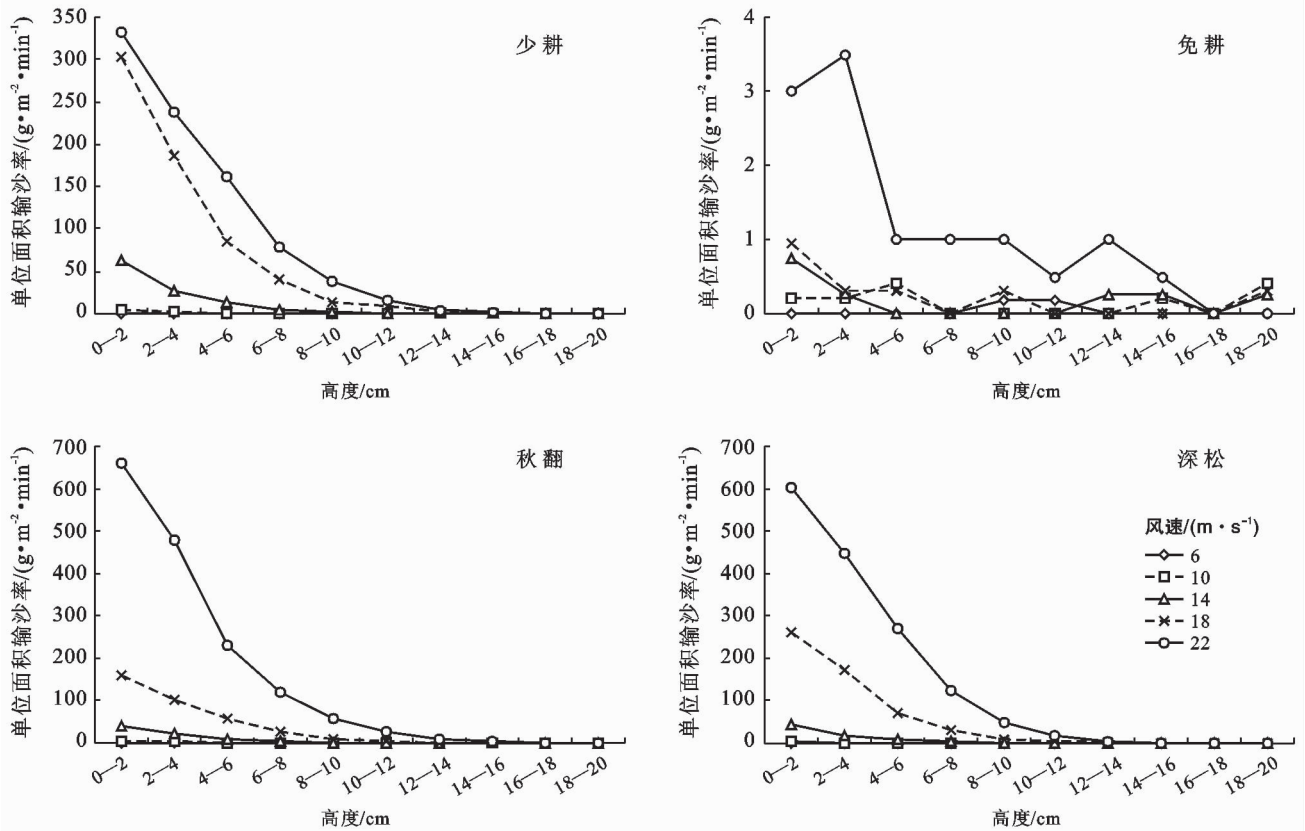


图2 不同耕作方式下单位面积输沙率与高度的关系

表1 风蚀速率和输沙率的双因素方程分析

变量	风蚀速率/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)			单位面积输沙率/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)		
	df	F	p	df	F	p
耕作(A)	3	40.406	<0.001	3	34.411	<0.001
风速(B)	4	272.458	<0.001	4	126.591	<0.001
A×B	12	25.071	<0.001	12	18.677	<0.001

注:A×B表示耕作方式和风速之间的交互效应。

3 结论

(1) 土壤的风蚀速率随风速的增大而增大。各个处理的土壤在风速小于 14 m/s 时,风蚀速率都较慢,这是因为在低风速时处于微风蚀阶段,土壤的可蚀性物质充沛,但风速的挟沙能力不足。大于 14 m/s 的风力才是造成土壤风蚀的主要因素,在风速大于 14 m/s 时,少耕、秋翻、深松 3 种耕作土壤的风蚀速率迅速增大且变化曲线近乎重合,说明 3 种不同的耕作方式对土壤结构造成了相近程度的破坏,试验地区土壤的表层结构已经相当脆弱,继续采用传统耕作方式极不利于当地农田土壤的可持续发展。免耕耕作方式在 14 m/s 的风速条件下的土壤风蚀速率低于其它耕作方式,且风速越高,抗风蚀效果越明显,说明免耕耕作方式对土壤的扰动小,能够大幅度减轻土壤风蚀,有利于对当地农田土壤的保护。由于当地常年风

