

农牧交错带土地利用类型对土壤风蚀的影响

郭慧慧¹, 郝明德², 李龙³, 苏富源³, 马浩³, 牛育华⁴

(1. 陕西农村科技开发中心, 陕西 西安 710061;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 4. 陕西科技大学 陕西农产品加工技术研究院, 陕西 西安 710021)

摘要: [目的] 研究农牧交错带不同土地利用类型对土壤风蚀的影响, 为干旱沙区土地资源的合理利用及经营耕作提供科学依据。[方法] 通过气象资料和野外风蚀试验, 分析该区不同土地利用方式下的土壤风蚀状况。[结果] 不同土地利用类型对土壤风蚀的影响显著, 在不同利用类型的人工草地中羊草地较苜蓿地减蚀效果显著, 天然草地中滨草地减蚀效果优于蒿草地, 人工草地较天然草地显著降低土壤风蚀量。农田用地中耕翻地土壤风蚀量最高, 未留茬免耕玉米地较耕翻地风蚀量减少 46.7%~48.6%; 作物留茬地土壤减蚀效果显著, 且留茬作物不同, 减蚀效果差异明显, 玉米留茬较耕翻地风蚀量减少了 58.1%~63.5%, 荞麦留茬较耕翻地减蚀率为 50.5%~54.6%。在不同地形坡地中迎风坡风蚀量高于背风坡 3.12~3.73 倍。[结论] 应在该地区适宜增加人工草地种植面积, 减少冬春季耕翻地面积, 减少迎风坡土地的开垦利用, 在冬春季采取地表覆盖或者作物收获后留茬的保护措施, 以降低土壤风蚀程度。

关键词: 农牧交错区; 不同土地利用类型; 土壤风蚀; 减蚀率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)06-0053-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 郭慧慧, 郝明德, 李龙, 等. 农牧交错带土地利用类型对土壤风蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 053-057. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.009

Impacts of Land Use Type on Soil Wind Erosion in Agro-pastoral Area

GUO Huihui¹, HAO Mingde², LI Long³, SU Fuyuan³, MA Hao³, NIU Yuhua⁴

(1. Rural Science and Technology Development Center of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Shaanxi Agricultural Products Technology Processing Institute, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: [Objective] Impacts of land use type on soil erosion in agro-pastoral area were researched to provide a scientific basis for the rational use of land resources, including the farming and management in arid desert area. [Methods] Soil erosion status under different land use types were tested by field erosion experiments and analyzed by meteorological data. [Results] Land use type significantly affected soil erosion. For artificial grasslands, *Leymus chinensis* reduced erosion remarkably than Alfalfa grassland did. In natural grasslands, marram grassland reduced more amount of erosion than Humilis grassland did. Artificial grasslands significantly reduced soil erosion than natural grasslands did. Ploughed field had the highest erosion in farm lands, untillage corn field without stubble reduced wind-erosion 46.7%~48.6% as compared with the ploughed field. Stubble crops reduced soil erosion remarkably, although it was different for different crop types. Stubble corn field reduced soil erosion 58.1%~63.5% than the ploughed field did. Stubble buckwheat reduced erosion 50.5%~54.6% as compared with the plowed slope. In different terrains, windward soil erosion was as high 3.12~3.73 times as the value of leeward slope. [Conclusion] Artificial grassland

收稿日期: 2016-01-20

修回日期: 2016-03-29

资助项目: 宁夏农业综合开发土地治理科技推广项目“黄土高原旱区增粮增效潜力与提升技术研究”(NTKJ-2014-01); 国家科技支撑计划项目“黄土旱塬区土壤质量定向培育技术与模式研究”(2015BAD22B01-01)

第一作者: 郭慧慧(1989—), 女(汉族), 甘肃省渭源县人, 硕士研究生, 研究方向为土壤肥料试验研究和草地生态。E-mail: guohuihui0801@163.com。

通讯作者: 郝明德(1957—), 男(汉族), 陕西省华县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤生态和黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.com。

should be increased in the area. Whereas, fields should not be ploughed or should be reduced for the ploughed area in winter and spring seasons; the reclamation of windward land should be diminished; fields should be covered in the winter or stubble should be retained after harvest to protect topsoil from wind erosion.

