

王仁德,蒋红军,李庆,等.土壤粉尘释放能力与土壤性质关系的初步研究[J].中国沙漠,2024,44(1):43-49.

土壤粉尘释放能力与土壤性质关系的初步研究

王仁德¹, 蒋红军¹, 李庆¹, 付刚¹, 李玉强²,
苑依笑³, 常春平⁴, 郭中领⁴

(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.河北经贸大学 管理科学与工程学院, 河北 石家庄 050002; 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; 4.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)

摘要: 土壤粉尘释放能力是决定区域粉尘释放强度的关键因素,但一直缺少适合的土壤性质指标进行表征。采用野外取样分析与风洞实验手段,就土壤粉尘释放能力与土壤性质的关系进行初步研究。结果表明:各种与风蚀相关的土壤基本理化性质中,只有粉沙和沙粒含量对土壤粉尘释放能力的影响较显著,土壤粉尘释放能力随土壤中粉沙和沙粒含量增加具有先增大后降低的趋势,支持了有关学者提出的中等质地土壤具有最强粉尘释放能力的观点。土壤粉尘释放能力与土壤干团聚体粒度组成关系紧密,具有随土壤可蚀性颗粒中粒径 <0.05 mm细颗粒含量($C_{<0.05/<0.85}$)增加呈线性规律显著增加,随土壤可蚀性颗粒中粒径 $0.1\sim0.5$ mm跃移颗粒含量($C_{0.1-0.5/<0.85}$)增加呈幂函数规律显著降低的趋势。各项土壤理化性质指标中,土壤干团聚体中粒径 <0.05 mm细颗粒含量($C_{<0.05}$)不仅能够反映各种土壤基本理化性质对土壤粉尘释放能力的综合影响,而且与决定土壤粉尘释放能力的两个正向指标——土壤可蚀性颗粒含量($C_{<0.85}$)和 $C_{<0.05/<0.85}$ 均呈显著的线性正相关关系,应是表征团聚体发育土壤表面粉尘释放能力较合适的土壤性质指标,这得到土壤样品分析结果的初步证实,但还需要进一步的实验验证。

关键词: 土壤粉尘释放能力; PM_{10} 总释放量; 土壤理化性质; 土壤可蚀性; 风洞实验

文章编号: 1000-694X(2024)01-043-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00076

中图分类号: X169

文献标志码: A

0 引言

土壤风蚀过程中释放的粉尘不仅污染大气环境、危害人体健康,而且在大气物理化学过程与全球生态系统中也扮演着重要角色^[1]。为了定量评估粉尘的气候与生态环境效应,迫切需要加强对自然地表粉尘释放、传输和沉降规律的认识。其中,粉尘释放研究是粉尘传输和沉降研究之基础,只有准确估算地表粉尘释放量,才能更好地预测大气中粉尘的浓度,进而研究它所带来的影响^[2]。自然地表的粉尘释放强度既受当地风力和地表粗糙干扰因子的影响,也与土壤本身的粉尘释放能力密切相关^[3]。土壤粉尘释放能力取决于土壤质地、有机质

含量、碳酸钙含量、团聚体结构、含水率、地表结皮等土壤理化性质^[4]。研究土壤性质对土壤粉尘释放能力的影响,找出影响土壤粉尘释放能力的关键土壤性质要素,无论对于确定主要沙尘源,还是优化粉尘释放模型都具有十分重要的意义。

根据粉尘释放的跃移冲击理论,风蚀过程中土壤表面跃移颗粒和团聚体之间的相互作用决定粉尘释放强度^[5],因此,土壤团聚体结构与稳定性是影响土壤粉尘释放能力的关键因素。但因为团聚体结构与稳定性是土壤的临时性质,受气候、风蚀及人畜活动等因素的影响而不断发生变化,因此,有关学者更多地关注了土壤基本性质,特别是土壤质地与土壤粉尘释放能力之间的关系。有研究表明,

收稿日期:2023-02-10; 改回日期:2023-05-17

资助项目:国家自然科学基金面上项目(42077069);河北省科学院科技计划项目(23A13)

