

锡林郭勒草地表层土壤粒度分形特征及其与风蚀的关系

孙传龙, 张卓栋, 邱倩倩, 刘亮

(北京师范大学 地理学科学学部 地理学院, 北京 100875)

摘要: 在锡林郭勒草地以 400 m 为间距均匀布设 160 个样点, 采集各点表层 0~1 cm 土样, 测定土壤机械组成, 计算土壤粒度分形维数, 分析锡林郭勒草地景观尺度土壤粒度分形特征及其与风蚀的关系。结果表明: (1) 分形维数越小, 土壤质地越粗, 分形维数与小于 0.05 mm 细颗粒含量显著正相关, 与大于 0.05 mm 粗颗粒含量显著负相关; (2) 分形维数随土地利用状况的变化趋势为禁牧>轻牧>中牧>重牧>耕地。在草地条件下, 土壤容重值越大, 分形维数越小; 在耕地条件下, 二者无显著相关关系; (3) 分形维数越大, 风蚀危险性越低, 分形维数越小, 风蚀危险性越高。

关键词: 土壤粒度; 分形维数; 土地利用; 风蚀危险性; 锡林郭勒草地

文章编号: 1000-694X(2017)05-0978-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00075

中图分类号: S151.9; S157.1

文献标志码: A

0 引言

中国是世界上风蚀荒漠化最严重的国家之一, 特别是北方农牧交错带, 生态弹性小、稳定性差, 不合理的资源开发、土地利用等导致的土地退化与荒漠化已成为该区最主要的环境问题^[1]。锡林郭勒草原位于内蒙古高原东南缘, 是西北干旱区向东北湿润区和华北旱作农业区的过渡地带。20 世纪 50 年代以来, 区域气候变化和人类活动的不断加剧导致本区草地植被退化, 生产力下降, 土地风蚀沙化, 沙尘暴频发, 生态系统日渐退化。

土壤颗粒的运动是土壤风蚀过程在微观尺度上的表现。粒度是描述土壤颗粒的基本物理指标之一。土壤粒度组成及特征会影响土壤的持水及抗风蚀等能力, 是土壤风蚀研究中重要的基本指标^[2-3]。传统的土壤粒度研究以土壤机械组成分析为基础, 采用不同粒径颗粒含量的变化表征荒漠化程度, 其核心是不同粒径土壤颗粒所占百分比, 常用一组数或一张图(如柱状图、累积曲线图等)呈现。土壤机械组成信息表达全面但不够简单明了, 涉及的参数较多, 分析过程较复杂, 在实际研究中具有一定的局限性^[4]。由于土壤粒径、颗粒表面积、颗粒体积、孔隙等都具有自相似性, 因此, 可通过分形理论来评

价, 进而研究土壤复杂的组成与结构特征^[5]。20 世纪 80 年代以来, 分形理论被引入到土壤粒度研究, 并通过分形维数的计算来表征土壤质地的粗细程度^[6]。借助单个参数替代多参数土壤粒度组成数据来定量表达土壤质地特征, 不仅能够表征土壤粒径的大小组成, 而且能反映质地均一程度, 使土壤粒度研究变得更简单, 较好地弥补了单纯应用土壤机械组成数据的局限性, 已逐渐成为定量描述土壤质地与结构特征的重要方法^[7]。Arya 等^[8]和 Turcotte^[9]提出用土壤粒径分布的体积和数量计算分形维数, Tyler 等^[10]和杨培岭等^[11]对其进行改进, 提出用更易通过实验获得的土壤颗粒的重量分布计算粒径的分形维数, 来表征粒径的大小和土壤质地组成的均匀程度, 极大方便了通过分形维数来描述土壤质地与结构特征, 使分形理论在土壤及风沙研究中的应用更为广泛^[12]。

众多学者对风蚀荒漠化发生区域的土壤粒度特征进行了大量研究, 在不同地表覆盖条件^[13]、不同土地利用模式^[14]及不同剖面^[15]的土壤粒度特征等方面已取得了长足进展, 但这些研究多直接使用机械组成数据, 分形理论的应用还较少; 这些研究的研究区主要集中在西北地区, 空间尺度较小^[16]或在在大空间尺度零星采样^[17], 作为过渡的景观尺度上的系

收稿日期: 2016-04-22; 改回日期: 2016-06-03

资助项目: 国家自然科学基金项目(41301282)

作者简介: 孙传龙(1991—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源利用与保护。E-mail: clsun@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 张卓栋(E-mail: zzhang@bnu.edu.cn)

统研究还少有报道。锡林郭勒草地在景观尺度上地形条件、土壤性质及植被状况均具有明显空间异质性,不同的下垫面条件对风蚀过程的响应及敏感程度不一样^[18],表土粒度特征也不一样,在景观尺度进行土壤粒度研究对更深入、精细地掌握草原风蚀分布与特征具有重要意义。

