

# 宁南黄土区植被恢复方式对土壤粒度特征的影响

王月玲<sup>1</sup>, 王思成<sup>2</sup>, 许浩<sup>1</sup>, 万海霞<sup>1</sup>, 董立国<sup>1</sup>, 韩新生<sup>1</sup>, 郭永忠<sup>1</sup>, 魏永东<sup>3</sup>

(1.宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 宁夏防沙治沙与水土保持重点实验室, 宁夏 银川

750002; 2.宁夏农业综合开发中心, 宁夏 银川 750000; 3.宁夏盐池县科学技术局, 宁夏 吴忠 751500)

**摘要:** [目的] 研究宁南黄土区不同植被恢复方式下的土壤粒度特征, 旨在为更有效地指导该区域土壤资源的可持续发展和生态环境保护提供科学依据。[方法] 采用野外标准化方法采集 0—100 cm 土壤样品, 利用 Mastersizer 3000 型激光粒度仪测定了小流域 9 种不同植被恢复方式(山杏林、山桃林、沙棘林、柠条林、山杏柠条林、山杏沙棘林、坝地、苜蓿地、撂荒地) 216 件样品, 通过福克和沃德公式计算出平均粒径、标准偏差、偏度、峰度等土壤粒度参数。[结果] ① 不同植被恢复方式下的粒度组成均以粉粒和极细砂为主, 以粉粒含量在各粒度分级中所占比例最大。黏粒、粗砂、极粗砂和中砂含量分层整体趋于稳定, 随土层深度的增加变化不大。粉粒、极细砂和细砂含量均随土层深度增加变化起伏较大, 各层段表现出不同的变化趋势。② 不同植被恢复方式下各粒级变异系数的变化规律基本一致, 黏粒的变异系数最高, 其次为砂粒, 粉粒最小。③ 土壤平均粒径表现为: 山杏×柠条林>沙棘林>山桃林>柠条林>山杏林>苜蓿地>山杏×沙棘林>撂荒地>坝地。撂荒地、山桃林和柠条林的分选性明显优于其他立地, 沙棘林的分选性最差。[结论] 不同植被恢复方式的土壤粒度分布主要受到植被类型及人类活动扰动等主要因素的影响。

**关键词:** 土壤粒度; 小流域; 植被恢复方式; 宁南黄土区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)05-0083-09

中图分类号: S152.3

**文献参数:** 王月玲, 王思成, 许浩, 等. 宁南黄土区植被恢复方式对土壤粒度特征的影响[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 83-91. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.012; Wang Yueling, Wang Sicheng, Xu Hao, et al. Effects of vegetation restoration methods on soil particle size characteristics in loess region of Southern Ningxia [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 83-91.

## Effects of Vegetation Restoration Methods on Soil Particle Size Characteristics in Loess Region of Southern Ningxia

Wang Yueling<sup>1</sup>, Wang Sicheng<sup>2</sup>, Xu Hao<sup>1</sup>, Wan Haixia<sup>1</sup>,

Dong Ligu<sup>1</sup>, Han Xinsheng<sup>1</sup>, Guo Yongzhong<sup>1</sup>, Wei Yongdong<sup>3</sup>

(1. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and

Forestry Sciences, Ningxia Key Laboratory of Desertification Control and S & W

Conservation, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 2. Ningxia Agriculture Development Center, Yinchuan,

Ningxia 750000, China; 3. Science and Technology Bureau of Yanchi County, Wuzhong, Ningxia 7515000, China)

**Abstract:** [Objective] In order to provide a scientific basis for more effectively guiding the sustainable development of soil resources and ecological environmental protection in the loess region of Southern Ningxia Hui Autonomous Region, soil particle size characteristics under different vegetation recovery patterns were studied. [Methods] Field standardized soil samples (0—100 cm) were collected, and 216 samples from nine different vegetation restoration methods (*Prunus armeniaca* forest, *Amygdalus davidiana* forest, *Hippophae rhamnoides* forest, *Caragana korshinskii* forest, *C. korshinskii* × *P. armeniaca* forest, *P. armeniaca* × *H. rhamnoides* forest, dam land, alfalfa land, and abandoned land) were measured with a Mastersizer 3000 laser particle size analyzer. The average particle size ( $M_z$ ), standard deviation ( $\delta$ ), skewness (SK), and kurtosis

收稿日期: 2021-04-22

修回日期: 2021-06-04

资助项目: 宁夏农业科技自主创新资金项目“黄土丘陵区水土保持关键技术集成研究与示范”(NGSB-2021-14-02); 宁夏重点研发项目(2020BCF01001); 中央财政林业科技推广示范项目(2020ZY08)

第一作者: 王月玲(1980—), 女(汉族), 宁夏回族自治区固原市人, 硕士, 副研究员, 主要从事黄土高原水土保持与生态环境建设研究。Email: wylxnxky@163.com.

