

延怀盆地葡萄种植区不同土地利用方式表土风蚀特征分析

李晓娜¹, 宋进库², 张微微¹, 赵春桥¹, 王超¹, 史瑞双¹, 薛瑞彬¹, 樊冉冉¹

(1.北京市农林科学院北京草业与环境研究发展中心,北京 100097;2.河北省怀来县农牧局,河北 怀来 075400)

摘要: 研究延怀盆地葡萄种植区不同土地利用方式下土壤风蚀特征,可为区域土地利用布局调整、生态环境建设提供数据支撑。以怀来县为研究对象,采用野外调查和室内分析相结合的方法,分析了葡萄、果桑、欧李、玉米留茬免耕、玉米翻耕 5 种土地利用方式的 2018 年 11 月—2019 年 3 月土壤含水量、粒径及风蚀量月变化特征。结果表明:(1)未出现降水事件之前,5 种土地利用方式土壤含水量均呈现随时间增加而下降的趋势,3 种林果用地中土壤水分下降幅度表现为葡萄>欧李>果桑。(2)研究区 5 种土地利用方式表层土壤粒度主要为砂砾,含量达 47%~63%。0.05~0.002 mm 的粉粒是该区域风蚀过程中损失的主要颗粒。(3)5 种土地利用方式中地表风蚀量表现为玉米翻耕地>葡萄>玉米留茬免耕>欧李>果桑。在该区域土壤风蚀防治过程中可以通过在小尺度上合理调整果桑等林果用地与葡萄、粮食用地土地利用布局的方式,达到降低近地表风速、拦截风沙、降低风蚀的作用。

关键词: 土地利用; 风蚀; 土壤粒径; 土壤水分

中图分类号:S157.1 文献标识码:A 文章编号:1009-2242(2019)06-0086-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.06.012

Wind Erosion Characteristics of Surface Soil Under Different Land Uses in Grape Planting Area of Yanhuai Basin

LI Xiaona¹, SONG Jinku², ZHANG Weiwei¹, ZHAO Chunqiao¹,
WANG Chao¹, SHI Ruishuang¹, XUE Ruibin¹, FAN Ranran¹

(1.Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Research & Development Centre for Grass and Environment, Beijing 100097; 2.Huailai Agricultural and Pastoral Bureau, Huailai, Hebei 075400)

Abstract: The study of the soil wind erosion characteristics under different land use types could provide data support for the adjustment of regional land layout and the construction of ecological environment in grape planting area of Yanhuai Basin. In this paper, five land use types (grape, fruit mulberry, *Cerasus humills* (Bge.) Sok., no-tillage with maize stubble, tillage with maize stubble) were selected, and soil water content, soil wind erosion amount, and soil particle size were analyzed from November 2018 to March 2019 in Huailai county. The results showed that the soil water content of the five land use types decreased with the increase of time before the precipitation event, and the soil water content of the three fruit land use types decreased in the order of grape>*C.humills* (Bge.) Sok.>fruit mulberry. The surface soil particle size of the five land use types was mainly gravel in this study area (the content of gravel was 47%~63%). It was the major particle that lose during wind erosion when the soil particle size was 0.05~0.002 mm. The soil wind erosion amount of the five land use types decreased in order of tillage with maize stubble>grape>no-tillage with maize stubble>*C. humills* (Bge.) Sok.>fruit mulberry. In the process of prevention and control of soil wind erosion in this region, it is applicable to reduce near-surface wind speed, intercept wind sand, and reduce wind erosion by adjusting the layout of fruit land (for example fruit mulberry) and grape, corn land.

Keywords: land use; wind erosion; soil particle size; soil water content

我国干旱和半干旱区域面积较大,是世界上受土壤风蚀侵袭最为严重的国家之一^[1]。土壤风蚀的发生是一个非常复杂的过程,是包括地理、气候、植被和表层土壤性状等多因子综合作用的结果^[2],而土地利用方式的变化不仅能够改变自然景观的面貌,而且改变着土壤水分、养分和土壤侵蚀等生态过程的时空分布,因此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^[3]。土地利用方式影响土壤表层水分变化,进而影响

土壤风蚀的强弱,其中翻耕农田土壤风蚀量对表层土壤含水量变化响应最为敏感^[4-5],土地利用方式还通过影响地表植被覆盖度、土壤的物理性质影响土壤风蚀,农田开垦、城镇发展等土地利用变化使生态环境质量降低,生态系统防风固沙功能下降。农田退耕还草、人工草地种植、人工防护林建植等土地利用变化会对降低土壤风蚀,对区域防风固沙起到一定的增强作用^[6]。