Keywords: agro-pastoral area; different land use types; soil wind erosion; reduce erosion rate

风力侵蚀是发生于干旱、半干旱地区土地荒漠化的根本原因^[1]。风蚀可导致土地表层大量富含营养物质的细微颗粒被风剥离损失,引起农田表层的土壤粗化、土地生产力下降,与此同时,风蚀也是形成沙尘天气的根源。中国受土壤风蚀及土地荒漠化影响的土地主要分布于北方地区,尤以旱作农田区最为严重^[2]。土壤风蚀的严重性取决于风速、地表土壤特性、地表覆盖状况及粗糙程度^[3],而土地利用与经营方式可以直接改变土地覆被状况并影响土壤特性以及土壤对外界环境变化的抵抗能力^[4],土壤风蚀的发生及演化主要受制于区域土地利用方式的改变。国外在风蚀影响因子方面进行了比较系统的研究,在气候条件(大风、降水与温度等)、土壤性状(土壤可蚀性、土壤含水量与土壤表面粗糙度等)对土壤风蚀的影响以及植被覆盖对地表保护作用等方面已取得了许多成果^[5-6]。国内学者采用野外观测或风洞试验的方法开展土壤风蚀问题的研究^[7],从宏观和微观角度对土壤风蚀成因、风蚀引起的土壤结构破坏、土地沙漠化、土壤肥力下降和土壤风蚀机理及防治等问题进行了探讨^[8-11],就保护性耕作、不同植被盖度、土壤表层水分变化对风蚀的影响进行研究^[12-14],对于野外不同类型土地利用对土壤风蚀的影响研究较少。为此,本研究以地处干旱农牧交错生态脆弱带的宁夏自治区盐池县地区为研究区域,在冬春风蚀强烈期,对人工羊草地、苜蓿地,天然滨草地、蒿草地,玉米留茬地,荞麦留茬地,耕翻地,未留茬免耕玉米地和坡地的土壤进行了野外观测研究,通过气象资料和野外风蚀试验,分析不同土地利用方式下土壤的风蚀状况,旨在为干旱沙区土地资源的合理利用及经营耕作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

宁夏自治区中部干旱地区是中国土地沙化较严重的地区之一,其位于西北内陆农牧交错地带,三面被腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和毛乌素沙地包围,气候干燥、年降水量稀少而蒸发量很大、植被类型较少、生长稀疏,生态环境相对比较脆弱,大面积的土地沙化及退化严重制约着当地农牧业及经济快速发展^[15]。该区农作物一年一熟,一年中耕地处于裸露状态时间长达 7 个月,尤其是从土壤解冻到作物出苗

这段时间耕地表土干燥、疏松、大风天气频繁发生更加剧了耕地土壤的风蚀。试验地位于宁夏中东部盐池县城西滩,属于干旱风沙区,中心点坐标位置为 37°48'N,107°17'E,海拔 1 428 m,土壤类型主要为灰钙土。多年平均降水量为 296.4 mm,60%~70%降雨集中在 7—9 月,蒸发量为 1 517.8 mm,年均气温 8.3℃,气温日较差 21.7℃,日照时数 3 054 h,有效积温(>10℃) 3 146.2℃,无霜期 150 d,辐射量 5 885.8 MJ/m²。盐池县是滩羊之乡,牧草需求大,牧业收入占全县农业产值的 44.87%,天然草场总面积为 4.78×10⁵ hm²,退化草原占天然草原可利用面积的 97.7%^[16]。