本研究通过对锡林郭勒草地景观尺度的表层风蚀土壤颗粒进行分形维数计算与统计分析,得出表土粒度分形维数的特点及空间变异规律,并深入分析其与风蚀的关系,以期为该区域土壤风蚀地表参数提供科学资料,并为该区域风蚀防治和土地利用方式的调整提供理论指导。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

研究区(43°33′20″—43°33′40″N,116°29′40″—

116°41′20″E)位于内蒙古自治区中部,锡林郭勒河流域南部(图 1),距离锡林浩特市南约 70 km,距离北京市正北约 400 km,东西长 12.4 km,南北宽 1.6 km,总面积为 19.84 km²。研究区地势东高西低,海拔 1 161~1 389 m,西部地形平坦,东部多山。本研究区属于中温带半干旱大陆性气候,春季大风少雨,蒸发强烈,日照充沛;夏季温暖,雨热同季;秋季时间短,气温骤降;冬季干冷漫长。年平均气温 0.7℃,年均降水量 350 mm,集中在 5—9 月。由于受西伯利亚和亚洲东部之间的高气压梯度力影响,该地区 3—5 月为风期,地上 3 m 内平均风速为 3.05 m·s⁻¹^[19],多发风蚀和沙尘暴,土地利用状况在锡林郭勒草地具有较好的代表性。研究区内主要植被为羊草(*Leymus chinensis*)和大针茅(*Spipa grandis*),受降水影响,植被的生长季也为 5—9 月。研究区主要土地利用方式为放牧草地,其次为耕地、灌木林地。根据放牧程度的差别,草地可分为禁牧区、

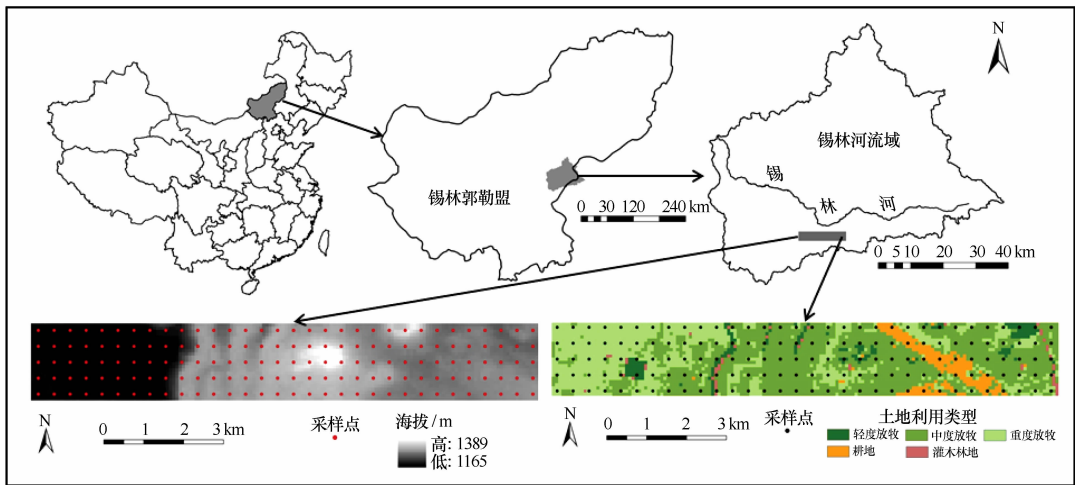


图 1 研究区位置、地形及土地利用状况及采样点分布

Fig. 1 Location, DEM and land use of the study area and distribution of the sampling positions

轻度牧区、中度牧区及重度牧区。

1.2 样品采集及处理

本研究野外调查与采样时间为 2014 年 5 月。在研究区内以 400 m 为间隔,利用 GPS 仪定位,自西向东进行网格布点。在每个样点调查坡度、坡向、植被高度、植被盖度,并取表层 0~1 cm 土样。土样经自然风干后,去除植物根系并过 2 mm 孔径筛,采用吸管法定测定样品机械组成。利用 100 cm³ 不锈钢环刀采集 1~6 cm 土样,将环刀土样带回室内在 105℃ 条件下烘干 24 h 后称重,计算土壤容重。采用美国制土壤粒级划分标准,将样品的土壤粒度分为 8 个等级,分别为 2~1 mm 极粗砂,1~0.5 mm

粗砂,0.5~0.25 mm 中砂,0.25~0.10 mm 细砂,0.10~0.05 mm 极细砂,0.05~0.02 mm 粗粉粒,0.02~0.002 mm 细粉粒,<0.002 mm 黏粒。