延怀盆地位于河北省西北部、北京西部,地处中温带半干旱区,由于燕山山脉和太行山脉的阻挡使得这里常年盛行河谷风,频发的大风天气使该区域饱受土壤风蚀的侵扰,而经济发展所带来的高强度经营活动及土地利用方式变化更加剧了风蚀过程。土壤风蚀引起的土壤退化、扬沙天气频发等现象,已经严重威胁到区域生态安全。因此,合理调整区域土地利用布局,提高区域生态系统防风固沙功能对于改善该区域生态环境具有重要意义,而不同土地利用方式的风蚀现状调研与分析是开展土地利用布局调整、改善生态环境的重要前提。

本研究通过对延怀盆地土地利用方式进行深入调研之后,确定林果用地和粮食用地 2 大地类,在 2018—2019 年冬春大风季节,对其土壤含水量、粒度、风蚀量进行实地调研,分析不同土地利用方式下土壤风蚀特征,为区域土地利用布局调整、生态环境建设提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延怀盆地主要包括河北省怀来县、涿鹿县及北京市延庆区(图 1)。对 1998—2018 年 21 年延怀盆地沙尘天数(表 1)进行分析,发现延庆、怀来、涿鹿三地中,怀来县大风、沙尘暴、浮尘、扬沙日数均为最高,其中大风日数为涿鹿县的 2.2 倍,为延庆区的 4.7 倍,沙尘暴日数是涿鹿县的 3.3 倍,是延庆区的 15.6 倍。因此在本研究中以怀来县为研究对象。怀来县东南部

与北京相邻,介于东经 115°16′—115°58′,北纬 40°04′—40°35′,属温带亚干旱大陆性季风气候,具有四季分明,光照充足,雨热同季,昼夜温差大的特点,年均降雨量 431 mm^[7],多分布在 6—8 月,年蒸发量在 1 400~2 300 mm,其土壤类型主要为褐土。

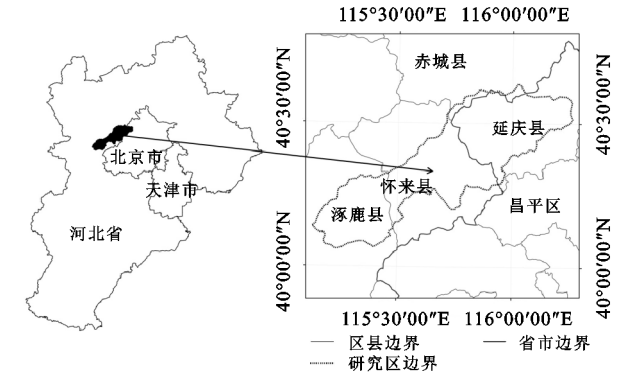


图 1 研究区域地理位置

表 1 1998—2018 年延怀盆地沙尘天数统计

单位:天				
研究区	大风日数	沙尘暴日数	浮尘日数	扬沙日数
延庆区	104	5	279	37
怀来县	487	78	370	92
涿鹿县	219	24	335	92

注:数据来源于中国气象局。

1.2 试验设计

1.2.1 观测点的选择 在怀来县,林果产业是其经济发展的主要支柱产业,截至 2016 年全县林果种植面积达 3.89×10⁴ hm²,其中葡萄种植面积达 1.67×10⁴ hm²,主要粮食作物为玉米,播种面积达 2.93×10⁴ hm²。因此确定观测的土地利用方式有林果用地(果桑、欧李、葡萄)和粮食作物用地(玉米留茬免耕地、玉米翻耕地),其中果桑与欧李为研究区域内引进的新型果树品种。为了保证所选择地点风向、风速、气温等气象条件和土壤状况等的一致性,所有地块均分布在怀来县土木镇东水泉村葡乐庄园附近。各样点的具体地表特征见表 2。

表 2 各样点地表特征

植被类型		种植密度/cm	郁闭度/%	高度/cm	地表覆盖物	越冬前地表干扰
林果用地	果桑	100×100	80	170	无	无
	欧李	50×100	10	50	无	无
	葡萄	700×100	1	180	无	葡萄下架深埋
粮食作物用地	玉米留茬免耕	—	—	—	玉米秸秆(55%)	无
	玉米翻耕	—	—	—	无	旋耕

