

# 延怀盆地不同土地利用类型土壤风蚀物特征

李晓娜<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 万秀云<sup>2</sup>, 赵春桥<sup>1</sup>, 张微微<sup>1</sup>, 史瑞双<sup>1</sup>, 樊冉冉<sup>1</sup>, 李翠<sup>1</sup>

(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.河北省怀来县农业农村局, 河北 怀来 075400)

**摘要:**研究延怀盆地典型土地利用类型地表土壤风蚀物分布特征, 可为了解该区域风蚀过程、改善生态环境提供数据支撑。以怀来县为研究对象, 采用野外监测和室内分析相结合的方法, 分析了葡萄、果桑、欧李、玉米免耕、玉米翻耕 5 种土地利用类型在冬季休耕期(上年 11 月一次年 2 月)和春季备耕期(3—5 月)风蚀物质量、粒径及碳氮含量随高度的变化特征。结果表明:(1) 欧李与玉米翻耕地土壤风蚀物质量分数垂向分布遵循幂函数递减规律; 果桑、葡萄与玉米免耕地土壤风蚀物质量分数在监测高度范围内随高度增加无规律性变化。(2) 春季备耕期 5 种土地利用类型输沙通量均高于冬季休耕期。(3) 冬季休耕期 5 种土地利用类型风蚀物的粒径范围集中分布在 500~2  $\mu\text{m}$ ; 春季休耕期 5 种土地利用类型风蚀物的粒径范围集中分布在 250~2  $\mu\text{m}$ 。(4) 5 种土地利用类型冬季休耕期风蚀物碳氮含量高于春季备耕期。风蚀物质量、碳氮含量及粒径的垂直分布受土地利用类型和人为活动的影响, 其中人为活动对输沙通量影响较大, 因此在该区域土壤风蚀防治过程中可以采用构建防风草篱、合理调整土地利用布局的方式, 达到降低近地表风速、拦截风沙的作用。

**关键词:**土地利用; 风蚀; 风蚀物; 土壤

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)01-0014-07

## Characteristics of Wind Erosion Dust Under Different Land Uses of Yanhuai Basin

LI Xiaona<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, WAN Xiuyun<sup>2</sup>, ZHAO Chunqiao<sup>1</sup>, ZHANG Weiwei<sup>1</sup>,  
SHI Ruishuang<sup>1</sup>, FAN Ranran<sup>1</sup>, LI Cui<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Improving our knowledge about the characteristics of wind erosion dust in different land use types is crucial to understand the wind erosion process and provide the data for improvement of ecological environment at the regional scale. In this study, the quantity, particle size, carbon and nitrogen of wind erosion dust were measured in five land use types (fruit mulberry, Chinese dwarfcherry, grape, no-tillage with stubble, ploughed up) during winter fallow (November to next February) and spring preparation period (March to May) in Huailai County. We found that the quality of wind erosion dust in Chinese dwarfcherry and plough treatments decreased with the increase of height, while it showed no unified patterns in fruit mulberry, grape, and no-tillage with stubble treatments. Our results also showed that the sediment flux in spring preparation period was higher than that in the winter fallow period. In addition, the particle size of wind erosion dust ranged from 500~2  $\mu\text{m}$  during winter fallow period, and ranged from 250~2  $\mu\text{m}$  during the spring preparation period. Furthermore, the carbon and nitrogen contents of wind erosion dust during winter fallow period were higher than those during spring preparation period. Wind erosion quality, carbon and nitrogen contents, particle sizes are influenced by the land use types and human activities. It is applicable to reduce near-surface wind speed, intercept wind sand by building grass hedge and adjusting the layout of different land use types.

**Keywords:** land use; wind erosion; wind erosion dust; soil

收稿日期: 2020-12-21

修回日期: 2021-01-15

资助项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项“延怀河谷葡萄种植区土壤风蚀防治技术研究”(KJCX20180405); “京津冀农业生态景观提升关键技术研究示范”(KJCX20180707)

第一作者: 李晓娜(1977—), 女, 山西襄城人, 博士, 副研究员, 主要从事受损生态系统植被恢复重建研究。E-mail: lxn1977@126.com

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是加剧了风蚀过程。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。风蚀为土壤表面碳氮损失的动力之一<sup>[1-2]</sup>,在我国北方,每年因风蚀引起的土壤有机碳、总氮流失量分别为  $7 \times 10^7 \text{ g}$ ,  $4 \times 10^6 \text{ g}$ <sup>[3]</sup>。风蚀还导致土壤中细颗粒损失,进而产生更沙质的土壤结构,伴随土壤细颗粒的损失,进一步造成土壤养分含量及有效性降低<sup>[4]</sup>。细颗粒物损失受土壤性质及地上部植被状态影响<sup>[5]</sup>。近年来,许多学者从不同耕作方式下风蚀物含量及机械组成的垂直分布<sup>[6-9]</sup>,风蚀对土壤质量的影响等方面进行了大量研究,但土壤风蚀物携带的碳氮养分含量,土壤风蚀物粒度组成与地表土壤组成及养分损失的关系等还缺少定量的分析。因此,研究典型土地利用方式地表土壤风蚀物含量、机械组成及碳氮养分的垂直分布规律对于进一步了解风蚀过程,理清该区域土壤贫瘠沙化的原因及机理具有重要意义。

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两大类,冬季休耕期和春季备耕期两个时间段,在 2018—2019 年冬春大风季节,采集距地面不同高度风蚀物,揭示不

