

乌兰布和沙漠绿洲农田不同土地利用方式地表风蚀特征研究^①

徐 涛, 蒙仲举*, 党晓宏, 包斯琴

(内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010018)

摘 要: 土壤风蚀是干旱地区绿洲农田开发的一个突出生态问题, 如何针对不同的立地单元采取保护性措施是人们长久以来关注的重点。本文选择乌兰布和沙漠绿洲农田流沙地、沙质耕地、黏质耕地、撂荒耕地及留茬地 5 种典型土地利用方式, 对其风速特征、地表蚀积量进行野外原位测定, 并分析了不同下垫面的地表粗糙度和沉积土壤粒径特征。结果表明: 研究区土壤颗粒组成以细砂含量占主导地位, 粉粒、中砂与粗砂含量相对较低。与对照相比, 各土地利用方式均能有效增加地表粗糙度, 表现为: 留茬地(0.32 cm) > 撂荒耕地(0.29 cm) > 沙质耕地(0.25 cm) > 黏质耕地(0.19 cm) > 流沙地(0.02 cm)。土壤风蚀深度整体表现为流沙地 > 沙质耕地 > 撂荒耕地 > 黏质耕地 > 留茬地, 5 种利用方式下, 留茬地风蚀程度最轻, 风蚀深度仅为 0.04 cm/d, 分别较流沙地、沙质耕地、黏质耕地及撂荒耕地降低了 99.03%、96.83%、94.29% 与 90.24%。因而, 留茬地具有较好的防风蚀效益, 是一种值得推广的土壤风蚀防治措施。

关键词: 土壤风蚀; 土地利用方式; 风蚀; 防治与控制

中图分类号: S154.4 **文献标识码:** A

我国绿洲主要分布于西北干旱地区, 气候干燥, 蒸发强烈, 沙源丰富, 风沙活动频繁^[1]。绿洲农田是干旱区重要的生态系统, 也是干旱区人类赖以生存和发展的重要基地^[2]。近些年来, 由于人口数量的激增与不合理开发利用现有资源环境, 大规模毁林毁草开荒, 农田撂荒加之反复弃耕与复耕, 致使农田生产力下降, 土地盐渍化, 土壤沙化, 使得绿洲农田向荒漠化方向发展^[3]。绿洲农田荒漠化主要表现为土壤地表风蚀, 其实质是表层土壤中细颗粒和营养物质在风力作用下被吹蚀和搬运, 致使风沙在地表堆积, 其结果是表层土壤粗粒化、养分贫瘠化, 进而导致土地生产力的下降或丧失^[4]。土壤含水量是影响沙粒起动与地表风蚀的重要因素, 当土壤中水分含量小于 40g/kg 时则土壤发生风蚀, 而超过 40 g/kg 时, 一般无风蚀现象发生^[5]。此外, 地表风蚀受风速^[6-7]、植被覆盖度^[8-9]、微地形^[9]、土壤机械组成^[10-11]及粗糙度^[12]等多种因素影响。而绿洲农田是乌兰布和沙漠主要的生态经济区域, 当地剧烈的风沙活动对绿洲农田的正常运作构成了严重的威胁, 致使绿洲农田极易受到荒漠化的危害。因而, 对乌兰布和沙漠绿洲农田的风沙危害必须予以重视, 以从根本上解决绿洲农田的风沙危

害问题, 为农业生产的持续稳定提供可行的保障^[1]。

目前, 关于绿洲农田土壤地表风蚀的研究, 多集中于干旱、半干旱地区的一些基础性理论问题上, 如风蚀发生的机理、影响因素及风蚀预报模型等方面^[13]。许多学者通过理论推导与风洞模拟实验研究植被覆盖度对地表风蚀的影响, 并得出植被特征变化与土壤颗粒起动风速、地表粗糙度及风蚀率等关系, 地表风蚀量随植被覆盖度的增大而减小^[8,14]。张文颖等^[15]、丛培飞等^[16]通过建立秸秆覆盖、留茬高度与风蚀量的回归模型, 得出合理的留茬高度与秸秆覆盖量, 不但能起到固土减少地表水分散失的作用, 还能够降低近地表风速, 使被覆盖的地表免受风力的吹蚀, 从而有效地减轻农田土壤风蚀。对春季裸露的沙质农田土壤风蚀量、表土层含水量及紧实度的野外观测, 建立日可蚀时数与日风蚀量之间的回归关系可预测出沙质农田的整体土壤风蚀量^[17]。但对于同一地貌条件下, 经过人为干扰造成沙漠绿洲农田不同土地利用方式土壤风蚀的研究鲜少报道。而不同土地利用方式会对绿洲农田多样性造成影响, 进而会影响到乌兰布和沙漠绿洲农田的生产潜力和经济效益。本研究以乌兰布和沙漠绿洲农田为研究对象, 旨在揭示不同土地利用

