

## 不同管理模式下干旱草地粒度特征<sup>①</sup>

郅亚栋<sup>1,3</sup>, 杨建军<sup>1,3</sup>, 孙华斌<sup>4</sup>, 何学敏<sup>2,3</sup>, 吕光辉<sup>2,3\*</sup>

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2 新疆大学干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046;

3 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 4 新疆富蕴县草原站, 新疆阿勒泰 836109)

**摘要:** 土壤粒径分布及空间变化对土壤溶质和水盐运移、土壤肥力状况等有重要意义, 是土壤重要物理特性之一。基于新疆准噶尔北部、阿勒泰山南麓不同管理模式下的草地(荒漠草地、天然草地、弃耕草地、季节草地和禁牧草地), 运用质地分类和分形理论探讨草地粒度特征。结果发现: 研究区土壤颗粒中黏粒含量最低, 最小值仅有 0.17 g/kg, 砂粒含量最高, 最大值可达 900.37 g/kg, 粒径分布呈现单峰特征, 表明土壤发育较差; 砂粒和粉粒含量之间呈极显著负相关关系, 相关系数为 0.999 8 ( $P < 0.01$ ), 推测成土母质和地域差异导致土壤中砂粒和粉粒几乎占了全部; 荒漠草地、天然草地和弃耕草地黏粒含量的平均值随着土层深度增加而减小, 呈现出负相关特征, 而季节草地和禁牧草地并无此特征; 荒漠草地的分形维数  $D$  值最大, 可能是因为灌木作为该生态系统中的优势植物, 能有效地减缓荒漠草地逆向演替和消亡的进程, 对土壤颗粒具有一定的细化作用; 所有土壤样品分形维数  $D$  与黏粒含量均具有较强相关性, 天然草地、荒漠草地和弃耕草地的分形维数  $D$  分别与粉粒和砂粒含量的相关性较强, 与禁牧和季节草地的相关性较差, 说明春、秋轮牧对土壤的干扰可能超过了土壤本身承载能力, 对土壤颗粒组成破坏比较大, 影响了土壤发育, 放牧向禁牧转化时期的长短可能决定了土壤的发育是否良好。

**关键词:** 土壤粒径分布; 草地管理; 干旱草地; 质地三角; 分形分析

**中图分类号:** S152      **文献标识码:** A

草地作为陆地生态系统最大的天然屏障<sup>[1]</sup>, 是干旱区最重要的地理单元之一, 在其萌发、形成和发育过程中会导致土壤环境产生重要变化<sup>[2]</sup>。不同管理模式的草地区域<sup>[3]</sup>在扩张进程中出现的放牧、火烧以及开垦等人类活动将进一步导致土壤特性发生改变<sup>[4]</sup>, 如降低土壤有机质含量、加速土体板结和破坏土壤结构等<sup>[5-8]</sup>。

土壤粒径分布 (particle size distribution, PSD) 作为土壤重要的物理属性之一, 对土壤肥力状况、水分运移、淋溶和侵蚀潜力等均有显著影响<sup>[9-12]</sup>, 能够反映土壤结构和生产力<sup>[13]</sup>。土壤由不同颗粒组成, 是一种具有不规则形状和自相似结构的多孔介质, 可以采用分形维数  $D$  (fractal dimension values) 来描述土壤粒径的分布和分形特征<sup>[14-16]</sup>。分形维数  $D$  可表述系列数据的平均特征, 现在分形技术已被广泛应用于土壤各研究领域, 如 Millán 等<sup>[17]</sup>及 Prosperini 和 Perugini<sup>[18]</sup>基于分形维数研究了土壤粒径分布, 表明

分形维数  $D$  可以作为土壤粒径分布的指标; Caruso 等<sup>[19]</sup>从土壤有机碳、有机氮和丛枝菌根真菌研究了土壤结构和土壤生物的特性, 发现生物成分是影响土壤最大粒度破碎特性的主要因子, 并认为分形维数  $D$  可以间接解释土壤的生物特征; Ahmadi 等<sup>[20]</sup>对不同属性土壤团聚体进行了分形研究, 结果表明土壤团聚体的分形特征可以作为土壤可蚀性指数; Song 等<sup>[21]</sup>和 Jin 等<sup>[22]</sup>分别对不同类型和不同植被序列的土壤粒径进行了研究, 发现土壤的粒度特征随着荒漠化过程逐渐粗化, 并且认为分形维数  $D$  可以作为一个可靠的参数来反映土壤的退化程度; 林俊杰等<sup>[23]</sup>应用分形理论对沉积物粒径组成与氮含量进行了探讨, 发现频繁的干湿交替使沉积物分形维数  $D$  降低, 并通过改变粒径组成影响氮分布, 认为分形维数  $D$  可作为判断沉积物粒径组成与氮含量关系的潜在指标。Rodríguez-Lado 和 Lado<sup>[24]</sup>基于分形理论研究了土壤形成因素与颗粒大小之间的关系, 发现母质和气候是

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC15B04)资助。

\* 通讯作者(ler@xju.edu.cn)

作者简介: 郅亚栋(1991—), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事植物-土壤研究。E-mail: 347711146@qq.com

影响粒度缩放特性的主要因素。关于土壤分形的研究,主要集中在森林-土壤和农田-土壤系统,讨论其与植被恢复和土地利用的关系,对干旱草地粒径分布和分形特征的研究较少。利用分形维数探讨不同管理模式草地粒径分布特征,有助于深入了解人为及自然因素对土壤的影响,对维护草地生态安全具有重要的理论和现实意义<sup>[7,10]</sup>。

本文以新疆准噶尔北部阿勒泰地区为研究区,采用激光衍射粒径分析仪测得土壤粒径分布,研究荒漠草地、禁牧草场、季节草场、弃耕草地和天然草地 5 种管理模式粒径的结构和空间分布特征,探明草地粒径分形特征对不同管理模式的响应及其与粒径分布特征值的关系。以期当地土壤结构改善以及草地生态效益评价提供理论支持,为该区域草原-土壤系统的保育与修复提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位处准噶尔盆地北缘,阿勒泰山南麓的富蕴县(45°00'~48°03'N, 88°10'~90°31'E)(图 1)。该区域地势复杂,地貌类型多样,北高南低。属大陆性寒温带干旱气候,年平均日照 2 900 h,年均气温 3.0 °C,极端最高气温 42.2 °C,极端最低气温 -51.5 °C,平均无霜期 137 d,年均降水量 189.6 mm,年均蒸发量 1 970 mm。土壤的形成主要受风力、冰冻和温差变化等作用,以荒漠淡棕钙土和风沙土为主,质地类型为

中细砂和含土粉砂砾土-粉细质沙土,成土母质主要是远距离搬运的风积沙土,部分为冲积、冰碛和重积母质,沙化和贫瘠化严重<sup>[25]</sup>。草原植被以多年生草本密丛禾本科为主,草地资源丰富,可利用天然草场达  $4.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。

### 1.2 样品采集

如图 1 所示,荒漠草地(DG)位于阿勒泰地区富蕴县东南 30 km 畜牧科技示范园;禁牧草地(FG)和季节草地(SG)设于富蕴县草原站;弃耕草地(ABG)和天然草地(NG)建于退化草地示范基地。其中 FG 已禁牧围封 5 a(2010—2015);SG 与 FG 相邻,历年春、秋放牧(>20 a);ABG 在 20 世纪 70 年代种植玉米 2 a,后弃耕至今(1970—2015);NG 与 ABG 邻近,为天然草地类型。各样地基本特征见表 1。