同土地利用类型下风蚀物质量、粒径、碳氮含量随高度垂直分布特征。

## 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、涿鹿县和北京市延庆区,位于东经  $116^{\circ}00'$ — $115^{\circ}30'$ ,北纬  $40^{\circ}0'$ — $40^{\circ}30'$ ,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,年积温  $3\ 400^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量  $420\sim 480 \text{ mm}$ ,其土壤类型主要为褐土。盆地的地形和狭管效应,造成了该区域多风和多大风的特殊气候条件,分析该区域 1998—2018 年气候特征,大风日数为 810 d,沙尘暴日数 107 d,浮尘日数 984 d,扬沙日数为 221 d,其中尤以怀来县最为严重,大风日数、沙尘暴日数、浮尘日数、扬沙日数分别占区域内总日数的 60.1%,72.9%,37.6%,41.6% (数据来源:中国气象局)。

### 1.2 观测地点的选择

本文选择土壤风蚀最为严重的怀来县为研究对象,根据怀来县农业用地情况确定观测的土地利用类型为林果用地(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),其中果桑与欧李为怀来县近年引进的新型果树品种。同时为了保证所选择地点风向、风速、气温、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 1。

表 1 各样点地表特征

土地利用类型	种植密度	郁闭度	高度/cm	地表覆盖物	越冬前地表干扰	春季备耕期地表干扰
果桑	100 cm×100 cm	0.80	170	无	无	无
欧李	50 cm×100 cm	0.10	50	无	无	无
葡萄	700 cm×100 cm	0.01	180	无	葡萄下架深埋	葡萄深挖上架
玉米留茬免耕	—	—	—	玉米秸秆(55%)	无	地表秸秆清理
玉米翻耕	—	—	—	无	旋耕	无

注:怀来地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、高度。

### 1.3 观测项目方法

风蚀物采用北京剑灵科技有限公司研制的 BJL-JS18 阶梯式集沙仪进行收集,整个仪器高度为 100 cm,分别在距地面 30 cm,40 cm,50 cm,60 cm,70 cm 处安装 2 个截面积为  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  的集沙筒,集沙筒一端开口(朝风向收集风蚀物),另一端连接布袋。风蚀物在风力作用下,通过集沙筒的进沙通道进入集沙布袋内,布袋采用流线构造,进入布袋内的沙尘靠重力作用沉积。同时在集沙仪上方安装导向器,可以控制集沙仪始终随主风向自由旋转,使集沙仪入口始终正对侵蚀风向。

经过实地调研获知,怀来县玉米收获期在 10 月

下旬,葡萄于 11 月中下旬下架深埋,自 12 月开始农田全面休耕,从次年 3 月开始,玉米地开始清理秸秆,葡萄陆续开始出土上架,故定义该区域上年 12 月—次年 3 月为冬季休耕期,次年 3—5 月为春季备耕期。2018 年 12 月 2 日在所选择地块内安装集沙仪,每个地块安装 3 个集沙仪,集沙仪间隔 60 m,为了避免风蚀物远距离输移对结果的影响,本研究所选土地利用类型面积均在  $3\ 000 \text{ m}^2$  以上,在主风向方向即地块的西侧与北侧均种植有防护林及草篱。2019 年 2 月 28 日收集集沙仪中采集到的风蚀物作为冬季休耕期风蚀物样品;2019 年 4 月 29 日再次收集样品作为春季备耕期风蚀物样品。收集期间对该区域的风速降雨

情况进行监测(表 2)。风蚀物收集回来后将动植物残体挑出并称重,一部分用激光粒度仪(德国麦奇克 S3500)测定粒度,一部分用元素分析仪(德国 Elementar, vario MACRO cube)测定碳氮含量。

在冬季休耕期与春季备耕期观测前(即 2018 年 12 月 2 日与 2019 年 2 月 28 日)对每一观测点 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,用激光粒度仪(德国麦奇克 S3500)测定粒度。

表 2 观测期内风速及降雨情况

时间	10 m	10 m	最大风速 >	降水量/ mm
	平均风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	最大风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	13 m/s 天数/d	
2018.11.13—2018.12.13	3.5	22.6	17	0.0
2018.12.14—2019.1.15	3.6	26.8	18	0.0
2019.1.16—2019.2.24	4.0	25.0	23	3.8(2月22日降雪)
2019.2.25—2019.3.20	3.5	24.2	10	0.0
2019.3.21—2019.4.22	4.2	28.6	25	4.4(降雨)
2019.4.23—2019.5.15	4.3	29.8	20	0.0

#### 1.4 富集比计算

采用富集比来表达风蚀物粒径、碳氮含量与地表土壤颗粒组成及养分损失的关系,计算公式如下:

$$\text{不同粒径颗粒富集比} = \frac{PZ_1}{PZ_0} \quad (1)$$

$$\text{碳富集比} = \frac{C_1}{C_0} \quad (2)$$

$$\text{氮富集比} = \frac{N_1}{N_0} \quad (3)$$

式中:  $PZ_1$  为风蚀物中某一粒径颗粒物含量(%);  $PZ_0$  为表层土壤中某一粒径颗粒物含量(%);  $C_1$  为风蚀物中

碳含量(%);  $C_0$  为表层土壤中碳含量(%);  $N_1$  为风蚀物中氮含量(%);  $N_0$  表层土壤中氮含量(%).

