

王仁德,安晨宇,苑依笑,等.不同时间尺度下农田土壤风蚀可蚀性的变化[J].中国沙漠,2021,41(5):202–209.

# 不同时间尺度下农田土壤风蚀可蚀性的变化

王仁德<sup>1</sup>,安晨宇<sup>2</sup>,苑依笑<sup>3</sup>,张春来<sup>3</sup>,李庆<sup>1</sup>,

查慧敏<sup>1</sup>,常春平<sup>2</sup>,郭中领<sup>2</sup>

(1.河北省科学院地理科学研究所 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心,河北 石家庄 050011; 2.河北师范大学 资源与环境科学学院/河北省环境演变与生态建设省级重点实验室,河北 石家庄 050024; 3.北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室/防沙治沙教育部工程研究中心,北京 100875)

**摘要:** 土壤风蚀可蚀性(简称土壤可蚀性)作为风蚀模型的必要输入参数之一,会随风蚀事件过程、耕作措施以及气象气候等因素发生显著变化,但目前对其变化趋势尚认识不足。本文采用野外观测、采样分析与空间换时间的方法,就次风蚀事件、风蚀月、风蚀季、多年4个时间尺度下坝上地区农田土壤可蚀性变化问题进行研究。结果表明:严重风蚀事件过程中,地表土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的含量明显降低,临界起沙摩阻风速明显升高,输沙率明显减弱,三者均显示土壤可蚀性出现明显降低的趋势。风蚀月、风蚀季和多年3个时间尺度下,农田特别是翻耕农田土壤可蚀性均呈下降的趋势,并且时间尺度越长,土壤可蚀性的下降幅度越大。强烈的风蚀搬运作用可能是造成各时间尺度下坝上地区农田土壤可蚀性普遍下降的主因。为了降低坝上地区农田风蚀的危害,应减少新农田的开垦并尽量避免在风蚀事件高发期进行农田翻耕。

**关键词:** 土壤风蚀可蚀性; 临界起沙摩阻风速; 输沙率; 时间尺度; 农田

**文章编号:** 1000-694X(2021)05-202-08

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00078

**中图分类号:** X169

**文献标志码:** A

## 0 引言

风蚀是土壤侵蚀的主要类型之一,是中国北方干旱、半干旱地区土地沙化退化与风沙灾害频发的主要驱动力<sup>[1]</sup>。土壤风蚀强弱与土壤风蚀可蚀性(简称土壤可蚀性)密切相关<sup>[2]</sup>。土壤可蚀性指风蚀过程中土壤对于风力引起的剥离和搬运的敏感程度,它是风蚀机理研究的重要内容,也是风蚀模型的必要输入参数之一<sup>[3-4]</sup>。土壤可蚀性是一个综合的概念,受到土壤质地、有机质含量、碳酸钙含量、土壤含水率、土壤结皮等多种土壤理化性质的影响,可用土壤团聚体粒径分布、团聚体稳定性、临界摩阻风速、输沙率等指标表征<sup>[5]</sup>。土壤可蚀性会随风蚀事件过程、耕作措施以及气象气候等因素发生显著变化<sup>[3,6-8]</sup>,但当前国内外同行在一次风蚀事件或日、月、年风蚀量计算中,一般将土壤可蚀性按平均状态处理,这是造成现有土壤风蚀模型预测精度

不高的重要原因<sup>[9-10]</sup>。

近年来,由于过程化土壤风蚀模型建设的需要,有关土壤可蚀性变化的研究逐渐增多。风蚀事件中,跃移颗粒对地表的冲击打磨可产生更多的可蚀性颗粒,使得地表颗粒组成与土壤可蚀性处于变化状态<sup>[11]</sup>;有物理或生物结皮的地表,跃移颗粒对地表的冲击打磨作用破坏结皮形态和结构稳定性,同样会造成土壤可蚀性的变化<sup>[12-13]</sup>。年内土壤可蚀性变化主要受气候气象条件变化及人类生产活动的影响。农业耕作、放牧、冻融作用、季节性降水等都会对土壤团聚体粒度组成与稳定性、地表可蚀性颗粒含量等产生显著影响,进而影响土壤可蚀性<sup>[14-17]</sup>。长期风蚀造成土壤中细颗粒物含量降低,地表粗化、沙化甚至砾石化是中国北方风蚀区草原和耕地普遍发生的现象,也是长时间尺度下土壤可蚀性变化的主因<sup>[18-19]</sup>。总之,不同时间尺度下土壤可蚀性变化的驱动力是不同的,造成的土壤可蚀性

收稿日期:2021-06-16; 改回日期:2021-06-25

资助项目:国家自然科学基金项目(41630747,42077069,41801007)

