

# 科尔沁沙地不同草地利用方式下 土壤粒度和有机碳分布特征

王燕, 包翔, 王明玖, 郝良杰, 艳秀

(内蒙古农业大学 草原与资源环境学院 内蒙古自治区土壤质量与养分资源重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘要:** [目的] 探讨不同草地利用方式下粒度与有机碳含量及相关性, 揭示草地退化过程当中土壤有机碳的损失速率, 为科尔沁沙地生态环境恢复治理提供科学依据。[方法] 以科尔沁沙地乌力吉木伦河流域流动和半固定风沙土为研究对象, 对流域内围封草地、不同退化程度的盐碱化样地和人工种植牧草样地等不同草地利用方式下粒度与有机碳含量及相关性进行了探索研究。[结果] 围封措施在控制土壤侵蚀和提高土壤有机碳含量方面均起到显著的作用; 流域内 0—20 cm 土层各样地粒度组成以粉粒和砂粒为主, 由于翻耕的因素, 燕麦和苜蓿样地表层土壤粗粒化明显且比其他样地具有更高的峰值和中值粒径; 研究区内 100  $\mu\text{m}$  粒径左右颗粒为易受侵蚀颗粒; 土壤中小于 100  $\mu\text{m}$  颗粒组分每被吹蚀 1%, 其有机碳含量将损失 0.120 4 g/kg。[结论] 在丘间平地分布的盐碱化草甸土地, 根据实际情况结合围封措施和种植牧草能防止土壤侵蚀且有效提高有机碳含量。

**关键词:** 有机碳; 土壤粒度; 草地利用方式; 科尔沁沙地

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2019)06-0084-06

**中图分类号:** S157.1

**文献参数:** 王燕, 包翔, 王明玖, 等. 科尔沁沙地不同草地利用方式下土壤粒度和有机碳分布特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 84-89. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.012; Wang Yan, Bao Xiang, Wang Mingjiu, et al. Characteristics of soil particle size and organic carbon distribution under different grassland utilization modes in Horqin sandy land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 84-89.

## Characteristics of Soil Particle Size and Organic Carbon Distribution Under Different Grassland Utilization Modes in Horqin Sandy Land

Wang Yan, Bao Xiang, Wang Mingjiu, Hao Liangjie, Yan Xiu

(Inner Mongolia Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resource, College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010018, China)

**Abstract:** [Objective] The relationship between soil particle size and organic carbon under different grassland use patterns was studied, to reveal the loss rate of soil organic carbon in grassland degradation process, in order to provide a scientific basis for the restoration and control of ecological environment in Horqin sandy land. [Methods] Taking the flow and semi-fixed aeolian sandy soil in the Wulijimulun River basin of Horqin sandy land as the research object, the relationship between grain size and organic carbon content was studied under different grassland utilization modes, such as the enclosed grassland in the basin, the salinization plots with different degrees of degradation and the artificially planted pasture plots. [Results] The enclosing measures played a significant role in controlling soil erosion and increasing soil organic carbon content. In the 0—20 cm soil layer of the watershed, the grain size composition was dominated by silt and sand. Due to the factors of tillage, the surface soil in oat and alfalfa plots was coarser, and had higher peak and median grain size than other plots. In the study area, the particles with a size around 100  $\mu\text{m}$  were easily to be eroded. For the soil particles with a size less than 100  $\mu\text{m}$ , the organic carbon would be lost by 0.120 4 g/kg for every 1% wind

收稿日期: 2019-05-25

修回日期: 2019-07-02

资助项目: 国家重点研发计划项目“北方草甸退化草地治理技术与示范”(2016YFC0500605)

第一作者: 王燕(1995—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区通辽市人, 硕士研究生, 研究方向为草原土壤利用与保护。E-mail: 1458244352@qq.com。

通讯作者: 包翔(1962—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 副教授, 主要从事草原土壤利用与保护等方面的教学与研究。E-mail: baoxiang4933@163.com。

erosion. [Conclusion] The saline-alkaline meadow land distributed in the hills can be combined with the enclosure measures and planting grasses, to prevent soil erosion and effectively increase the organic carbon content.