力较大,从减少土壤风蚀角度出发,建议当地尽量推广免耕耕作方式。

(2) 少耕耕作方式的风蚀速率和输沙率在 14 m/s 风速时高于其他 3 种耕作方式,在 22 m/s 风速时低于深松和秋翻,可能是因为少耕耕作方式造成土壤表层的可蚀性颗粒粒径较小,在低风速下更易被吹蚀;而更大粒径的可蚀性颗粒相对少,在风速提高时,风蚀速率和输沙率变化相对小。风蚀物运动形式分为跃迁、蠕动、悬浮,其中跃迁颗粒集中分布在 0—10 cm 高程内,是产生风蚀危害的主要形式^[22]。本研究中,同一风速下,气流中的风蚀物随高度升高而逐渐减少。当风速高于 14 m/s,在 0—10 cm 高度范围内风蚀物总风沙量的绝大部分,有明显的风沙流,大于 14 cm 的高度范围内,风蚀物极少。由此可见,蠕移和跃移沙占风蚀物运行方式的绝大部分,而悬移沙土所占的量极少,风蚀物的上扬现象不明显,绝大多数的

风蚀物是在近地面运行的^[23],与前人研究结果一致。免耕耕作相比其他耕作方式能够有效的控制风沙流的强度,少耕耕作相对于秋翻、深松能够一定程度上限制高风速下风沙流的强度。

(3) 风速是影响土壤风蚀和输沙率的最主要因素,耕作方式能够对该地区土壤风蚀速率和输沙率产生极显著的影响。康玉梅^[24]研究表明,风蚀速率随风速增大呈规律性增大,且相关性较大。秦红灵^[25]研究表明,不同耕作条件下土壤风蚀率都随风速的增加而增加,但风蚀速率与风速呈现不同的函数关系。

(4) 本研究的结果对以往研究的成果的补充体现在风速和耕作方式的交互作用也对风蚀速率和输沙率有影响,且影响效果极显著。本试验仅研究了耕作方式的影响,没有涉及到土壤含水量及地表粗糙度等问题,有待进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 陈智,麻硕士,范贵生,等. 农牧交错区地表土壤风蚀物垂直分布规律研究[J]. 农机化研究,2007(4):102-105.
- [2] 臧英. 保护性耕作防治土壤风蚀的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学,2003.
- [3] 和继军,唐泽军,蔡强国. 内蒙古农牧交错区农耕地土壤风蚀规律的风洞试验研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4):35-39.
- [4] 王仁德,常春平,郭中领,等. 适用于河北坝上地区的农田风蚀经验模型[J]. 中国沙漠,2017,37(6):1071-1078.
- [5] 王萍,王燕. 民勤荒漠—绿洲过渡带不同下垫面条件的土壤风蚀特征[J]. 农业工程学报,2012,28(11):138-145.
- [6] 王学芳,孙万仓,李孝泽,等. 我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J]. 生态学报,2009,29(12):6572-6577.
- [7] 周尧治,王旭,杨桂霞,等. 不同利用方式对草甸草原抗风蚀能力的影响[J]. 环境科学,2008,29(5):1394-1399.
- [8] 刘振东,王飞,赵云,等. 保护性措施对农田土壤风蚀影响的室内风洞模拟[J]. 中国水土保持科学,2012,10(2):29-35.
- [9] 张正. 黄土高原水蚀风蚀交错区沙柳根系抗侵蚀机理研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [10] 谭凤翥,王雪芹,王海峰,等. 柽柳灌丛沙堆及丘间地蚀积分分布随背景植被变化的风洞试验[J]. 干旱区地理,2018,41(1):56-65.
- [11] 贾丽娜. 几种不同灌木矮林防风阻沙效能对比研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.
- [12] 王懿潼,唐泽军,陈超,等. 内蒙库布齐沙漠表层固沙室内风洞模拟试验[J]. 中国环境科学,2017,37(8):2888-2895.
- [13] 周杰,王海峰,李生宇,等. 不同粒径沙粒胶结体覆盖对地表风蚀和输沙率抑制效应的风洞模拟[J]. 干旱区研究,2016,33(5):961-965.
- [14] 李增强,李丹丹,赵炳梓,等. 秸秆施用和作物种植对土壤团聚体和微生物群落组成的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(8):1557-1565.
- [15] Burri K, Gromke C, Graf F. Mycorrhizal fungi protect the soil from wind erosion: A wind tunnel study[J]. Land Degradation & Development, 2013,24(4):385-392.
- [16] Ferreira A D, Fino M R M. A wind tunnel study of wind erosion and profile reshaping of transverse sand piles in tandem[J]. Geomorphology, 2012,139(2):230-241.
- [17] 刘振东. 保护性耕作措施对土壤风蚀的影响[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [18] 于爱忠. 保护性耕作对春麦区冬小麦农田土壤风蚀影响的研究[D]. 甘肃 兰州:甘肃农业大学,2006.
- [19] 赵永来,陈智,孙悦超,等. 作物残茬覆盖对农田土壤风蚀的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(1):84-87.
- [20] 赵沛义. 作物残茬生物篱防治农田土壤风蚀及其影响机理研究[D]. 内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [21] Zhao Peiyi, Tuo Debao, Li Huanchun, et al. Wind tunnel test on effect of strip width and crop stubble height on wind erosion modulus[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011,27(11):206-210.
- [22] 赵云,穆兴民,王飞,等. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的室内风洞试验研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):16-19.
- [23] 庞立铁,荣建东,刘丙友. 黑龙江省西部土壤风蚀风洞试验研究[J]. 防护林科技,2017,168(9):9-13,20.
- [24] 康玉梅,常春平,王仁德,等. 农田耕作方式与土壤风蚀强度关系的风洞模拟试验[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(3):93-98.
- [25] 秦红灵,高旺盛,马月存,等. 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响[J]. 生态学报,2007,27(9):3778-3784.