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

土壤粉尘释放强度随土壤中粉沙和黏粒含量的增加而增加,随沙粒含量的增加而降低^[6-7]。Aimar等^[8]就阿根廷土壤进行的研究表明,粉沙含量越高的土壤粉尘释放能力越强,有机质含量越高的土壤粉尘释放能力越弱。但另外一些研究表明,粉沙含量低的土壤是大的粉尘排放源^[9]。还有观点认为,跃移颗粒冲击导致黏附沙粒表面粉尘的分离是沙质土壤表面粉尘释放的主要机制^[10-11];团聚体破碎是细质土壤表面粉尘释放的主要机制^[4,12];中等质地的土壤,由于受到跃移颗粒冲击和团聚体破碎的叠加作用,具有最强的粉尘释放能力^[5]。目前,学术界在何种性质的土壤具有更高粉尘释放能力问题上还存在争议^[13-14],主要原因是:一方面,土壤质地对跃移冲击强度和跃移冲击效率(粉尘释放通量与跃移冲击强度之比)的影响是相反的。土壤中细颗粒含量越多,跃移冲击作用越弱^[15-16],但跃移冲击效率越高^[6-7];另一方面,土壤粉尘释放能力不仅与土壤质地有关,还受到有机质含量、碳酸钙含量等其他土壤基本性质的影响。总之,土壤理化性质影响土壤粉尘释放能力的机制较复杂,至今尚缺少被普遍认可的表征土壤粉尘释放能力的土壤性质指标,二者的关系仍需进一步研究。基于此,本文采用野外取样分析与风洞实验相结合的手段,就土壤粉尘释放能力与土壤性质的关系进行研究,以期从各种与风蚀相关的土壤理化性质中找到一个适合反映土壤粉尘释放能力的指标。

1 研究方法

1.1 野外调查取样与实验分析

2022年春季,在位于中国北方农牧交错带中部的河北坝上地区康保县、沽源县、尚义县和内蒙古自治区正镶白旗、太仆寺旗、化德县开展野外调查和土壤取样工作。取样地点除8处为浑善达克沙地外,其余全部为农田中的莜麦留茬地。使用整理箱采集不同性质土壤表面的样品82份,采样深度5.0 cm,每份质量2.5 kg左右。要求采样方式完全相同,尽量不破坏土壤的团聚体结构。同时,在每个取样点使用自封袋原位采集表层土壤0.5 kg,采样深度同样为5.0 cm。

将上述样品运回河北省科学院地理科学研究所理化实验室自然晾干。将以自封袋取回的土壤

样品捣碎,过2.0 mm土壤筛,对土壤质地、有机质含量、碳酸钙含量等与土壤可蚀性密切相关的土壤基本理化性质进行分析^[17]。其中,土壤质地使用Malvern激光粒度分析仪进行分析,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法分析,碳酸钙含量采用气量法分析。

将整理箱取回的土壤样品在不破坏团聚体结构的情况下,使用平筛进行干筛筛分,确定土壤干团聚体粒度组成。筛分时间为10 min,分为>20.0、2.0~20.0、0.85~2.0、0.5~0.85、0.1~0.5、0.05~0.1、0.03~0.05、<0.03 mm 8个粒级。风蚀研究中普遍将土壤中粒径<0.84 mm干团聚体颗粒的含量作为反映土壤可蚀性的指标^[18-19]。土壤中粒径<0.84 mm干团聚体颗粒的含量越高,则土壤可蚀性越强。由于缺少孔径为0.84 mm的土壤筛,本研究以土壤中粒径<0.85 mm干团聚体颗粒的含量($C_{<0.85}$)作为反映土壤可蚀性的指标。另外,根据前人研究结果,本研究以土壤中粒径0.1~0.5 mm干团聚体颗粒的含量($C_{0.1-0.5}$)作为反映土样中跃移颗粒含量的指标^[16];以土壤中粒径<0.05、<0.03 mm干团聚体颗粒的含量($C_{<0.05}$ 、 $C_{<0.03}$)作为反映土样中细颗粒含量的指标^[20]。利用相关分析和回归分析等方法分析土壤干团聚体粒度组成特征与土壤基本理化性质之间的关系。

1.2 风洞实验

根据以上土壤性质分析结果,从82个土样中遴选6个理化性质差异明显且具有代表性的土壤样品(S1~S6),在其原采样点再次采样,采样深度为5.0 cm,每个样品质量在500.0 kg左右。将样品用编织袋运回实验室后,自然晾干、人工捣碎,过0.85 mm孔径旋筛,剔除粒径>0.85 mm不可风蚀物后用于风洞实验。

风洞实验在北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室房山实验基地的中型风洞中进行。该风洞总长34.4 m,其中实验段长16.0 m,宽1.0 m,高1.0 m。轴心风速在1.0~40.0 m·s⁻¹连续可调。在实验段的前段铺设粗糙元用于调节来流廓线(图1),以满足风洞实验的相似性原则^[21]。将经过前处理的土壤样品铺设在实验段中段长5.0 m、宽0.5 m、深0.03 m的实验床面上,并人工耙平。在实验床面下风处,紧挨床面的中间位置,安装3台