注:怀来区冬季葡萄地上部藤蔓全部深埋到地下,表中郁闭度与高度为葡萄架所占葡萄地面积比和高度。

1.2.2 观测项目与方法 在 2018—2019 年冬春大风季节,对各个样地月风蚀量和土壤含水量进行实地观测,同时对每一观测点观测前后 0—5 cm 表土进行采样,样品采集后风干,剔除动植物残体,粉碎过 2 mm 筛,>2 mm 筛石砾称重计算质量百分比,<2

mm 土壤去除有机质后采用吸管法测定各粒度质量百分比(德国,SEDIMAT 4—12 土壤粒径分析系统)。月风蚀量采用埋设风蚀盘与集沙仪相结合的方法观测,在每个观测地块按照等距法每隔 20 m 埋设 3 个面积为 200 cm² 的风蚀盘,每个地块埋设风蚀盘

数量为 15 个。同时按照等距法每隔 50 m 安装集沙仪，每个地块安装 3 个。观测期内对风速和降水量进行观测，从表 3 可以看出，整个观测期内，>13 m/s 大风天数占总观测天数 1/2 以上，降水量仅为 8.2 mm。

表 3 观测期内风速及降水情况

观测时间	10 m 平均风速/ (m · s ⁻¹)	10 m 最大风速/ (m · s ⁻¹)	最大风速>13 m/s 天数/天	降水量/ mm
2018-11-13—2018-12-13	3.5	22.6	17	0
2018-12-14—2019-01-15	3.6	26.8	18	0
2019-01-16—2019-02-24	4.0	25.0	23	3.8(2 月 22 日降雪)
2019-02-25—2019-03-20	3.5	24.2	10	0
2019-03-21—2019-04-22	4.2	28.6	25	4.4(降雨)
2019-04-23—2019-05-15	4.3	29.8	20	0

1.2.3 观测时间及风蚀量计算方法 分析怀来县 1998—2018 年 21 年月沙尘天数(图 2)可知，怀来县大风天气主要集中在 1—5 月和 10—12 月，沙尘暴天气主要集中在 1—5 月，浮尘天气主要集中在 1—3 月和 11—12 月，扬沙天气主要集中在 3—5 月。因该区域内葡萄于 3 月下旬到 4 月上旬开始出土上架，玉米地于 3 月中旬开始整地，所选观测地块葡萄于 3 月 20 日开始出土上架，玉米地开始清理地上部秸秆，强烈人为干扰活动下，埋设风蚀盘方法无法准确测定 3 月 20 日之后地表月风蚀量，故风蚀盘观测时间选择为 2018 年 11—12 月和 2019 年 1—3 月，每月中旬称取风蚀盘内土壤重量，同时监测风蚀盘内土壤含水量，计算月风蚀量(公式 1)。因 4—5 月在怀来区仍为大风和沙尘天气频发时段，本研究采用集沙仪观测输沙通量(公式 2)的方法对该时段土壤风蚀情况进行表征，集沙仪分 2 个时段进行样品采集，第 1 时间段为冬季休耕期(上年 11 月下旬至翌年 3 月下旬)，第 2 时间段为春季备耕期(翌年 3 月下旬至 5 月上旬)。

$WEA(t/hm^2)=(m_2 \times \omega_2 - m_1 \times \omega_1) \times 100$ (1)

式中: WEA 为月风蚀量(t/hm^2); m_1 为上月风蚀盘中土壤重量(g); m_2 为 1 个月后风蚀盘中土壤重量(g); ω_1 为上月风蚀盘中土壤水分含量(质量百分数); ω_2 为 1 个月后风蚀盘中土壤水分含量(质量百分数); 100 为将 g/cm^2 换算为 t/hm^2 。

$q(mg/(min \cdot m^{-2}))=Q/(t \times A) \times 1000$ (2)

式中: q 为输沙通量($mg/(min \cdot m^2)$); Q 为某段时间收集的风蚀物重量(g); t 为收集时间(min); A 为风蚀物收集口面积(m^2)。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式表层土壤含水量

土壤含水量是抑制风蚀的主要因素之一。土地利用、土地覆盖情况均会影响土壤表层水分的变化^[5]，在本研究区域内不同土地利用方式下表层土壤含水量不同(图 3)。在 11 月葡萄下架深埋前进行灌溉，因此葡萄地土壤含水量高于其他 4 种土地利用