基金项目: 内蒙古农业大学优秀青年基金项目(2014XYQ-8)资助。

* 通讯作者(mengzhongju@126.com)

作者简介: 徐涛(1992—), 女, 内蒙古包头人, 硕士研究生, 主要从事水土与荒漠化防治研究。E-mail: 943347034@qq.com

下土壤性状和风蚀特征规律,甄别出适应于乌兰布和沙漠绿洲农田生态环境特征的防护措施,为有效地防治绿洲农田土壤风蚀,提高农业产量提供技术指导和参考依据。

1 试验区概况与试验方法

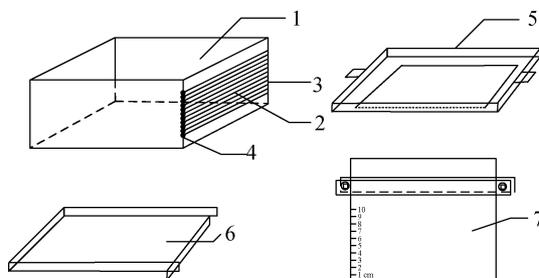
1.1 试验区概况

研究区位于内蒙古巴彦淖尔市乌兰布和基地,地理位置 $39^{\circ}40' \sim 41^{\circ}00' N$, $106^{\circ}00' \sim 107^{\circ}20' E$, 海拔 $1030 \sim 1474 m$, 坡度 $2.2^{\circ} \sim 3.0^{\circ}$; 属中温带大陆性气候,年平均降水量 $102.9 mm$,且年内分布极度不均,多集中在7—9月,多年平均蒸发量 $2258.8 mm$ 。该地区风沙活动频繁,主害风为西北风,多年平均扬沙日数 $>30 d$ 。常见植被主要以灌木为主,有梭梭(*Haloxylon ammodendron* C.A.Mey. Bunge)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylom* Bunge)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus* Maxim. ex Kom. Cheng f)、沙米(*Agriophyllum squarrosum* Linn. Moq.)等。该地区光热资源十分丰富,所以发展绿洲农业潜在优势较大。

1.2 试验方法

1.2.1 样地选择 选择5种典型的土地利用方式,分别为沙质耕地(地表平均覆盖度28%)、黏质耕地(地表平均覆盖度12%)、玉米留茬地(玉米茬高6 cm,株距27 cm,行距38 cm,地表平均覆盖度 $>85\%$)和撂荒耕地(撂荒年限为6 a,地表沙竹平均覆盖度40%),以流沙地作为对照(地表平均覆盖度 $<2\%$),开展农田不同土地利用方式下地表土壤风蚀特征研究。

1.2.2 样品采集 采样于2015年7月下旬进行,采样区面积为 $1.0 km \times 1.5 km$,在5种不同土地利用方式下以等间距Z字形分别设置20个取样点,每个取样点内设置5个面积为 $1 m \times 1 m$ 样方,采用自制分层取土器(图1)^[18]采集表层土壤(0~5 cm)。



(1: 取土器主体; 2: 刻度板; 3: 侧轴; 4: 开关; 5: 顶盖; 6: 簸箕; 7: 刮板)

图1 分层取土器结构示意图

Fig. 1 Structure of layering soil sampler

所取土样一部分装入铝盒中测定土壤含水量,一部分装入塑料封口袋密封测定土壤颗粒组成。

1.2.3 测定项目及方法 1) 土壤颗粒组成。采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 3000 型激光粒度仪测定土壤粒径组成,计算各粒径颗粒的体积分数。