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用类型风蚀物质量分数及输沙通量沿高度的变化

图 1 为自然风条件下,不同土地利用类型土壤风蚀物在冬季休耕期和春季备耕期随高度的变化。可以看出,在冬季休耕期,欧李与玉米翻耕地土壤风蚀物质量分数均呈现随高度增加而减少的趋势。其中在距地表 30 cm 采集到的风蚀物占总采集量的 30% 以上;距地表 40 cm 采集到的风蚀物占总采集量的 20% 以上;果桑、葡萄与玉米免耕地土壤风蚀物质量分数随高度的变化则无明显规律可循,果桑林地距地表 60 cm 采集到的风蚀物质量最高,占总采集量的 22%,葡萄地则表现为距地表 40 cm 采集的风蚀物质量最高,占总采集量的 23%,玉米免耕地亦表现为距地表 40 cm 采集的风蚀物质量最高,占总采集量的 22%。

在春季备耕期,欧李、玉米翻耕地土壤风蚀物质量分数仍然表现为随高度增加而减少的趋势;葡萄、玉米免耕地土壤风蚀物质量分数随高度变化与冬季休耕期不同,受人为活动影响,土壤风蚀物质量分数表现为随高度增加而减少的趋势。果桑林地距地表 30 cm 采集到的风蚀物质量最高,占总采集量的 22%,但土壤风蚀物质量分数随高度增加并无规律性变化。初步说明在无人为扰动时期,土壤风蚀物质量随高度的变化与下垫面地势起伏有关。在春季备耕期人为扰动促进了近地表的风沙活动。

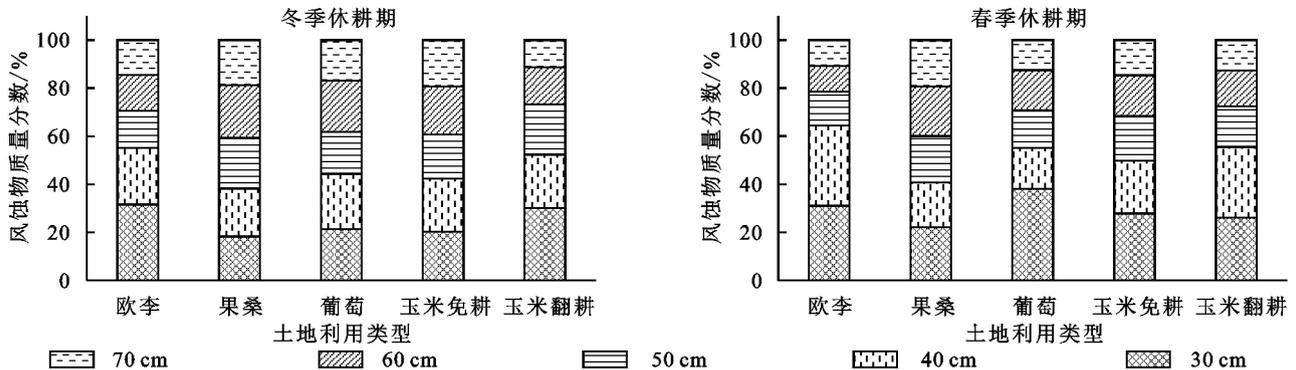


图 1 不同土地利用类型各高度风蚀物质量分数

比较两个时期不同土地利用类型输沙通量(图 2)。结果表明在冬季休耕期,5 种土地利用类型输沙通量表现为玉米翻耕地 > 葡萄 > 果桑 > 玉米留茬免耕 > 欧李;在春季备耕期,5 种土地利用类型输沙通量表现为葡萄 > 玉米留茬免耕 > 玉米翻耕 > 欧李 > 果桑;受人为扰动和大风天气的双重影响,春季备耕期各土地利用类型输沙通量较冬季休耕期有所增加,增加幅度为 55% ~

388%,其中葡萄增加幅度最大,春季备耕期葡萄地输沙通量为冬季休耕期的 4.88 倍。

### 2.2 不同土地利用类型风蚀物粒径分析

表 3 为不同土地利用类型在冬季休耕期与春季备耕期风蚀物的粒径垂直分布特征。可以看出,在冬季休耕期 5 种土地利用类型风蚀物的粒径范围均在 0~2 000  $\mu\text{m}$ ,集中分布在 500~2  $\mu\text{m}$ ,占到总量的

85%以上;春季休耕期 5 种土地利用类型风蚀物的粒径范围均在 0~1 000  $\mu\text{m}$ ,集中分布在 250~2  $\mu\text{m}$ ,