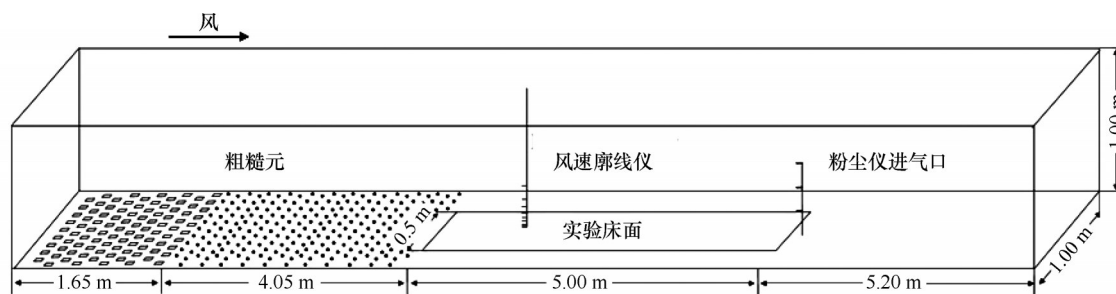


图1 风洞实验示意图

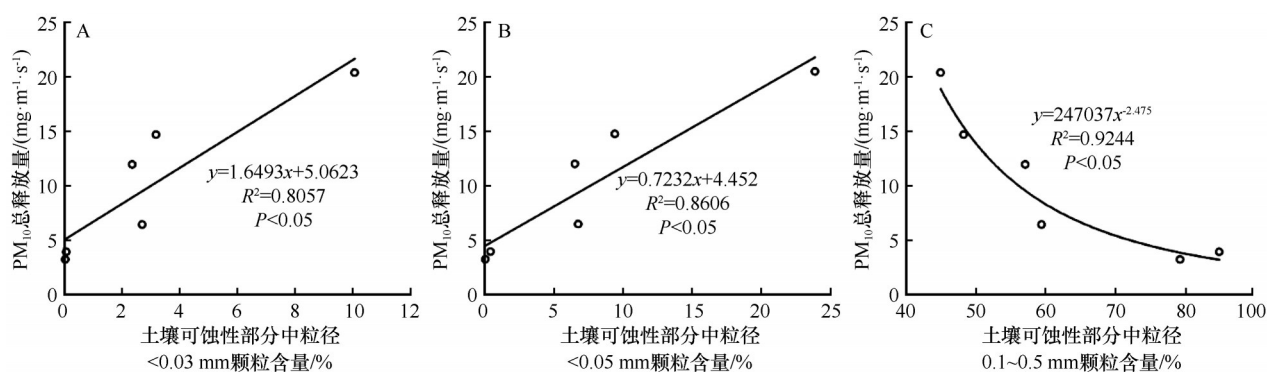
Fig.1 Schematic diagram of wind tunnel experiment

DustTrak 8530 型粉尘仪, 分别用于测量床面以上 0.1、0.2、0.3 m 高度处 PM_{10} 的浓度, 并积分计算 PM_{10} 总释放量。 PM_{10} 总释放量的计算方法, 已有文献 [22] 进行了详细介绍。实验摩阻风速分为 0.34、0.46、0.51、0.60、0.68 $m \cdot s^{-1}$ 5 个等级。以 5 个等级风速下 PM_{10} 总释放量的平均值作为反映土壤粉尘释放大能力的的数据。

2 土壤性质对土壤粉尘释放能力的影响

粉尘释放是风蚀过程的一部分, 因此, 土壤粉尘释放能力的强弱首先取决于土壤可蚀性。只有可蚀性较强, 即 $C_{<0.85}$ 较高的土壤, 才可能具有较强的粉尘释放能力。但是, 土壤粉尘释放能力的强弱又不仅仅取决于土壤可蚀性, 还与土壤可蚀性部分