2) 土壤含水量。将盛有 0~5 cm 表层土样的铝盒称其湿重后,采用烘干法测定土壤含水量。

3) 风速。于2015年3—5月期间风季进行,在各类样地中分别设置小型 HOBO 气象站,测定距地表 20 cm 和 200 cm 两个高度的风速,测定频率设为 2 s,测定时间 1 h,每 1 min 记录一次风速。并根据测得的风速计算地表粗糙度,其公式为^[19]:

$$\log Z_0 = (\log Z_2 - A \log Z_1) / (1 - A) \quad (1)$$

$$A = V_2 / V_1 \quad (2)$$

式中: Z_0 为地表粗糙度(cm); Z_1 、 Z_2 采用 $Z_1 = 20 cm$, $Z_2 = 200 cm$, V_1 为高度 Z_1 处的风速; V_2 为高度 Z_2 处的风速; 将 $V_2 / V_1 = A$ 代入方程,计算各下垫面的粗糙度。

4) 风速降低比。其计算公式为:

$$K = \frac{V_i - V}{V_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中: V_i 为后一次所测得风速; V 为前一次所测风速; K 为风速降低比, K 值越大说明防风效果越好,越小说明防风效果越差。

5) 地表蚀积。采用测钎法,测钎长 50 cm,地下埋入 40 cm,地上留 10 cm,记录测点号及测钎原始高。风季几场大风后测量测钎高度数据并进行平均,求得整块农田的风蚀情况。其计算公式为:

$$\Delta H = H_1 - H_2 \quad (4)$$

式中: H_1 为风蚀后前一次测钎距地高度; H_2 为风蚀后后一次测钎的距地高度; ΔH 为两次测量结果差值,其中正值表示地表堆积,负值表示地表风蚀。

1.2.4 数据处理和分析 采用 Excel 2007、Spss 17.0、Origin 9.2 进行数据整理、计算和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤粒径组成

粒径在土壤风蚀过程中起着重要的控制作用,土壤粒径组成的不同决定其运动性质,最终影响风蚀强度^[10]。因此,土壤粒径组成可被当作风蚀过程的一个指示器^[20]。不同土地利用方式的地表被吹蚀后,表层土壤各级粒径体积分数不同,研究区5个采样地粒径组成结果如表1所示。

表 1 不同土地利用方式下 0~5 cm 表层土壤各粒径的体积分数
Table 1 Percentages of particle sizes in 0-5cm layers under different land use types

样地类型	粗砂 >0.5 mm	中砂 0.5 ~ 0.25 mm	细砂 0.25 ~ 0.1 mm	极细砂 0.1 ~ 0.05 mm	粉粒 ≤0.05 mm
流沙地	0.02 ± 0.01 c	1.67 ± 0.79 c	87.02 ± 2.14 a	7.55 ± 0.49 d	3.74 ± 1.23 d
沙质耕地	1.32 ± 0.30 b	6.87 ± 1.34 a	67.87 ± 4.14 b	15.78 ± 1.55 c	8.16 ± 0.55 b
撂荒耕地	2.13 ± 0.80 a	5.86 ± 1.06 a	70.02 ± 1.38 b	16.43 ± 1.27 b	8.56 ± 0.80 c
黏质耕地	0.19 ± 0.13 c	3.85 ± 0.94 b	63.28 ± 5.21 c	21.97 ± 2.00 a	13.71 ± 0.71 a
留茬地	1.19 ± 0.03 b	4.16 ± 0.26 b	55.09 ± 2.43 d	24.38 ± 1.03 a	15.18 ± 2.05 a

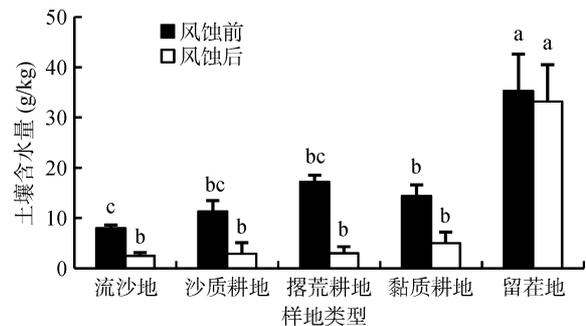
注：同列不同小写字母表示不同土地利用方式间差异在 $P < 0.05$ 水平显著。