作者简介:王仁德(1980—),男,河北黄骅人,博士,研究员,主要从事土壤风蚀与粉尘释放方面的研究。E-mail: wangrende10@163.com

变化趋势也不尽相同。但由于土壤可蚀性变化机制的复杂性及测量技术手段的限制,目前对于不同时间尺度下土壤可蚀性变化的认识仍存在明显不足<sup>[3]</sup>。

由于翻耕破坏了表层土壤结构,旱作农田是中国北方遭受土壤风蚀最严重的地类之一<sup>[20]</sup>,也是土壤可蚀性变化最活跃的地类,是土壤可蚀性变化的主要对象<sup>[3,6,21]</sup>。基于此,本项目以面临严重农田风蚀问题的河北坝上地区作为研究区,采用野外实测、分时段采样分析和空间换时间的方法,就次风蚀事件、风蚀月、风蚀季和多年4个时间尺度下农田土壤可蚀性的变化问题进行研究,以期揭示不同时间尺度下土壤可蚀性变化的趋势,为深化土壤可

蚀性变化问题的认识,促进过程化土壤风蚀模型的研制提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

研究工作在河北省坝上地区的康保县境内进行(图1A)。该地区位于蒙古高原南缘、中国北方农牧交错带中部。气候为东亚大陆性季风气候,属中温带半干旱区,冬季严寒漫长,夏季凉爽短促,年均气温 $1.2^{\circ}\text{C}$ ,无霜期92 d,日照时数3 100 h,年降水量350 mm,年蒸发量1 772 mm,大风日数超过60 d。

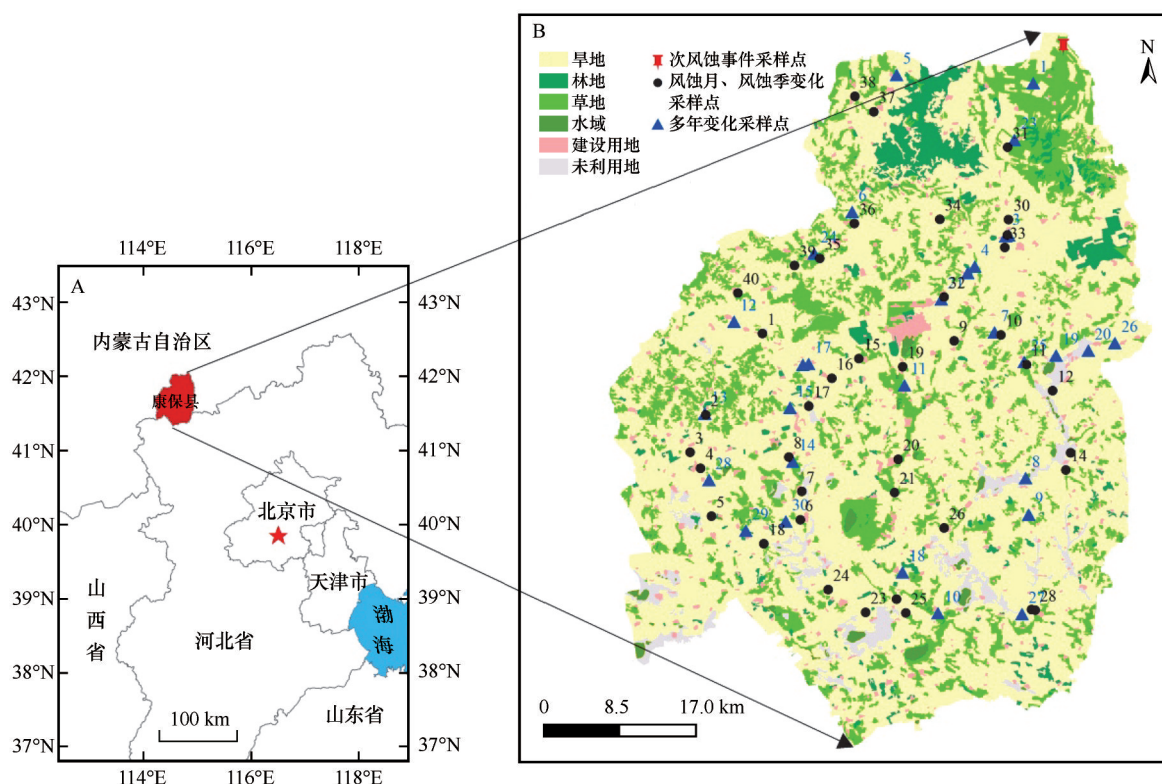


图1 研究区(A)及采样点(B)位置图

Fig.1 Locations of study area (A) and sampling points (B)

根据全国第三次土地调查结果,康保县现有耕地13.8万 $\text{hm}^2$ ,占全县土地面积的41.01%。当地种植面积最大的农作物为莜麦,其次为亚麻、马铃薯等。按照当地长期形成的耕作习惯,秋季或早春进行农田翻耕,从而形成大面积的裸露农田,与冬春季强风叠加,使该地区成为中国农田风蚀最严重的地区之一,造成土地沙化退化、土壤肥力损失和风沙灾害频发等一系列严重的生态问题。

### 1.2 观测、采样与分析方法

借鉴前人研究成果<sup>[5,7,22]</sup>,本研究以临界起沙摩阻风速、输沙率和土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒百分含量作为反映次风蚀事件中土壤可蚀性变化的指标,以土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒百分含量作为反映风蚀月、风蚀季和多年3个时间尺度下土壤可蚀性变化的指标。临界起沙摩阻风速越低,同一风速下输沙率越大,土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干