于 2015 年 7—8 月对研究区进行土壤样品采集,各样地均采用对角线法布设 1 m × 1 m 小样方,并且根据土壤结构、松紧度、植物根系分布以及土层过渡特征等划分 3 层土样(0~10、10~30、30~50 cm)。其中 DG 布设小样方 30 个,对每个小样方土壤进行“S”型混合法取样;FG、SG、ABG、NG 分别布设小样方 5、5、5、4 个,取样方法同上。

### 1.3 试验分析与计算方法

土壤样品过 2 mm 筛,采用过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )和六偏磷酸钠( $\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$ )进行预处理。样品粒度利用 S3500 激光粒度分析仪(Microtrac, USA)测量土壤颗粒的体积百分比,粒径测量范围 0.01~2 000  $\mu\text{m}$ ,每

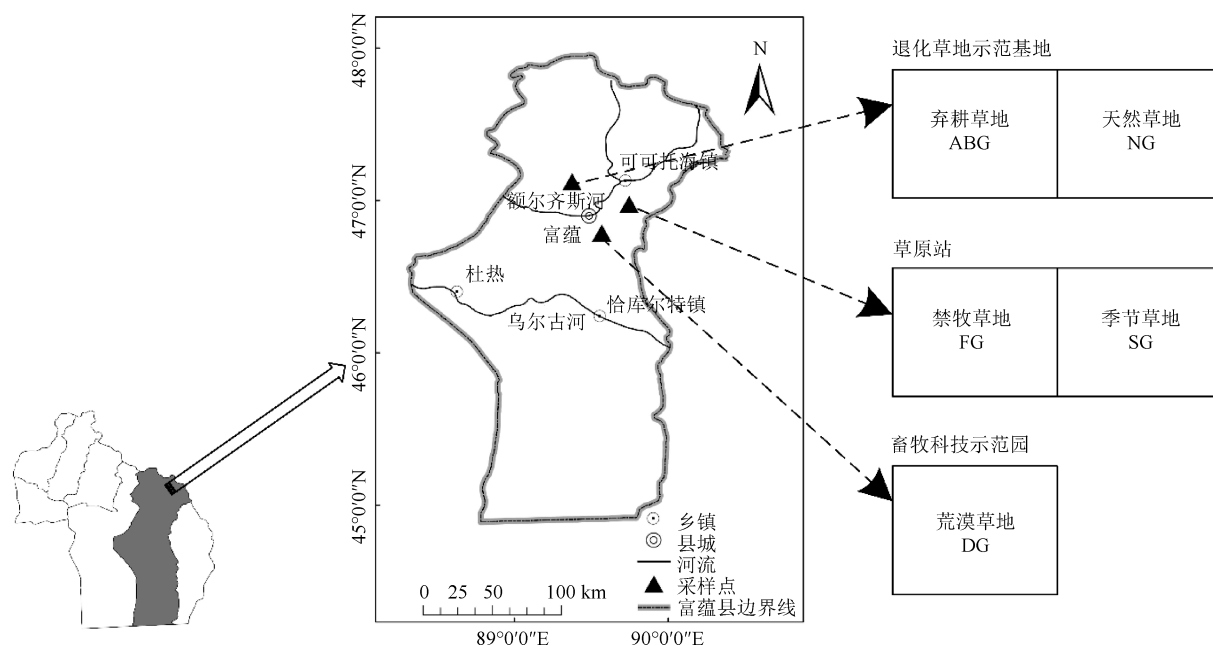


图 1 研究区地理位置和样地分布

Fig. 1 Location of the study area and distribution of field sites

表 1 富蕴县地区不同草地管理模式基本特征  
Table 1 Basic characteristics of grasslands under different management modes in Fuyun County

| 样地类型     | 管理模式                                             | 植物物种分布                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 面积(hm <sup>2</sup> ) | 平均盖度(%) |
|----------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|
| 荒漠草地 DG  | 原春秋牧场，新近开垦                                       | 阿魏草( <i>Ferula teterrima</i> )、冷蒿( <i>Artemisia frigida</i> Willd)、报春花( <i>Primula malacoides</i> )、绣线菊( <i>Primula malacoides</i> )                                                                                                                                                                                                                            | 2.67                 | 20 ~ 25 |
| 禁牧草地 FG  | 现今已禁牧围封 5 a(2010—2015)，原为夏牧场                     | 针茅( <i>Stipa capillata</i> Linn)、沟叶羊茅( <i>Festuca rupicola</i> Heuff)、白茎绢蒿( <i>Seriphidium terrae-albae</i> )、狗娃花( <i>Heteropappus hispidus</i> )、羊茅( <i>Festuca ovina</i> )、戈壁藜( <i>Iljinia-regelii</i> )、羊草( <i>Leymus chinensis</i> )、绒藜( <i>Londesia eriantha</i> )、针裂叶绢蒿( <i>Seriphidium sublessingianum</i> )、胀萼黄耆( <i>Astragalus ellipsoideus</i> Ledeb) | 10                   | 56      |
| 季节草地 SG  | 历年春、秋放牧                                          | 针茅、沟叶羊茅、白茎绢蒿、戈壁藜、羊草、针裂叶绢蒿                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | —                    | 16.2    |
| 弃耕草地 ABG | 原为季节草地，20 世纪 70 年代种植玉米 2 a 后弃耕至今(1970—2015，春秋可牧) | 针茅、白茎绢蒿、角果藜( <i>Ceratocarpus arenarius</i> )、羊草、田旋花( <i>Convolvulus arvensis</i> )、猪毛菜( <i>Salsolacollina</i> Pall)、苦马豆( <i>Sphaerophysa salsula</i> )                                                                                                                                                                                                          | —                    | 28.6    |
| 天然草地 NG  | 夏季牧场                                             | 针茅、沟叶羊茅、白茎绢蒿、狗娃花                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4                    | 21.25   |

个土壤样品测量 3 次作为重复，以 3 次测量值的算术平均值为土壤颗粒体积百分比的最终结果。

土壤粒径分布的分形维数计算采用 Tyler 和 Wheatcraft's<sup>[26]</sup>方法：

$$\frac{V(r < R_i)}{V_t} = \left(\frac{R_i}{R_{\max}}\right)^{3-D} \tag{1}$$

式中： $r$  为粒径， $R_i$  为粒径分级  $i$  级的粒径， $V(r < R_i)$  为粒径小于  $R_i$  的土壤颗粒体积， $V_t$  是土壤总颗粒体积， $R_{\max}$  是土壤颗粒中最大的粒径。方程两边取对数，计算对数线性回归拟合方程的斜率，得到土壤粒径分布的分形维数  $D$ <sup>[22,27-28]</sup>。

1.4 数据分析

所有数据均采用 Microsoft Excel 2013 进行整理

和绘图，利用 IBM Statistics SPSS 17.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤质地特征和粒径组成

采用美国农业部(USDA)<sup>[29]</sup>制对土壤质地进行分类，分为黏粒(0 ~ 2 μm)、粉粒(2 ~ 50 μm)和砂粒(50 ~ 2 000 μm)3 个土壤粒级。如表 2 所示，研究区土壤质地：DG 土壤质地分为壤质砂土和砂质壤土两类；FG 土壤质地属于单一的砂质壤土；SG 土壤质地绝大部分属于砂质壤土，含有少量的粉砂质壤土；ABG 土壤质地以砂质土壤为主，含有极小量的壤质砂土；NG 土壤质地含有大量壤质砂土，小部分砂质壤土。