1.2 试验设计

结合当地的实际情况,选取当地有代表性的 10 种主要土地利用类型。分别为人工羊草地、人工苜蓿地、天然滨草地、天然蒿草地、玉米留茬地、荞麦留茬地、耕翻地、未留茬免耕玉米地和坡地(迎风坡、背风坡)。所选草地和耕地均位于同一地貌部位,成土母质相同,小气候环境相同,土层厚度一致。人工羊草地,植被高度 17 cm,平均植被盖度在 65%,土壤表层根系分布密集;人工苜蓿地,植被高度 20 cm,平均植被盖度 40%左右,土壤表层有结皮;天然滨草地植被高度 10 cm 左右,植被盖度 28%;天然蒿草地植被高度 25 cm,植被盖度 10%左右,地表因放牧,动物践踏导致土壤松散、破碎。农田用地土层深厚,经长期人工培育,玉米和荞麦留茬地秸秆留茬高度 20 cm,收获后不耕翻扰动,盖度分别在 30%和 40%左右;耕翻地为当地传统农业耕作模式,每年秋季地表作物收获后,采取耕翻处理,地表无植被覆盖,表层土壤松散、破碎;未留茬免耕地为秋季玉米收获后不留茬且不经翻耕,翌年播种时再耕翻,地表植被极少,盖度 3%左右,土壤未扰动。坡地植被覆盖度很低,为野生杂草,植被高度 7 cm,盖度在 6%左右,坡度为 10°左右。2013 年 10 月 14 日布设风蚀圈,2014 年 4 月 10 日回收风蚀圈进行风蚀量测定,2014 年 10 月 15 日布设风蚀圈,2015 年 4 月 10 日回收风蚀圈进行风蚀量测定。每次在布设风蚀圈和回收风蚀圈时对表层土壤进行水分测定。

1.3 试验方法和数据处理

表层土壤含水率的测定采用铝盒对不同利用类型的地表(0—10 cm)取样,烘箱烘干称重并计算土壤

含水率。风速的测定在宁夏盐池县城西滩试验基地中心安装气象站 CR10 XTD,气象站安于面积较大的宽阔平坦地区,观测记录风速,每 1 h 记录 1 个风值。土壤风蚀量的测定采用风蚀圈法,试验前用天平对风蚀圈的质量进行测定,秋季收割以后土壤风蚀发生之前将适量土壤称重之后放置在风蚀圈中,烘干法对风蚀圈内土壤含水量进行测定,放置风蚀圈时使该圈中的土壤与试验小区的自然土壤形成一个上下贯通的整体,GPS 记录风蚀圈的地理位置。翌年春季基本不再发生风蚀后将风蚀圈收回,用天平对装满土的风蚀圈的质量进行测定,烘干法对风蚀圈内土壤含水量进行测定,将放置前后 2 次土壤干重的差值定为整个风蚀季节风蚀圈的风蚀量。

试验数据处理采用 Excel 和 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),多重比较采用最小显著差异法(LSD法),显著性水平设定为 $p < 0.05$,利用 Excel 软件进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 气候观测

2.1.1 气候观测 风速、降雨和温度等气候因子综合决定着年土壤风蚀水平。风是土壤侵蚀的直接动力来源,风速的大小直接影响风蚀的轻重,从 2013 年 7 月 1 日至 2015 年 6 月 30 日,进行研究区风速风向以及降雨的野外观测,布置的试验各点在距气象站 1 km 范围之类。试验区一年内平均风速呈现出冬春季较大且集中,夏秋季节平均风速最小的季节性特点(图 1)。2013—2015 年月平均风速在冬春季节呈现逐渐增大趋势,并在 3 月中、下旬达到一年中的最大值,约 2.26 m/s。该地区在冬春季节风力最强,尤以 11,12 月及 1—4 月风力最强,风速大于 5 m/s 的天气 88.7% 集中于此期间,其中 12 月风速最高,占大风日数的 20.5%、其次是 4 月占大风日数的 19.2%,而 5—10 月最低。