占到总量的 90%以上;在冬季休耕期 5 种土地利用类型平均粒径均大于春季备耕期。

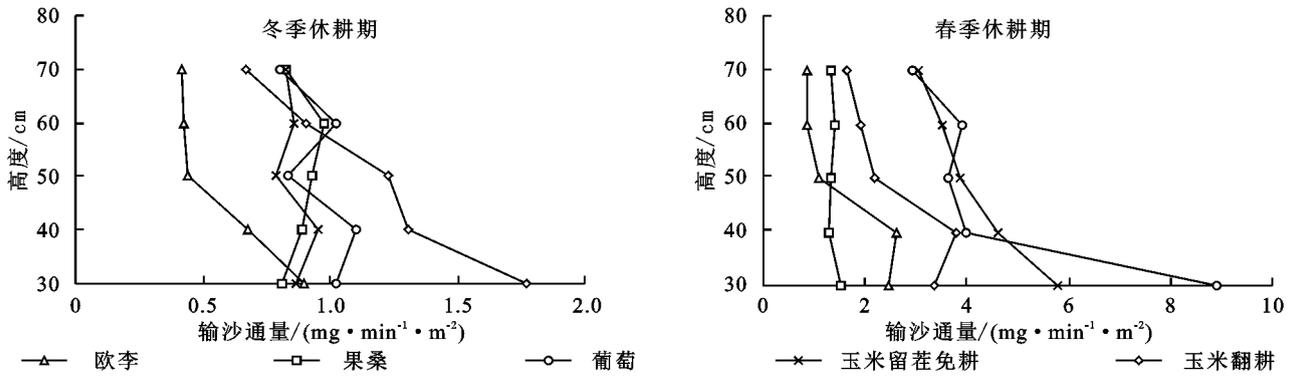


图 2 不同土地利用类型各高度输沙通量变化

表 4 为不同土地利用类型在冬季休耕期与春季备耕期风蚀物富集特征。可以看出,在冬季休耕期,5 种土地利用类型不同高度土壤风蚀物种 250~100  $\mu\text{m}$  颗粒均产生富集,其中玉米免耕地富集比最高,葡萄地次之,玉米翻耕地最低;除欧李外,其他 4 种土地利用类型不同高度土壤风蚀物中 500~250  $\mu\text{m}$  颗粒亦产生富集;玉米翻耕地不同高度土壤风蚀物中 50~2  $\mu\text{m}$  颗粒产生富集。欧李林地土壤风蚀物中 500~250  $\mu\text{m}$  颗粒富集比随高度增加呈现下降趋势,50~2  $\mu\text{m}$  细颗粒富集比随高度增加而增加;

其他土地利用类型土壤风蚀物颗粒组成随高度无规律性变化。

在春季备耕期,葡萄、玉米免耕、玉米翻耕地不同高度土壤风蚀物 250~2  $\mu\text{m}$  颗粒产生富集;欧李林地不同高度土壤风蚀物 250~50  $\mu\text{m}$  颗粒产生富集;果桑林地不同高度土壤风蚀物 100~2  $\mu\text{m}$  颗粒产生富集。葡萄、玉米免耕、玉米翻耕地土壤风蚀物中 250~100  $\mu\text{m}$  颗粒随高度增加而减少;葡萄地 100~50  $\mu\text{m}$  颗粒随高度增加而增加;玉米免耕与玉米翻耕地 50~2  $\mu\text{m}$  颗粒随高度增加而增加。

表 3 不同土地利用类型风蚀物粒径分布特征

土地利用类型	高度/cm	冬季休耕期					春季备耕期					%	
		2000~1000 $\mu\text{m}$	1000~500 $\mu\text{m}$	500~250 $\mu\text{m}$	250~100 $\mu\text{m}$	100~50 $\mu\text{m}$	50~2 $\mu\text{m}$	2000~1000 $\mu\text{m}$	1000~500 $\mu\text{m}$	500~250 $\mu\text{m}$	250~100 $\mu\text{m}$		100~50 $\mu\text{m}$
欧李	70	4.36	4.80	11.22	22.38	23.11	34.14	0.45	7.29	19.48	41.52	31.26	0.00
	60	0.73	0.84	16.31	28.28	25.06	28.78	0.00	3.79	18.63	43.51	34.07	0.00
	50	0.41	1.94	16.67	32.49	26.19	22.32	0.22	7.45	21.50	40.69	30.15	0.00
	40	2.68	6.84	17.59	30.32	20.82	21.76	0.39	10.58	15.99	39.12	33.93	0.00
	30	2.68	2.17	21.61	28.24	18.33	26.97	0.12	9.77	18.72	41.34	30.07	0.00
果桑	70	0.77	5.95	19.82	29.93	18.35	25.19	0.00	3.37	13.80	40.77	42.07	0.00
	60	0.73	9.70	24.44	33.67	16.68	14.79	0.00	0.41	13.09	47.46	39.04	0.00
	50	0.38	7.07	16.49	29.53	20.78	25.76	0.00	5.50	14.90	41.41	38.20	0.00
	40	1.15	10.79	17.85	25.86	18.70	25.66	0.00	7.10	18.65	40.52	33.74	0.00
	30	1.45	10.83	30.55	30.16	13.31	13.71	0.58	8.43	16.05	38.41	36.54	0.00
葡萄	70	0.87	3.69	23.30	26.29	15.27	30.58	0.00	0.00	16.15	50.10	33.75	0.00
	60	0.42	5.39	30.20	39.16	10.63	14.21	0.00	0.59	17.06	46.04	36.32	0.00
	50	1.31	1.04	30.18	38.91	10.48	18.09	0.00	3.50	18.18	39.38	38.95	0.00
	40	1.85	6.89	22.78	31.86	14.39	22.25	0.00	6.24	21.66	33.74	38.37	0.00
	30	0.21	11.05	30.10	36.35	12.63	9.68	0.00	0.60	21.92	41.72	35.76	0.00
玉米免耕	70	1.84	12.38	25.83	32.32	14.54	13.09	0.00	0.46	8.76	39.91	50.66	0.22
	60	2.72	12.19	28.92	30.79	12.45	12.95	0.06	3.26	10.60	41.39	44.70	0.00
	50	4.22	16.18	27.53	25.42	12.21	14.46	0.00	2.83	10.55	40.77	45.62	0.24
	40	0.85	1.27	26.04	29.30	17.99	24.55	0.00	5.65	10.90	38.18	45.22	0.07
	30	1.97	5.80	24.30	28.50	16.87	22.57	0.24	9.27	13.03	37.35	40.12	0.00
玉米翻耕	70	0.92	2.63	18.48	28.03	20.41	29.55	0.00	0.06	11.10	44.93	43.92	0.00
	60	0.90	4.63	11.79	25.96	25.81	30.92	0.00	0.38	11.82	44.55	43.26	0.00
	50	0.00	0.16	14.63	29.60	26.08	29.53	0.00	0.34	13.04	45.49	41.14	0.00
	40	0.00	0.24	15.03	25.65	26.33	32.75	0.00	1.65	13.70	46.67	37.98	0.00
	30	0.00	0.19	24.15	26.11	21.80	27.77	0.00	1.66	14.93	45.72	37.70	0.00