表 2 不同样地类型土壤粒径的描述统计  
Table 2 Descriptive statistics of soil particle compositions in different plots

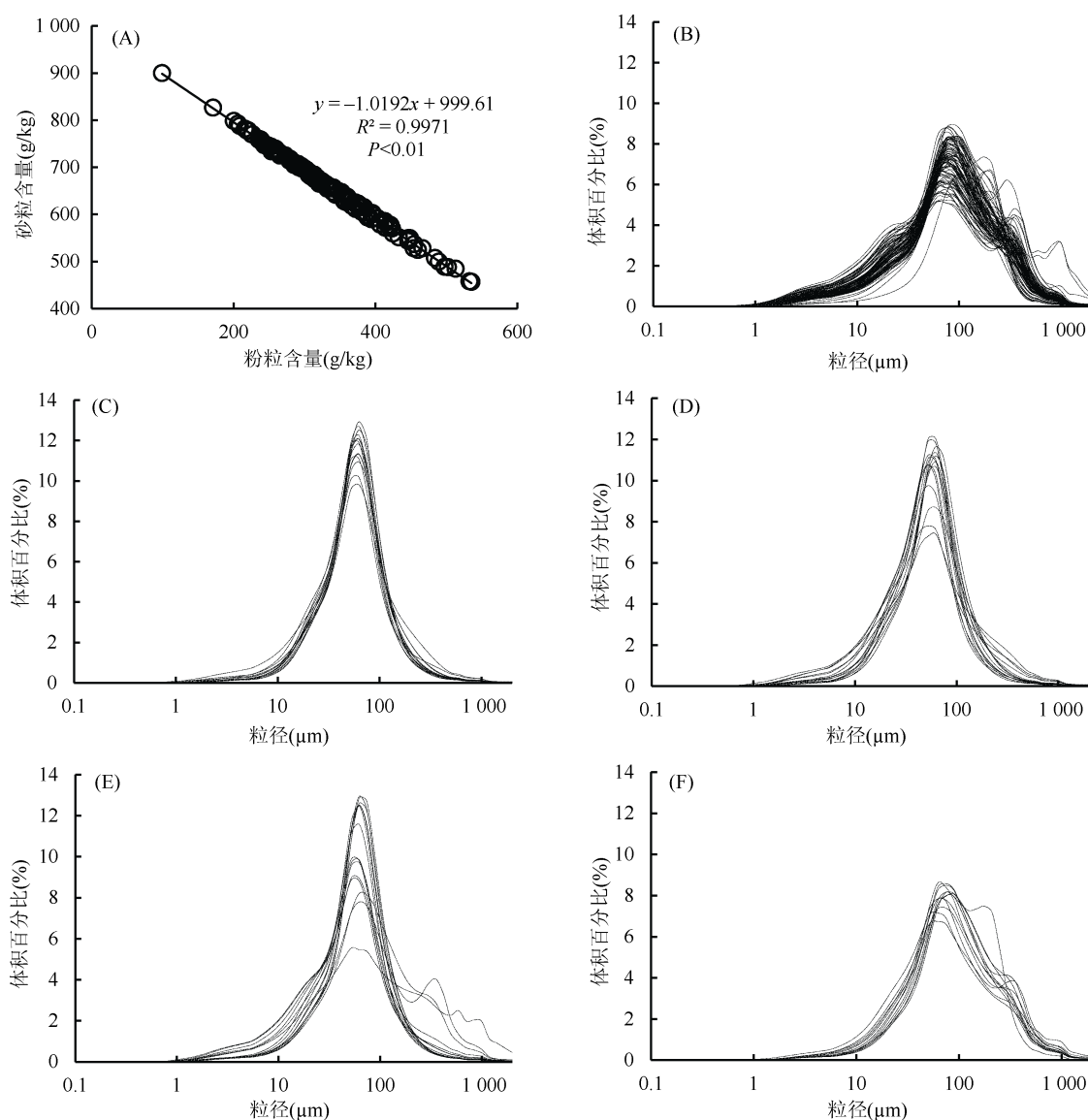
| 样地类型 | 土壤质地类型     | 土壤粒级 | 平均值(g/kg) | 标准差(g/kg) | 最小值(g/kg) | 最大值(g/kg) | 偏度 Sk | 峰度 Kg |
|------|------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| DG   | 壤质砂土、砂质壤土  | 砂粒   | 687.03    | 30.81     | 605.41    | 747.68    | -0.46 | 0.35  |
|      |            | 粉粒   | 304.38    | 29.60     | 244.71    | 381.50    | 0.43  | 0.28  |
|      |            | 黏粒   | 8.59      | 2.06      | 5.73      | 13.79     | 0.63  | 0.30  |
| FG   | 砂质壤土       | 砂粒   | 611.48    | 26.56     | 565.58    | 627.73    | -1.90 | 3.58  |
|      |            | 粉粒   | 385.81    | 25.71     | 369.24    | 430.19    | 1.89  | 3.55  |
|      |            | 黏粒   | 2.72      | 1.09      | 1.21      | 4.23      | 0.04  | 1.37  |
| SG   | 砂质壤土、粉砂质壤土 | 砂粒   | 551.73    | 56.14     | 480.13    | 627.63    | 0.22  | -0.35 |
|      |            | 粉粒   | 442.92    | 53.47     | 369.12    | 509.26    | -0.34 | -0.35 |
|      |            | 黏粒   | 5.35      | 3.16      | 2.92      | 10.61     | 1.60  | 2.38  |
| ABG  | 砂质土壤、壤质砂土  | 砂粒   | 613.62    | 55.61     | 546.43    | 694.89    | 0.56  | 0.44  |
|      |            | 粉粒   | 381.25    | 53.87     | 302.13    | 445.44    | -0.61 | 0.42  |
|      |            | 黏粒   | 5.13      | 1.94      | 2.98      | 8.12      | 0.92  | 0.98  |
| NG   | 壤质砂土、砂质壤土  | 砂粒   | 736.15    | 41.89     | 693.09    | 778.20    | -0.03 | -4.93 |
|      |            | 粉粒   | 262.11    | 41.51     | 220.08    | 304.24    | 0.00  | -4.97 |
|      |            | 黏粒   | 1.75      | 0.65      | 1.17      | 2.67      | 1.31  | 1.81  |

不同管理模式下,所有土壤样品的黏粒含量均较小(表 2)。其中 DG 样地黏粒含量的平均值为 8.59 g/kg,最大值为 13.79 g/kg;FG 黏粒含量的平均值为 2.72 g/kg,最大值为 4.23 g/kg;SG 黏粒含量的平均值为 5.35 g/kg,最大值为 10.61 g/kg;ABG 黏粒含量的平均值为 5.13 g/kg,最大值为 8.12 g/kg;NG 黏粒含量的平均值为 1.75 g/kg,最大值为 2.67 g/kg。砂粒含量最高,DG 砂粒含量的平均值为 687.03 g/kg,最大值为 747.68 g/kg;FG 砂粒含量的平均值为 611.48 g/kg,最大值为 627.73 g/kg;SG 砂粒含量的平均值为 551.73 g/kg,最大值为 627.63 g/kg;ABG 砂粒含量的平均值为 613.62 g/kg,最大值为 694.89

g/kg;NG 砂粒含量的平均值为 736.15 g/kg,最大值为 778.20 g/kg。

## 2.2 土壤粒径分布规律

粉粒和砂粒占据了土壤颗粒的绝大部分(表 2),并且粉粒和砂粒含量呈现极显著负相关(图 2A,  $R^2 = 0.9971$ ,  $P < 0.01$ )。DG 土壤样品粒径分布(图 2B)呈现的是单峰特征,但样品之间主峰位置有所偏差,波动较大;FG 土壤样品粒径分布(图 2C)和 SG 草地(图 2D)均呈现单峰特征,但是后者单峰切面跨度比较大;ABG 土壤粒径分布(图 2E)主峰轨迹无重叠部分,跨度最大,并且在 100~1 000  $\mu\text{m}$  之间出现起伏较大;NG 土壤样品粒径分布(图 2F)呈现出一致规律。