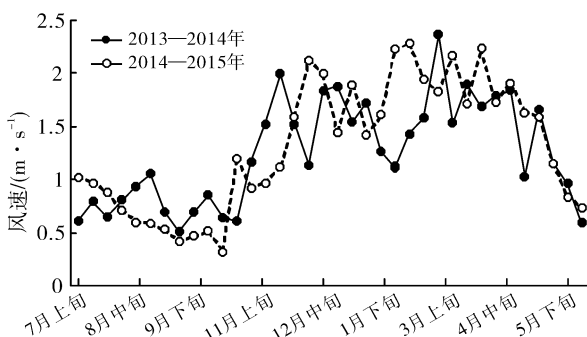


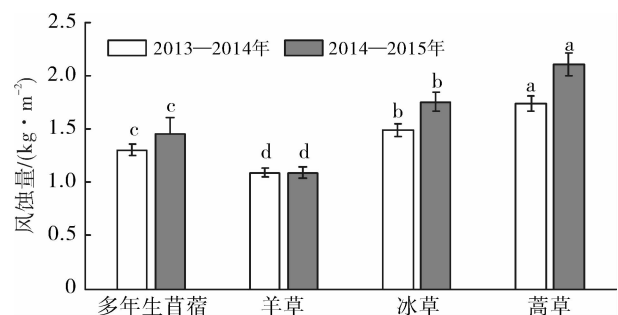
图 1 试验区平均风速季节变化

2.1.2 水量观测 降水量也是影响土壤风蚀的一个重要因素,2013—2015 年 2 a 资料的分析结果表明,盐池县这 2 a 年降水量仅在 200 mm 左右,且主要集中在 6—9 月,多阵性降水,占全年降水量的 84.8%。11 月至翌年 2 月降水量最少,只占 3.6%,3—4 月次少,占 6.9%。11 月至翌年 4 月降雨量最少,又是风大风多的季节,另外 3—4 月,冻融作用使土壤变的松散,更易风蚀,因此风蚀试验选择在风速最大的冬春季节进行。

2.2 不同草地土壤风蚀量对比

由不同利用类型的草地土壤风蚀量对比结果可知(图 2),各种类型草地对土壤风蚀的减蚀效果差异显著($p < 0.05$)。2013—2014 年,2014—2015 年观测试验中,人工羊草地的风蚀量最小,分别为 1.07, 1.09 kg/m²,较同期苜蓿地降低 16.5%,28.9%。天然草地中滨草地土壤风蚀量低于蒿草地,2 a 观测滨草地较蒿草地分别减蚀 14.4%,16.7%。试验中人工草地减蚀效果较天然蒿草地显著,相较蒿草地,2013—2014 年,羊草地的减蚀率为 37.5%,苜蓿地减蚀率为 25.1%;2014—2015 年羊草地减蚀 48.2%,苜蓿地减蚀 27.2%。2 a 试验结果表明,在不同利用类型草地中,人工羊草地减少土壤风蚀效果最显著,其次是苜蓿地,天然蒿草地减蚀效果最低。

从 2013—2014 年,2014—2015 年风蚀季节土壤风蚀量的年际变化来看,因 2014—2015 年平均风速较 2013—2014 年高,2014—2015 年的风蚀量整体上大于 2013—2014 年,相较 2013—2014 年,在 2014—2015 年,苜蓿地、滨草地、蒿草地风蚀量分别增加 17.4%,17.5% 和 20.4%,而羊草地风蚀量仅增加 2.0%。这是由于羊草地管理经营较好,加之羊草为须根系植物,根系分蘖能力强,随着年份的增加,根系密度和植株密度不断加大,土壤抗风蚀能力不断提高,苜蓿地虽由人工管理经营,但苜蓿属直根系,根系密度不及羊草大,分蘖慢,其抗风蚀能力低于羊草。