**Keywords:** organic carbon; soil particle size; grassland utilization; Horqin sandy land

科尔沁沙地面积约  $4.00 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 在全国十大沙漠中占居第五位, 在历史上曾经为我国著名的科尔沁优良草原分布地区, 然而近百年来, 由于生态环境受到严重破坏成为如今的茫茫沙地<sup>[1-2]</sup>, “沙进人退”到“绿进沙退”的绿色发展、“绿水青山就是金山银山”的绿色思想以及科学治理沙化对整个华北地区的经济、生态、民生等综合效益具有重要的作用<sup>[3]</sup>。因沙化、风蚀而导致的土壤细颗粒物的损失伴随着土壤养分的损耗、贫瘠化, 严重降低了土壤生长植物的能力, 也减弱了土壤的黏结力, 反过来又促进了土壤风蚀, 引起土壤颗粒粗化问题<sup>[4]</sup>。土壤颗粒粗化是我国北方草场退化、沙化的主要表现形式之一<sup>[5]</sup>, 粒度作为影响地表土壤风蚀的重要因子, 能够决定风蚀颗粒的运动性质和风蚀强度<sup>[6-7]</sup>。随着土壤颗粒的损失, 有机碳也随之流失, 土壤有机碳库的稳定性与土壤侵蚀、生态系统的维持、发展及稳定性机制有着紧密联系<sup>[8]</sup>, 由于草地利用方式的不同, 土壤中物质输入与输出方式存在一定的差异, 加上人类活动的影响, 造成了不同草地利用方式下土壤中不同粒径分布特征及有机碳含量有所差异<sup>[9]</sup>。国内外学者<sup>[10-15]</sup>也对草地、沙地、农田等不同土地利用方式下土壤粒度与有机碳的分布特征及变化<sup>[9, 16]</sup>进行了大量的研究, 并得出了一些相似的结论, 也都取得了相应的成果, 但是生态环境日趋恶化的局面尚未得到控制, 草地退化导致的区域贫困问题未能得到根本解决<sup>[2, 17]</sup>, 目前在科尔沁沙地从土壤粒度分布规律及变化角度揭示不同草地利用方式土壤粒度特征和有机碳分布的研究较少。本研究以科尔沁沙地乌力吉木伦河流域流动和半固定风沙土为研究对象, 对围封草地、退化程度不同并且伴随有沙化的轻度、重度盐碱化草地和人工种植牧草的燕麦地、苜蓿地等不同草地利用方式下粒度与有机碳含量及相关性进行了探索研究, 旨在揭示科尔沁沙地在退化过程当中土壤有机碳的损失速率, 为科尔沁沙地生态环境恢复治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

乌力吉木伦河古代是科尔沁草原的河流是属辽河西源西辽河水系新开河的支流, 位于内蒙古自治区赤峰市东北部通辽市西部。地理坐标位于  $43^{\circ}50'13''$ — $45^{\circ}35'31''\text{N}$ ,  $119^{\circ}13'48''$ — $121^{\circ}56'05''\text{E}$ , 经阿鲁科尔沁旗和通辽市扎鲁特旗, 注入新开河, 总长度 250 km,

河流面积  $3.34 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 扎鲁特旗属内蒙古高原向松辽平原过渡地带。该地区属于中温带大陆性季风气候, 四季分明, 光照充足, 太阳辐射较强, 日照时间长, 年均气温  $6.6^{\circ}\text{C}$ 。无霜期中南部较长, 北部较短, 平均 139 d。春旱多风, 年均降雨量 382.5 mm, 主要集中在 7—8 月, 年均蒸发量 1 800 mm 以上, 年均湿度 49%, 年均风速 2.7 m/s, 海拔一般在 400~600 m 之间, 最高达 1 500 m。地带性土壤为栗钙土, 非地带性土壤为沼泽土、盐土、碱土、草甸土, 风沙土<sup>[17]</sup>, 流域内主要植被包括碱地肤 (*Kochia scoparia* Schred. var. *sieversiana*)、峰芒草 (*Tragus racemosus*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*)、碱韭 (*Allium polyrhizum*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)。

### 1.2 试验设计与样品采集

于 2017 年 8 月初进行土壤样品的采集, 在科尔沁沙地进行野外考察的基础上, 结合扎鲁特旗当地的土壤类型分布与土地利用方式在《北方草甸退化草地治理技术与示范课题》区域内选择 5 种典型样地, 分别为 2013 年围封天然草地 (E)、因过度放牧和气候因素导致的严重退化的伴随沙化和盐碱化的轻度盐碱退化样地 (LG)、重度盐碱退化样地 (HG) 和半固定沙丘地进行人工种植的多年生豆科植物苜蓿样地 (M) 和一年生禾本植物燕麦样地 (A)。用土钻进行分层取样, 取样前一周内无大风和降水, 每个样地按照多点同层混合采集法进行采样, 每个样地选择 3 个取样点, 每个取样点随机选取 7 个点, 取样深度为 0—20 cm, 20—30 cm, 30—50 cm, 将样品放入自封袋带回实验室进行相关指标的测定。