由表 1 可知，在流沙地、沙质耕地、撂荒耕地、黏质耕地及留茬地中，细砂颗粒体积分数较高，其中流沙地达到最高，为 87.02%；流沙地与其他 4 种土地利用方式细砂体积分数均存在显著差异，其中沙质耕地与撂荒耕地中细砂体积分数差异不显著。极细砂与粉粒体积分数自流沙地、沙质耕地、撂荒耕地、黏质耕地到留茬地均不断增加，且在留茬地中极细砂与粉粒体积分数达到最大，分别是对照流沙地极细砂与粉粒体积分数的 3 倍与 4 倍。研究结果表明在风力作用下粒径范围小于 0.25 ~ 0.1 mm 的细砂主要以跃移形式发生移动；而粒径 ≤ 0.1 mm 的极细砂与粉粒由于自身沉降速度一般小于气流脉动的速度，因此这些颗粒很可能脱离地表以悬移形式运动，飘向更远的地方^[21]。沙质耕地中粉粒体积分数较低，致使土壤颗粒间的粘结力小，土层松散破碎形成非团聚体，增大了土壤风蚀的可能性；而在黏质耕地中含有较多的粉粒与极细砂，颗粒之间形成了稳定的团聚体，大大提高了土壤颗粒间的凝聚力与粘着力。留茬地因其地表具有玉米茬覆盖，极细砂和粉砂体积分数共计达到 39.56%，留茬能够降低临界地表风速，减弱风蚀，同时有效地拦截风沙流中的细粒物质使之在留茬地中沉积，致使极细砂与粉粒含量得以保存。研究表明，土壤有机质及氮磷钾含量与粉粒、极细砂含量呈显著正相关，而极细砂与粉粒的保存有效地增加了土壤稳定性、土壤保肥能力及持水性，致使沙地向良性发展^[22]。因而，留茬地具有较好的防风蚀效益。

2.2 不同土地利用方式下风蚀前后土壤表层含水量

土壤含水量是影响风力搬运土壤颗粒不可忽视的因素之一，表层土壤含水量高低对绿洲农田土壤风蚀具有重要的影响^[17]。不同土地利用方式下 0 ~ 5 cm 土层的土壤含水量普遍较低 (<40 g/kg)，这是造成土壤发生风蚀的一个重要原因。如图 2 所示，风蚀前各土地利用方式下含水量大小依次为：留茬地 > 撂荒耕

地 > 黏质耕地 > 沙质耕地 > 流沙地，其中留茬地、撂荒耕地、黏质耕地、沙质耕地的土壤含水量分别是流沙地的 4.4 倍、1.8 倍、2.2 倍与 1.4 倍；风蚀后土壤含水量变化规律与风蚀前相一致，而留茬地、撂荒耕地、黏质耕地、沙质耕地的土壤含水量分别是流沙地的 13.3 倍、2.0 倍、1.2 倍与 1.1 倍。各土地利用方式下风蚀后的土壤含水量均呈下降的趋势，自流沙地、沙质耕地、撂荒耕地、黏质耕地及留茬地，风蚀后的含水量分别较风蚀前降低了 69%、74%、83%、65% 与 6%，且流沙地风蚀前后土壤含水量差异显著，而沙质耕地、撂荒耕地、黏质耕地及留茬地风蚀前后的土壤含水量无显著差异。此外，留茬地风蚀前后的土壤含水量均与其他土地利用方式的土壤含水量存在显著差异 ($P < 0.05$)，留茬可以有效保持土壤表层水分，土壤水分含量高，又可有效防治土壤风蚀的发生。



(图中不同小写字母表示同一时期不同样地间差异在 $P < 0.05$ 水平显著，下同)

图 2 不同土地利用方式下 0~5 cm 土层风蚀前后的土壤含水量变化

Fig. 2 Soil moistures before and after wind erosion in 0-5 cm layers under different land use types

2.3 不同土地利用方式下地表粗糙度及风速

地表粗糙度是表征下垫面粗糙情况的一项重要指标，也是衡量防沙治沙效益的一项重要指标^[23]。由表 2 可知，不同土地利用方式的地表粗糙度明显不同，随着

地表覆盖度的增加,粗糙度逐渐增大。乌兰布和沙漠5种土地利用方式的平均粗糙度由大至小依次为:留茬地(0.32 cm)>撂荒草地(0.29 cm)>沙质耕地(0.25 cm)>黏质耕地(0.19 cm)>流沙地(0.02 cm)。留茬地地表粗糙度最

大,分别是撂荒耕地、沙质耕地、黏质耕地及流沙地地表粗糙度的1.1倍、1.3倍、1.7倍及16.0倍,且留茬地、撂荒耕地、沙质耕地及黏质耕地地表粗糙度分别较流沙地增大93.8%、93.1%、92.0%及89.5%。