注:不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

图 2 试验区不同草地土壤风蚀量

2.3 农田土壤风蚀量对比

未留茬免耕玉米地较耕翻地减蚀效果显著, 2013—2015 年这 2 a 耕翻地土壤风蚀量达 2.75, 2.96 kg/m²(图 3), 相较耕翻地, 免耕地年平均减蚀率为 47.3%。是因为耕翻造成土壤表面大面积裸露, 表层土壤疏松, 在风蚀季节中, 风的动能向土粒转化效率非常高, 土粒获得动能后发生移动, 进而造成风蚀量比较大, 免耕地表层土壤结构保持完整, 加大了风力吹蚀的阻力。玉米茬地和荞麦茬地与耕翻相比, 也均有显著的减蚀效果 ($p < 0.05$), 2013—2015 年玉米茬地较耕翻减少风蚀量分别为 63.5% 和 59.5%, 荞麦茬地较耕翻减少风蚀量分别为 54.6% 和 52.2%, 作物残留物可以吸收一部分风力, 减少风对土壤的作用力。玉米茬地的减蚀率高于荞麦茬地 15.3%~19.7%, 在风蚀季节长时间的干旱使一部分荞麦茬随风吹走, 而玉米茬比较结实, 不易被风吹走。玉米茬地和荞麦茬地较免耕玉米地风蚀量分别降低了 23.5%~30.2% 和 9.7%~13.1%, 作物留茬可降低地表风速, 减弱土壤风蚀程度。

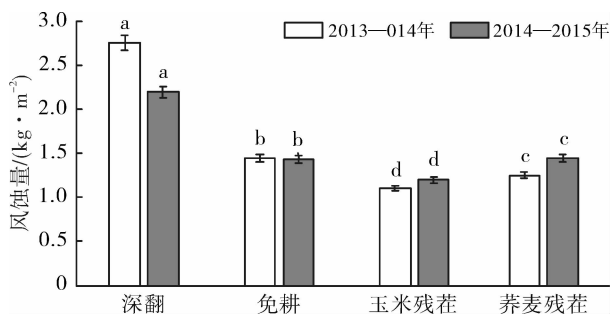


图 3 试验区不同留茬地与深翻地土壤风蚀量

2.4 不同地形风蚀量对比

迎风坡和背风坡的风蚀量差异显著, 2013—2014 年迎风坡的风蚀量为 3.49 kg/m², 较背风坡高 3.53 倍, 2014—2015 年迎风坡风蚀量为 3.65 kg/m², 较背风坡高出 3.41 倍(图 4)。相较于背风坡, 迎风坡的风蚀量显著增大, 是由于土粒受到风的正面冲击较为剧烈, 进而获得较大的动能, 背风坡的土壤颗粒很难获得风力转化而来的动能, 在背风坡形成了风力侵蚀的盲区。

2.5 不同样地土壤含水量变化

地表土壤含水量的变化也是影响风力搬运土壤颗粒的重要因素, 尤其是表层土壤含水量对风蚀有一定的影响^[17]。土壤中含有水分时, 水分子与土壤颗粒间的拉张力增加颗粒间的黏聚力, 从而提高土壤的抗风蚀能力^[13]。2013—2015 年 2 次风蚀试验前期水分测定结果表明, 不同利用类型的土地表层