( $K_G$ ) were calculated by the Fokker and Ward formula. [Results] ① Under different vegetation recovery patterns, the main particle size components were silt (0.002~0.05 mm) and very fine sand (0.05~0.1 mm), and the proportion of silt content in each particle size classification was the largest. The contents of clay, coarse sand, very coarse sand, and medium sand in different vegetation restoration methods tended to be stable, and changed little with increasing soil depth. The content of silt, very fine sand, and fine sand fluctuated greatly with increasing soil depth, and each layer showed different trends. ② The variation of the coefficient of variation of each particle size was basically the same under different vegetation restoration methods. The coefficient of variation of clay was the highest, followed by sand and silt. ③ The average soil particle size followed the order of *P. armeniaca* × *C. korshinskii* forest > *H. rhamnoides* forest > *A. davidiana* forest > *C. korshinskii* forest > *P. armeniaca* forest > alfalfa land > *P. armeniaca* × *H. rhamnoides* forest > abandoned land > dam land. The sorting ability of abandoned land, *A. davidiana* forest, and *C. korshinskii* forest was better than that of other sites, with *H. rhamnoides* forest being the worst. [Conclusion] Soil particle size distribution in different vegetation restoration methods was mainly affected by utilization mode, vegetation type, and human activity disturbance.

**Keywords:** soil particle; small watershed; vegetation restoration method; loess hilly region of Southern Ningxia

土地利用是人类利用土地进行各种活动的综合体现。随着社会经济的不断发展,土地利用方式发生了明显的变化。土地利用与土地覆盖变化(LUCC)是全球环境变化的重要组成部分和主要原因之一<sup>[1-2]</sup>,人类活动对土壤环境的影响是全球环境变化与可持续发展问题的核心内容<sup>[3]</sup>。大量研究显示,不同的土地利用方式及其植被覆盖类型不仅制约着土壤环境演变的方向与速度,而且导致土壤特性及理化性质发生改变<sup>[4-11]</sup>。土壤粒度作为土壤一个基本自然属性,影响着土壤质地、持水量等,是研究土壤环境以及整个生态系统的基础<sup>[12]</sup>,同时也是进一步了解不同土壤理化性质差异的代用指标,其颗粒的粗细变化直接影响着土壤养分和水分变化<sup>[13]</sup>,另外土壤质地中的细颗粒组分的流失将影响土壤机械组成从而导致土地荒漠化的发生<sup>[14]</sup>。土壤粒度分布受多种因素影响,包括当地的气候、植被、土壤母质及人类活动等<sup>[9]</sup>。在小流域水土流失演变过程中,人类活动带来的土地利用类型和管理方式的改变会影响流域内土壤粒度的分布<sup>[15-18]</sup>。

宁南黄土区位于黄土高原西南缘属半湿润半干旱区,该区域生态环境敏感复杂,水资源短缺,水土流失严重,植被稀疏和降水分配不均等严重影响区域环境、社会和经济的可持续发展。近几十年来,随着大规模的退耕还林还草、生态移民搬迁等工程的实施,该区的土地利用方式也发生了显著变化。由于目前土壤粒度的报道多见于沙漠化土地<sup>[19-21]</sup>,关于宁南黄土区以小流域为单元分析土壤粒度的研究并不多。了解宁南黄土区不同植被恢复方式下土壤粒度对研究本区乃至整个宁南山区土壤退化及其发生原因具有一定的参考价值。因此本文针对流域实际情况选

取宁南黄土区不同人工林地、坝地、人工草地、撂荒地等 9 种不同植被恢复类型为研究对象,对其土壤粒度进行分析,以期为宁南黄土区土壤资源可持续利用和生态修复提供基础数据。

## 1 研究区概况

研究区位于彭阳县东北 13 km 处的白阳镇中庄村小流域,坐标为 106° 41'—106° 45' E, 35° 51'—35° 55' N。该区是典型的黄土丘陵区,地貌以梁状丘陵为主,流域海拔高度在 1 470~1 848 m,年平均气温 7.4~8.5 °C,无霜期 140~160 d,多年降水量 350~550 mm,属典型的温带半干旱大陆性季风气候。研究区土壤以普通黑垆土为主, pH 值在 8.0~8.5 之间,土层深厚,土质疏松。自然植被以典型温带草原植被为主,主要以长芒草(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、西山委陵菜(*Potentilla sischanensis*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等植物为建群种的群落类型为主,其次还有中生和早中生的落叶阔叶灌丛、落叶阔叶林、草甸。人工植被以山杏(*Prunus sibirica*)、山桃(*Amygdalus davidiana*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)等<sup>[22]</sup>为主。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设计