### 1.3 测定指标及方法

土壤粒度测量使用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 3000 型激光粒度分析仪 (以体积分数计) 测定 0—20 cm 土层粒度, 仪器测量范围 0.01~3 500  $\mu\text{m}$ , 土壤粒径按照美国制土壤粒径分级标准进行划分<sup>[18]</sup>: 黏粒 ( $<2 \mu\text{m}$ )、粉粒 ( $2 \sim <50 \mu\text{m}$ )、极细砂 ( $50 \sim <100 \mu\text{m}$ )、细砂 ( $100 \sim <250 \mu\text{m}$ )、中砂 ( $250 \sim <500 \mu\text{m}$ )、粗砂 ( $500 \sim <1\,000 \mu\text{m}$ ), 测定 0—20 cm, 20—30 cm, 30—50 cm 土层有机碳含量, 采用重铬酸钾氧化—外加热法。

数据处理与作图采用 Excel 软件; GRADISTAT 粒度处理软件; SAS 统计软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式下土壤粒度组成和参数特征

由各样地 0—20 cm 土层粒度组成特征可以看出(表 1),各样地表现出以粉粒和砂粒为主,苜蓿样地和燕麦样地以砂粒为主,体积百分含量分别为 78.24%和 69.56%,其他 3 个样地以粉粒和砂粒为主,围封草地粉粒体积百分含量为 58.75%,砂粒体积百分含量为 41.06%,轻度盐碱化样地粉粒体积百分含量为 47.20%,砂粒体积百分含量为 52.73%,重度盐碱化样地粉粒体积百分含量为 50.96%,砂粒体积百分含量为 48.61%。通过对砂粒进一步分析发现苜蓿样地和燕麦样地砂粒主要以极细砂、细砂和中

砂组成,围封草地、轻度、重度盐碱化样地以极细砂和细砂为主,中砂、粗砂粒粒含量加和不足 5%。不同样地相同粒径含量之间存在显著差异,各样地黏粒含量均不足 1%,苜蓿样地和燕麦样地黏、粉、极细砂含量显著低于其他 3 个样地,细砂、中砂含量显著高于其他 3 个样地,轻度盐碱化样地比其他样地具有较高的粗砂含量,但含量极其少。

燕麦和苜蓿样地细砂和中砂体积百分含量比其他样地明显高是与苜蓿和燕麦是在半固定的流动沙丘上种植有密切的关系,其基底组分为砂粒。从各类样地中值粒径来看,燕麦和苜蓿样地相比其他样地显著较高,由于开垦的作用,苜蓿样地和燕麦样地相比其他 3 个样地具有更高的峰值。

表 1 各样地 0—20 cm 土壤粒度组成和参数特征

样地	黏粒	粉粒	砂粒				峰态	中值粒径/mm
			极细砂	细砂	中砂	粗砂		
M	0 <sup>d</sup>	21.76±0.30 <sup>f</sup>	13.43±0.10 <sup>e</sup>	49.04±0.28 <sup>a</sup>	15.77±0.60 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	1.28	0.14
A	0 <sup>d</sup>	30.44±0.39 <sup>e</sup>	19.91±0.15 <sup>d</sup>	36.66±0.22 <sup>b</sup>	12.8±0.45 <sup>b</sup>	0.19±0.03 <sup>b</sup>	1.03	0.09
E	0.19±0.03 <sup>b</sup>	58.75±0.57 <sup>a</sup>	22.50±0.19 <sup>c</sup>	13.89±0.03 <sup>e</sup>	4.63±0.78 <sup>c</sup>	0.04±0.02 <sup>b</sup>	0.85	0.03
LG	0.07±0.01 <sup>c</sup>	47.20±0.30 <sup>c</sup>	29.23±0.32 <sup>b</sup>	19.63±0.46 <sup>d</sup>	3.45±0.41 <sup>c</sup>	0.42±0.14 <sup>a</sup>	0.82	0.05
HG	0.43±0.03 <sup>a</sup>	50.96±0.93 <sup>b</sup>	28.88±0.78 <sup>b</sup>	19.73±0.14 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>b</sup>	0.69	0.07