(A. 土壤质地特征; B~F 分别表示 DG、FG、SG、ABG 和 NG 样地土壤粒径分布)

图 2 土壤质地特征和粒径分布

Fig. 2 Texture characteristics and particle size distribution (PSD) of soils

黏粒、粉粒和砂粒的含量仅仅表明了不同粒级范围土壤颗粒含量的平均值，其特征值并不能充分反映土壤粒径的分布状态。首先选择 NG 全部土样中粒径分布、黏粒、粉粒和砂粒范围内土壤粒径含量的标准差和最大值，分别表述为  $S_t$ ,  $S_m$ ,  $Cl_t$ ,  $Cl_m$ ,  $Si_t$ ,  $Si_m$ ,  $Sa_t$ ,  $Sa_m$  (下标 t 表示标准差, m 表示最大值), 分析其土壤粒径分布特征。12 个样品中  $Cl_m$  和  $Si_m$  的相关系数为 0.512 (表 3),  $Cl_t$  和  $Si_t$  的相关系数为 0.555, 由于样地黏粒含量极少, 和粉粒含量相差悬殊, 在黏粒和粉粒临界出现明显拐点导致偏差。但是  $Cl_t$  和  $Cl_m$ 、 $Si_t$

和  $Si_m$  的相关系数均为 0.992 ( $P<0.01$ ), 黏粒和粉粒范围内土壤颗粒体积百分比的标准差和均值具有很好的相关性, 呈现出一致的分布趋势和变化规律。全部样品中砂粒和粉粒含量的相关系数为 -1.000 ( $P<0.01$ ), 粉粒和砂粒位于土壤颗粒体积百分比分布图 (图 2) 主峰位置的两侧, 呈现出相反分布趋势和变化规律。测得的  $Sa_m$  和  $S_m$  的序列值完全一致,  $Sa_t$  和  $S_t$  的相关系数为 0.995 ( $P<0.01$ ),  $Sa_m$  和  $S_t$  的相关系数为 0.884 ( $P<0.01$ ), 然后选择 ABG 进行数据分析 (表 3), 同时和 NG 进行对比, 两者的数据分析结果大致相同。

表 3 土壤质地特征值相关系数  
Table 3 Correlation coefficient between characteristic values of soil texture

|        | $Cl_m$   | $Si_m$   | $Sa_m$  | $Cl_t$   | $Si_t$  | $Sa_t$   | $S_t$    | $Cl_c$   | $Si_c$   | $Sa_c$   |
|--------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $Cl_m$ | 1        | 0.512    | -0.639* | 0.992**  | 0.553   | -0.705*  | -0.730** | 0.957**  | 0.781**  | -0.790** |
| $Si_m$ | 0.002    | 1        | -0.326  | 0.522    | 0.992** | -0.653*  | -0.664*  | 0.507    | 0.856**  | 0.853**  |
| $Sa_m$ | -0.427   | -0.806** | 1       | -0.576   | -0.424  | 0.879**  | 0.884**  | -0.462   | -0.702*  | 0.700*   |
| $Cl_t$ | 0.998**  | 0.015    | -0.399  | 1        | 0.555   | -0.661*  | -0.689*  | 0.983**  | 0.767**  | -0.778** |
| $Si_t$ | -0.044   | 0.988**  | 0.760** | -0.036   | 1       | -0.709** | -0.724** | 0.531    | 0.904**  | -0.901** |
| $Sa_t$ | -0.447   | 0.776**  | 0.996** | -0.420   | 0.726** | 1        | 0.995**  | -0.556   | -0.852** | 0.850**  |
| $S_t$  | -0.479   | 0.781**  | 0.997** | -0.453   | 0.738** | 0.998**  | 1        | -0.588*  | -0.881** | 0.880**  |
| $Cl_c$ | 0.991**  | 0.031    | -0.368  | 0.997**  | -0.025  | -0.387   | -0.422   | 1        | 0.717**  | -0.729** |
| $Si_c$ | 0.854**  | 0.433    | -0.125  | 0.844**  | 0.426   | -0.161   | -0.175   | 0.836**  | 1        | -1.000** |
| $Sa_c$ | -0.866** | -0.417   | 0.137   | -0.857** | -0.408  | 0.173    | 0.188    | -0.850** | -1.000** | 1        |

注： $Cl_m$ 、 $Si_m$  和  $Sa_m$  分别代表黏粒、粉粒和砂粒含量的最大值； $Cl_t$ 、 $Si_t$ 、 $Sa_t$  和  $S_t$  分别代表黏粒、粉粒、砂粒和全部粒径的标准差； $Cl_c$ 、 $Si_c$  和  $Sa_c$  分别代表黏粒、粉粒和砂粒的含量。主对角线以下是 ABG 土壤质地特征值相关系数，主对角线以上是 NG 土壤质地特征值相关系数。\*\*为  $P<0.01$  水平上显著相关，\*为  $P<0.05$  水平上显著相关。

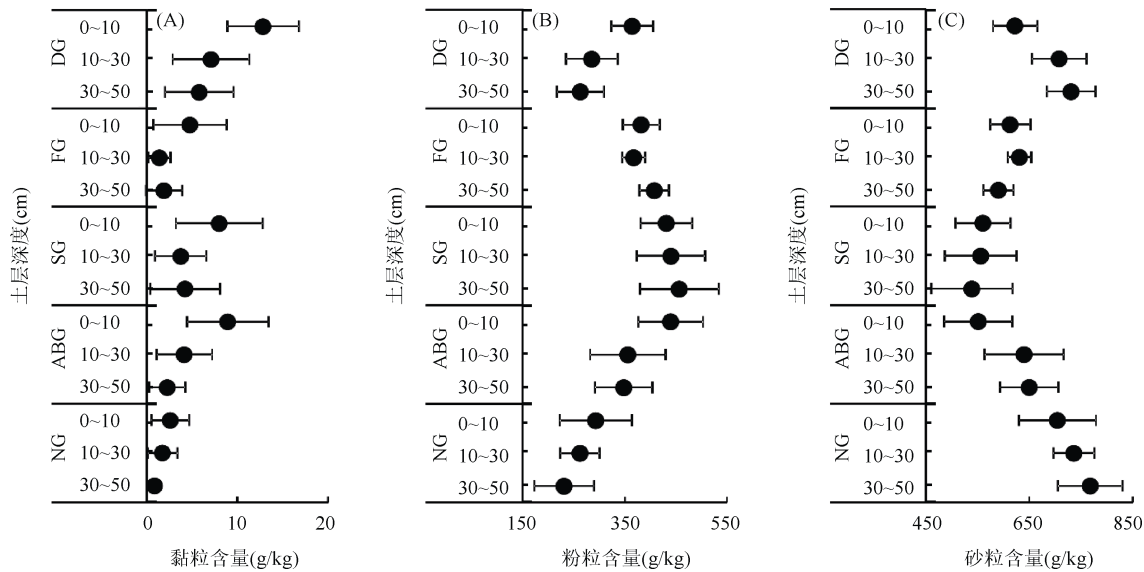


图 3 土壤粒径的空间分布特征(平均值和标准差)  
Fig. 3 Profile distribution characteristics of PSD (mean and standard deviation)