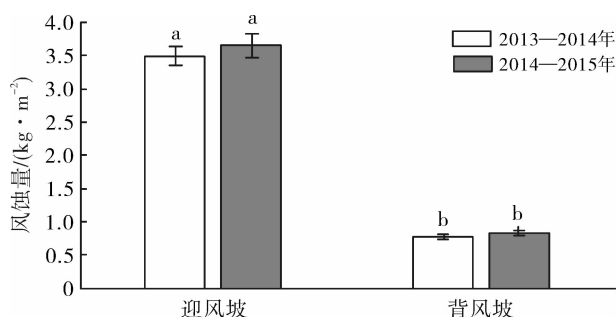


图 4 试验区不同地形土壤风蚀量

0—10 cm 含水率差异显著(图 5)。不同利用类型草地中, 人工羊草地土壤表层含水量最高, 2013, 2014 年测定其土壤含水量分别为 6.24% 和 7.6%, 较同期苜蓿地高出 11.3% 和 6.8%, 较同期蒿草地高出 25.7% 和 24.2%。在不同利用方式的农田用地中, 玉米茬地表层土壤含水率高于不留茬免耕玉米地 7.3%~10.0%, 不留茬免耕玉米地高于耕翻地 27.2%~30.1%, 说明留茬地在一定程度上可以保持相对较高含水率使农田土壤土壤水分流失减少, 农田耕翻后, 几乎无植被覆盖, 表层土壤经过大风的吹蚀作用水分大量蒸发, 土质会变得更加疏松, 因此耕翻地的含水率相对最低。背风坡表层土含水率较迎风坡高 38.1%, 迎风坡相较背风坡受到的风力大, 地表水分蒸发量大。

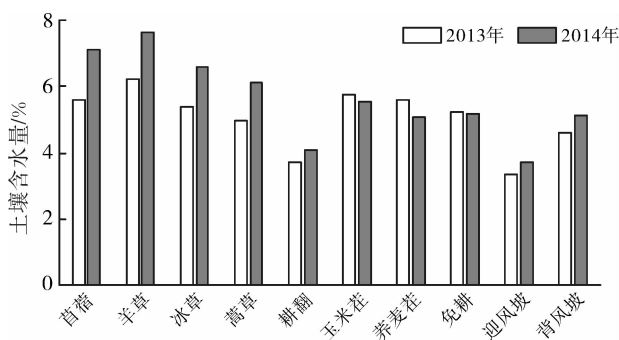


图 5 试验区不同样地表层土壤含水量

3 讨论与结论

(1) 试验区每年 11 月至翌年 4 月份风大、风多, 降雨量少, 风速大于 5 m/s 的天气 88.7% 集中于此期间, 降水量占全年的 10.5%, 土壤质地较粗, 表层结构松散, 水分含量低, 这些不利因素的综合作用, 决定了冬春季是该地区风蚀危害的高发期, 这与陈娟等^[15]的研究结果一致。

(2) 不同利用类型草地中, 人工羊草地减少土壤风蚀效果最显著, 其次是苜蓿地, 天然蒿草地减蚀效

果最低。人工羊草地土壤风蚀量分别较天然蒿草地和滨草地减少 37.5% 和 26.9%。这主要是由于人工羊草地的盖度比较大,从而有效的阻止了风力对土壤的侵蚀,另外,羊草根系非常发达,密集的根系能够有效的保护表层土壤。苜蓿地盖度较小,裸露土表面积较多,加之在风蚀季节苜蓿茎叶组织严重凋零,不能有效保护表土。滨草地和蒿草是天然草地,虽有一定的植被盖度,但在冬春季节,冻融作用使土壤表层更为疏松,加之放牧对草地的不断践踏,致使草地表土松散,土壤容易被吹蚀。

(3) 农田土壤风蚀中耕翻地风蚀量是玉米茬地和荞麦茬地的 2.74 和 2.21 倍,作物留茬可相对提高自然起沙风速,截获风蚀颗粒,减轻土地风蚀程度,耕翻地地表缺乏植被覆盖,表层土质疏松,最容易导致风蚀。常旭虹等^[18]的研究也表明,把作物的残茬留在土壤表面、根茬留在土壤内部,都能保护土壤颗粒不被风力移动。另外,试验中同条件的未留茬免耕玉米较耕翻地减蚀率为 46.9%~47.7%,这与和继军等^[19]利用风洞研究土壤风蚀时发现同条件下扰动土的风蚀量明显大于未扰动土的风蚀量,秦红灵等^[20]研究发现免耕能够增加土壤表层坚实度,减少风蚀的结果均一致。张华等^[17]的研究也表明减少表层土壤的扰动可以显著抑制的土壤风蚀的强度。在不同地形土地利用中,迎风坡较背风坡风蚀量高 3.41~3.53 倍。