注:土壤颗粒组成单位为%;不同小写字母表示各样地相同粒径间显著差异( $p < 0.05$ )。M 为半固定沙丘地进行人工种植的多年生豆科植物苜蓿样地;A 为一年生禾本植物燕麦样地。

累积频率分布曲线可以反映土壤颗粒的分布情况,一般曲线越陡峻,颗粒分布越均匀<sup>[12]</sup>。通过分析 5 种样地 0—20 cm 土壤粒度累积频率曲线可知(图 1),围封草地和重度盐碱化样地均匀度较好,各样地累积频率曲线在 10~100  $\mu\text{m}$  之间变化最大,表示各样地土壤颗粒粒径在此范围内最集中。不同土地利用方式下各样地土壤粒度累积频率平均距离在 100  $\mu\text{m}$  处出现一个明显的变化,也就是说平均距离最大值在 100  $\mu\text{m}$  处,说明在 100  $\mu\text{m}$  处各样地颗粒粒径

差异较大,100  $\mu\text{m}$  处土壤颗粒含量最易受到自然以及人为条件的干扰影响。

由不同草地利用方式下土壤粒度频率分布曲线可以看出(图 2),5 个样地粒径分布存在一定的差异,各样地在 10  $\mu\text{m}$  处左右出现第一个波峰,第二个波峰在 100  $\mu\text{m}$  前后,其中苜蓿样地在 100  $\mu\text{m}$  左右处波峰最为明显,其次为燕麦样地,且波峰均在 100  $\mu\text{m}$  之后,说明燕麦和苜蓿样地比其他样地土壤粗颗粒分配较多,此结果与前面的分析一致。

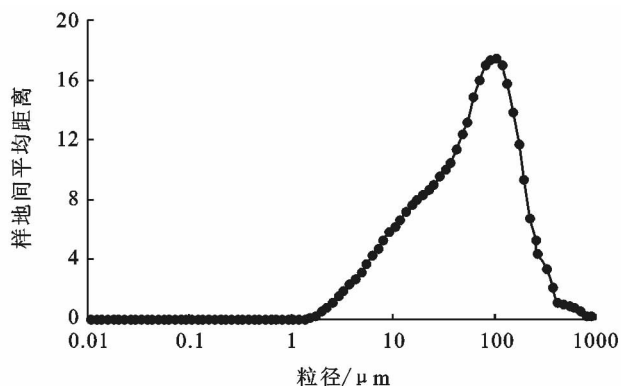
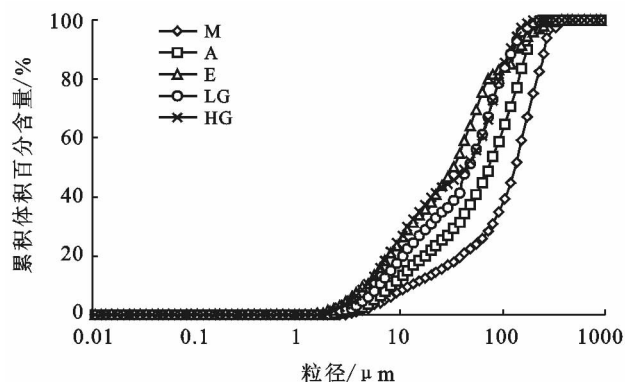