不同管理模式下,土壤黏粒平均含量在不同深度的对比发现(图 3A),5 种草地类型黏粒含量的平均值在 0 ~ 10 cm 处均最大, DG、NG 和 ABG 黏粒含量

的平均值随着土层深度(0 ~ 50 cm)增加而减小,而 SG 和 FG 仅在 0 ~ 30 cm 有此特征; DG、NG、ABG 和 FG 粉粒含量的平均值随着土壤深度(0 ~ 50 cm)的变

化规律(图 3B)和黏粒一致;全部草地砂粒和粉粒的空间分布(图 3C)呈相反趋势。

2.3 不同管理模式下草地粒径的分形特征

基于(1)式计算土壤粒径分布的分形维数  $D$ ,如表 4 所示,5 种草地 0~10 cm 处的  $D$  均大于其他土层(0~10 cm 的  $D$  平均值为 2.155 0,而 10~30 cm、30~50 cm 的平均值分别为 2.048 3、2.056 0)。DG 各土层的  $D$  均高于其他 4 类草

地,但在 0~10 cm 差异不明显;NG 样地 0~10 cm 和 30~50 cm 处的  $D$ (分别为 2.087 9、1.999 8)最低;FG 样地 10~30 cm 处的  $D$ (1.945 9)最低,也是所有样品中最低值。

DG、ABG、NG 的  $D$  均随着土层深度呈现递减趋势(表 4),但 NG 的差异不明显,而 FG、SG 的  $D$  在深度上呈现“V”型,均在 10~30 cm 处呈现最低值,甚至 FG 出现最低值 1.945 9(<2),差异明显。

表 4 不同管理模式下的分形维数  $D$   
Table 4 Fractal dimensions of PSD under different management modes

| 土地利用 | 土层深度(cm) | 平均值±标准差             |                 |
|------|----------|---------------------|-----------------|
|      |          | $D$                 | $R^2$           |
| DG   | 0~10     | 2.228 8±0.019 7 Aa  | 0.842 7±0.015 1 |
|      | 10~30    | 2.172 3±0.051 6 Ab  | 0.865 0±0.021 2 |
|      | 30~50    | 2.153 7±0.038 3 Ab  | 0.872 8±0.019 5 |
| FG   | 0~10     | 2.105 2±0.045 4 Ba  | 0.852 3±0.012 7 |
|      | 10~30    | 1.945 9±0.029 5 Cb  | 0.856 9±0.014 8 |
|      | 30~50    | 2.035 1±0.062 5 BCa | 0.838 7±0.024 2 |
| SG   | 0~10     | 2.159 2±0.061 1 Aa  | 0.839 3±0.018 0 |
|      | 10~30    | 2.024 7±0.028 0 Bb  | 0.851 7±0.027 0 |
|      | 30~50    | 2.078 3±0.030 9 Bab | 0.840 3±0.018 8 |
| ABG  | 0~10     | 2.193 8±0.021 8 Aa  | 0.830 0±0.016 9 |
|      | 10~30    | 2.048 3±0.072 7 Bb  | 0.868 2±0.025 6 |
|      | 30~50    | 2.013 0±0.031 2 Cb  | 0.864 2±0.013 1 |
| NG   | 0~10     | 2.087 9±0.039 8 Ba  | 0.867 3±0.015 9 |
|      | 10~30    | 2.050 3±0.036 7 Bab | 0.872 7±0.010 6 |
|      | 30~50    | 1.999 8±0.026 7 Cb  | 0.878 6±0.013 4 |

注:表中小写字母不同表示同一草地不同深度下的分形维数差异显著( $P<0.05$ );大写字母不同表示同一土层深度不同草地类型下的分形维数差异显著( $P<0.05$ )。

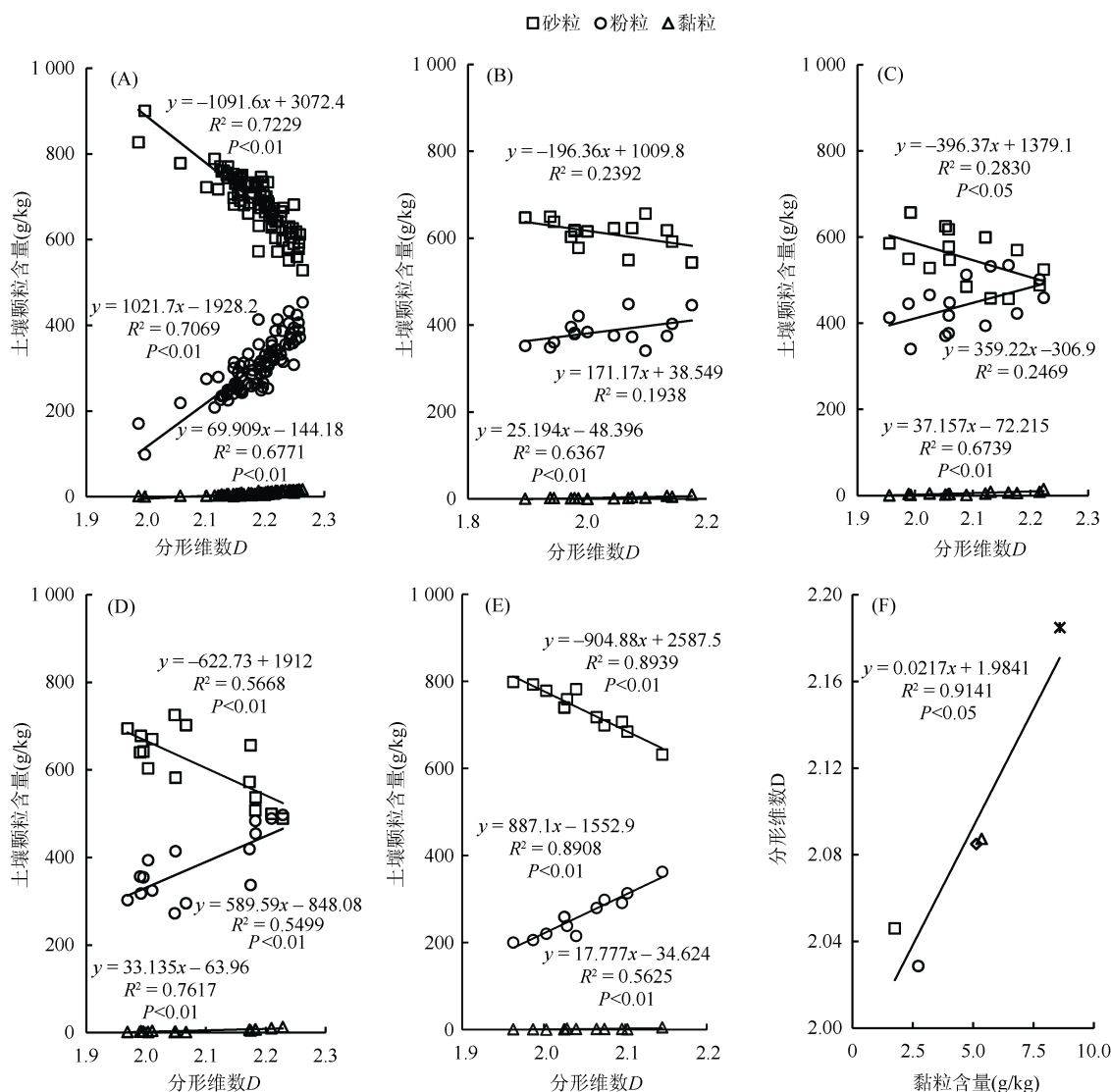
对于所研究草地,黏粒含量和分形维数  $D$  比值均为极显著正相关( $P<0.01$ , DG、FG、SG、ABG、NG 的  $R^2$  分别为 0.677 1、0.636 7、0.673 9、0.761 7、0.562 5)(图 4)。5 种草地的分形维数  $D$  与粉粒含量总体上均呈正相关,其中 DG、ABG、NG 表现出极显著正相关( $P<0.01$ ,  $R^2$  分别为 0.706 9、0.549 9、0.890 8),而 FG、SG 的显著性较差( $R^2$  分别为 0.193 8、0.246 9)。 $D$  与砂粒含量呈现负相关关系,但 FG、SG 的显著性不高( $R^2$  分别为 0.239 2、0.283 0),而 DG、ABG、NG 均具有较高显著性( $P<0.01$ ,  $R^2$  分别为 0.722 9、0.566 8、0.893 9)。草地间分形维数  $D$  和黏粒呈显著正相关(图 4F,  $R^2=0.914 1$ ,  $P<0.05$ )。