团聚体颗粒含量越高,则土壤可蚀性越强。

次风蚀事件中的临界起沙摩阻风速和输沙率通过野外实测的方法得到。其中,摩阻风速使用北京师范大学与北京市气象局联合研制的梯度风速廓线仪进行测量<sup>[23]</sup>,测量高度为0.05、0.1、0.3、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 m,时间精度为1.0 min。输沙率使用河北师范大学与河北省科学院地理科学研究所联合研制的自动连续称重式集沙仪进行测量<sup>[24]</sup>,测量高度为0.05、0.1、0.2、0.5 m,测量精度为0.01 g,集沙效率为55.53%,时间精度同样为1.0 min。摩阻风速与输沙率的计算方法见文献[25–26]。

观测地点选在康保县北部河北省科学院地理科学研究所坝上农田风蚀与粉尘释放野外观测场内(图1B),观测地类为新翻耕耙平地,土壤质地为沙质壤土,在坝上地区具有较好的代表性。选择的风蚀事件发生在2021年4月15日下午,持续4 h左右,期间平均摩阻风速达 $0.48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,是2021年春季坝上地区发生的最严重风蚀事件之一。该次风蚀事件中风速经历了从波动性增加,到波动性降低的过程。本研究通过比较风速增加阶段与风速下降阶段临界起沙摩阻风速与输沙率的不同,反映土壤可蚀性的变化。

与此同时,使用自制的表土采样器在次风蚀事件前后采集了观测点附近的表层土壤样品。要求次风蚀事件前后采样点紧邻,采样深度为表层0.01 m,采样范围为 $0.4 \text{ m}\times 0.4 \text{ m}$ ,进行3次重复。每个样品1.0 kg以上。通过比较次风蚀事件前后表层土壤中粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量的不同,反映土壤可蚀性的变化,并与临界起沙摩阻风速和输沙率的观测结果进行比较。

风蚀季土壤可蚀性变化通过比较风蚀季前后表层土壤样品中粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量的差异得到。冬春季是坝上地区大风的高发期,本研究将上一年秋季农作物收割后的时间点(9月20日左右)定义为风蚀季开始,将下一年农作物播种前的时间点定义为风蚀季结束(5月20日左右),时间跨度大约为8个月。该试验在2019—2020年跨年进行,采样地类为秋翻耕耙平地 and 莜麦留茬地。共选择了40处采样点(图1B),基本涵盖坝上地区主要土壤质地类型。风蚀季开始时的采样时间为2019年9月25—30日,结束时的采样时间为2020年5月13—18日。采样方法与次风蚀事件前后采样方法相同。

风蚀月土壤可蚀性变化研究在风蚀最严重的4—5月进行,重点关注了春翻耕耙平地。通过比较从春季农田翻耕(4月中旬开始)到农作物播种(5月中旬开始)大概一个月,地表土壤样品中粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量的差异得到。具体采样时间为2020年的4月10—12日和5月13—18日。选择的40个采样点均在风蚀季采样点的附近。采样方法与次风蚀事件前后的采样方法相同。

坝上地区的农田主要是近200年,特别是近70年开垦草地产生的<sup>[23]</sup>。本研究在假定草地土壤性质变化不大的情况下,采用空间换时间的方法,通过比较农田与临近天然草地土壤中粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量的差异,分析自草地开垦以来农田土壤可蚀性的长期变化。该试验在2018年春季进行,共选择了31个采样点(图1B)。每个采样点包括紧邻的农田和天然草地,并且草地位于农田的北侧或西侧(当地春季主导风向为西北风),以避免农田风蚀产生的风蚀物对草地土壤性质的影响。具体采样时间为2018年4月21—26日。采用十字取样法,分别在农田与天然草地地表采集表层0.2 m深度内的土壤样品。每个样品1.0 kg以上。

将不同地点、不同时期采集的表层土壤样品在实验室自然风干,然后采用平筛筛分法<sup>[24]</sup>将土壤样品分为粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 和 $\geq 0.85 \text{ mm}$ 两部分,称重后计算粒径 $<0.85 \text{ mm}$ 干团聚体颗粒的百分含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 次风蚀事件中土壤可蚀性变化

对次风蚀事件过程分析可知(图2),14:00—16:00点为风速上升阶段,本研究将其称为风蚀事件前期,16:00—18:00点风速下降阶段,本研究将其称为风蚀事件后期。对风蚀事件前期与后期输沙率随风速变化进行研究表明(图3A),尽管前后两个阶段输沙率随风速变化的趋势基本一致,但同一风速下输沙率的差异明显。 $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 摩阻风速下,风蚀事件前期平均输沙率为 $8.1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,后期为 $1.7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 摩阻风速下,风蚀事件前期平均输沙率为 $46.6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,后期为 $9.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 摩阻风速下,风蚀事件前期平均输沙率为 $194.9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,后期为 $38.6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 摩阻风速下,风蚀事件前期平均输沙率为 $652.8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,后期为 $127.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。前期各级摩阻风速条件下