2020 年 7 月上旬,选取宁夏彭阳中庄小流域具有典型代表性的 9 种不同植被恢复方式(山杏林、山桃林、沙棘林、柠条林、山杏×柠条混交林、山杏沙棘混交林、侵蚀沟坝地、苜蓿地、撂荒地)进行土壤样品

采集。每种样地采用“S”取样法取 5 个样点, 取样深度为 0—100 cm, 分层采集 0—5, 5—10, 10—20,

20—30, 30—40, 40—60, 60—80, 80—100 cm 土壤, 每层 3 个重复。样地信息见表 1。

表 1 试验样地基本信息

不同植被恢复类型	经度 E	纬度 N	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)
山杏林	106.748434°	35.950237°	1 722	W	中部	23
山桃林	106.723028°	35.954298°	1 725	W	中部	23
沙棘林	106.724362°	35.941775°	1 690	W	上部	17
柠条林	106.119846°	35.155887°	1 650	W	中部	20
山杏×柠条林	106.724173°	35.941402°	1 707	W	上部	26
山杏×沙棘林	106.722962°	35.938831°	1 718	W	上部	21
坝地	106.702500°	35.954722°	1 563	W	底部	0
苜蓿地	106.715833°	35.930000°	1 616	W	上部	22
撂荒地	106.717647°	35.955781°	1 682	W	上部	0

## 2.2 样品分析与数据处理

土样采集后密封带回实验室, 风干后过 2 mm 筛, 去除其中杂质, 对样品进行清洗, 直至呈中性; 加入分散剂, 降低颗粒的凝聚性; 进行超声振荡, 消除样品的胶结作用。采用德国马尔文激光粒度仪(Mastersizer 3000)进行测定分析, 仪器测量范围在 0.02~2 000  $\mu\text{m}$ , 测量的误差在 2% 以内, 重复测量 3 次, 取其算术平均值(体积百分比); 经仪器分析获得数据后, 分析结果以美国制土壤粒径标准输出。依据美国制(USDA)标准<sup>[19]</sup>划分为砂砾(0.05~2.0 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)和黏粒(<0.002 mm)3 级, 对砂粒进一步划分为极粗砂(1.0~2.0 mm)、粗砂(0.5~1.0 mm)、中砂(0.25~0.5 mm)、细砂(0.1~0.25 mm)和极细砂(0.05~0.1 mm)5 个粒级, 并分别统计各粒径的体积分数。

## 2.3 数据分析处理

粒度参数特征值(平均粒径、标准偏差、偏度、峰度等)通过福克—沃德公式计算。利用 Excel 2016 和 DPS17.10 软件对粒度数据进行作图和统计分析, 采用单因素方差分析进行差异显著性分析( $p < 0.05$ ), 粒度各参数计算公式为<sup>[23]</sup>:

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (1)$$

$$SK = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \quad (3)$$

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \quad (4)$$

式中:  $M_z$  为平均粒径; SK 为偏度;  $\delta$  为标准偏差;  $K_G$  为峰度;  $\Phi_x$  为克鲁宾在乌登—温特沃斯粒级标

准基础上提出的粒度单位, 表示粒度累积到  $x\%$  所对应的粒径。根据 Folk 和 Wald(1957 年)粒度参数分级标准见表 2。

表 2 Folk 和 Wald(1957 年)粒度参数分级标准<sup>[6]</sup>

标准偏差		偏度		峰度	
级别	描述	级别	描述	级别	描述
<0.35	极好	(-1.0)~(-0.3)	极负偏	<0.67	很宽平
0.35~0.50	很好	(-0.3)~(-0.3)	负偏	0.67~0.90	宽平
0.50~0.71	较好	-0.2	近对称	0.90~1.11	中等
0.71~1.00	中等	0.1~0.3	正偏	1.11~1.56	尖窄
1.00~2.00	较差	0.3~1.0	极正偏	1.56~3.0	很尖窄
2.00~4.00	很差			>3.0	极尖窄
>4.00	极差				