图 1 各样地 0—20 cm 土壤粒度累积频率曲线及其差异

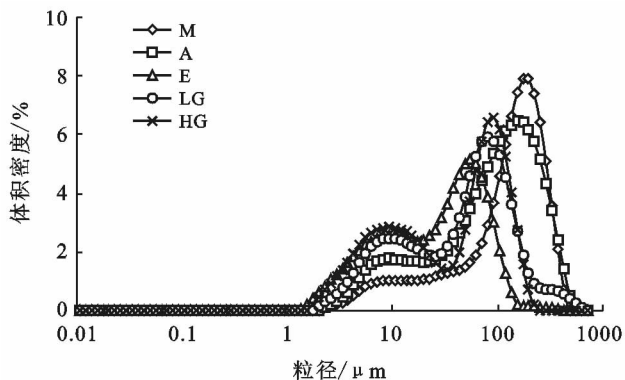


图 2 各样地 0—20 cm 土壤粒度频率曲线

### 2.2 土壤颗粒粗化与有机碳动态

土壤颗粒粗化主要是由风蚀引起的土壤细颗粒的迁移和损失。由各样地 0—20 cm 小于 100 μm 土壤粒度组分分配可以看出(图 3),围封草地、轻度和重度盐碱化样地 <100 μm 土壤颗粒含量处于较高的水平,苜蓿样地和燕麦样地粒径小于 100 μm 土壤粒度含量明显小于其他样地,围封草地相比小于 100 μm 粒度含量最少的苜蓿样地多出 44.46%,比燕麦样地多出 40.23%,说明收割过程破坏了土壤表层,因此地表松散的土壤侵蚀程度较严重,燕麦和苜蓿样地在细颗粒分配比例上出现差异性是与收割次数有着一定的关系,一年中苜蓿比燕麦多收割一次所以在小于 100 μm 颗粒分配比例上明显小于苜蓿样地,收割次数越多对土壤表层的破坏越大。为了解研究区有机碳和粒度的相关性,用小于 100 μm 土壤粒度组分含量与土壤有机碳含量绘制了散点图(图 4),进行相关性拟合发现二者具有线型相关,相关系数为 0.800 7,且土壤中小于 100 μm 颗粒组分每被吹蚀 1%,其有机碳含量将损失 0.120 4 g/kg。

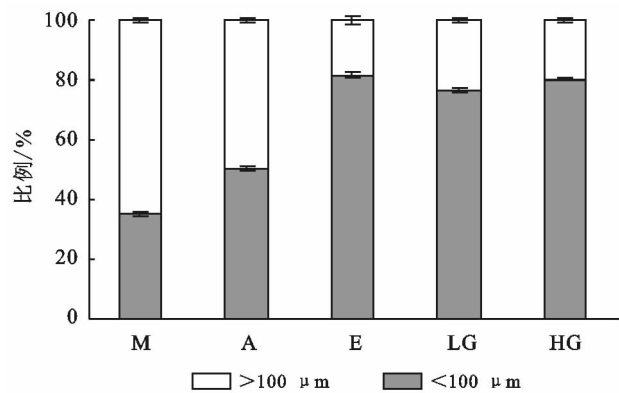


图 3 各样地 0—20 cm 小于 100 μm 土壤粒度组分分配

### 2.3 各样地土壤有机碳含量的垂直变化

从各样地土壤有机碳含量垂直变化可以看出

(图 5),随着土层的加深有机碳含量逐渐变小,燕麦样地各层有机碳含量在各样地中表现出最高,这种现象与燕麦的生长特点和根系分布有着密切的联系,前人的研究表明种植苜蓿固氮的同时也能提高土壤有机碳含量<sup>[19]</sup>,与外援物质也有着一定的联系,而苜蓿样地有机碳含量表现出比围封草地和轻度盐碱化样地低与收割次数有着一定的关系,收割次数多会直接破坏土壤表层结构,细颗粒的减少将会大大降低有机碳含量,燕麦地有机碳含量高这种现象与陶贞等<sup>[20]</sup>在高寒草甸土壤有机碳含量分布的研究结果一致,虽然翻耕种植燕麦和苜蓿在一定程度上导致土壤沙化,但能有效提高土壤的有机碳含量,土壤有机碳的恢复和积累是一个较为缓慢的过程,轻度盐碱化样地表面少量枯枝落叶的分解使有机碳含量在各样地中处在较高的阶段,而随着水土流失严重,地面裸露,植物根系不发达重度盐碱化样地有机碳含量在各样地中表现出最低,且各样地有机碳含量有土层深度呈对数拟合关系。