1.3 分形维数计算

设求一个客体某测量值时所用的标准测量体的“半径”为 r ,则以该单位量度的测量值结果 $N(r) \propto r^{-D}$,缩小 r ,当 $r \rightarrow 0$ 时,得到的 D 即为分形维数^[20]。实际应用中,土壤的分形维数计算采用杨培岭等^[11]的方法,即用土壤粒径的重量分布表征的土壤分形模型来计算土壤颗粒的分形维数。其表达式为:

$$\left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}}\right)^{3-D} = \frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0} \quad (1)$$

式中: \bar{d}_i 为两筛分粒级 d_i 与 d_{i+1} 的平均值, \bar{d}_{max} 为最大粒级土粒的平均直径, $W(\delta < \bar{d}_i)$ 为小于 \bar{d}_i 的累计土粒重量, W_0 为土壤各粒级重量的总和。利用(1)式, 分析土体颗粒的机械组成, 便可得到各级土体颗粒及小于某一粒径土壤的质量。然后分别以 $\log \frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0}$ 为纵、横坐标进行直线回归分析, 求得拟合斜率 K , 根据 $K=3-D$ 进而计算出分形维数 D 。

2 结果与分析

2.1 土壤粒度分形维数总体特点

研究区表层土壤粒度分形维数集中在 2.62~2.72(图 2), 累积频率达 86.88%。极大值 2.73, 极小值 2.50, 均值 2.66, 变异系数 $C_V=2.04\%$ 。一般认为 $C_V < 10\%$ 即为弱变异性, 故研究区表层土壤分形维数变异性较弱。

在 ArcGIS 10.1 中运用普通克里金插值法将分形维数插值到整个研究区(图 3), 结果表明, 研究区

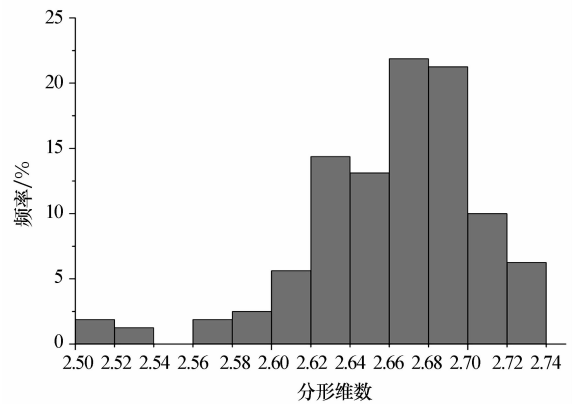


图 2 土壤粒度分形维数频率分布

Fig. 2 The frequency distribution of soil particle size fractal dimension

西部区域分形维数相对于中部及东北部区域较低, 土地利用类型主要为重度放牧; 分形维数较大值主要集中在东北部及中部部分区域, 土地利用类型主要为禁牧及轻度放牧; 分形维数最小值出现在东南部区域, 且明显小于其他区域, 土地利用类型主要为耕地。

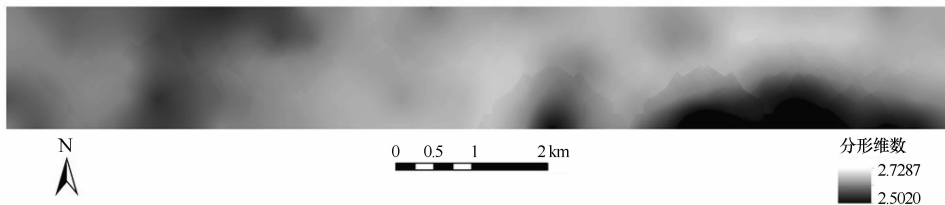


图 3 土壤粒度分形维数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil particle size fractal dimension

2.2 土壤粒度分形维数与土壤粒径的关系

选择分形维数最大(a)、居中(b)、最小(c)的 3

个样点, 比较三样点的地表条件(表 1)。分形维数最大的样点植被高度、粉粒含量远大于其他两点。随分形维数减小, 土地利用强度、植被盖度呈下降趋

表 1 典型样点地表条件

Table 1 Surface condition of typical samples

编号	土地利用	地形	植被高度/cm	植被盖度/%	砂粒含量/%	粉粒含量/%	黏粒含量/%	D
a	禁牧	背风坡	29.44	100	35.6748	40.1785	24.1467	2.7282
b	中度放牧	背风坡	7.89	95	57.4196	27.4489	15.1315	2.6686
c	耕地	迎风坡	8.67	70	66.9765	26.0720	6.9515	2.5036