方式，但之后随着时间的增加，5 种土地利用方式土壤含水量均呈现出下降趋势，其中葡萄地土壤含水量下降幅度最大。在 11 月欧李林地土壤含水量高于果桑林地，究其原因是 2 种植物在 11 月还处于生长期，果桑根系对水分的吸收大于欧李所致，在 12 月之后，2 种植物进入休眠，此时土壤水分损失以地表蒸发为主，因欧李林地郁闭度较低，土壤水分蒸发速度高于果桑。在 2 月 22 日该区域出现 3.8 mm 降雪，3 种林果用地表层土壤含水量增加，其中欧李增加最为明显。3 月随着气温升高，3 种林果用地表层土壤含水量均下降，欧李林地表层土壤含水量下降最为明显。

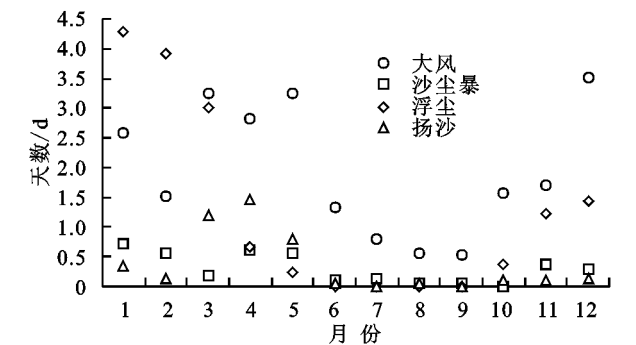


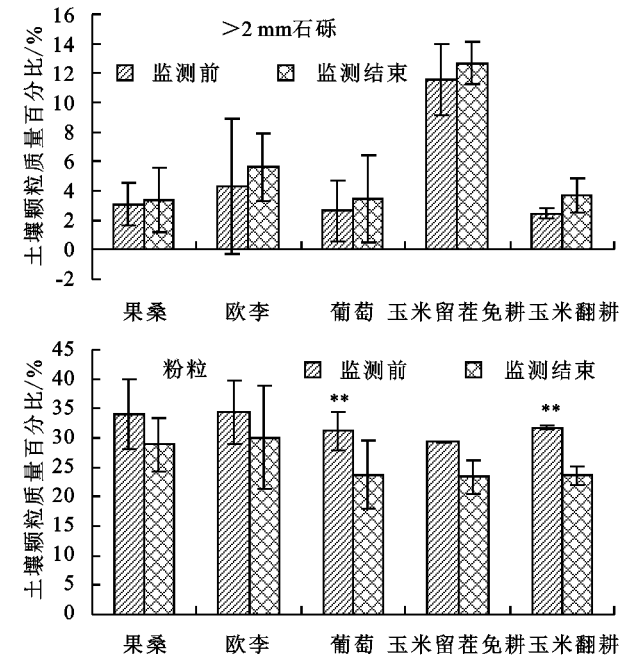
图 2 1998—2018 年怀来县月沙尘天数统计

监测初期玉米留茬免耕地表层土壤含水量高于翻耕地，之后随着时间增加表层土壤含水量均呈现出下降趋势。2 月 22 日降雪之后，翻耕地土壤含水量有所增加，留茬免耕地土壤含水量则呈继续下降趋势，表明与留茬免耕地相比，翻耕地有利于水分入渗，但之后随着气温上升，土壤含水量迅速下降，主要是由于土壤进行了翻耕，土质松散，加速了水分蒸发^[8]。

2.2 不同土地利用方式表层土壤粒径分布特征

土壤颗粒的粗细、组成及特征会影响土壤的抗风蚀能力、持水能力与土壤养分等^[9]。在监测前(2018 年 11 月 13 日)与监测结束(2019 年 3 月 20 日)采集 0—5 mm 表层土壤分析土壤粒度，对监测前与监测结束时不同土地利用方式表层土壤粒度进行分析(图 4)比较，可以看出，经过 1 个冬春季的大风吹蚀，3 种

林果用地、2 种粮食用地表层土壤中 $>2\text{ mm}$ 石砾、 $2\sim 0.05\text{ mm}$ 沙粒的含量均高于监测前,其中监测结束时葡萄地与玉米翻耕地表层土壤 $2\sim 0.05\text{ mm}$ 沙粒的含量与监测前相比极显著增加。监测结束时,3 种林果用地、2 种粮食用地表层土壤中 $0.05\sim 0.002\text{ mm}$ 粉粒含量与监测前相比均表现为降低,其中葡萄地与玉米翻耕地表层土壤中 $0.05\sim 0.002\text{ mm}$ 粉粒含量显著低于监测前。3 种林果用地监测前与结束时,图层土壤黏粒含量无显著差异,2 种粮食用地监测结束时表层土壤黏粒含量低于监测前,但 t 检验结果二者差异并不显著。