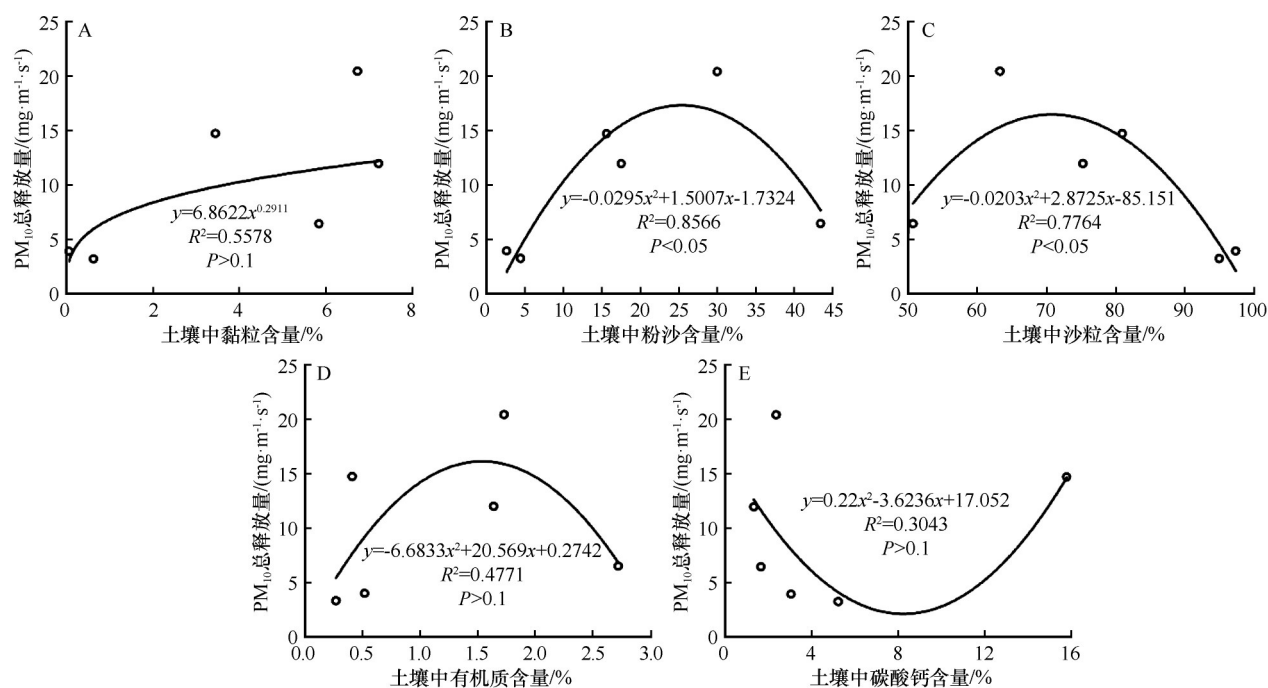
的粉尘释放能力有关。只有土壤可蚀性较强, 同时土壤可蚀性部分粉尘释放能力又较强的土壤, 才具有更强的粉尘释放能力。因此, 在土壤可蚀性表征指标 ($C_{<0.85}$) 已知的情况下 [18-19], 本研究重点就 6 种性质土壤可蚀性部分的粉尘释放能力与土壤性质关系进行研究。结果表明, 以 PM_{10} 总释放量反映的土壤粉尘释放能力与土壤可蚀性部分的干团聚体粒度组成密切相关 (图 2)。其中, PM_{10} 总释放量与土壤可蚀性部分的细颗粒含量呈显著的线性正相关 ($P < 0.05$), 并且与粒径 < 0.05 mm 颗粒含量 ($C_{<0.05/<0.85}$) 的相关性 (图 2B) 高于与粒径 < 0.03 mm 颗粒含量 ($C_{<0.03/<0.85}$) 的相关性 (图 2A)。 PM_{10} 总释放量与土壤可蚀性部分中粒径 0.1~0.5 mm 跃移颗粒含量 ($C_{0.1-0.5/<0.85}$) 呈显著的负相关 ($P < 0.01$), 具有随 $C_{0.1-0.5/<0.85}$ 增加呈幂函数规律降低的趋势 (图 2C)。

图2 PM_{10} 总释放量与土壤可蚀性部分干团聚体粒度组成关系Fig.2 Relationship between the total emission amount of PM_{10} and the particle size composition of dry aggregates in soil erodibility part

PM_{10} 总释放量与土壤基本理化性质关系的研究表明, 各种土壤基本理化性质对土壤粉尘释放能力的影响较复杂 (图 3)。其中, PM_{10} 总释放量随土壤中黏粒含量的增加呈幂函数规律增大, 但未通过显著性检验 (图 3A); 随着土壤中粉沙或沙粒含量的增加, PM_{10} 总释放量呈先升高后降低的趋势, 并通