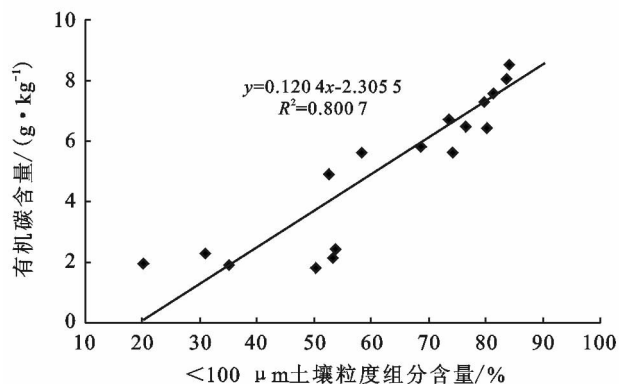


图 4 小于 100 μm 土壤粒度组分含量与有机碳含量相关关系

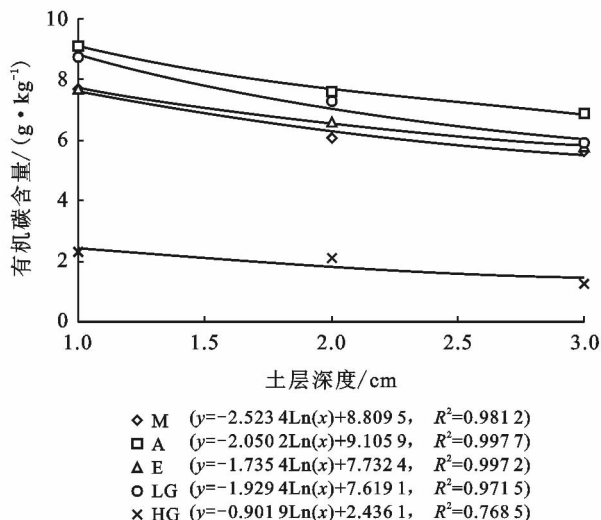


图 5 各样地土壤有机碳含量垂直变化

### 3 讨论

受气候干旱、沙漠化过程活跃,加之过度放牧和人类活动,湖淖和低洼甸子地的蒸发作用等各方面的因素使科尔沁沙质草甸土形成了不同程度的盐碱化、沙化草地<sup>[21-22,17]</sup>。本研究通过分析不同土地利用方式下土壤粒度组成和有机碳含量发现,无植被覆盖的重度盐碱化样地粉粒分配比例仅次于围封草地,但有机碳含量明显低于围封草地和其他样地,轻度盐碱化样地和以粉粒和砂粒为主,有机碳含量次于围封草地,围封草地有机碳含量次于燕麦和轻度盐碱化样地,而人工种植的燕麦样地虽以砂粒为主,但有机碳含量在各样地中表现出最高,因此,不同土地利用方式对土壤粒度组成、分布特征、有机碳含量影响均是不同的。

研究区轻度和重度盐碱化样地表现出粉粒含量多一方面是因为碱土中存在大量的钠离子导致土壤表层表现出较强的黏结、黏着和可塑性,外加气候干旱水分蒸发量大土壤表层形成光滑坚实的地表,使地表组分运移能力明显的减少,虽然盐碱地土壤理化性质恶劣不能生长植物但是坚实的光滑地表这一特征在一定程度上减少了土壤细颗粒的风蚀;另一方面碱土中的碱化层有利于细颗粒的聚集<sup>[23]</sup>,但盐碱地的抗风蚀能力远低于围封草地土壤形成的生物结皮,虽然有坚实的地表和碱化层的保护,加之人类和畜牧活动,地面的保护层终会被破坏,并且流域内坨甸相间,地下水水位较浅,在干旱多风的气候下依旧能成为沙化的物源<sup>[24]</sup>。根据前人对扎鲁特旗荒漠化土地调查可知<sup>[17]</sup>,乌力吉木伦河流域地区盐碱化土地分布较广,湖淖周围和低洼的甸子地因蒸发作用致使盐分在土壤表层积累使盐碱化更加严重,再加上风力和降水直接作用于裸地地表又加剧了土壤沙化和风蚀<sup>[25-26]</sup>,盐碱地细颗粒多但有机碳含量较低,这与前人<sup>[27-28]</sup>研究的细颗粒含量较多的土壤有机碳含量也相应较高,其物理性质和结构也相对稳定的结果有着一定的差异,因盐碱地成土过程复杂虽细颗粒含量多,但因恶劣的理化性质有机碳含量极其低,两者的关系较为复杂,有待长期深入研究。研究区围封草地黏粒、粉粒、极细砂含量加和达到 81.44%,其中粉粒含量在各样地均表现出最高且存在显著性差异,且有机碳含量比重度盐碱化样地高出很多,由此可知,围封后植被在相对稳定的环境中得以恢复,植被覆盖度的提高能有效降低群落中地表风速,保存大气过程所携带的粉尘<sup>[29]</sup>,土壤当中粗颗粒逐渐向细小颗粒转化,因此土壤中细小颗粒物逐渐积累含量较多,这与张晓娜等<sup>[28]</sup>在不同植被覆盖下土壤粒度组成与养分特征研