(4) 相同降雨、风速条件下不同利用类型的表层土壤含水量受土地利用类型的影响较大,人工羊草地、作物留茬地、以及玉米不留茬免耕地均能增加表层土壤水分含量,利于降低土壤风蚀,与何文清^[21]的研究结果土壤含水量越高,土壤启动风速越大,风蚀率越小的结果一致。因此,合理的土地利用方式有利于增加表层土壤的含水量。

(5) 在风蚀危害严重的北方半干旱农牧交错带,土地利用类型对土壤风蚀的影响不可忽视,不合理的土地利用加剧了土壤风蚀,在防治土壤风蚀的过程中,应增加人工草地的面积,农田耕作中减少秋季耕翻,采取免耕或秸秆留茬,减少迎风坡土地的开垦利用等保护措施,降低地表土粒移动,提高土壤抗风蚀能力。

[参 考 文 献]

- [1] Hagen L J. A wind erosion prediction system to meet the users need [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991,46(2):107-111.
- [2] 董治宝,董光荣,陈广庭.以北方旱作农田为重点开展我国的土壤风蚀研究[J].*干旱区资源与环境*,1996,10(2):31-37.
- [3] Brady N C. *The Nature and Properties of Soils* [M]. New York: Macmillan Publishing Co., 1990.
- [4] Fryrear D W. Soil ridges clods and wind erosion[J]. *Transactions of the ASAE(American Society of Agricultural Engineers)(USA)*, 1984,27(2):445-448.
- [5] Chepil W S. Climatic factor for estimating wind erodibility fields[J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 1962,17(4):162-165.
- [6] Fryrear D W. Soil ridges-clods and wind erosion[J]. *Transactions of the ASAE(American Society of Agricultural Engineers)(USA)*, 1984, 27(2):445-448.
- [7] 王涛,李孝泽.河北坝上高原现代土地沙漠化的初步研究[J].*中国沙漠*,1991,11(2):39-45.
- [8] 赵雪,赵文智,宝音.河北坝上脆弱生态环境及整治[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [9] 孙武,李保生.脆弱带坝上后山地区沙漠化因子与波动的空间类型与耦合[J].*自然灾害学报*,2001,10(4):65-69.
- [10] 哈斯.坝上高原土壤不可蚀性颗粒与耕作方式对风蚀的影响[J].*中国沙漠*,1944,14(4):92-97.
- [11] 王仁德,邹学勇,赵婧妍.半湿润区农田土壤风蚀的风洞模拟研究[J].*中国沙漠*,2012,32(3):640-641.
- [12] 范清成,王飞,穆兴民.保护性耕作对土壤风蚀的影响[J].*中国水土保持科学*,2011,9(3):1-5.
- [13] 李昂,高天鹏,张鸣.西北风蚀区植被覆盖对土壤风蚀动态的影响[J].*水土保持学报*,2014,28(6):120-123.
- [14] 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):30-33.
- [15] 陈娟,璩向宁.荒漠草原人工柠条林防治土壤风蚀效应研究[D].宁夏银川:宁夏大学,2014.
- [16] 盐池编纂委员会.盐池县志[M].宁夏银川:宁夏人民出版社,2010.
- [17] 张华,李锋瑞,张铜会.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.
- [18] 常旭虹,赵广才,张雯,等.作物残茬对农田土壤风蚀的影响[J].*水土保持学报*,2005,19(1):28-31.
- [19] 和继军,唐泽军,蔡国强.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.
- [20] 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*,2007,9(9):3378-3385.
- [21] 何文清,赵彩霞,高旺盛.不同土地利用方式下土壤风蚀主要影响因子研究[J].*应用生态学报*,2005,16(11):2092-2096.