过显著性检验 (图 3B、C); 随着土壤中有机质含量的增加, PM_{10} 总释放量同样呈先升高后降低的趋势, 但没有通过显著性检验 (图 3D); 随着土壤中碳酸钙含量的增加, PM_{10} 总释放量呈先降低后升高的趋势, 也没有通过显著性检验 (图 3E)。

本研究表明, 土壤基本理化性质中的粉沙和沙

图3 PM_{10} 总释放量与土壤基本理化性质的关系Fig.3 Relationship between the total emission amount of PM_{10} and the basic physical and chemical properties of soil

粒含量对土壤粉尘释放能力的影响较显著,这与前人的研究结果一致^[5-8]。但本研究同时也证实,随着土壤中粉沙和沙粒含量的增加,土壤粉尘释放能力呈先增大后降低的趋势,支持了近期有关学者提出的中等质地的土壤具有最强粉尘释放能力的观点^[5]。有研究显示,随着土壤中粉沙含量的增加,土壤粉尘释放能力呈单一增加或呈单一降低的趋势^[6-7],这可能与其土壤样品质地范围较窄有关。本研究还表明(图3A、D、E),土壤中黏粒含量、有机质含量和碳酸钙含量尽管对土壤粉尘释放能力有一定影响,但显著性不高,这一方面与本次风洞实验中样品数量较少有关(6个);另一方面也可能与这3种土壤基本性质在土壤中含量较低,对土壤干团聚体结构的影响不强有关。土壤粉尘释放能力与土壤基本性质的关系需要更多实验研究的证实。

比较来看,土壤干团聚体粒度组成对土壤粉尘释放能力影响要比土壤基本理化性质更加显著(图2和图3),这是因为,一方面土壤干团聚体粒度组成是各种土壤基本理化性质综合作用的结果,因此,土壤干团聚体粒度组成反映了各种土壤基本理化性质对土壤粉尘释放能力的综合影响;另一方面,土壤干团聚体粒度组成中的跃移颗粒含量直接决定了跃移颗粒撞击强度,而细颗粒含量则直接反映

了团聚体破碎能力,因此,土壤干团聚体粒度组成对土壤粉尘释放能力的影响更加直接。

3 表征土壤粉尘释放能力的土壤性质指标及验证

3.1 表征土壤粉尘释放能力的土壤性质指标遴选

从本研究中各项土壤理化性质与土壤粉尘释放能力关系的研究结果来看,土壤中黏粒含量、有机质含量和碳酸钙含量3项指标与土壤粉尘释放能力的相关性不强(图3A、D、E),不适合单独作为表征土壤粉尘释放能力的土壤性质指标;土壤中粉沙和沙粒含量两项指标,尽管与土壤粉尘释放能力的关系较好,但不具有统一的趋势(图3B、C),导致无法根据土壤中粉沙和沙粒含量来判断其粉尘释放能力的强弱,也不适合作为表征土壤粉尘释放能力的指标。

土壤可蚀性部分的干团聚体粒度组成中, $C_{0.1-0.5/<0.85}$ 与土壤粉尘释放能力具有最强的相关性(图2C),但其对土壤粉尘释放能力的影响是负面的,即 $C_{0.1-0.5/<0.85}$ 越高,土壤粉尘释放能力越弱。由于土壤可蚀性表征指标 $C_{<0.85}$ 是影响土壤粉尘释放能力的正向指标,而 $C_{0.1-0.5/<0.85}$ 是影响土壤粉尘释放能力的负向指标,二者结合($C_{<0.85} \times C_{0.1-0.5/<0.85} = C_{0.1-0.5}$),造

成的结果是无法根据一个完整土样的 $C_{0.1-0.5}$ 值大小来判断其土壤粉尘释放能力的强弱,因此,土壤干团聚体粒度组成中的跃移颗粒含量,即 $C_{0.1-0.5}$ 值也不是表征土壤粉尘释放能力的适合指标。

土壤可蚀性部分干团聚体粒度组成中的细颗粒含量,特别是 $C_{<0.05/<0.85}$ 值,不仅与土壤粉尘释放能力显著相关,而且是线性的正相关(图2B)。因此,如果一个土样的可蚀性较强,即 $C_{<0.85}$ 值较高,同时其 $C_{<0.05/<0.85}$ 也较高,综合表现为 $C_{<0.05}$ 较高($C_{<0.05/<0.85} \times C_{<0.85} = C_{<0.05}$),则该土壤一定具有较强的粉尘释放能力。因此,土壤干团聚体粒度组成中的细颗粒含量,特别是 $C_{<0.05}$ 值,应该是一个比较好的表征土壤粉尘释放能力的指标。 $C_{<0.05}$ 越大,则土壤粉尘释放能力越强。