究的结果相似,说明围封措施对控制土壤沙化、增加土壤抗蚀能力、改善土壤肥力等方面均起到显著的作用<sup>[30]</sup>,围封措施在干旱半干旱区域也是最为推荐的两种碳截存方式之一,Grandy 等<sup>[31]</sup>认为,在短时期内退化草地恢复的土壤碳截存效应在表层最为显著。而人工种植的苜蓿和燕麦样地与围封草地和盐碱化样地相反,以砂粒含量为主,且砂粒含量中以极细砂为主,原因在于翻耕之后土壤脆弱的表层结构遭到破坏,疏松了表土层,使土壤实际抗蚀稳定性降低,细小颗粒物易被风搬运<sup>[32]</sup>,燕麦样地虽以砂粒为主但有机碳含量在各样地中表现出最高,苜蓿样地仅次于轻度盐碱化样地、燕麦样地,与围封草地不相上下,虽然翻耕及多次收割对土壤表层造成一定的破坏,但有机碳含量的高低与燕麦和苜蓿自身的根系和生长特点有着极其重要的联系,所以不同的植被分布特点及覆盖度与土壤微环境的形成有着紧密的关系,影响也是多方面的<sup>[25]</sup>。

有研究表明 100~150  $\mu\text{m}$  处颗粒最易被搬运<sup>[33]</sup>,本试验中各类样地土壤粒度累积频率平均距离最大值出现在 100  $\mu\text{m}$  左右,也就是说 100  $\mu\text{m}$  处颗粒最易被搬运,从古地质环境来看,乌力吉木伦河流域处在泥盆系和石炭二叠系砂页岩上,河谷中多为黄土状沉积物以及冲洪积物,东亚季风气候尾间区,四季分明,春季干旱多风又是农牧交错的敏感区域<sup>[34,17]</sup>,在这样的基质下伏沙质沉积物和粗颗粒更容易发生运移,因此各类样地粒径在 100  $\mu\text{m}$  左右变化较大。通过试验发现有机碳含量与各粒级含量具有显著相关性,相关系数达到 0.800 4,且土壤中小于 100  $\mu\text{m}$  颗粒组分每被吹蚀 1%,其有机碳含量将损失 0.120 4 g/kg,细颗粒的比表面积越大,越有利于有机碳的吸附和富集,也可以解释为小粒级有助于土壤养分离子的吸附和保存,即土壤颗粒越粗土壤有机碳含量越少,有机碳含量较高的土壤,其理化性质和结构也相对稳定<sup>[35]</sup>。

### 4 结论

(1) 科尔沁沙地 5 种草地利用方式下表层粒度分布特征和各层有机碳含量均存在显著差异,各样地中围封草地对控制土壤侵蚀、保存和提高有机碳含量起到明显的作用,说明不同土地利用方式对土壤粒度及有机碳含量的影响均是不同的,使土壤结构及有机碳含量发生一定的变化。

(2) 科尔沁沙地 5 种草地利用方式下围封草地、轻度、重度盐碱化样地表现出细颗粒含量较多,苜蓿和燕麦样地粗颗粒含量较多,但燕麦样地有机碳含量

在各样地中表现出最高,粒度参数特征显示苜蓿和燕麦样地相比其他 3 个样地中值粒径最大,峰值最高,说明开垦在一定程度上促使了土壤风蚀,但在流动和半固定沙丘上适当的种植禾本植物会提高土壤有机碳含量。

(3) 科尔沁沙地 5 种草地利用方式下土壤粒度分布频率曲线和粒度累积频率间平均距离显示粒径在 100  $\mu\text{m}$  左右颗粒为易受侵蚀颗粒。

(4) 科尔沁沙地 5 种草地利用方式下有机碳含量均随土层深度变小,放牧是土壤风蚀的首要因素,退化的重度盐碱化样地有机碳含量最低,燕麦样地有机碳含量表现出最高,开垦促使了土壤风蚀,开垦地相比天然草地表现出明显的风蚀特征,多种因素而导致退化的盐碱化样地细小颗粒虽多但有机碳含量及其少,而适当种植牧草能促进有机碳的积累,有助于土壤有机碳的恢复和截存,因此,在丘间平地分布的盐碱化草甸土地,根据实际情况结合围封措施种植混播豆科和禾本科牧草能有效提高有机碳含量和防止土壤侵蚀。

#### [参 考 文 献]

[1] 裘善文. 试论科尔沁沙地的形成与演变[J]. 地理科学, 1989, 9(4): 317-328, 97.