注: ** 表示监测前与监测结束时表层土壤粒度含量 t 检验结果差异极显著 ($P<0.01$)。

图 4 不同土地利用方式监测前后表层土壤颗粒粒度分布特征

2.3 不同土地利用方式土壤风蚀量

于 2018 年 11 月至 2019 年 3 月冬春大风季节在怀来县葡乐庄园选择不同土地利用方式连续测定月风蚀量(图 5),结果表明,3 种林果用地表层土壤风蚀情况在不同月份表现不同。在 11 月 13 日至 12 月 13 日与 12 月 14 日至 1 月 15 日这 2 个时间段内果桑林地表现为风积现象,初步说明在该时间段内果桑林地对沙尘与扬沙具有拦截效应;欧李与葡萄表现为风蚀,葡萄地的土壤风蚀量显著高于欧李,这与葡萄下架深埋,表层土壤被扰动较为疏松有关。在 1 月 16 日至 2 月 24 日时间段内 3 种林果用地均表现为风蚀,其中欧李与葡萄用地土壤风蚀量显著高于果桑,根据风速观测结果,该时间段内 10 m 平均风速与大风天数均高于其他观测期,进而造成该时间段内土壤风蚀量较高。在 2 月 25 日至 3 月 20 日时间段内,3 种林果用地均表现为风积,这与 2 月 22 日降雪有关,降雪增加了土壤湿度,从而抑制风蚀的发生,同时在该时间段内葡萄开始出土上架,其他一些农事活动也

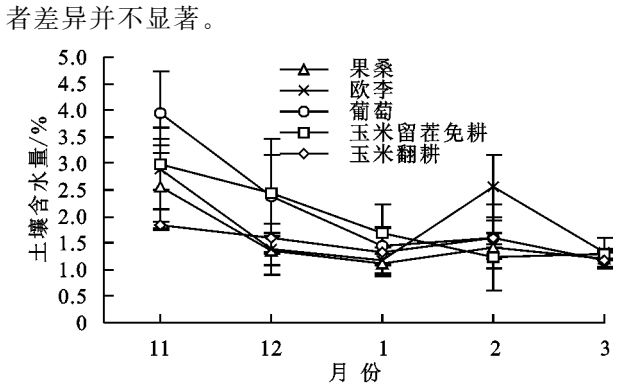
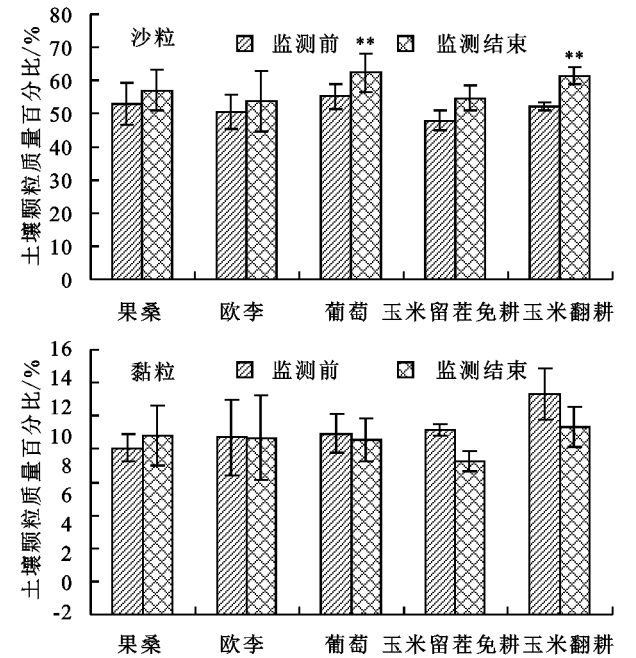
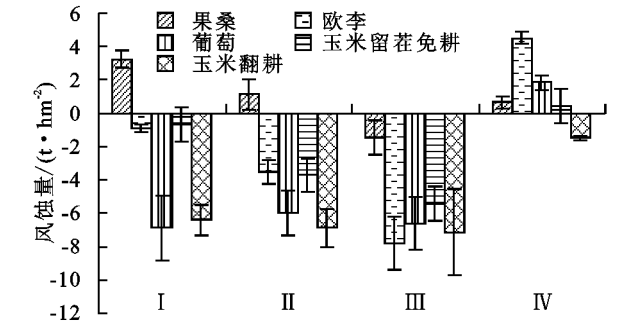