势, 土壤黏粒含量增加, 砂粒含量则减少。

对 3 个样点绘制土壤粒径累积曲线(图 4), 累积曲线越陡直说明分选性越好。分形维数最高的样点的曲线斜率在粒径小于 0.1 mm 时保持相对一致, 当粒径大于 0.1 mm 时, 斜率变小, 接近 0, 说明该样点土壤颗粒在 0.1 mm 粒径以下分选性较好, 大于 0.1 mm 的颗粒含量较少; 对于分形维数最低的样点, 斜率在 0.05 mm 粒径处发生显著变化, 大

于 0.05 mm 时斜率变大, 说明该样点土壤颗粒在 0.05 mm 粒径以上分选性较好, 含量较多; 分形维数居中的样点的斜率及颗粒分选性均介于其他两个样点之间。

将土壤各粒级含量与分形维数进行 Pearson 相关性分析(图 5), 结果表明, 土壤质地越粗, 分形维数越小, 当土壤粒径大于 1 mm 时, 分形维数与土壤粒径相关系数为 -0.013, 显著性水平为 0.156, 二

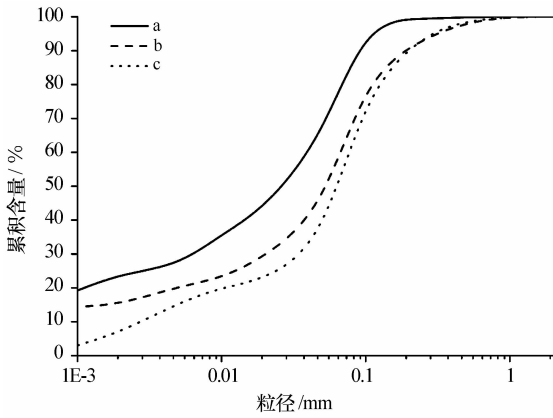


图4 土壤粒径累积曲线

Fig. 4 Cumulative curves of soil particles

者未表现出明显的相关性;当土壤粒径小于1 mm且大于0.05 mm时,分形维数与土壤粒径的相关系数为负值,在0.01水平上呈显著负相关关系;当土壤粒径小于0.05 mm时,分形维数与土壤粒径的相关系数为正值,在0.01水平上呈显著正相关关系;当土壤粒径小于0.002 mm时,分形维数与土壤粒径的相关系数为0.873,分形维数与土壤粒径呈极显著正相关关系。

2.3 土壤粒度分形维数与土地利用的关系

对研究区土壤的分形维数与土地利用方式建立对应关系(表2),可以看出,分形维数随土地利用状况的变化趋势为禁牧>轻牧>中牧>重牧>耕地,说明土地利用强度越大,分形维数越小。草地的分形维数变异系数为1%左右,变异性极弱,说明相同放牧程度草地内部土壤分形特征非常一致;耕地条件下,分形维数变异系数为2.66%,大于草地条件下的变异系数,但仍属于弱变异性范围内,说明耕地内部土壤分形特征相对一致,但差异比草地条件大。

将分维平均值与土壤容重进行 Pearson 相关性分析(图6),得到二者相关系数为-0.265,在0.01水平上显著负相关。为了进一步分析不同土地利用条件下分形维数与容重的关系,将耕地与草地的分维平均值单独与土壤容重进行 Pearson 相关分析,结果表明:耕地分维平均值与土壤容重相关系数为0.071,显著性水平为0.795,二者不具备明显相关性;草地分维平均值与土壤容重相关系数为-0.349,显著性水平为0,二者在0.01水平上显著负相关。这说明在草地条件下,土壤容重值越大,分维值越小;但在耕地条件下,分维值与土壤容重无显著相关关系。

3 讨论

3.1 土壤粒度分形维数对风蚀的响应特征

本研究区土壤粒度分形维数与黏粒及粉粒含量正相关,与砂粒含量负相关,0.05 mm是影响土壤粒径与分形维数关系的转折点,且小于0.05 mm的颗粒含量与分形维数的相关性更显著。该转折粒径与部分学者^[21-22]所得结果不同,主要是由于不同研究区土壤侵蚀外营力不同,对于大区域,在以风蚀为主的沙质荒漠化过程发生时,损失的主要是悬移质的粉尘,而0.05 mm正是悬移质粉尘的最大粒径值,只有小于该粒径的悬移质才能随气流飘扬出区域外^[23]。

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,是决定土壤抗蚀性的重要因素^[24]。随着风蚀程度的增加,粉粒和黏粒等细颗粒组分被选择性地移出系统,表层土壤粒度逐渐粗化,而表土颗粒又可以通过影响自身运动性质与强度,最终影响风蚀强度^[25]。土壤粒度与分形维数的相关关系表明,分形维数能够指示风蚀作用下土壤颗粒物质的损失状况,即分形维数越大,细粒物质的含量越高,土壤风蚀程度越弱。