表 4 不同土地利用类型风蚀物粒径富集比

土地利用类型	高度/ cm	冬季休耕期						春季备耕期				
		2000~1000 $\mu\text{m}$	1000~500 $\mu\text{m}$	500~250 $\mu\text{m}$	250~100 $\mu\text{m}$	100~50 $\mu\text{m}$	50~2 $\mu\text{m}$	1000~500 $\mu\text{m}$	500~250 $\mu\text{m}$	250~100 $\mu\text{m}$	100~50 $\mu\text{m}$	50~2 $\mu\text{m}$
欧李	70	0.41	0.62	0.82	1.68	0.96	1.12	0.06	0.53	1.46	1.72	1.03
	60	0.07	0.11	1.20	2.12	1.04	0.94	0.00	0.28	1.40	1.80	1.12
	50	0.04	0.25	1.22	2.44	1.08	0.73	0.03	0.55	1.61	1.68	0.99
	40	0.25	0.89	1.29	2.28	0.86	0.71	0.05	0.78	1.20	1.62	1.11
	30	0.25	0.28	1.58	2.12	0.76	0.88	0.02	0.72	1.40	1.71	0.99
	总富集比	0.21	0.44	1.29	2.14	0.90	0.86	0.03	0.65	1.37	1.69	1.05
果桑	70	0.06	0.93	1.38	1.97	0.75	0.94	0.00	0.23	0.91	1.68	1.57
	60	0.06	1.51	1.70	2.21	0.69	0.55	0.00	0.03	0.86	1.95	1.45
	50	0.03	1.10	1.15	1.94	0.85	0.96	0.00	0.38	0.98	1.70	1.42
	40	0.09	1.68	1.24	1.70	0.77	0.96	0.00	0.49	1.23	1.66	1.26
	30	0.11	1.69	2.12	1.98	0.55	0.51	0.09	0.59	1.06	1.58	1.36
	总富集比	0.07	1.38	1.51	1.97	0.72	0.78	0.02	0.35	1.00	1.71	1.41
葡萄	70	0.05	0.51	1.35	2.13	0.73	1.22	0.00	0.00	1.31	2.39	1.35
	60	0.02	0.75	1.74	3.18	0.51	0.57	0.00	0.03	1.38	2.20	1.45
	50	0.08	0.14	1.74	3.16	0.50	0.72	0.00	0.20	1.48	1.88	1.55
	40	0.11	0.96	1.32	2.59	0.69	0.89	0.00	0.36	1.76	1.61	1.53
	30	0.01	1.53	1.74	2.95	0.60	0.39	0.00	0.03	1.78	1.99	1.43
	总富集比	0.05	0.82	1.58	2.81	0.61	0.74	0.00	0.11	1.60	2.00	1.46
玉米免耕	70	0.06	1.00	2.33	4.44	0.84	0.57	0.00	0.04	1.20	2.31	2.21
	60	0.09	0.99	2.61	4.23	0.72	0.56	0.00	0.29	1.46	2.40	1.95
	50	0.14	1.31	2.48	3.49	0.71	0.63	0.00	0.26	1.45	2.36	1.99
	40	0.03	0.10	2.35	4.03	1.04	1.07	0.00	0.51	1.50	2.21	1.97
	30	0.07	0.47	2.19	3.92	0.98	0.98	0.02	0.84	1.79	2.16	1.75
	总富集比	0.08	0.75	2.39	4.03	0.87	0.77	0.01	0.45	1.52	2.27	1.94
玉米翻耕	70	0.04	0.97	1.63	1.87	0.85	1.17	0.00	0.01	0.74	1.86	1.73
	60	0.04	1.71	1.04	1.73	1.07	1.22	0.00	0.03	0.79	1.85	1.71
	50	0.00	0.06	1.29	1.97	1.08	1.17	0.00	0.03	0.87	1.88	1.62
	40	0.00	0.09	1.32	1.71	1.09	1.29	0.00	0.15	0.91	1.93	1.50
	30	0.00	0.07	2.13	1.74	0.90	1.10	0.00	0.15	1.00	1.89	1.49
	总富集比	0.01	0.43	1.55	1.79	1.00	1.18	0.00	0.09	0.89	1.89	1.58

### 2.3 不同土地利用类型风蚀物碳氮含量分析

表 5 为不同土地利用类型风蚀物碳氮含量特征。可以看出 5 种土地利用类型在冬季休耕期风蚀物碳氮含量均高于春季备耕期。冬季休耕期风蚀物氮含量为春季备耕期风蚀物氮含量的 1.4~5.5 倍,碳含量为春季备耕期风蚀物碳含量的 2.1~6.8 倍。欧李林地在冬季休耕期距地面 60 cm 处收集到的风蚀物碳氮含量均为最高,与距地面 30 cm 处风蚀物碳氮含量相比,增加幅度分别达 56.0%,70.6%,在春季备耕期风蚀物碳氮含量则表现为随着高度增加而增加的趋势。果桑林地在冬季休耕期距地面 30 cm 处收集到的风蚀物碳氮含量均为最高,与其他高度相比增加幅度分别达 4.9%~12.1%,12.5%~28.8%。在春季备耕期风蚀物氮含量表现为随着高度增加而减少的趋势,而碳含量随高度增加无规律性变化。葡萄地在冬季休耕期距地面 60 cm 处收集到的风蚀物碳氮含量最高,为距地面 70 cm 处风蚀