## 3 结果与分析

### 3.1 不同植被恢复方式下土壤粒度组成

表 3 列出了 9 种植被恢复方式下的土壤粒度组成。可以看出, 9 种植被恢复方式下的土壤粒度组成均以粉粒和极细砂为主, 二者含量之和达到 86.26%~90.75%, 其中粉粒占 60.56%~70.40%、极细砂占 15.86%~27.10%; 其次为细砂、黏粒, 细砂的含量为 4.51%~6.72%; 黏粒的含量为 3.02%~5.48%, 中砂、粗砂和极粗砂的含量均较少, 极粗砂的含量几乎为零。9 种植被恢复方式中均以粉粒含量在各粒度分级中所占比例最大。黏粒和粉粒含量最高的均为坝地, 分别达到 5.48%, 70.40%, 其次为撂荒地, 分别为 4.02%, 65.65%, 山杏柠条林最低, 分别为 3.02%, 60.56%。方差分析结果显示, 各林地之间黏粒、极细砂和极粗砂含量表现出差异显著性( $p < 0.05$ ), 其他粒级含量均不存在显著差异( $p < 0.05$ )。

表 3 不同植被恢复方式下土壤粒度组成特征

植被恢复方式	黏粒	粉粒	极细砂	细砂	中砂	粗砂	极粗砂
山杏林	3.67 <sup>bc</sup>	66.14 <sup>ab</sup>	23.13 <sup>c</sup>	5.50 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>
山桃林	3.32 <sup>cd</sup>	63.09 <sup>b</sup>	27.10 <sup>a</sup>	5.68 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>
沙棘林	3.56 <sup>bc</sup>	62.20 <sup>b</sup>	24.63 <sup>bc</sup>	6.39 <sup>a</sup>	1.81 <sup>a</sup>	1.16 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>
柠条林	3.56 <sup>bc</sup>	64.25 <sup>ab</sup>	25.24 <sup>ab</sup>	6.11 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>
山杏×柠条林	3.02 <sup>d</sup>	60.56 <sup>b</sup>	27.04 <sup>a</sup>	6.72 <sup>a</sup>	1.84 <sup>a</sup>	0.77 <sup>ab</sup>	0.06 <sup>bc</sup>
山杏×沙棘林	3.66 <sup>bc</sup>	66.47 <sup>ab</sup>	23.17 <sup>bc</sup>	4.86 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>	0.47 <sup>ab</sup>	0.08 <sup>bc</sup>
坝地	5.48 <sup>a</sup>	70.40 <sup>a</sup>	15.86 <sup>d</sup>	6.67 <sup>a</sup>	1.25 <sup>a</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.01 <sup>bc</sup>
苜蓿地	3.66 <sup>bc</sup>	66.44 <sup>ab</sup>	23.29 <sup>bc</sup>	4.57 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>	0.66 <sup>ab</sup>	0.11 <sup>b</sup>
撂荒地	4.02 <sup>b</sup>	65.65 <sup>ab</sup>	25.10 <sup>abc</sup>	4.51 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>

注:同一列小写字母表示不同林地类型的粒度组成差异显著( $p < 0.05$ )。

图 1 为不同植被恢复方式下土壤颗粒随深度的变化,从垂直剖面来看,在 0—100 cm 土层,各植被恢复方式下黏粒、粗砂、极粗砂和中砂含量分层整体趋于稳定,随土层深度的增加变化不大,波动较为缓和。粉粒、极细砂和细砂含量均随土层深度增加变化较为明显,起伏较大,各层段表现出不同的变化趋势。细砂主要在 0—40 cm,随着土层深度的加深在减小,在 40—100 cm 基本是趋于稳定的。极细砂含量除了在坝地波动性较大外,在其他土地方式下基本是从表层到深层呈现缓慢下降趋势。坝地粉粒含量在 0—40 cm 基本呈现上升趋势,40—100 cm 呈现波动性变化,整体呈现下降趋势。苜蓿地粉粒含量表层 0—5 cm 较低,5—100 cm 呈现缓慢上升趋势。撂荒地的粉粒含量除了表层 0—5 cm 较低外,5—100 cm 变化不大。林地的粉粒含量基本是随着土层深度的增加呈现增加趋势,深层明显要比浅层高。表层土壤中的细颗粒由于受到侵蚀作用的影响,组分容易流失,与 10—20 cm 土层相比,9 种植物恢复方式下 0—10 cm 土层的粉粒含量所占比例均呈现降低趋势,降幅在 2.77%~17.7%。坝地和苜蓿地的降幅较大,分别降低了 17.7%,10.73%,山杏柠条林和山杏沙棘林的降幅较小,分别降低了 2.77%,2.83%。