3 讨论

土壤质地反映土壤中不同大小直径矿物颗粒的组合状况<sup>[3,5,20]</sup>,是土壤重要物理性质之一,与土壤通气、保肥、保水状况和耕作的难易密切相关<sup>[19-20,22]</sup>。

研究区域深居大陆内部(中国西北),土壤受气候、地形和母质等影响<sup>[30]</sup>,营养成分较低,砂粒含量较高,质地较为单一,总体为砂质壤土<sup>[31]</sup>,Jiao 等<sup>[32]</sup>认为土壤质地特征与自身结构特点和营养环境有很大关系,这也与胡宏昌等<sup>[33]</sup>和杜海燕等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。

土壤提供植物生长必需的水分和养分<sup>[3,34]</sup>,是植物的基质,其粒径组成决定水分和养分的运移和贮存<sup>[12,34]</sup>。不同草地管理模式对土壤粒径分布有着不同影响<sup>[4,22]</sup>,本研究显示,土壤粒径分布总体上呈现单峰分布,Wang 等<sup>[35]</sup>对黄土丘陵沟壑区的安塞县两个小流域土壤进行分析,认为土壤质地越均匀,绝大部分颗粒越集中在狭窄的粒径范围内,土壤粒径分布曲线的异质性越小,胡宏昌等<sup>[33]</sup>的研究中也有相同的结论。但在 5 种草地管理模式,土壤粒径分布的复杂程度有所差异<sup>[36-37]</sup>,很难用简单的函数拟合<sup>[38]</sup>,研究区域相对于黄土高原地区,土壤成形时间较短,发育较差<sup>[33]</sup>,其粒径范围在一定尺度内的浮动较大,



(A~E 分别为 DG、FG、SG、ABG 和 NG 样地  $D$  与土壤颗粒的相关性；F. 样地间  $D$  与黏粒的相关性)

图 4 分形维数  $D$  与土壤颗粒的相关性

Fig. 4 Correlation between fractal dimension  $D$  and soil particles

表现出更繁乱分布特征。5 类草地样品测得的  $Sa_m$  和  $S_m$  的序列值完全一致,  $Sa_t$  和  $S_t$  的相关系数为 0.995(表 3),  $Sa_m$  和  $S_t$  的相关系数为 0.884, 土壤粒径体积百分比在砂粒范围内的最大值决定了整个土壤全部范围内颗粒体积百分比的最大值和标准差, 一定程度上决定了土壤粒径的分布, 其变化幅度的大小(图 2A), 决定了土壤全部范围内颗粒体积百分比的跨度和变化规律(图 2)。土壤粒径体积百分比分布的复杂程度排序依次为 DG>ABG>SG>NG>FG, 导致这一结果的原因可能是样地间的植物科属差异很大(表 1), 不同植被类型和扰动方式对单元土壤下粒径组分的作用不同<sup>[32]</sup>, 这与 Tian 等<sup>[39]</sup>的研究结果相似, DG 植被以灌木为主, 灌木可以有效地减缓荒漠草地逆向演替和消亡的进程<sup>[3]</sup>, 对其周围土壤结构、养分、湿

度、微生物生物量和局部小气候产生一定影响, 并将养分集聚于树冠层之下, 从而对养分的空间循环和分布产生影响, 这种灌丛化现象<sup>[11]</sup>对不同土壤颗粒的细化程度不同<sup>[20,22,40]</sup>。灌木作为天然的屏障能抵触风蚀作用, 有效地截获大气中土壤细颗粒组分、凋落物和尘埃等, 附着于冠幅的微尘通过雨水淋洗后, 沉积到冠幅下的土壤中, 加速土壤熟化进程<sup>[7]</sup>, 此外, 灌木的树冠也可能成为鸟类栖息地, 冠层下变成小型哺乳动物寻求遮荫和隐蔽的地点, 它们的排泄物也滞留在冠幅下, 增强局部的养分循环, 有助于灌木聚集养分<sup>[41]</sup>, 但 DG 的总体植被盖度较低, 养分之间的不平衡分配, 导致每个单元下土壤熟化进程和颗粒缩放比例有所差异, 土壤粒径的扰动方式和程度不同<sup>[9,13]</sup>; ABG 管理模式多变(放牧-耕地-弃耕), 土壤养分贫瘠, 植被物种分

布不均匀,植被覆盖率较低,大量裸露地面,抵抗风蚀能力差<sup>[34,40]</sup>,对土壤粒径组分的影响不同,土壤粒径分布比较复杂;SG 牧草还未完全成熟就被牛羊啃食,降低了植被的固土作用,春、秋轮牧作用可能超过了土壤本身承载能力<sup>[4-5,44]</sup>,对土壤颗粒再分布过程阻截严重,放牧的持续践踏对植物地上部分组织破坏严重,组织光合作用减弱,部分植物体因物质能量循环系统中断而死亡,缺乏植被覆盖的土壤温度升高<sup>[42]</sup>,加速微生物对土壤有机质的分解,导致有机碳大量流失<sup>[43]</sup>。其次,放牧践踏造成土壤体积质量增加,空隙减小,渗透率降低,持水性能减弱,继而土层干化<sup>[44]</sup>;在土层干化和有机碳流失的双重作用下,土壤粘结力减弱,土壤稳定的团聚体逐渐分解为离散体,土壤颗粒越来越分散<sup>[45]</sup>;NG 可能是由于采样时期的影响(牧前采样),所受干扰因子单一,土壤颗粒空间异质性较小<sup>[9]</sup>;FG 植被类型广泛,植被覆盖率高,植物在土壤形成中利用太阳辐射能作用,把游离在大气、水体和母质中的营养元素有选择地吸收富集到植物体中,并在残落分解后合成有机质,将矿物质养分富集于土壤表层,促进矿物质养分的有效化和土壤结构的改善<sup>[7,9]</sup>。此外,植物根系有机酸的分泌和溶解以及根系挤压作用可破坏矿物晶格,促进矿物风化和土壤形成<sup>[48]</sup>,抵抗风蚀能力强,受外界扰动程度较小,土壤结构不易受到破坏,有机碳含量和团聚体稳定性升高<sup>[7,40]</sup>。