[2] 晓兰, 延军平. 科尔沁沙地沙漠化研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17671-17674.

[3] 宋复泉. 习近平生态文明思想的生动诠释: 库布其沙漠治理经验解读[J]. 实践: 思想理论版, 2018(9): 21-24.

[4] 刘树林, 王涛, 屈建军. 浑善达克沙地土地沙漠化过程中土壤粒度与养分变化研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 611-616.

[5] 龚子同, 张之一, 张甘霖. 草原土壤: 分布、分类与演化[J]. 土壤, 2009, 41(4): 505-511.

[6] 文海燕, 傅华, 赵哈林. 退化沙质草地开垦和围封过程中的土壤颗粒分形特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 55-59.

[7] 赵哈林, 周瑞莲, 苏永中, 等. 我国北方半干旱地区土壤的沙漠化演变过程与机制[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 1-5.

[8] Zhang Jianhui, Wang Yan, Li F. C. Soil organic carbon and nitrogen losses due to soil erosion and cropping in a sloping terrace landscape[J]. Soil Research, 2015, 53(1): 87-96.

[9] 李青春, 李跃进, 王丹澜, 等. 草地与耕地土壤团聚体及有机碳含量对比分析: 以内蒙古四子王旗为例[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 50-54, 60.

[10] 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.

[11] 高君亮, 高永, 罗凤敏, 等. 表土粒度特征对风蚀荒漠化的响应[J]. 科技导报, 2014, 32(25): 20-25.

[12] 闫玉春, 唐海萍, 张新时, 等. 基于土壤粒度分析的草原风蚀特征探讨[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1263-1268.

[13] 张华, 伏乾科, 李锋瑞, 等. 退化沙质草地自然恢复过程中土壤-植物系统的变化特征[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 1-6.

[14] 宋洁, 春喜. 乌兰布和沙漠不同土地覆被类型粒度特征及空间分异[J]. 中国沙漠, 2018, 38(2): 243-251.

[15] Six J, Christian F, Karolien D, et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage[J]. Agronomic, 2002, 22(1): 755-775.

[16] 张艺, 戴齐, 尹力初, 等. 后续施肥措施改变对水稻土团聚体有机碳分布及其周转的影响[J]. 土壤, 2017, 49(5): 969-976.

[17] 李金霞, 殷秀琴, 包玉海. 农牧交错带土地荒漠化及其影响因子研究: 以扎鲁特旗为例[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 146-152.

[18] 王则宇, 崔向新, 蒙仲举, 等. 风水复合侵蚀下锡林河流域不同管理方式草地表土粒度特[J]. 土壤, 2018, 50(4): 819-825.

[19] 蔺芳, 刘晓静, 张家洋. 人工草地种植模式对沙化土壤团聚体及有机质含量的影响[J]. 中国沙漠, 2018, 38(6): 1219-1229.

[20] 陶贞, 沈承德, 高全洲, 等. 高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征[J]. 地理学报, 2006(07): 720-728.

[21] 包宗仁, 罗瑞祥, 陈义, 等. 科尔沁沙地盐碱地造林技术研究[J]. 内蒙古林业科技, 2005(2): 9-12.

[22] 康慕谊, 刘肖骢, 董世魁, 熊惠波, 刘硕. 内蒙古扎鲁特旗土地利用方式及强度对草原群落的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 229-234.

[23] Argaman E, Singer A, Tsoar H. Erodibility of some crust forming soils sediments from the Southern Aral Sea Basin as determined in a wind tunnel[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006, 31(1): 47-63.

[24] Greg Langston, Cheryl McKenna Neuman. An experimental study on the susceptibility of crusted surfaces to wind erosion: A comparison of the strength properties of biotic and salt crusts[J]. Geomorphology, 2005, 72(1): 42-52.

[25] Wezel A, Bender S. Degradation of agro-pastoral village land in semiarid southeastern Cuba[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 59(2): 299-311.

[26] Zhao H L, Zhao X Y, Zhou R L, et al. Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland, Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 62(2): 309-319.