表2 不同土地利用下地表覆盖度对地表粗糙度及风速的影响
Table 2 Effects of land coverages on surface roughness and wind speeds under different land use types

指标	流沙地	黏质耕地	沙质耕地	撂荒耕地	留茬地
地表覆盖度(%)	2	12	28	40	85以上
平均粗糙度(cm)	0.02	0.19	0.25	0.29	0.32
平均风速(m/s)	7.3	5.8	5.8	4.5	2.7
风速降低值(%)	-	20.3	20.6	38.1	62.2

削弱土壤风蚀发生的最有效方法是增大地表粗糙度,即增加土壤地表被覆率^[24]。本次野外观测表明,不同土地利用方式对地表粗糙度及风速影响明显。不同土地利用下风速降低值整体表现为:留茬地>撂荒耕地>沙质耕地>黏质耕地>流沙地。与流沙地相比,留茬地降低风速的效果最为显著,达到了一半以上(62.2%),黏质耕地、沙质耕地、撂荒耕地的风速降低值分别20.3%、20.6%及38.1%。该地区撂荒耕地是由旱耕地废弃而来,由于没有人工翻耕扰动,其粒径组成中细颗粒含量居多(表1),且地表高达40%的沙竹覆盖,使其下垫面的波伏程度增加,致使地表粗糙度明显增大。留茬地由于地表高达85%的玉米茬覆盖增加了地表粗糙度,对近地面的风力产生较强的阻尼作用,可有效地降低近地表风速,并防止跃移质在运动过程中获得能量而重新启动^[1],从而有效抑制土壤风蚀的发生;且作物留茬不会破坏耕地土层结构,使土壤始终保持在自然状态下,加之玉米根茬的固结作用进一步增强了土壤颗粒间的稳定性,可有效减少风蚀量,有利于土壤保持较好的团聚结构和提高农田的生产力。因此,在防治绿洲农田风蚀过程中,可以采取增加地表植被覆盖度与覆盖时间,进而增加下垫面粗糙度,降低近地表风速,减轻风沙对绿洲农田的危害,从而达到防治土壤风蚀的目的。

2.4 不同土地利用方式下风蚀深度

风蚀深度是反映土壤受风沙危害最直观的指标之一,它是在地表物质与风速、风力共同作用下形成的产物^[25]。由图3可以看出,5种不同土地利用方式下风蚀深度大小排序为:流沙地>沙质耕地>黏质耕地>撂荒耕地>留茬地,且各土地利用方式下风蚀深度差异显著。5种土地利用方式下流沙地风蚀程度最大,其值为4.16 cm/d,而沙质耕地、黏质耕地、撂荒耕地及留茬地分别较流沙地风蚀深度降低了69.7%、83.2%、90.1%及99%。黏质耕地的风蚀深

度为0.7 cm/d,较沙质耕地降低了44.4%,而撂荒耕地由于高达40%沙竹、枯草的存在,风蚀深度为0.41 cm/d,分别较沙质耕地与黏质耕地降低了67.5%与41.4%;留茬地是5种土地利用方式中风蚀程度最轻的,仅有0.04 cm/d,分别较流沙地、沙质耕地、黏质耕地及撂荒耕地降低了99.03%、96.83%、94.29%与90.24%。因此,在防护林体系并不健全的绿洲农田,可以通过秋季留茬增加地表作物残茬覆盖度,来提高土壤的抗风蚀性能,从而减轻风沙危害,有效地阻止绿洲农田土壤风蚀。

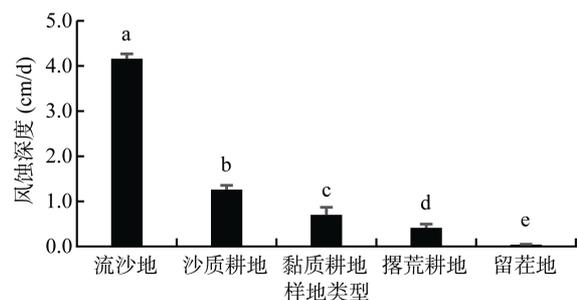


图3 不同土地利用方式下的风蚀深度
Fig. 3 Depths of wind erosion under different land use types

3 讨论

3.1 土壤颗粒组成、含水量对绿洲农田土壤风蚀的影响

土壤风蚀产生后会吹蚀表层土壤中的细粒物质,在长期吹蚀的情况下致使可利用的土地逐步沦为流沙地,这一过程势必会导致土壤理化性质发生巨大的改变。其中,土壤粒径组成作为土壤风蚀长期风选的最终结果,可直观地表征风蚀荒漠化发生的程度^[26]。不同土地利用方式下土壤的粒径分布存在显著差异,已有研究表明,土壤表层颗粒组成与风蚀的产生存在密切的联系,表层粒径分布决定着土壤颗粒的运动性