研究表明,灌木引起的周围局部土壤资源的再分配过程是物理和生物化学共同作用的结果,对土壤颗粒具有一定的细化作用<sup>[22]</sup>;排泄物和植被残体全部返还土壤,上层土壤腐殖质含量较高,其黏粒含量升高<sup>[20,40]</sup>。严重退化的干旱、半干旱草原,灌丛形成后有助于养分的存储与富集,对周围土壤的肥力有明显的保护作用<sup>[6]</sup>。DG、NG、ABG 土壤粒径在垂向的分布显示出较强的规律性,随着土壤深度的增加,粒径分布越分散,空间分布异质性就越大<sup>[33]</sup>。而 SG、FG 并无此规律,可能是因为家畜活动的无规律性和土壤质地的均一性对草地每个单元产生的作用强度具有差异<sup>[34,36]</sup>。SG 频繁的家畜活动,导致植被根系对深层土壤营养的汲取程度不同,通过凋落物、植株径流和渗出物等形式沉积到土壤中的有机质就会有所差异<sup>[7]</sup>。此外,家畜粪便可能会增生土壤微生物,促进了土壤物质的溶解和运移,释放各类养分和分解有机质,增加矿物养料的有效性,以及合成腐殖质,发展土壤胶体性能,导致 30~50 cm 土层粒径分布异质性减弱<sup>[28]</sup>,魏茂红和林慧龙<sup>[34]</sup>的研究结果也有相同结论;FG 土壤质地均匀,植被盖度高,物种丰富,不

同植被类型对深层土壤水分和养分的汲取量不同,导致根系周围土层的物理性质发生变异<sup>[22]</sup>。细小颗粒物质的增加,有助于对养分的积存,养分反过来促进土壤母质的成土过程,土壤养分与颗粒之间存在着正负反馈调节,这与 Su 等<sup>[46]</sup>的研究结果一致,表明围封措施有利于草原的发展和土壤演变过程,既是土壤颗粒物的细化过程,同时也是土壤营养物质的富集过程<sup>[39,44]</sup>。

土壤粒径分形维数  $D$  能够定量表征土壤颗粒性状的变化<sup>[17-18]</sup>,在一定程度上可以作为判断土壤质地差异的重要指标<sup>[22-24]</sup>。5 种草地分形维数差异明显,DG 的分形维数  $D$  值均高于其他 4 类草地,这主要取决于草地黏粒含量的高低(图 4F),Lobe 等<sup>[49]</sup>认为植被通过冠层截留减弱降雨侵蚀力和根系固土降低水流运移能力来影响水土流失,不同草地管理模式对侵蚀的抑制作用不同,灌木林和植物的孕育,使地表的粗糙度不断升高,降低风速,减小风蚀作用,林木根系和枯枝落叶可以加速土壤的发展变化,提高粘结力,促使土壤颗粒细化<sup>[50]</sup>,而干草地主要以牧草为主,再加上放牧干扰,对侵蚀的抑制作用相对较弱,土壤细颗粒物流失严重,王德等<sup>[38]</sup>的研究结果也有相同结论。本研究显示,土壤分形维数  $D$  与黏粒含量呈显著正相关,这与前人的研究结果一致<sup>[15,26,46]</sup>。DG、FG 和 NG 在较长的时期内受的扰动较小,而短期内有众多干扰因子造成 ABG、SG 在年内或年际有变化,因此土壤粒径分布的分形特征与土壤各粒级颗粒平均含量之间的相关性随土壤扰动的时间频率尺度有关<sup>[47]</sup>。5 种草地类型下,粉粒和砂粒均呈现极显著负相关,具有砂土的典型特点<sup>[31,40]</sup>,这可能是因为成土母质和地域的差异<sup>[33]</sup>,成土母质以坡积母质和风积母质为主,母质较粗,土壤成土速率较低,质地、矿物组成、理化性质以及层理特征单一;地域的物质和能量分散严重,不利于土壤物质的淋溶和有机质的生成<sup>[31]</sup>;黏粒含量极低,导致土壤中砂粒和粉粒几乎占了全部。

#### 4 结论与展望

研究区土壤质地总体为砂质壤土,分形值较低,不同草地管理模式,粒径的空间分布异质性差异较大。荒漠草地、天然草地和弃耕草地粒径在垂向的分布显示出较强的规律性,随着土壤深度的增加,粒径分布越分散,空间分布异质性就越大,而禁牧和季节草地则呈“V”型分布。这种剖面上的分布特征可能是管理模式、土壤侵蚀过程的空间再分配作用、植被物种类型和盖度、成土过程和因素及土

壤结构的自然演化等多种扰动因子的综合结果。同时, 定量化分析管理模式、植被类型及成土过程等扰动因子及其交互作用对土壤粒度分形的影响, 将是未来研究的重点。

### 参考文献:

- [1] 任继周, 梁天刚, 林慧龙, 等. 草地对全球气候变化的响应及其碳汇潜势研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 1–22
- [2] 王忆慧, 龚吉蕊, 刘敏, 等. 草地利用方式对土壤呼吸和凋落物分解的影响[J]. 植物生态学报, 2015, 39(3): 239–248
- [3] 李文, 曹文侠, 刘皓栋, 等. 不同放牧管理模式对高寒草甸草原土壤呼吸特征的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(10): 22–32
- [4] Zhou H K, Zhao X Q, Wen J, et al. The characteristics of soil and vegetation of degenerated alpine steppe in the Yellow River Source Region[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(5): 1–11
- [5] Sainju U M, Singh B P, Whitehead W F. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA[J]. *Soil & Research*, 2002, 63(3): 167–179
- [6] Kotzé E, Sandhage-Hofmann A, Meinel J A, et al. Rangeland management impacts on the properties of clayey soils along grazing gradients in the semi-arid grassland biome of South Africa[J]. *Journal of Arid Environments*, 2013, 97(12): 220–229
- [7] 郑晓翊, 王瑞东, 靳甜甜, 等. 呼伦贝尔草原不同草地利用方式下生物多样性与生物量的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5392–5400
- [8] 彭琴, 董云社, 齐玉春. 氮输入对陆地生态系统碳循环关键过程的影响[J]. 地球科学进展, 2008, 23(8): 874–882
- [9] Mu S J, Yang H F, Li J L, et al. Spatio-temporal dynamics of vegetation coverage and its relationship with climate factors in Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(2): 231–246
- [10] 茹豪, 张建军, 李玉婷, 等. 黄土高原土壤粒径分形特征及其对土壤侵蚀的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 176–182
- [11] Huang G H, Zhang R D. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model[J]. *Geoderma*, 2005, 127(1): 52–61
- [12] Montero E. Rényi dimensions analysis of soil particle-size distributions[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182(3/4): 305–315
- [13] 杜海燕, 周智彬, 刘凤山, 等. 绿洲化过程中阿拉尔垦区土壤粒径分形变化特征[J]. 干旱区研究, 2013, 30(4): 615–622
- [14] 王展, 张玉龙, 张良, 等. 冻融作用对土壤微团聚体特征及分形维数的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 86–91
- [15] Perfect E, Kay B D. Fractal theory applied to soil aggregation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(6): 1552–1558
- [16] 王国梁, 周生路, 赵其国, 等. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 545–550
- [17] Millán H, González-Posada M, Aguilar M, et al. On the fractal scaling of soil data-Particle size distributions[J]. *Geoderma*, 2003, 117(1/2): 117–128
- [18] Prosperini N, Perugini D. Particle size distributions of some soils from the Umbria Region (Italy): Fractal analysis and numerical modelling[J]. *Geoderma*, 2008, 145(3): 185–195
- [19] Caruso T, Kathryn Barto E, Rezaul Karim Siddiky M, et al. Are power laws that estimate fractal dimension a good descriptor of soil structure and its link to soil biological properties?[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43(2): 359–366
- [20] Ahmadi A, Neyshabouri M, Rouhipour H, et al. Fractal dimension of soil aggregates as an index of soil erodibility[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 400(3/4): 305–311
- [21] Song X Y, Yan M D, Li H Y. Fractal characteristics of soil particle-size distributions under different landform and land-use types in the loess gully region[J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2013, 11(3/4): 2726–2729
- [22] Jin Z, Dong Y S, Qi Y C, et al. Characterizing variations in soil particle-size distribution along a grass-desert shrub transition in the Ordos plateau of Inner Mongolia, China[J]. *Land degradation & development*, 2013, 24(2): 141–146
- [23] 林俊杰, 杨振宇, 刘丹, 等. 干湿交替下三峡支流消落带沉积物粒径组成及氮分布特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 602–610
- [24] Rodríguez-Lado L, Lado M. Relation between soil forming factors and scaling properties of particle size distributions derived from multifractal analysis in topsoils from Galicia (NW Spain)[J]. *Geoderma*, 2017, 287: 147–156
- [25] 刘虎, 易春艳, 魏永福. 北疆地区阿克达拉灌区土壤成因和特性特征分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 212–218
- [26] 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
- [27] Martin M A, Montero E. Laser diffraction and multi-fractal analysis for the characterization of dry soil volume-size distributions[J]. *Soil & Tillage Research*, 2002, 64(1): 113–123
- [28] Montero E, Martín M Á. Hölder spectrum of dry grain volume-size distributions in soil[J]. *Geoderma*, 2003, 112(3/4): 197–204
- [29] Rousseva S S. Data transformations between soil texture schemes[J]. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48(4): 749–758
- [30] 季方, 樊自立, 赵虎. 塔里木盆地冲积新成土土壤质地对土壤形状的影响[J]. 土壤, 1999, 31(3): 126–131
- [31] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 75–76
- [32] Jiao S Y, Zhang M, Wang Y M, et al. Variation of soil nutrients and particle size under different vegetation types