图 3 不同土地利用方式表层土壤含水量月变化



逐渐开展,受人为活动的影响,地表土壤大颗粒沙粒短距离运移与沉降活动高于其他时间段,因此造成了风积现象。



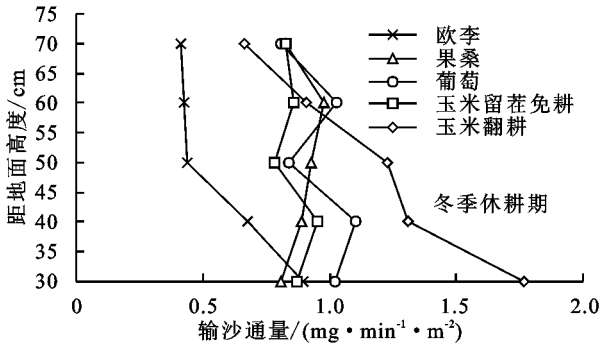
注: I 表示 2018 年 11 月 13 日至 12 月 13 日; II 表示 2018 年 12 月 14 日至 2019 年 1 月 15 日; III 表示 2019 年 1 月 16 日至 2 月 24 日; IV 表示 2019 年 2 月 25 日至 3 月 20 日。

图 5 不同土地利用方式土壤风蚀量变化特征

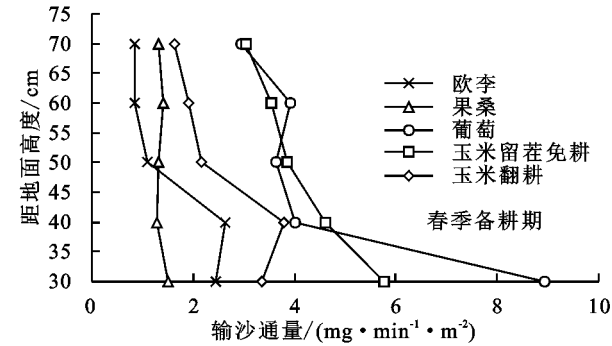
在 4 个月的监测期内,玉米翻耕地地表土壤风蚀量均大于玉米留茬免耕地,其中 1 月 16 日至 2 月 24 日期间风蚀量最大,与该时间段内平均风速大及大风天数多有关。在 2 月 25 日至 3 月 20 日期间,玉米留茬免耕地

开始清理地上部玉米秸秆,受人为活动影响玉米留茬免耕地表现为风积,玉米翻耕地仍表现为风蚀。

分为冬季休耕期和春季备耕期 2 个阶段对不同土地利用方式土壤风蚀输沙通量进行了监测,从图 6 可以看出,在冬季休耕期,欧李和玉米翻耕地输沙通量均表现为距地面 30 cm 处最高,之后随高度增加输沙通量逐渐减小;葡萄和玉米留茬免耕地输沙通量均表现为距地面 40 cm 处最高;果桑林地输沙通量则表



现为 60 cm 处最高,5 种土地利用方式中,距地面 30 cm 输沙通量表现为玉米翻耕地>葡萄>欧李>玉米留茬免耕>果桑。在春季备耕期,受大风天气和人为活动共同影响,5 种土地利用方式输沙通量较冬季休耕期均有所增加,其中玉米留茬免耕与葡萄地输沙通量增加幅度最大,分别为 268%~565%,264%~771%。30 cm 处平均输沙通量表现为葡萄>玉米留茬免耕>玉米翻耕>欧李>果桑。



注:冬季休耕期为 2018 年 11 月中旬至 2019 年 3 月下旬,春季备耕期为 2019 年 3 月下旬至 5 月上旬。

图 6 不同土地利用方式土壤风蚀输沙通量变化特征

3 讨论

3.1 不同土地利用方式土壤含水量及其对土壤风蚀的影响

本研究结果表明,未出现降水事件之前,3 种林果用地和 2 种粮食用地土壤含水量均呈现出随时间增加而下降的趋势。同时葡萄地在入冬前进行了灌溉,其土壤含水量高于果桑和欧李林地。2 月下旬发生降雪事件,不同土地利用方式水分入渗时间和强度表现不同,其中玉米翻耕地有利于水分的入渗,但随着气温的上升土壤含水量下降速度高于玉米留茬免耕地。