物碳氮含量的 1.1 倍和 1.3 倍。在春季备耕期风蚀物碳氮含量随高度增加无规律性变化。玉米免耕地在冬季休耕期距地面 70 cm 处收集到的风蚀物总氮含量最高,为距地面 30 cm 处风蚀物氮含量的 1.7 倍,距地面 50 cm 处风蚀物总碳含量最高,为距地面 30 cm 处风蚀物碳含量的 1.4 倍,在春季备耕期风蚀物总碳氮含量随高度增加无变化。玉米翻耕地在冬季休耕期距地面 60 cm 处收集到的风蚀物总碳氮含量均为最高,为距地面 30 cm 处风蚀物碳氮含量的 1.7 倍和 2.0 倍,在春季备耕期风蚀物总碳氮含量随高度增加无变化。

5 种土地利用类型土壤风蚀物碳氮均发生富集,冬季休耕期氮的富集比达 9 以上,玉米免耕地氮富集比最高,葡萄地次之,玉米翻耕地最低;碳的富集比亦表现为玉米免耕地最高。春季备耕期碳氮的富集比均低于冬季休耕期,果桑林地碳氮富集比均为最高,葡萄地碳氮富集比最低。

表 5 不同土地利用类型风蚀物碳氮含量特征

土地利用类型	高度/ cm	氮				碳			
		冬季休耕期		春季备耕期		冬季休耕期		春季备耕期	
		含量/%	富集比	含量/%	富集比	含量/%	富集比	含量/%	富集比
欧李	70	0.92	13.72	0.52	7.75	12.15	7.25	5.18	3.09
	60	1.01	15.11	0.49	7.28	12.76	7.61	5.40	3.22
	50	0.78	11.66	0.46	6.81	12.11	7.22	4.93	2.94
	40	0.52	7.76	0.36	5.37	9.23	5.50	4.66	2.78
	30	0.59	8.86	0.25	3.66	8.18	4.88	3.77	2.25
	总	0.71	10.67	0.37	5.50	10.29	6.14	4.56	2.72
果桑	70	1.05	15.93	0.35	5.23	14.25	8.88	5.38	3.35
	60	1.06	15.98	0.36	5.41	14.72	9.17	5.15	3.21
	50	0.95	14.41	0.38	5.79	13.71	8.54	5.27	3.28
	40	0.92	13.97	0.39	5.90	13.77	8.58	5.53	3.45
	30	1.19	17.98	0.40	6.05	15.44	9.62	5.28	3.29
	总	1.03	15.60	0.38	5.68	14.36	8.95	5.32	3.31
葡萄	70	0.78	15.48	0.24	4.65	11.57	7.93	3.22	2.21
	60	0.98	19.48	0.21	4.14	12.83	8.80	3.05	2.09
	50	0.98	19.34	0.20	3.92	12.14	8.33	2.89	1.98
	40	0.93	18.38	0.21	4.12	11.35	7.78	2.85	1.95
	30	0.92	18.19	0.17	3.31	11.64	7.98	2.45	1.68
	总	0.92	18.25	0.19	3.85	11.90	8.16	2.78	1.91
玉米免耕	70	1.51	25.31	0.30	5.04	16.91	11.21	3.88	2.57
	60	1.02	17.16	0.30	5.03	16.21	10.75	3.84	2.55
	50	1.23	20.64	0.28	4.69	17.63	11.69	3.70	2.46
	40	1.27	21.28	0.28	4.69	15.48	10.27	3.76	2.49
	30	0.91	15.22	0.27	4.55	13.04	8.65	3.68	2.44
	总	1.18	19.89	0.28	4.76	15.80	10.48	3.76	2.49
玉米翻耕	70	0.78	13.08	0.28	4.69	10.76	7.41	3.46	2.39
	60	0.79	13.21	0.28	4.69	11.93	8.21	3.32	2.29
	50	0.48	8.11	0.27	4.57	8.43	5.81	3.26	2.25
	40	0.56	9.46	0.22	3.71	7.79	5.36	3.06	2.11
	30	0.39	6.54	0.23	3.82	6.43	4.43	3.16	2.18
	总	0.55	9.29	0.25	4.16	8.49	5.85	3.21	2.21

### 3 讨论

#### 3.1 土地利用类型、采集时期以及表层土壤特征对土壤风蚀物的影响

风蚀物质量、碳氮及粒径的垂直分布受耕作类型、采集时期的影响<sup>[6]</sup>。本文研究表明,5种土地利用类型土壤风蚀物质量分数随高度的变化不同。欧李与玉米翻耕地土壤风蚀物质量分数随高度增加而减少,垂向分布遵循幂函数递减规律,这与前人在彰武、河北坝上等农田的研究结果一致<sup>[8-12]</sup>。但是果桑、葡萄与玉米免耕地土壤风蚀物质量分数在监测高度范围内随高度增加无规律性变化。葡萄与玉米免耕地风蚀物质量分数最高点在距地面40 cm处,这与王珊等在宁夏埋土防寒区研究结果不同<sup>[13]</sup>。玉米免耕地土壤风蚀物质量随高度变化呈现随机性特征,这

与陈智等在农牧交错带农田的研究结果相同<sup>[7]</sup>。影响土壤风蚀的因素有很多,除了风力和干旱等自然因素外,人为植被破坏、表土破坏等造成表土松散也是引起风蚀的重要原因<sup>[14-15]</sup>。本研究中春季备耕期5种土地利用类型输沙通量较冬季休耕期均有所增加,最高增加幅度达388%。这与该时段内风速大、大风天数多(表2)、人为扰动频繁有关。

风蚀物颗粒体的起跳速度和跃移轨迹受下垫面粗糙度、风速、人为干扰等因素的影响,表现出不同的规律性,本研究中春季备耕期风蚀物平均粒径小于冬季备耕期,与春季备耕期人为扰动将下层土壤带至表层,对细颗粒形成补给有关。Chepil研究认为颗粒小于420 μm者为高度可蚀因子<sup>[16-17]</sup>,本研究两个监测时期内风蚀物粒径范围集中分布在500~2 μm,与其研究结果相符。同时表层土壤的粒度组成影响风力