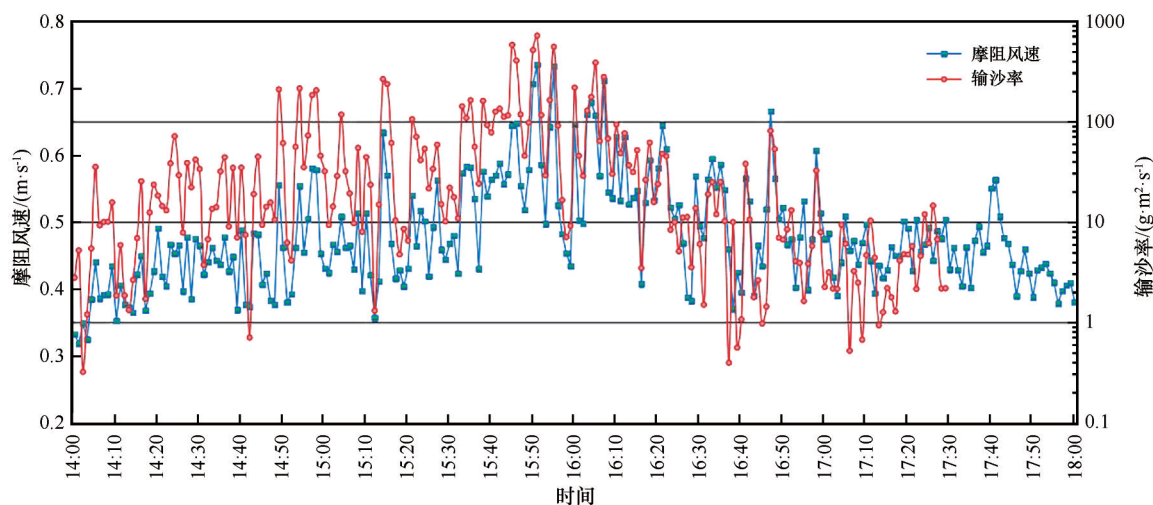


图2 风蚀事件中摩阻风速与输沙率的变化过程

Fig.2 Changing process of friction velocity and sand transporting rate in a wind erosion event

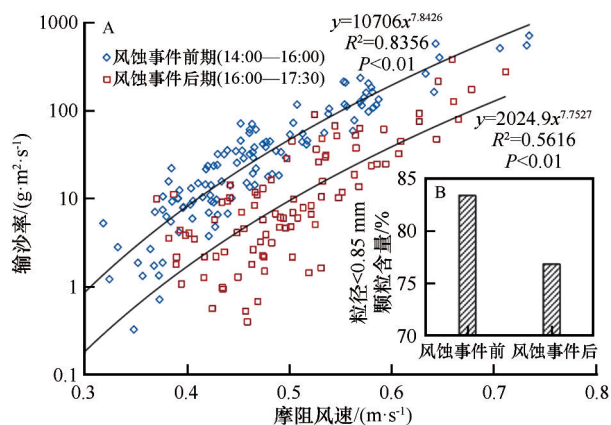


图3 风蚀事件前后农田地表土壤可蚀性的变化

Fig.3 Change of farmland soil erodibility from the pre to post of a wind erosion event

的输沙率是后期的5倍左右,这说明经过一段时间的高强度风蚀后,地表土壤可蚀性明显降低。

野外观测结果显示,各级风速条件下的输沙率多大于  $0.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (图3A)。本研究以输沙率为  $0.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  作为风蚀发生的临界条件,则根据拟合公式推算得出的风蚀事件前期临界起沙摩阻风速为  $0.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,后期为  $0.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。风蚀事件后期的临界起沙摩阻风速明显高于风蚀事件前期,这说明风蚀事件后期的地表土壤可蚀性明显降低。

对次风蚀事件前后所采集表层土壤干团聚体粒度组成分析表明,风蚀事件前表层土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒的平均含量为  $83.4\%$ ,风蚀事件后为  $76.8\%$  (图3B)。经过一次严重风蚀事件后,表层土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒的含量大幅减少了  $6.6\%$ ,这同样表明土壤可蚀性有明显降低

的趋势。

总之,对风蚀事件过程中地表输沙率、临界起沙摩阻风速和土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量变化的研究表明,三者所反映的次风蚀事件中地表土壤可蚀性的变化趋势是一致的,呈显著降低的趋势,这也说明3个指标均能有效反映土壤可蚀性的变化。

## 2.2 风蚀季土壤可蚀性变化

通过分析风蚀季前后表层土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量的变化可知,经过一个风蚀季,翻耕耙平地表层土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒的含量普遍减少(图4A)。39个有效样点中(第1个样点被破坏),有38个表现出粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量减少的趋势。粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒的平均百分含量从风蚀季开始时的  $74.9\%$ ,降低到风蚀季结束时的  $72.4\%$ ,说明翻耕耙平地土壤可蚀性普遍有所降低。