3.2 土地利用方式对土壤粒度分形维数的作用机制

结合表1与表2分析得出,随着放牧强度的增大,地表植被受损加重,植被盖度、高度下降,地表裸露面积增加。在风的吹蚀下,细颗粒被剥离,土壤粗砂、中砂粒含量依次增加,细砂、粉砂和黏粒的含量依次减少。因此,分形维数随放牧强度的增大而逐渐变小。对于传统耕地,翻耕诱发的风蚀坑有97%处于活动状态,而且农田风蚀的季节性较其他土地利用方式明显,大部分土地裸露过冬^[26]。每年的冬春季节,尤其在3、4月份,锡林郭勒地区干旱少雨,土壤含水量低,沙尘暴肆虐使得表层土壤被破坏,风蚀荒漠化严重,表层土壤中小于0.05 mm的粒径大量减少,因此导致分形维数较小。

邱倩倩等^[27]的研究表明,随草原放牧强度的增大,植被盖度降低,表层土壤被压实,土壤容重总体呈变大趋势。对于本研究区,草地容重主要受放牧强度的影响,放牧强度越高,容重越大。随着放牧强度增大,土壤粒度分形维数呈下降趋势,故分形维数与容重呈负相关。对耕地而言,植被类型均一,耕

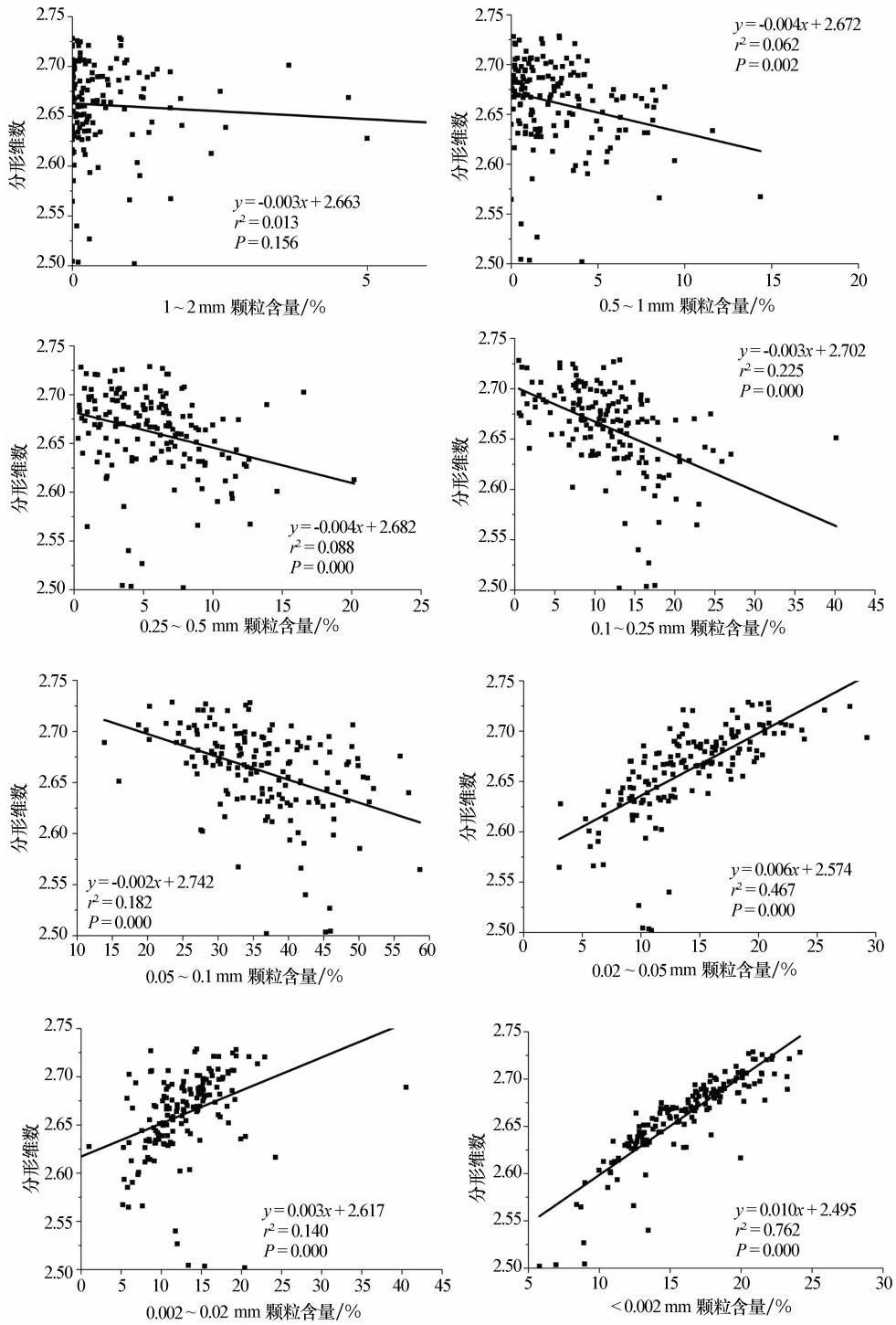


图 5 不同粒径颗粒含量与分形维数的相关性

Fig. 5 Correlation between particle size and fractal dimension

表 2 分形维数与土地利用的关系

Table 2 Relationship between fractal dimension and land use

土地利用	观测数	分维最大值	分维最小值	分维平均值	变异系数	容重平均值