- in the Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3):148–153
- [33] 胡宏昌, 田富强, 胡和平. 新疆膜下滴灌土壤粒径分布及与水盐含量的关系[J]. *中国科学: 技术科学*, 2011, 41(8): 1035–1042
- [34] 魏茂红, 林慧龙. 江河源区高寒草甸退化序列土壤粒径分布及其分形维数[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 679–686
- [35] Wang D, Fu B J, Zhao W W, et al. Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau, China[J]. *Catena*, 2008, 72(1): 29–36
- [36] Skaggs T H, Arya L M, Shouse P J, et al. Estimating particle-size distribution from limited soil texture data[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(4): 1038–1044
- [37] Hwang S I, Lee K P, Lee D S, et al. Models for estimating soil particle-size distributions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(4): 1143–1150
- [38] 王德, 傅伯杰, 陈利项, 等. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例[J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 3081–3089
- [39] Tian J Q, Zhou Z Y, Bao B, et al. Variations of soil particle size distribution with land-use types and influences on soil organic carbon and nitrogen[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(3): 601–610
- [40] 许文强, 罗格平, 陈曦, 等. 干旱区绿洲不同土地利用方式和强度对土壤粒度分布的影响[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(6): 800–804
- [41] Weltzin J F, Coughenour M B. Savanna tree influence on understory vegetation and soft nutrients in north-western Kenya[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1990, 1(3): 325–334
- [42] 胡宏昌, 王根绪, 王一博, 等. 江河源区典型多年冻土和季节冻土区水热过程对植被盖度的响应[J]. *科学通报*, 2009, 54(2): 242–250
- [43] 王俊峰, 王根绪, 王一博, 等. 青藏高原沼泽及高寒草甸生长期 CO<sub>2</sub> 排放[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2007, 43(5): 17–23
- [44] 张成霞, 南志标. 放牧对草地土壤理化特性影响的研究进展[J]. *草业学报*, 2010, 19(4): 204–211
- [45] 林慧龙, 龙瑞军, 任继周. 放牧侵蚀研究回顾与展望[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(12): 2222–2227
- [46] Su Y Z, Zhao H L, Wen H Y. Cultivation and enclosure effects on soil physicochemical properties of degraded sandy grassland[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(4): 5–8
- [47] Wang X D, Li M H, Liu S Z, et al. Fractal characteristics of soils under different land-use patterns in the arid and semiarid regions of the Tibetan Plateau, China[J]. *Geoderma*, 2006, 134(1–2): 56–61
- [48] 李勇, 张晴雯, 李璐, 等. 植物根系强化黄土土层化学风化速率的作用[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 5–9
- [49] Lobe L, Amelung W, Preez D C, et al. Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld[J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52(1): 93–101
- [50] 俞海生, 李宝军, 张宝文, 等. 灌木林主要生态作用的探讨[J]. *内蒙古林业科技*, 2003, 4: 15–18

## Particle Size Distribution Characteristics of Arid Grassland Under Different Management Modes

QIE Yadong<sup>1,3</sup>, YANG Jianjun<sup>1,3</sup>, SUN Huabin<sup>4</sup>, HE Xuemin<sup>2,3</sup>, LV Guanghui<sup>2,3\*</sup>

(1 *Institute of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China*; 2 *Research Institute of Arid Ecological Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China*; 3 *Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China*; 4 *Grassland Station of Fuyun County, Aletai, Xinjiang 836109, China*)

**Abstract:** As one of the important physical properties of soil, particle size distribution (PSD) and spatial variation is of great significance not only to the transport of soil solute, water and salt, but also to soil fertility status and so on. Based on the grasslands (desert grassland, natural grassland, abandoned grassland, seasonal grassland and forbidden grassland) under the different management modes in the northern Junggar and southern Altay Mountains, the texture classification and fractal theory were used to study PSD characteristics of grasslands. The results showed that clay content in the study area was the lowest with the minimum value of only 0.17 g/kg while sand content was the highest with the maximum value of 900.37 g/kg; PSD showed a single peak, indicating that the soil is poorly developed; silt and sand contents showed significant negative correlation with the correlation coefficient of 0.999 8 ( $P < 0.01$ ), suggesting that soil parent material and geographical differences lead to sand and silt particles almost accounted all of the soils. Mean clay content decreased with the increase of soil depth in desert grassland, natural grassland, and abandonment grassland, while no such tendency was found in the seasonal grassland and forbidding grazing grassland. The fractal dimension of  $D$  in desert grassland is the highest, which may be because the shrubs, as dominant plants in the ecosystem, can effectively slow down the process of reverse succession and extinction and had a certain effect in the accumulation of fine particles; Fractal dimension  $D$  had significant correlation with and clay content of all soils and with silt and sand contents of desert grassland, natural grassland, and abandonment grassland, whereas not with those of seasonal grassland and forbidding grazing grassland. The above results showed that the interference of spring and autumn grazing on soil may exceed soil bearing capacity, damage largely soil particles and hinder soil development, and the length of grazing transforming into prohibition may determine whether the development of the soil is good or not.

**Key words:** Soil particle size distribution (PSD); Grassland management; Arid grassland; Texture triangle; Fractal analysis