风蚀季苜蓿留茬地土壤可蚀性变化情况与翻耕耙平地有所不同。经过一个风蚀季,苜蓿留茬地表层土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量的变化趋势不显著(图4B)。40个样点中,有18个样点表现出粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量增加的趋势,另外的22个样点表现出粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒含量减少的趋势。土壤中粒径  $< 0.85 \text{ mm}$  干团聚体颗粒的平均百分含量从风蚀季开始时的  $80.4\%$ ,略微提高到风蚀季结束时的  $80.5\%$ 。这表明,风蚀季苜蓿留茬地土壤可蚀性的变化情况比翻耕耙平地要复杂,总体变化趋势不显著。

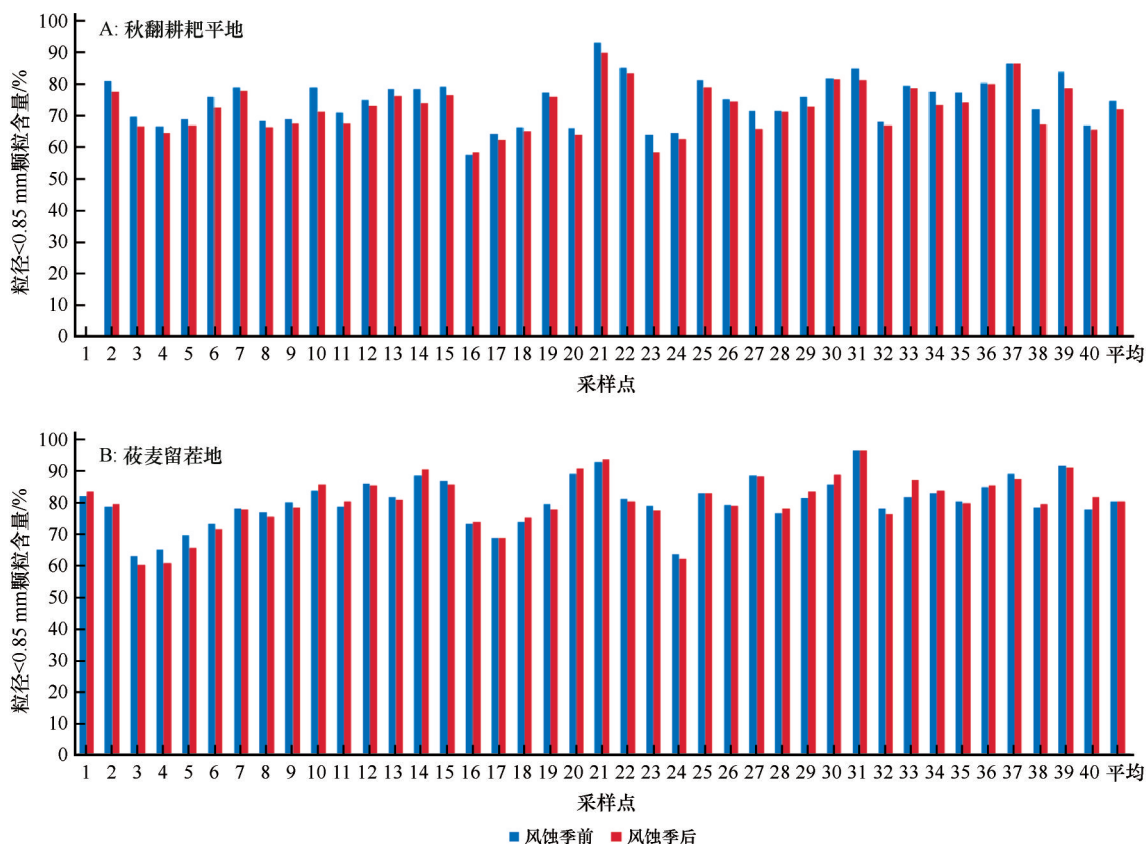


图4 风蚀季农田土壤可蚀性的变化

Fig.4 Change of farmland soil erodibility in wind erosion reason

### 2.3 风蚀月土壤可蚀性变化

春翻耕耙平地土壤中粒径<0.85 mm干团聚体颗粒含量变化表明,从春季农田翻耕到播种大概1个月的时间,表层土壤中粒径<0.85 mm干团聚体颗粒的含量普遍减少(图5)。39个有效样点中(第40个样点被破坏),有32个样点具有粒径<0.85 mm干团聚体颗粒含量减少的趋势。表层土壤中粒径<0.85 mm干团聚体颗粒的百分含量从春季翻耕耙平

后的平均69.8%,降低到播种前的平均68.1%,说明春翻耕耙平地土壤可蚀性普遍有所降低。对春翻耕耙平地(图5)与秋翻耕耙平地(图4A)土壤可蚀性变化的比较发现:一方面,秋翻耕耙平地表层土壤中粒径<0.85 mm干团聚体颗粒的含量普遍高于春翻耕耙平地,说明秋翻耕耙平地土壤可蚀性高于春翻耕耙平地,这可能与不同时期翻耕农田土壤结构与含水率不同有关;另一方面,秋翻耕耙平地土壤可蚀性的变化比春翻耕耙平地更加显著,这显然