禁牧	4	2.72	2.68	2.70	0.61%	1.14
轻牧	16	2.73	2.59	2.68	1.13%	1.17
中牧	82	2.73	2.50	2.67	1.36%	1.18
重牧	42	2.69	2.57	2.64	1.07%	1.28
耕地	16	2.72	2.50	2.62	2.66%	1.22

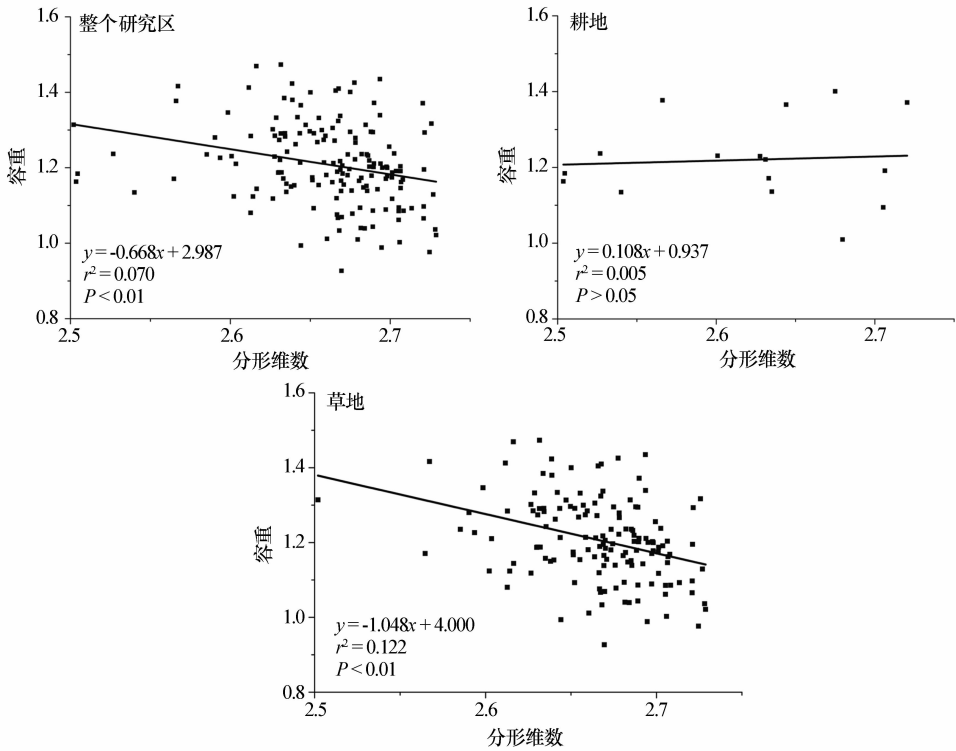


图 6 分形维数与土壤容重的相关性

Fig. 6 Correlation between fractal dimension and soil bulk density

作措施相似,影响土壤质地的非土壤因素相对一致,因此容重与分形维数的相关性具有随机性和不确定性,二者无明显的相关关系。

3.3 表土粒度分形维数对风蚀评价的指导意义

不同土地利用及地表条件影响下的风蚀过程是形成不同土壤粒度特征的重要原因,因此表土粒度

与风蚀危险性具有一定的相关性。孙传龙等^[28]在本研究区选用坡位、坡度、坡向、坡形、土壤容重、土壤含水量、砂粒含量、植被高度、植被盖度、结皮盖度、结皮厚度、苔藓盖度等 12 个影响因子,运用层次分析法计算得到了本研究区风蚀危险性指数。各因子对风蚀危险性的权重如表 3 所示,风蚀危险性 0.2~0.8。将风蚀危险性结果与 Funk 等^[19]运用

表 3 风蚀危险性分析因子权重^[28]

Table 3 Weights of the wind erosion risk analysis indexes^[28]