作用下土壤颗粒的释放、输送和沉降<sup>[18]</sup>。本研究对表层土壤粒度组成和风蚀物粒度组成进行了相关性分析,发现表层土壤 500~2 μm 粒度含量与距地面高度 50 cm,60 cm 处风蚀物 500~2 μm 粒度含量呈极显著正相关关系(距地面 50 cm 处: $r=0.788, N=9$ ;距地表 60 cm 处: $r=0.896, N=9$ ),与距地面高度 30 cm,40 cm,70 cm 处风蚀物 500~2 μm 粒度含量无显著正相关关系。说明在该区域距地面 50—60 cm 高度风蚀物粒度组成受地表土壤粒度组成的影响。

本研究结果表明,在冬季休耕期,玉米免耕、玉米翻耕地风蚀物碳氮含量在 0—70 cm 内基本遵循随高度增加而增加的规律,葡萄与欧李风蚀物碳氮含量在 0—60 cm 遵循随高度增加而增加的规律。在春季备耕期,玉米免耕、玉米翻耕、葡萄、欧李 4 种土地利用类型风蚀物碳氮含量在 0—70 cm 内均遵循随高度增加而增加的规律。这一结果与李晓丽、陈健等研究结果一致<sup>[10,19]</sup>。果桑林地冬季休耕期和春季备耕期风蚀物碳氮含量随高度增加无规律性变化,这可能与果桑枝条空间分布对气流的拦截、抬升作用使风蚀物的运动轨迹发生了改变<sup>[20]</sup>。

### 3.2 土壤风蚀物通量、粒度组成与碳氮富集的关系

对土壤风蚀物通量、粒度组成与碳氮含量进行相关性分析,发现在冬季休耕期,土壤风蚀物通量与粒度组成、碳氮富集比之间无显著相关关系。但土壤风蚀物粒度组成与碳氮富集比存在显著相关关系,其中氮富集比与 500~100 μm 颗粒存在显著正相关关系(500~250 μm: $r=0.491, N=25, p<0.05$ ;250~100 μm: $r=0.696, N=25, p<0.01$ ),表明随着土壤风蚀物中 500~100 μm 颗粒的增加,氮的富集程度增加;氮富集比与 100~2 μm 颗粒存在显著负相关关系(100~50 μm: $r=-0.466, N=25, p<0.05$ ;50~2 μm: $r=0.510, N=25, p<0.01$ ),表明,随着土壤风蚀物中 100~2 μm 颗粒的增加,氮的富集程度降低。风蚀物中碳富集比与 1 000~100 μm 颗粒存在显著正相关关系(1 000~500 μm: $r=0.485, N=25, p<0.05$ ;500~250 μm: $r=0.546, N=25, p<0.01$ ;250~100 μm: $r=0.657, N=25, p<0.01$ ),表明随着土壤风蚀物中 1 000~100 μm 颗粒的增加,碳的富集程度增加;碳富集比与风蚀物中 50~2 μm 颗粒存在负相关关系( $r=-0.480, N=25, p<0.05$ ),表明随着土壤风蚀物中 50~2 μm 颗粒的增加,碳的富集程度降低。

在春季休耕期,土壤风蚀物通量与粒度组成存在显著相关关系,其中 100~2 μm 颗粒富集比与风蚀物通量存在显著相关关系(100~50 μm: $r=0.739,$

$N=25, p<0.01$ ;50~2 μm: $r=0.475, N=25, p<0.05$ ),表明随着土壤风蚀物通量增加,100~2 μm 颗粒富集程度增加;风蚀物中碳氮富集比与粒度组成无显著相关关系。

研究资料表明,土壤风蚀具有时距效应,即粉尘的释放通量会随着风蚀时间的增加而减少<sup>[21-22]</sup>。风蚀物中碳氮亦具有时距效应,本研究中冬季休耕期风蚀物碳氮含量高于春季备耕期,说明碳氮含量较高的颗粒最先被大风吹蚀,在风蚀物中富集,之后随着风蚀时间的持续,表层土壤富含碳氮的可蚀颗粒减少。

## 4 结论

(1) 5 种土地利用类型土壤风蚀物质量分数随高度的变化不同,其中欧李与玉米翻耕地土壤风蚀物在监测范围内垂向分布遵循幂函数递减规律,果桑、葡萄与玉米免耕地土壤风蚀物质量分数随高度增加无规律性变化。

(2) 春季备耕期 5 种土地利用类型输沙通量均高于冬季休耕期,冬季休耕期 5 种土地利用类型输沙通量表现为玉米翻耕地>葡萄>果桑>玉米留茬免耕>欧李;春季备耕期输沙通量表现为葡萄>玉米留茬免耕>玉米翻耕>欧李>果桑。

(3) 研究区域 500~2 μm 粒径土壤颗粒为易蚀颗粒,距地面 50 cm,60 cm 风蚀物 500~2 μm 颗粒受地表土壤 500~2 μm 颗粒含量影响。

(4) 5 种土地利用类型冬季休耕期风蚀物氮含量为春季备耕期风蚀物氮含量的 1.4~5.5 倍,碳含量为春季备耕期风蚀物碳含量的 2.1~6.8 倍。

### 参考文献:

- [1] 朱孟郡,严平,宋阳,等.风蚀作用下农田土壤碳损失的估算[J].水土保持研究,2008,15(1):226-228,231.
- [2] 连杰,赵学勇,王少昆,等.科尔沁沙地风蚀作用对土壤碳、氮分布的影响[J].生态学杂志,2013,32(3):529-535.
- [3] 赵海鹏,宋宏权,刘鹏飞,等.1980—2015 年风蚀影响下中国北方土壤有机质与养分流失时空特征[J].地理研究,2019,38(11):2778-2789.
- [4] 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):104-109,119.
- [5] 邱云霄,黎燕武,余新晓,等.秸秆覆盖对农田土壤风蚀及细颗粒物释放的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):131-136,144.
- [6] 哈斯.河北坝上高原土壤风蚀物垂直分布的初步研究[J].中国沙漠,1997,17(1):9-14.
- [7] 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.