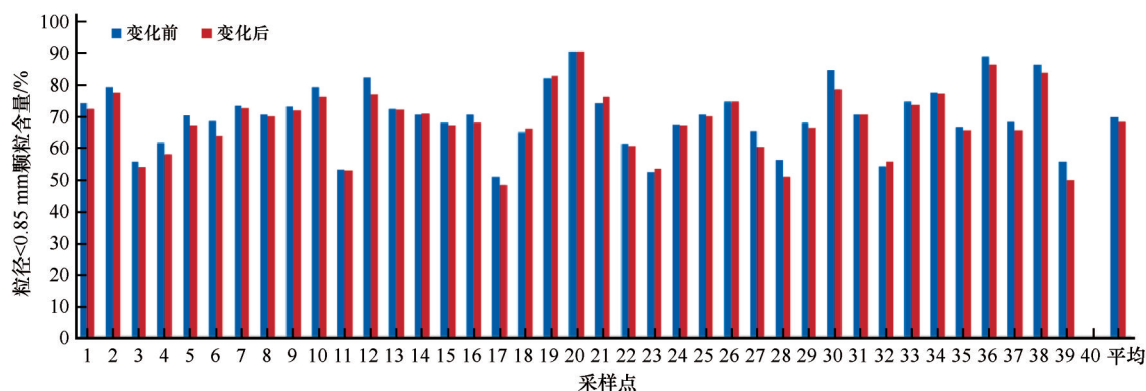


图5 风蚀月春翻耕耙平地土壤可蚀性的变化

Fig.5 Change of soil erodibility for ploughed and raked fields in wind erosion month

与秋翻耕耙平地受各种土壤可蚀性影响因素作用时间更长有关。

## 2.4 土壤可蚀性的长期变化

农田与邻近天然草地土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量的差异表明(图6),农田土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的含量普遍低于天

然草地。31个样点中,有27个样点表现出农田土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的含量低于草地的现象。农田土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的平均百分含量为83.1%,明显低于天然草地的87.6%,说明自草地开垦为农田以来,土壤可蚀性明显降低了,农田开垦早期应该是风蚀最严重的时期。

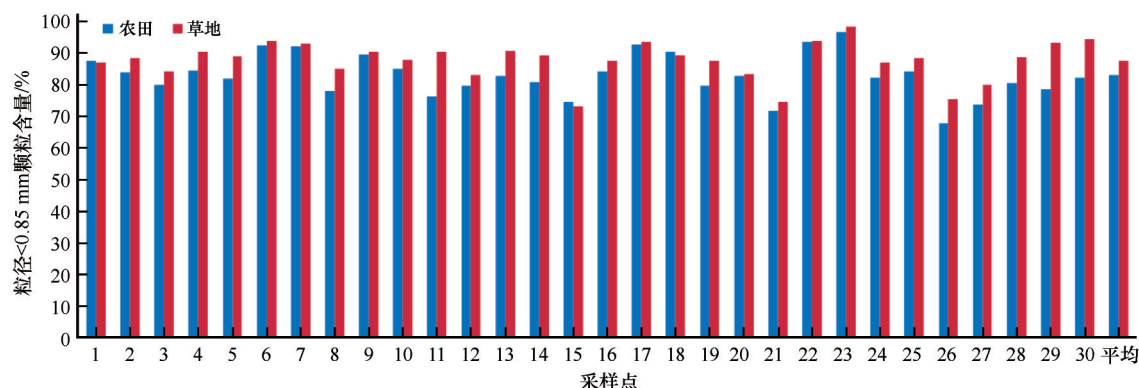


图6 农田与邻近天然草地土壤可蚀性的比较结果

Fig.6 Comparison of soil erodibility between farmlands and nearby natural grasslands

对比风蚀月、风蚀季和多年3个时间尺度下农田土壤可蚀性的变化发现,各种时间尺度下,农田特别是翻耕农田,土壤可蚀性均表现出下降的趋势。随着时间尺度的延长,土壤可蚀性的下降幅度逐渐增大。从风蚀月的平均1.6%、到风蚀季的平均2.5%(翻耕耙平地),再到长期的平均4.5%。

## 3 讨论

土壤可蚀性的影响因素众多。风蚀事件中跃移颗粒对地表的冲击打磨作用,破坏结皮形态和团聚体稳定性,产生更多的可蚀性颗粒,从而使土壤可蚀性增强<sup>[11-13]</sup>。但本文对坝上地区一次典型风蚀事件进行的实地野外观测表明(图3),风蚀事件过程中,地表土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的含量明显降低,临界起沙摩阻风速明显升高,输沙率明显减弱,土壤可蚀性明显降低。这表明,对于坝上地区来讲,尽管风蚀事件中跃移颗粒对地表的冲击打磨作用会破坏土壤团聚体稳定性,产生更多新的可蚀性颗粒,但由于风蚀作用强烈,所产生的可蚀性颗粒绝大部分被迁移搬运,地表明显粗化<sup>[27]</sup>,进而使临界起沙摩阻风速升高、输沙率减弱。因此,风蚀对地表土壤的筛选搬运作用应该是次风蚀事件尺度下坝上地区土壤可蚀性变化的主导因素,造成的结果是土壤可蚀性显著降低。