与风蚀研究中用土壤中粒径 <0.84 mm 干团聚体颗粒含量作为反映土壤可蚀性的指标类似^[18-19],本研究提出用 $C_{<0.05}$ 作为反映土壤粉尘释放能力的

指标,实际上反映了土壤质地、有机质含量、碳酸钙含量等各种土壤基本性质对土壤粉尘释放能力的综合影响,并且具有测量方便、简单实用、精度高等优点。

3.2 遴选结果验证

本研究未就是否可将 $C_{<0.05}$ 作为表征土壤粉尘释放能力的指标进行直接验证,但通过对 84 组土壤样品 $C_{<0.05}$ 值与 $C_{<0.85}$ 值的关系研究表明,对于 74 组团聚体发育的农田土壤样品,二者呈显著的线性正相关关系(图4A),即土壤干团聚体中细颗粒含量越高的农田土壤,其可蚀性颗粒的含量往往也越高,说明其土壤可蚀性越强。团聚体不发育的沙地土壤情况则相反,随着 $C_{<0.05}$ 的增加,沙地土壤 $C_{<0.85}$ 呈降低的趋势,即土壤可蚀性减弱。由此推断,对于团聚体发育的土壤, $C_{<0.05}$ 与 $C_{<0.85}$ 具有正相关关系;对于团聚体结构分散的土壤, $C_{<0.05}$ 与 $C_{<0.85}$ 呈负相关关系。

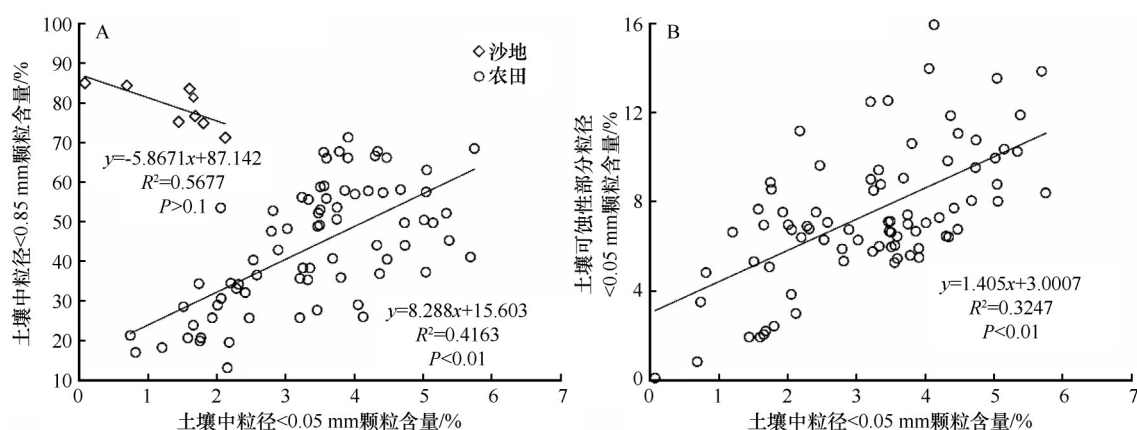


图4 土壤中粒径 <0.05 mm 干团聚体颗粒含量 ($C_{<0.05}$) 与土壤中可蚀性颗粒含量 ($C_{<0.85}$, A) 和土壤可蚀性颗粒中粒径 <0.05 mm 干团聚体颗粒含量 ($C_{<0.05/<0.85}$, B) 的关系

Fig.4 Relationship between the content of fine dry aggregate particles with particle size of <0.05 mm in soil ($C_{<0.05}$) and the content of erodible particles in soil ($C_{<0.85}$, A) and the content of fine dry aggregate particles with particle size of <0.05 mm in soil erodibility part ($C_{<0.05/<0.85}$, B)

对 84 组土壤样品 $C_{<0.05}$ 值与 $C_{<0.05/<0.85}$ 值的关系研究表明,二者呈显著的线性正相关关系(图4B)。 $C_{<0.05}$ 值越高的土壤,其 $C_{<0.05/<0.85}$ 值往往也越高。本研究的风洞实验已证实, $C_{<0.05/<0.85}$ 值越高,则其土壤可蚀性部分的粉尘释放能力越强。因此,对于团聚体发育的土壤,由于 $C_{<0.05}$ 值与 $C_{<0.85}$ 值和 $C_{<0.05/<0.85}$ 值均呈显著的正相关关系,如果 $C_{<0.05}$ 值较高,则其 $C_{<0.85}$ 值和 $C_{<0.05/<0.85}$ 值也均较高,即土壤可蚀性和土壤可蚀性部分的粉尘释放能力均较强,其结果必然带来较强的土壤粉尘释放能力,这间接验证了 $C_{<0.05}$ 值作为表征团聚体发育土壤表面粉尘释放能力指标的适