- 壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):3-5.
- [2] 赵明松,李德成,张甘霖.1980—2010年安徽省土壤侵蚀动态演变及预测[J].土壤,2016,48(3):588-596.
- [3] 张永勤.武夷山山地土壤可蚀性 K 值的垂直分异及成因分析[J].亚热带水土保持,2012,24(3):19-22.
- [4] 梁音,史学正.长江以南东部丘陵山区土壤可蚀性 K 值研究[J].水土保持研究,1999,6(2):3-5.
- [5] 张科利,蔡永明,刘宝元,等.黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究[J].生态学报,2001,21(10):1687-1695.
- [6] Bouyoucos G J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion[J]. Journal of American Society of Agronomy, 1935,27(9):738-741.
- [7] Middleton H E. Properties of soils which influence soil erosion[J]. Usdsa. Technical Bulletin, 1930,178(16):119-121.
- [8] Wischmeier W H, Mannering J V. Relation of soil properties to its erodibility[J]. Soil Society of American Proceeding, 1969,33(1):131-137.
- [9] 魏慧,赵文武,王晶.土壤可蚀性研究述评[J].应用生态学报,2017,28(8):2749-2759.
- [10] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1983,38(5):381-383.
- [11] Kiani F, Ghezelseflo A. Evaluation of soil erodibility factor(k) for loess derived landforms of Kechik watershed in Golestan Province, North of Iran[J]. Journal of Mountain Science,2016,13(011):2028-2035.
- [12] Saygin S, Basaran M, Ozcan A, et al. Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2011,180(2):201-215.
- [13] 杨玉盛,何宗明,陈光水,等.不同生物治理措施对赤红壤抗蚀性影响的研究[J].土壤学报,1999,36(04):528-535.
- [14] 朱显谟.黄土区的土壤分布规律[J].科学通报,1957,8(15):477-478.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
- [16] 陈健飞.武夷山土壤分类参比[J].土壤,1999,42(3):3-5.
- [17] 叶宏萌,李国平,郑茂钟,等.武夷山茶园土壤汞、镉和砷形态及茶叶有效性特征[J].热带作物学报,2016,37(11):2094-2099.
- [18] 朱平.我国茶叶出口贸易现状及策略研究[J].福建茶叶,2020,42(9):50-51.
- [19] 尧水根.中国十大名茶渊源考略[J].农业考古,2011,31(5):306-311,320.
- [20] 龚溪.基于土地利用变化情景的武夷山市生态系统服务评估[D].南京:南京信息工程大学,2017.
- [21] 朱鹤健.福建土壤与土地资源研究[M].北京:农业出版社,1994:36-43.

(上接第 20 页)

- [8] 赵宏亮,侯立白,王萍,等.彰武农田土壤风蚀物垂直分布规律的研究[J].水土保持研究,2006,13(2):150-152.
- [9] 王仁德,邹学勇,吴晓旭,等.半湿润区农田风蚀物垂直分布特征[J].水土保持学报,2009,23(5):39-43.
- [10] 陈健,彭乾,常春平,等.旱作大田块风蚀物中有机质变化特征研究[J].河南农业科学,2011,40(8):120-124.
- [11] 冷艳杰,赵相军,刘铁军,等.黑土地土壤风蚀特征参数及风蚀物分布规律研究[J].安徽农业科学,2013,41(33):12987-12990.
- [12] 邹春霞,申向东,李彰俊.阴山北麓农牧交错带裸露耕地土壤风蚀物垂直分布规律[J].农业工程学报,2010,26(1):123-128.
- [13] 王珊,李华,王华.埋土防寒区葡萄冬剪后挂枝的防风效果[J].农业工程学报,2015,31(12):206-212.
- [14] 陈渠昌,江培福,雷廷武,等.利用 PAM 防治松散扰动沙土风蚀效果的风洞试验研究[J].农业工程学报,2006,22(10):7-11.
- [15] 丁肇龙,汪君,胥鹏海,等.基于<sup>137</sup>Cs 的新疆准东地区不同土地利用类型土壤风蚀特征研究[J].土壤,2018,50(2):398-403.
- [16] Chepil W S. Dynamics of wind erosion: Initiation of soil movement by wind I [J]. Soil Structure. Soil Science, 1952,75:473-483.
- [17] 董治宝,李振山.风成沙粒度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):1-5,12.
- [18] 孙传龙,张卓栋,邱倩倩,等.锡林格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.
- [19] 李晓丽,申向东,苏雅,等.裸露耕地土壤风蚀物化学组分的分布特征[J].农业工程学报,2012,28(5):114-119.
- [20] 许明静,吕萍,肖南,等.毛乌素沙地西北部植被覆盖对沙丘移动的影响[J].中国沙漠,2020,40(4):71-80.
- [21] Liu L Y, Shi P J, Zou X Y, et al. Short-term dynamics of wind erosion of three newly cultivated grass soils in Northern China[J]. Geoderma, 2003,115(1):55-64.
- [22] 张春来,董光荣,董治宝,等.用风洞试验方法计算土壤风蚀量的时距问题[J].中国沙漠,1996,16(2):200-203.