前人在更长时间尺度下进行的一些研究表明<sup>[14-17]</sup>,农业耕作、放牧、冻融作用、季节性降水等会破坏土壤团聚体稳定性,进而影响土壤可蚀性,但土壤可蚀性如何变化目前并无定论。本文在坝上地区就风蚀月、风蚀季、长期3个时间尺度下土壤可蚀性变化进行的研究均表明(图4—6),农田特别是翻耕农田地表,普遍具有粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒含量减少的趋势,即土壤可蚀性降低。随着时间尺度的延长,土壤可蚀性降低的幅度逐渐增大。这一研究结果与次风蚀事件尺度下的研究结果是相统一的,均表明尽管很多因素可能会对坝上地区农田土壤可蚀性的变化产生影响,但主导因素应该是风蚀对地表土壤的筛选搬运作用。其造成的地表可蚀性细颗粒减少导致了次风蚀事件中土壤可蚀性的降低,而数次风蚀事件的累加作用则导致了风蚀月和风蚀季土壤可蚀性的降低,多年的累计作用则造成了长时间尺度下地表土壤的粗化、沙化、砾石化和土壤可蚀性的显著降低<sup>[27-28]</sup>。总之,不同时间尺度下土壤可蚀性的变化一脉相承,强烈的风蚀搬运作用可能是造成坝上地区农田土壤可蚀性出现普遍下降的主因。

基于以上认识可知,农田开垦早期和翻耕早期是土壤可蚀性最强的阶段,遇到强风最容易发生严重的风蚀沙化。因此,一方面应尽量减少开垦新农



田,并重视新开垦农田的风蚀防治工作;另一方面应尽量推迟农田翻耕的时间,尤其避免在风蚀事件高发期进行农田翻耕。

## 4 结 论

土壤可蚀性作为风蚀模型的必要输入参数之一,会随风蚀事件过程、耕作措施以及气象气候等因素发生显著变化,但其变化趋势目前尚缺乏深入研究。本文采用野外实测、采样分析和空间换时间的方法,就次风蚀事件、风蚀月、风蚀季和多年 4 个时间尺度下,坝上地区农田土壤可蚀性的变化问题进行研究。结果表明,风蚀事件过程中,表层土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的含量大幅减少了 6.56%,临界起沙摩阻风速从 $0.28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 提高到 $0.34\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,地表输沙率则平均降低了 5 倍左右,三者均显示土壤可蚀性出现明显降低的趋势。风蚀月、风蚀季和多年 3 个时间尺度下,农田特别是翻耕农田土壤可蚀性均表现出下降的趋势。其中,春季翻耕耙平农田表层土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒的百分含量平均降低了 1.6%,秋季翻耕耙平农田表层土壤平均降低了 2.5%,多年开垦农田土壤平均降低了 4.5%,表现出随着时间尺度的延长,土壤可蚀性下降幅度逐渐增大的趋势。不同时间尺度下土壤可蚀性的变化结果是相统一的,强烈的风蚀搬运作用是造成各时间尺度下坝上地区农田土壤可蚀性普遍下降的主因。为了降低坝上地区农田风蚀的危害,一方面应减少该地区新农田的开垦,另一方面应尽量避免在风蚀事件高发期进行农田翻耕。