不同土地利用方式表层含水量变化不同,进而对土壤风蚀的影响也不同^[4]。在本研究中,不同土地利用方式下土壤含水量与风蚀量的相关关系不同,欧李林地土壤含水量与风蚀量呈极显著负相关关系(相关系数为-0.709, $N=15$),董治宝等^[10]在风沙土水分抗蚀性研究中发现土壤风蚀量随含水量的变化过程具有缓变与陡变区间,在本研究中欧李林地土壤风蚀量随含水量的变化符合这一过程(图 7),但土壤风蚀量缓变与陡变区间所对应的土壤含水量与董治宝等的研究结果不同,这与土壤吸湿水和凋萎湿度不同有关。本研究结果表明,葡萄地、玉米留茬免耕地土壤含水量与风蚀量无显著相关关系(相关系数为 0.322, 0.292, $N=15$),主要是因为土壤风蚀量不仅受含水量的影响,还受到地形地貌、植被覆盖的影响^[4]。葡萄地因下架深埋的原因,产生垄地和洼地的微地形,垄的高度在 20 cm 左右,微地形的变化导致了水分运动、土壤紧实度及风速不同,进而影响土壤的风蚀量^[11]。玉米留茬免耕地因地表有秸秆覆盖,且土壤

没有翻耕,表层土壤紧实度较大,表层土壤含水量不是影响其土壤风蚀的主要因素。

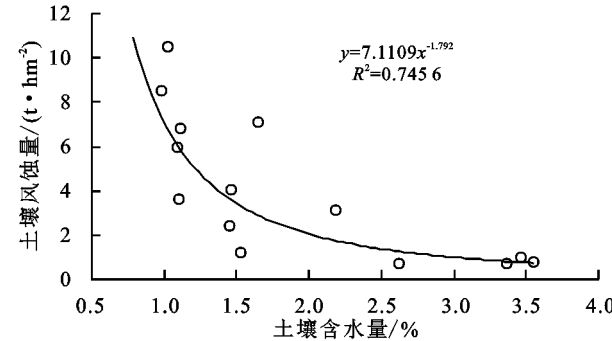


图 7 欧李林地土壤含水量与风蚀量相关关系

3.2 不同土地利用方式表层土壤粒径分布特征及其对土壤风蚀的影响

土壤风蚀过程是可蚀性颗粒的损失和原地表不可蚀性颗粒的聚集过程^[9],该研究区域 5 种土地利用方式经过一个冬春季的大风吹蚀,沙粒含量继续增加,粉粒含量减少。0.05~0.002 mm 的粉粒是该区域风蚀过程中损失的主要颗粒,这一结果与孙传龙等^[12]在锡林郭勒草地的研究结果一致;也有研究^[9,13-16]认为,0.40~0.25 mm 砂粒为易蚀颗粒,且不同地区易蚀颗粒范围存在差别。两者易蚀颗粒粒径范围差异较大的原因是土壤粒径测量方法不同导致。本研究区域表层土壤粒度主要为砂砾,含量达 47%~63%。在 2 种粮食作物用地中,玉米留茬免耕地表层土壤石砾含量大于翻耕地,砂砾、粉粒、黏粒含量均低于翻耕地,究其原因翻耕后将下层土壤带至表层,对细颗粒形成补给所致^[15]。玉米留茬免耕地留茬覆盖及石砾均对土壤细颗粒产生保护作用。在

3 种林果用地中葡萄地表层土壤砂砾含量最高。究其原因是葡萄冬季下架深埋,整个冬春季地表均处于裸露状态,而果桑和欧李林地因有植被生长,一定程度降低风速,减少风力对土壤细颗粒的吹蚀。

3.3 不同土地利用方式下风速、人为活动等因素对土壤风蚀的影响

风速是影响土壤风蚀的主要因素^[17],而临界起沙风速是土壤抗风蚀能力的标志^[18]。不同的土地利用方式通过影响土壤水分含量、覆盖度改变临界起沙风速。在相同风速条件下,土壤含水量越高,覆盖度越大,其临界起沙风速越大,土壤抗风蚀能力越强^[19-20]。在本文中,玉米翻耕地风蚀量是玉米留茬免耕地的 1.32~9.65 倍,作物留茬可相对提高临界起沙风速,截获风蚀颗粒,减轻土地风蚀程度,这与郭慧慧等^[3]在农牧交错带的研究结果一致。3 种林果用地中果桑林地郁闭度最高,对于林带前、林地中风速具有显著降低作用^[21],因此地表风蚀量最小,且对风蚀物存在一定的拦截效果。