质,进而影响风蚀深度与强度^[10]。本研究对不同土地利用方式下耕地土壤粒径分析表明,在流沙地、沙质耕地、撂荒耕地、黏质耕地及留茬地中,细砂颗粒体积分数达到 55.09%~87.02%,与陈新闻等^[27]在乌兰布和沙漠沿黄段不同土地利用方式下土壤粒径分布的研究结果相一致。从风蚀过程来说,土壤粒径组成中的细砂最易被风蚀^[28],而具有最大抗风蚀度与团聚度的土壤颗粒组成是粉粒,在土壤中粉粒含量所占比例越大,土壤抗风蚀能力就越强^[29]。由表 1 可知,不同土地利用方式下,研究区细砂体积分数自流沙地、撂荒耕地、沙质耕地、黏质耕地及留茬地均不断减少,而粉粒体积分数均不断增加(3.74%~15.18%);但当土壤颗粒中粉粒体积分数达到 21.5%~50% 时反而会使团聚稳定性降低,进一步导致土壤被风蚀^[30]。丁延龙等人^[31]研究发现农田土壤颗粒组成大部分以粉粒与极细砂为主,农田耕作与土地开垦虽然极易导致表层土壤细颗粒的吹蚀,但在秋收后会实施留茬覆盖等措施,使土壤颗粒细度能够始终保持在一种稳定状态,且细粒物质利于形成土壤团聚体,能够有效地提高土壤含水量,增加了土壤颗粒间的粘结力,致使土壤颗粒所需的临界启动风速进一步增大。而土壤含水量的高低不仅会直接影响作物产量的多少,也会直接影响到土壤抵抗风蚀的强弱^[12]。由于土壤表层含水量受下垫面性质影响较大,不同土地利用方式的耕地之间存在一定差异,而土壤含水量小于 40 g/kg 时则土壤会发生较强的风蚀^[5]。就本研究区域而言,由于耕作频繁,造成表层土壤孔隙度增大,使得表层土壤疏松,水分散失速度加快,导致农田含水量不断降低,增加了风蚀发生的频率。本试验中各土地利用下风蚀前后土壤表层含水量均不断减少(总体<40 g/kg),且随着极细砂、粉粒体积分数与土壤含水量的增加,风蚀深度均不断减小,这一点与海春兴等^[32]研究结果相一致。由此可知,研究区域内留茬地既能够保护土壤表层颗粒不被风蚀,又具备了一定的保水能力,因此,土壤抗风蚀能力更强。

3.2 地表覆盖度、粗糙度对绿洲农田土壤风蚀的影响

风吹拂地表时,会产生紊流,致使地表松散物质离开地表而遭到破坏,地表形态发生变化。诸多研究表明,植被盖度较高时,过境气流会受到植被阻挡而降低携沙能力,使得地表颗粒不易被吹蚀。一般来说,风蚀过程中植被覆盖度越高,则防风效能越好^[32]。本次野外观测发现,不同土地利用方式下植被覆盖度大小依次为:留茬地>撂荒耕地>沙质耕地>黏质耕地

>流沙地,相应地风速降低值与风蚀降低值规律一致,研究结果与董治宝和李振山^[10]研究结果相一致。而董智^[11]认为即使地表植被盖度较小(<30%)也可降低土壤风蚀发生的可能,导致这种差异是因为研究区域不同,气候条件、地形、土壤、降雨等因素对土壤地表风蚀影响程度差异所造成。Sharratt 和 Feng^[33]提出,不同土地利用方式对地表粗糙度及摩阻速度产生较大的影响,就绿洲农田而言,同一农田在作物不同生长期地表粗糙度是一个变量,地表颗粒所需的启动风速亦随之变化^[34],秋收后农田在一段时间内保持一种裸露状态,而留茬地由于粗糙度较其他耕大地,可有效降低近地表风速,致使风搬运地表颗粒的能力减弱,从而有效地控制了土壤风蚀,减少细粒物质的散失,有利于养分与有机质的保存^[35]。本试验结果表明,留茬地降低风速的效果最为显著,分别较撂荒耕地、沙质耕地、黏质耕地降低了 38.79%、66.98% 与 67.44%,研究结果与前人一致。Fryrear^[36]研究表明,随着地表粗糙度的增大,土壤风蚀不断降低,两者之间具有显著的相关性。不同土地利用下随着流沙地、沙质耕地、黏质耕地、撂荒耕地及留茬地地表粗糙度的增大,土壤风蚀深度反而不断降低,风蚀深度与地表粗糙度呈现出良好的反比关系,结果与黄高宝等^[37]的研究相似。由此,人们所采取防风固沙的各种技术措施都是通过增加地表粗糙度,达到降低近地表风速,增加覆盖度达到减少土壤水分蒸发等方式改变下垫面环境,进而提高风速启动阈值,从而达到减轻土壤的风蚀程度。