需要指出的是,本文以土壤中粒径 $<0.85\text{ mm}$ 干团聚体颗粒百分含量为指标进行的土壤可蚀性研究,只反映了松散、干燥条件下土壤可蚀性的变化特征。实际中,土壤可蚀性会受到降水和土壤结皮的显著影响,土壤可蚀性变化特征比松散、干燥土壤要复杂的多。对于降水参与条件下土壤可蚀性的变化规律还需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 陈渭南,董光荣,董治宝.中国北方土壤风蚀问题研究的进展与趋势[J].地球科学进展,1994,9(5):6-12.
- [2] 董治宝,郑晓静.中国风沙物理研究 50 a(II)[J].中国沙漠,2005,25(6):795-815.
- [3] Webb N P, Strong C L. Soil erodibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models[J]. Aeolian Research, 2011, 3(2): 165-179.
- [4] Zhang C L, Wang X, Zou X Y, et al. Estimation of surface shear strength of undisturbed soils in the eastern part of northern China's wind erosion area[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 178: 1-10.
- [5] 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.
- [6] Chepil W S, Woodruff N P. Estimations of wind erodibility of field surfaces[J]. Soil Science Society of America Journal, 1954, 9: 257-265.
- [7] Gillette D. A wind tunnel simulation of the erosion of soil: effect of soil texture, sandblasting, wind speed, and soil consolidation on dust production[J]. Atmospheric Environment, 1978, 12: 1735-1743.
- [8] Leys J F, Koen T, McTainsh G H. The effect of dry aggregation and percentage clay on sediment flux as measured by a portable field wind tunnel[J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 849-861.
- [9] Zobeck T M, Sterk G, Funk R, et al. Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28(11): 1163-1188.
- [10] 宋阳,刘连友,严平,等.土壤可蚀性研究述评[J].干旱区地理,2006,29(1):124-131.
- [11] Hagen L J, Skidmore E L, Saleh A. Wind erosion: predictions of aggregate abrasion coefficients[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(6): 1847-1850.
- [12] Wiggs G, Holmes P. Dynamic controls on wind erosion and dust generation on west-central Free State agricultural land, South Africa[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2011, 36: 827-838.
- [13] McKenna N C, Maxwell C D. Temporal aspects of the abrasion of microphytic crusts under grain impact[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2002, 27: 891-908.
- [14] Larney F J, Lindwall C W, Bullock M S. Fallow management and overwinter effects on wind erodibility in Southern Alberta[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1788-1794.
- [15] Merrill S D, Black A L, Zobeck T M. Overwinter changes in dry aggregate size distribution influencing wind erodibility in a spring wheat-summer fallow cropping system[J]. Journal of the Minnesota Academy of Sciences, 1995, 59: 27-36.
- [16] Merrill S D, Black A L, Fryrear D W, et al. Soil wind erosion hazard of spring wheat-fallow as affected by long-term climate and tillage[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63: 1768-1777.
- [17] Hevia G G, Mendez M, Buschiazzi D E. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion[J]. Geoderma, 2007, 140: 90-96.
- [18] 高尚玉,张春来,邹学勇,等.京津风沙源治理工程效益[M].北京:科学出版社,2008.
- [19] Merrill S D, Black A L, Halvorson A D. I Soil-inherent wind erodibility: progress and prospects[C]//Skidmore E L, Tatarko

- J. Wind Erosion: An International Symposium/Workshop. Washington, USA: United States Department of Agriculture (US-DA), 1997: 15.
- [20] 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.
- [21] Kohake D J, Hagen L J, Skidmore E L. Wind erodibility of organic soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(1): 250–257.
- [22] Chepil W S. Improved rotary sieve for measuring state and stability of dry soil structure[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1952, 16: 113–117.
- [23] Wang R D, Zhou N, Li Q, et al. Difference in wind erosion characteristics between loamy and sandy farmlands and the implications for soil dust emission potential[J]. Land Degradation & Development, 2018, 29: 4362–4372.
- [24] Guo Z L, Wang R D, Van Pelt R S, et al. Construction and field use of a cyclone type instantaneous weighing aeolian sand trap[J]. Aeolian Research, 2020, 43: 100564.
- [25] Zhang C L, Zou X Y, Gong J R, et al. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel[J]. Soil Tillage & Research, 2004, 75: 53–59.
- [26] Panebianco J E, Buschiazzo D E, Zobeck T M. Comparison of different mass transport calculation methods for wind erosion quantification purposes[J]. Earth Surface Process and Landforms, 2010, 35(13): 1548–1555.
- [27] 王仁德, 肖登攀, 常春平, 等. 改进粒度对比法估算单次农田风蚀量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 278–285.
- [28] 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的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 104–109.

## Changes of soil wind erodibility for farmland in different time scales

Wang Rende<sup>1</sup>, An Chenyu<sup>2</sup>, Yuan Yixiao<sup>3</sup>, Zhang Chunlai<sup>3</sup>, Li Qing<sup>1</sup>, Zha Huimin<sup>1</sup>,  
Chang Chunping<sup>2</sup>, Guo Zhongling<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences / Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Hebei Academy Sciences, Shijiazhuang 050011, China; 2. College of Resource and Environment Sciences / Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology / MOE Engineering Research Center of Desertification and Blown-Sand Control, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Soil wind erodibility (simplified as soil erodibility), as one of the necessary input parameters in wind erosion models, changes significantly with the process of wind erosion events, tillage measurements, weather and climate factors, but its changing trend is still unclear until now. In this paper, by field observation, sampling analysis and space time exchange methods, the changes of farmland soil erodibility in Bashang district were studied under four time scales: wind erosion event, wind erosion month, wind erosion season and many years. The results showed that from the pre (stage) to post (stage) of the wind erosion event, the content of dry aggregate particles with diameter <0.85 mm in surface soil decreased significantly, and the threshold friction velocity increased significantly, and the sediment transporting rate decreased significantly, which all proved that the soil erodibility decreased significantly. In the time scales of wind erosion month, wind erosion season and many years, the soil erodibility for farmland, especially for ploughed farmland, showed a downward trend, and the longer the time scale, the larger the declining range of the soil erodibility. The strong wind erosion in Bashang district may be the main reason for the decline of farmland soil erodibility under different time scales. In order to reduce the damage of farmland wind erosion in Bashang district, reclamation of new farmland should be reduced as far as possible and ploughing should be avoided in the high incidence period of wind erosion events.

**Key words:** soil wind erodibility; threshold friction velocity; sand transporting rate; time scale; farmland