用性。

对团聚体结构分散的沙质土壤,由于 $C_{<0.05}$ 与 $C_{<0.85}$ 呈负相关,与 $C_{<0.05/<0.85}$ 呈正相关,因此,不能确定 $C_{<0.05}$ 是否可作为表征分散沙质土壤表面粉尘释放能力的指标。 $C_{<0.05}$ 作为分散沙质土壤表面粉尘释放能力表征指标的适用性还需进一步地验证。

4 结论

各种土壤基本理化性质中,黏粒含量、有机质含量和碳酸钙含量对土壤粉尘释放能力的影响不

显著;粉沙和沙粒含量对土壤粉尘释放能力的影响较显著,具有随着土壤中粉沙和沙粒含量增加,土壤粉尘释放能力先增大后降低的趋势,支持了有关学者提出的中等质地土壤具有最强的粉尘释放能力的观点。

土壤粉尘释放能力具有随土壤干团聚体中 $C_{<0.05/<0.85}$ 值增加呈线性规律显著增大,随 $C_{0.1-0.5/<0.85}$ 值增加呈幂函数规律显著降低的趋势。土壤干团聚体粒度组成对土壤粉尘释放能力的影响比土壤基本理化性质更加显著,原因是其可更加直接地反映各种土壤基本性质对土壤粉尘释放能力的综合影响。

本研究提出对于团聚体发育的土壤,用土壤干团聚体粒度组成中细颗粒的含量,特别是 $C_{<0.05}$ 值作为反映土壤粉尘释放能力的指标,原因是其与土壤可蚀性颗粒含量 ($C_{<0.85}$) 和土壤可蚀性颗粒中粒径 <0.05 mm 细颗粒含量 ($C_{<0.05/<0.85}$) 均呈显著的线性正相关关系,则得到土壤样品分析结果的间接证实。

本研究是对土壤粉尘释放能力与土壤性质关系问题研究的一次有益探索,提出以 $C_{<0.05}$ 作为表征团聚体发育土壤表面粉尘释放能力的指标,但缺少直接的实验数据验证。另外,由于采样范围较小,风洞实验样品数较少,本项研究结果的代表性存在不足,这需要更大范围的取样分析和更进一步的实验验证。作者先期发表此文,希望能够起到抛砖引玉的作用,引起更多学者关注土壤粉尘释放能力与土壤性质关系问题,早日回答哪种性质的土壤具有更强粉尘释放能力这一长期困扰风沙学界的科学问题。

参考文献:

- [1] Kok J F, Ward D S, Mahowald N M, et al. Global and regional importance of the direct dust-climate feedback[J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 241.
- [2] 黄宁, 辜艳丹. 粉尘释放和沉积机制的研究进展[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(11): 1175-1184.
- [3] 邹学勇, 张春来, 程宏, 等. 土壤风蚀模型中影响因子的分类与表达[J]. *地球科学进展*, 2014, 29(8): 875-889.
- [4] Kok J F, Parteli E J R, Michaels T I, et al. The physics of wind-blown sand and dust[J]. *Reports on Progress in Physics*, 2012, 75(10): 106901.
- [5] Avecilla F, Panebianco J E, Buschiazzi D E. A wind-tunnel study on saltation and PM_{10} emission from agricultural soils[J]. *Aeolian Research*, 2016, 22: 73-83.
- [6] Carvacho O F, Ashbaugh L L, Brown M S, et al. Measurement of $PM_{2.5}$ emission potential from soil using the UC Davis resuspension test chamber[J]. *Geomorphology*, 2004, 59: 75-80.
- [7] Funk R, Reuter H I, Hoffmann C, et al. Effect of moisture on fine dust emission from tillage operations on agricultural soils[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2008, 33(12): 1851-1863.
- [8] Aimar S F, Mendez M J, Funk R, et al. Soil properties related to potential particulate matter emissions (PM_{10}) of sandy soils[J]. *Aeolian Research*, 2012, 2: 437-443.
- [9] Sweeney M R, McDonald E V, Etyemezian V. Quantifying dust emissions from desert landforms, eastern Mojave Desert, USA[J]. *Geomorphology*, 2011, 135: 21-34.
- [10] Wang X M, Wang G, Lang L, et al. Aeolian transport and sandy desertification in semiarid China: a wind tunnel approach[J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(6): 605-612.
- [11] Zhang Z C, Dong Z B, Li J Y, et al. Implication of surface properties for dust emission from gravel deserts (gobis) in the Hexi Corridor[J]. *Geoderma*, 2016, 268: 69-77.
- [12] Rice M A, McEwan I K. Crust strength: a wind tunnel study of the effect of impact by saltating particles on cohesive soil surfaces[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26(7): 721-733.
- [13] Buschiazzi D E, Funk R. Wind erosion of agricultural soils and the carbon cycle[M]//Banwart S A. *Soil Carbon Science Management and Policy for Multiple Benefits*. London, UK: CABI Press, 2015: 161-168.
- [14] Lee J A, Zobeck T M. Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference [C]. Lubbock, Texas, USA: Texas Technical University, 2002.
- [15] Bullard J E, McTainsh G H, Pudmenzky C. Aeolian abrasion and modes of fine particle production from natural red dune sands: an experimental study[J]. *Sedimentology*, 2004, 51: 1103-1125.
- [16] Shao Y P. Physics and Modelling of Wind Erosion[M]. Heidelberg, Germany: Springer, 2008.
- [17] Webb N P, Strong C L. Soil erodibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models[J]. *Aeolian Research*, 2011, 3: 165-179.
- [18] Chepil W S. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis[J]. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1962, 26: 4-6.
- [19] Skidmore E L, Hagen L J, Armbrust D V, et al. Methods for investigating basic processes and conditions affecting wind erosion[M]//Lal R. *Soil Erosion Research Methods*. Delray Beach, USA: St. Lucie Press, 1994: 295-330.
- [20] 王仁德, 李庆, 常春平, 等. 土壤风蚀中粉尘释放问题的研究进展[J]. *中国沙漠*, 2023, 43(2): 85-103.
- [21] Kang L, Zhang J, Yang Z, et al. Experimental investigation on shear-stress partitioning for flexible plants with approximately zero basal-to-frontal area ratio in a wind tunnel[J]. *Boundary-*

Layer Meteorology, 2018, 169(2):251–273.

[22] Feng G, Sharratt B, Wendling L. Fine particle emission poten-

tial from loam soils in a Semiarid Region[J]. Soil Science Society of America Journal, 2011, 75(6):2262–2270.

Preliminary research on the relationship between soil dust emission ability and soil properties

Wang Rende¹, Jiang Hongjun¹, Li Qing¹, Fu Gang¹, Li Yuqiang²,
Yuan Yixiao³, Chang Chunping⁴, Guo Zhongling⁴

(1. Institute of Geographical Sciences / Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Hebei Academy Sciences, Shijiazhuang 050011, China; 2. College of Management Science and Engineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050002, 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; 4. College of Resource and Environment Sciences / Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China)

Abstract: The soil dust emission ability (SDEA) is a key factor to determine the regional dust emission amount, but there has been a lack of suitable soil property indicators to characterize. In this paper, the relationship between SDEA and soil properties is studied by means of field sampling and wind tunnel experiment. The results showed that only the content of silt and sand particles in soils has a significant impact on SDEA among the basic physical and chemical properties of soil related to wind erosion. The SDEA first increases and then decreases with the increase of silt and sand content in soils, which supports the viewpoint proposed by relevant scholars that medium texture soil has the strongest dust emission ability. The SDEA is more closely related to the particle size composition of soil dry aggregates, which increases linearly with the increase of the content of fine particles with a diameter of <0.05 mm in soil erodible particles ($C_{<0.05/<0.85}$), and decreases significantly with the increase of the content of saltation particles with a diameter of $0.1-0.5$ mm in soil erodible particles ($C_{0.1-0.5/<0.85}$) in a power function law. Among the various indicators of soil physical and chemical properties, only the content of fine particles with diameter of <0.05 mm in soil dry aggregates ($C_{<0.05}$) can reflect the comprehensive impact of various soil basic physical and chemical properties on SDEA, and is significantly linearly correlated with the two positive indicators that affect SDEA, namely the content of soil erodible particles ($C_{<0.85}$) and the value of $C_{<0.05/<0.85}$. The $C_{<0.05}$ should be a suitable soil indicator to characterize the SDEA for soil of aggregate development, which is confirmed by the analysis results of soil samples, but further experimental verification is needed.

Key words: soil dust emission ability; total emission amount of PM_{10} ; soil physical and chemical properties; soil erodibility; wind tunnel experiment