土壤风蚀受自然因素和人类活动共同影响^[22],本文中葡萄地因下架深埋对表土产生扰动,土壤风蚀量最大。在春季备耕期,受人为活动影响,5 种土地利用方式土壤风蚀输沙通量显著高于冬季休耕期,其中葡萄地和玉米留茬免耕地土壤风蚀输沙通量受人为活动影响最大。因此在该区域土壤风蚀防治过程中可以采取在葡萄地增加地表覆盖、建立风障等措施,还可以在小尺度上合理调整果桑等林果用地与葡萄地、粮食用地的田间布局,达到降低近地表风速、拦截风沙、降低风蚀的作用。

4 结 论

延怀盆地 5 种土地利用方式在未出现降水事件之前,土壤含水量均随时间增加而下降。表层土壤粒度主要为砂砾,含量达 47%~63%。0.05~0.002 mm 的粉粒是该区域风蚀过程中损失的主要颗粒。在 2018 年 11 月 13 日至 2019 年 3 月 20 日监测期内,5 种土地利用方式中地表风蚀量表现为玉米翻耕地>葡萄>玉米留茬免耕>欧李>果桑。冬季休耕期,5 种土地利用方式距地表 30 cm 输沙通量表现为玉米翻耕地>葡萄>欧李>玉米留茬免耕>果桑,在春季备耕期,5 种土地利用方式距地表 30 cm 输沙通量表现为葡萄>玉米留茬免耕>玉米翻耕>欧李>果桑。

参考文献:

[1] 张燕婷.北方防沙带土地利用格局演变特征及防风固沙功能变化评估研究[D].南昌:江西财经大学,2014.

[2] 何文清,赵彩霞,高旺盛,等.不同土地利用方式下土壤风蚀主要影响因子研究:以内蒙古武川县为例[J].应用生态学报,2005,16(11):2092-2096.

[3] 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):53-57.

[4] 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.

[5] 杨雄兵,马义娟,苏志珠,等.晋西北不同土地利用方式下春季表层土壤水分对风蚀的影响[J].山西农业科学,2019,47(2):230-234,271.

[6] 江凌,肖赓,饶恩明,等.内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响[J].生态学报,2016,36(12):3734-3747.

[7] 郑东旭,张晋国,马文奇.河北省葡萄种植区土壤风蚀防治试验研究[J].中国水土保持,2004(4):17-19.

[8] 杨钦,郭中领,王仁德,等.河北坝上不同土地利用方式对土壤风蚀的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(2):185-189.

[9] 曹月娥,张婷婷,杨建军,等.淮东地区不同土地利用类型土壤粒度特征分析及风蚀量估算[J].新疆大学学报(自然科学版),2017,34(2):140-145.

[10] 董治宝,陈渭南,李振山,等.风沙土水分抗风蚀性研究[J].水土保持通报,1996,16(2):17-22.

[11] 姬生勋.黄泛沙地不同土地利用类型土壤风蚀规律及影响机制:以莘县为例[D].山东 泰安:山东农业大学,2011.

[12] 孙传龙,张卓栋,邱倩倩,等.锡林郭勒草地表层土壤粒度分形特征及其与风蚀的关系[J].中国沙漠,2017,37(5):978-985.

[13] 罗凤敏,高君亮,郝玉光,等.乌兰布和沙漠东北缘 5 种土地利用类型土壤粒度特征[J].水土保持研究,2017,24(5):172-177.

[14] 张辉,李鹏,鲁克新,等.东柳沟流域表土粒度分布特征及可风蚀性研究[J].水土保持学报,2016,30(5):272-285.

[15] 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.

[16] 苑依笑,王仁德,常春平,等.风蚀作用下农田土壤细颗粒的粒度损失特征及其对土壤性质影响[J].水土保持学报,2018,32(2):104-109.

[17] 王仁德,肖登攀,常春平,等.农田风蚀量随风速的变化[J].中国沙漠,2015,35(5):1120-1127.

[18] Г.П.ГЛАЗУНОВ,李荒.临界风速是土壤抗风蚀能力的标志[J].水土保持科技情报,1985(2):17-20,28.

[19] 董治宝,钱广强.关于土壤水分对风蚀起动风速影响研究的现状与问题[J].土壤学报,2007,44(5):934-942.

[20] 李宁,张亦超,岳德鹏,等.不同农垦地下垫面对风蚀起沙风速的影响分析[J].水土保持学报,2012,26(3):269-271,280.

[21] 左忠,潘占兵,张安东,等.干旱风沙区农田防护林网空间风速与地表风蚀特征[J].农业工程学报,2018,34(2):135-141.

[22] 海春兴,付金生,王学萌.气候和人类活动对河北坝上丰宁县土壤风蚀沙化的影响[J].干旱区资源与环境,2003,17(1):69-76.