4 结论

1) 风蚀过程造成土壤表层粗化。不同土地利用方式对乌兰布和沙漠绿洲农田土壤颗粒组成影响明显,5 种土地利用方式下表层土壤粒径组成以细砂为主,体积分数为 55.09%~87.02%;粗砂体积分数较低,仅为 0.02%~2.13%,说明研究区土壤粒径分布以细砂为主,且沙物质分选性好。

2) 不同土地利用下地表粗糙度大小关系依次为:留茬地(0.32 cm)>撂荒草地(0.29 cm)>沙质耕地(0.25 cm)>黏质耕地(0.19 cm)>流沙地(0.02 cm)。

3) 不同土地利用下,风蚀深度整体表现为流沙地>沙质耕地>撂荒耕地>黏质耕地>留茬地,留茬地是 5 种土地利用方式下风蚀程度最轻的,风蚀深度仅有 0.04 cm/d,分别较流沙地、沙质耕地、黏质耕地及撂荒耕地降低了 99.03%、96.83%、94.29% 与 90.24%。不同土地利用方式对土壤风蚀有着十分显著

的影响。留茬地具有较好防风蚀效果，在绿洲农田实施具有较好的效果。

参考文献：

- [1] 董智. 乌兰布和沙漠绿洲农田沙害及其控制机理研究[D]. 北京林业大学, 2004
- [2] 樊自立, 马英杰, 艾力西尔·库尔班, 等. 试论中国荒漠区人工绿洲生态系统的形成演变和可持续发展[J]. 中国沙漠, 2004(1): 12-18
- [3] 郝玉光. 乌兰布和沙漠东北部绿洲化过程生态效应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007
- [4] 赵哈林, 黄学文, 何宗颖. 科尔沁地区农田沙漠化演变的研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(3): 242-248
- [5] Ravi S, Zobeck T M, Over T M, et al. On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion[J]. *Sedimentology*, 2006, 53(3): 597-609
- [6] 刘芳, 郝玉光, 辛智鸣, 等. 乌兰布和沙区不同下垫面的土壤风蚀特征[J]. 林业科学, 2017, 53(3): 128-137
- [7] 孙悦超, 麻硕士, 陈智. 保护性耕作农田和柠条带状配置草地防风蚀效果的风洞测试[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 140-146
- [8] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 植被对土壤风蚀影响的风洞实验研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 31-33
- [9] 邹学勇, 张春来, 程宏, 等. 土壤风蚀模型中的影响因子分类与表达[J]. 地球科学进展, 2014, 29(8): 875-889
- [10] 董治宝, 李振山. 风成沙粒特征对其风蚀可蚀性的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 1-6
- [11] 南岭, 杜灵通, 展秀丽. 土壤风蚀可蚀性研究进展[J]. 土壤, 2014, 46(2): 204-211.
- [12] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 耕作土壤表面的空气动力学粗糙度及其对土壤风蚀的影响[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 66-68
- [13] 杨会民, 王静爱, 邹学勇, 等. 风水复合侵蚀研究进展与展望[J]. 中国沙漠, 2016(4): 962-971
- [14] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1986, 11(4): 505
- [15] 张文颖, 张恩和, 景锐, 等. 河西绿洲灌区春小麦留茬免耕的防风蚀效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 244-249
- [16] 丛培飞, 尹光华, 谷健, 等. 留茬和秸秆覆盖对农田土壤风蚀量的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(8): 2060-2064
- [17] 张华, 李锋瑞, 张铜会, 等. 春季裸露沙质农田土壤风蚀量动态与变异特征[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 29-32,79
- [18] 高永, 虞毅, 汪季. 一种可以分层采取土壤样品的取土器: 中国, CN201926567U[P]. 2011-08-10
- [19] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 204-257
- [20] Cattle S R, McTainsh G H, Elias S. Eolian dust deposition rates, particle-sizes and contributions to soils along a transect in semi-arid New South Wales, Australia[J]. *Sedimentology*, 2009, 56: 765-783
- [21] 宋涛. 分流对冲与多级扩容组合式自动集沙仪及其内流场特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016
- [22] 魏林源, 刘立超, 唐卫东, 等. 民勤绿洲农田荒漠化对土壤性质和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(32): 315-320
- [23] 苏永中, 王芳, 张智慧, 等. 河西走廊中段边缘绿洲农田土壤性状与团聚体特征[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 741-748
- [24] 杨明元. 对地表粗糙度测定的分析与研究[J]. 中国沙漠, 1996, 16(4): 383-387
- [25] 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): 4-8
- [26] 张继义, 王娟, 赵哈林. 沙地植被恢复过程土壤颗粒组成变化及其空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 153-157