		B1 地形特征	B2 土壤性质	B3 地表覆盖	权重 (W)
		0.1638	0.2972	0.5389	
C1	坡位	0.1411	—	—	0.0231
C2	坡度	0.4547	—	—	0.0745
C3	坡向	0.2630	—	—	0.0431
C4	坡形	0.1411	—	—	0.0231
C5	土壤含水量	—	0.2500	—	0.0743
C6	土壤容重	—	0.2500	—	0.0743
C7	砂粒含量	—	0.5000	—	0.1487
C8	植被高度	—	—	0.2442	0.1316
C9	植被盖度	—	—	0.4017	0.2165
C10	结皮盖度	—	—	0.1373	0.0740
C11	结皮厚度	—	—	0.0794	0.0428
C12	苔藓盖度	—	—	0.1373	0.0740

^{137}Cs 示踪技术对锡林郭勒草原土壤年平均侵蚀与堆积速率的测算结果进行了对比验证,证明该风蚀危险性结果具有很好的可靠性,可真实反映研究区的风蚀程度。

将本研究所得土壤粒度分形维数与土壤风蚀危险性进行 Pearson 相关性分析,如图 7 所示。分形维数与风蚀危险性的相关系数为 -0.485 ,显著性水平为 0.000 ,二者在 0.01 水平上显著负相关。这表明分形维数越大,风蚀危险性越低;反之,风蚀危险性越高。

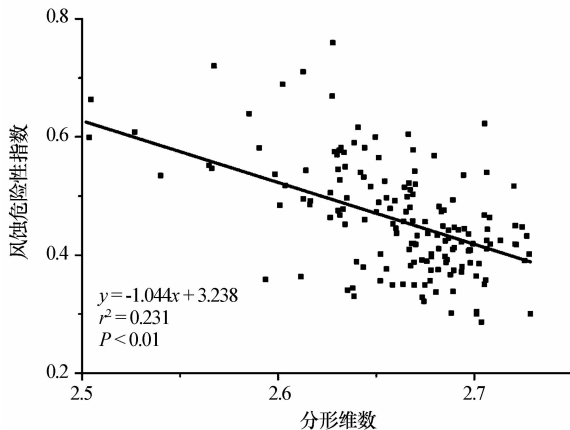


图 7 分形维数与风蚀危险性的相关性

Fig. 7 Correlation between fractal dimension and wind erosion risk

对于本研究区,由不同土地利用产生的不同地表植被覆盖所决定的地表粗糙度差异是造成风蚀程度不同的主要原因^[29],土地利用强度增大会导致地表覆盖度越低、地表粗糙度越小,最终导致风蚀危险性增高。随土地利用强度的增大,分形维数呈下降趋势,二者呈负相关关系,同时分形维数又与风蚀危险性呈显著负相关关系。这说明土壤粒度分形维数可以指示土壤颗粒组成状况,进而反映本区的土壤风蚀状况。

4 结论

锡林郭勒草地表层风蚀土壤颗粒的分形维数与土壤粒径的关系为:砂粒含量越高,土壤分形维数越低,但分形维数与极粗砂含量关系不大;细粒(粉粒、黏粒)含量越高,土壤分形维数越大。 0.05 mm 是分形维数与土壤粒径正负相关性的转折点,尤其当土壤粒径小于 0.002 mm 时,二者正相关关系极显著。放牧导致表层土壤被破坏,风蚀程度加重,粗颗粒比例增加,土壤容重变大,分形维数降低;耕地表土疏松,土壤容重较小,但地表裸露程度较大,风蚀

危险性高,细颗粒损失多,分形维数较小。

参考文献:

- [1] 王涛. 携手应对环境退化挑战,实现干旱区可持续发展——第十一届国际干旱区开发大会侧记[J]. 中国沙漠,2013,13(4): 1281—1283.
- [2] 郭中领,张科利,董建志,等. 利用分形理论解决不同土粒分级标准间土壤质地资料的转换问题[J]. 地理科学,2011(10): 1254—1260.
- [3] 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):3—23.
- [4] 葛拥晓,吉力力·阿不都外力,刘东伟,等. 艾比湖干涸湖底 6 种景观类型不同深度富盐沉积物粒径的分形特征[J]. 中国沙漠,2013,33(3):804—812.
- [5] 曾宪勤,刘和平,路炳军,等. 北京山区土壤粒径分布分形维数特征[J]. 山地学报,2008(1):65—70.
- [6] 屈建军,常学礼,董光荣,等. 巴丹吉林沙漠高大沙山典型区风沙地貌的分形特性[J]. 中国沙漠,2003,23(4):361—365.
- [7] 贾晓红,李新荣,张景光,等. 沙冬青灌丛地的土壤颗粒大小分形维数空间变异性分析[J]. 生态学报,2006(9):2827—2833.
- [8] Arya L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density [J]. Soil Science Society of America Journal, 1981,45(6):1023—1030.
- [9] Turcotte D L. Fractals and fragmentation [J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 1986,91(B2):1921,1926.
- [10] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations [J]. Soil Science Society of America Journal, 1992,56(2):362—369.
- [11] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993(20):1896—1899.
- [12] 郭中领,符素华,王向亮,等. 北京地区表层土壤分形特征研究 [J]. 水土保持通报,2010(2):154—158.
- [13] 刘鸿雁,田育红,丁登. 内蒙古浑善达克沙地和河北坝上地区不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献[J]. 科学通报,2003(11):1229—1232.
- [14] Gao G L, Ding G D, Zhao Y Y, et al. Characterization of soil particle size distribution with a fractal model in the desertified regions of Northern China [J]. Acta Geophysica, 2015,64(1): 1—14.
- [15] Xiao L, Xue S, Liu G, et al. Fractal features of soil profiles under different land use patterns on the Loess Plateau, China [J]. Journal of Arid Land, 2014(5):550—560.
- [16] 李顺江,胡霞,刘连友. 开垦对退化沙质草地土壤机械组成及有机碳分布的影响[J]. 水土保持研究,2011(4):150—152.
- [17] 赵超,鲁瑞洁,李金凤. 青海湖流域土地沙漠化及表土粒度特征[J]. 中国沙漠,2015,35(2):276—283.
- [18] Zhang Z, Wieland R, Reiche M, et al. Identifying sensitive areas to wind erosion in the Xilingee grassland by computational fluid dynamics modelling [J]. Ecological Informatics, 2012, 8(2):37—47.
- [19] Funk R, Li Y, Hoffmann C, et al. Using ^{137}Cs to estimate wind

- erosion and dust deposition on grassland in Inner Mongolia—selection of a reference site and description of the temporal variability[J]. *Plant & Soil*, 2012, 351(1/2): 293—307.
- [20] 张科利, 细山田健三. 坡面侵蚀沟网发育的分形研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998(5): 1—6.
- [21] 丁敏, 庞奖励, 刘云霞, 等. 黄土高原不同土地利用方式下土壤颗粒体积分形特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2010(11): 161—165.
- [22] 文星跃, 黄成敏, 黄凤琴, 等. 岷江上游河谷土壤粒径分形维数及其影响因素[J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 2011(1): 80—86.
- [23] 朱震达, 陈广庭. *中国土地沙质荒漠化*[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [24] 屈建军, 王涛, 董治宝, 等. 沙尘暴风洞模拟实验的综述[J]. *干旱区资源与环境*, 2004(S1): 109—115.
- [25] 高泽永, 王一博, 文晶, 等. 长江源多年冻土区热融湖塘的形成对土壤沙化过程的影响[J]. *中国沙漠*, 2014, 34(3): 758—764.
- [26] 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—646.
- [27] 邱倩倩, 张卓栋, 孙传龙, 等. 锡林郭勒草地景观系统土壤容重空间变异及其与风蚀的关系[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(6): 58—62.
- [28] 孙传龙, 张卓栋, 邱倩倩, 等. 基于层次分析法的锡林郭勒草地景观系统风蚀危险性分析[J]. *干旱区地理*, 2016, 39(5): 1036—1042.
- [29] Hoffmann C, Funk R, Wieland R, et al. Effects of grazing and topography on dust flux and deposition in the Xilingele grassland, Inner Mongolia[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(5): 792—807.

Fractal Characteristics of Surface Soils in the Xilinguole Grassland Landscape System and Its Relationship to Wind Erosion

Sun Chuanlong, Zhang Zhuodong, Qiu Qianqian, Liu Liang

(School of Geography, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: A landscape scale transect was chosen in the Xilinguole grassland, in which 160 investigating and sampling points with an interval of 400 m were designed to collect surface soil in the depth of 0—1 cm. Soil particle distribution of the samples was determined, and the characteristics of fractal dimension of the soil particles as well as their relationship to wind erosion were analyzed. Results show that: (1) the smaller the fractal dimension is, the coarser the soil texture is. Fractal dimension has a significant positive correlation with fine particles smaller than 0.05 mm, and significant negative correlation with coarse particles larger than 0.05 mm. (2) The trend of fractal dimensions among different land use is ungrazed > lightly grazed > moderately grazed > heavily grazed > cultivated land. In grassland, the larger the soil bulk density is, the smaller the fractal dimension is. In cultivated land, there is no significant correlation between fractal dimension and soil bulk density. (3) The greater the fractal dimension is, the lower the wind erosion risk is. The smaller the fractal dimension is, the higher the wind erosion risk is.

Key words: soil particle size; fractal dimension; land use; wind erosion risk; Xilinguole grassland