- [27] 陈新闻, 郭建英, 董智, 等. 乌兰布和沙漠沿黄段不同土地利用方式对土壤分形特征的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(11): 169-173
- [28] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation[J]. *Soil Science of American Journal*, 1989, 53: 987-996
- [29] 张素, 熊东红, 校亮, 等. 冲沟不同部位土壤机械组成及抗冲性差异[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1270-1276
- [30] Colazo J C, Buschiazzo D E. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina[J]. *Geoderma*, 2010, 159(1): 228-236
- [31] 丁延龙, 高永, 蒙仲举, 等. 希拉穆仁荒漠草原风蚀地表颗粒粒度特征[J]. 土壤, 2016, 48(4): 803-812
- [32] 海春兴, 周心澄, 李晓佳. 河北坝上不同土地利用方式下土壤表层水分变化对风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 29-32
- [33] Sharratt B S, Feng G. Friction velocity and aerodynamic roughness of conventional and under cutter tillage within the Columbia Plateau USA, *Journal of Soil and Tillage Research*, 2009, 105: 236-241
- [34] 王升堂, 赵延治, 邹学勇, 等. 北京郊区不同土地利用方式起沙起尘的特征研究[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 601-605
- [35] 胡霞, 刘连友, 严平, 等. 不同地表状况对土壤风蚀的影响——以内蒙古太仆寺旗为例[J]. 水土保持研究, 2006, 4(13): 118-119
- [36] Fryrear D W. Soil cover and wind erosion[J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1985, 28(3): 781-784
- [37] 黄高宝, 于爱忠, 郭清毅, 等. 甘肃河西冬小麦保护性耕作对土壤风蚀影响的风洞试验研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 968-973

Wind Erosion Characteristics of Oasis Farmland Surfaces Under Different Land Uses in Ulan Buh Desert

XU Tao, MENG Zhongju^{*}, DANG Xiaohong, BAO Siqin

(Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Soil wind erosion is a prominent ecological problem in the sustainability of oasis farmland in arid areas, therefore, how to take reasonable protective measures against different farmland units is a key concern in arid areas for a long time. In this paper, five typical land use types of shifting sandy land (SSL), sandy arable land (SAL), clayey arable land (CAL), abandoned grassland (AGL) and stubble land (SL) of oasis in Ulan Buh desert were selected, wind speed, surface erosion and deposition, surface roughness and soil particle size distributions (PSDs) were analyzed. The results showed that fine sand was dominant in soil PSDs of all land use types, and the contents of clay sand and coarse sand were relatively low. Compared with SSL, other land use types effectively increased surface roughness, which were in an order of SL (0.32 cm) > AGL (0.29 cm) > SAL (0.25 cm) > CAL (0.19 cm) > SSL (0.02 cm). The depths of soil erosion were in an order of SSL > SAL > CAL > SL. SL was the slightest in wind erosion degree with a wind erosion depth only of 0.04 cm/d, decreased by 99.03%, 96.83%, 94.29% and 90.24% compared with those of SSL, SAL, CAL and AGL, respectively. Thus, stubble land is an effective measure in preventing and controlling soil wind erosion due to its significant wind-intercepting efficiency.

Key words: Soil wind erosion; Land use types; Prevention and control