### 3.2 不同植被恢复方式下土壤各粒级变异系数

从图 2 可以看出,不同植被恢复方式下不同粒级土壤的变异系数相差很大,各类土壤不同土层的粒度变异系数也不同。山杏林黏粒、粉粒和砂粒的变异系数的变化规律是一致的,均在 5—10,30—40,80—100 cm 这 3 层相对较低,在 10—20,40—80 cm 相对较高,且 40—80 cm 各粒级的变异系数均高于 0—40 cm;山桃林各粒级的变异系数总体的变化规律也是相似的,呈现先增大后降低再上升的趋势,粉粒和砂粒的变异系数均在 10—20 cm 处达到最大,分别为 8.81%,12.41%;沙棘林各粒级的变异系数呈波动性变化,黏粒和砂粒的波动性比较大,粉粒的变异系数变化比较

平缓,不同土层间差异较小。柠条林各粒级的变异系数变化趋势也是相似的,基本呈现先下降后上升再下降后上升的趋势,表土层 0—5 cm 的变异系数明显高于 5—100 cm。山杏柠条林各粒级的变异系数总体变化规律也是一致的,黏粒和粉粒表土层 0—5 cm 的变异系数明显高于 5—100 cm。山杏沙棘林各粒级变异系数先后相对平缓,粉粒和砂粒均在 5—10 cm 的变异系数较高,分别达到 7.10%,7.82%,黏粒的变异系数在 30—40 cm 达到最高为 8.40%。坝地各土层砂粒的变异系数相差最大,在 20—30 cm 达到最大为 44.72%,黏粒和粉粒表土层 0—5 cm 的变异系数明显高于 5—100 cm。苜蓿地各粒级变异系数在 0—30 cm 变化差异较小,在 30—100 cm 变化较大,30—80 cm 各粒级的变异系数明显高于 0—30 cm。撂荒地各粒级变异系数在 20—40 cm 均高于其他土层,其他土层变化差异非常小,且均在 30—40 cm 变异系数达到最高,黏粒、粉粒和砂粒的变异系数分别为 26.47%,12.13%,28.96%。

### 3.3 不同植被恢复方式下土壤粒度参数

平均粒径反映沉积物粒度分布的集中趋势。表 4 结果表明,在 0—100 cm 土层,9 种植物恢复方式下土壤平均粒径变化范围在 37.14~45.60  $\mu\text{m}$  之间,其中山杏×柠条混交林最大,坝地最小,排序大小依次为:山杏×柠条林>沙棘林>山桃林>柠条林>山杏林>苜蓿地>山杏×沙棘林>撂荒地>坝地。各层段土壤粒度特征表现出不同的变化趋势,这种变化趋势是由土壤侵蚀、风力、人类活动和植物本身等众多因素共同作用产生的。方差分析表明,同一土层之间平均粒径存在显著差异( $p < 0.05$ ),同一植被恢复方式不同土层间土壤平均粒径也存在显著差异( $p < 0.05$ )。在垂直剖面上,各植被恢复方式的土壤平均粒径随着土层深度的增加整体呈现下降趋势,表土层 0—10 cm 明显高于其他土层。

根据 Folk 和 Wald(1957)粒度参数分级标准(表

1) 得到 9 种植被恢复方式下不同土层的粒度参数特征(表 5—7)。标准偏差及分选系数反映固体颗粒大小的均匀程度和沉积分选的好坏<sup>[6]</sup>。由表 5 可知, 在 0—100 cm 土层各时段, 9 种植被恢复方式下的土壤标准偏差值介于 18.24~90.09 之间, 说明分选性均极差。其大小排序为: 沙棘林>山杏柠条林>苜蓿地>坝地>山杏林>山杏沙棘林>柠条林>山桃林>撂荒地, 可以看出撂荒地的分选性相比其他植被恢复方式相对较好; 偏度可以判别分布的对称性, 由表 6 可知, 在 0—100 cm 土层, 9 种植被恢复方式下的土壤偏度值介于 0.185~0.653 之间, 表明频率曲线呈正偏或

极正偏。峰度是度量粒度分布趋向形态的一种尺度, 用以度量粒度分布的中部和尾部展开度之比<sup>[4]</sup>。由表 7 可知, 在 0—100 cm 土层, 9 种植被恢复方式下的峰度平均值介于 1.134~1.645 之间, 表明粒度频率曲线分布呈尖锐或很尖锐。其中沙棘林表现出很尖锐的峰度值, 撂荒地与其他 8 种植被恢复方式相比有较大的差异。在垂直剖面上, 土壤标准偏差、偏度和峰态值均随着土层深度的增加基本呈现下降趋势, 上层 0—10 cm 的土壤粒度参数明显高于下层 10—100 cm。这主要与不同的植被恢复方式及对土壤粒度组成的扰动密切相关。

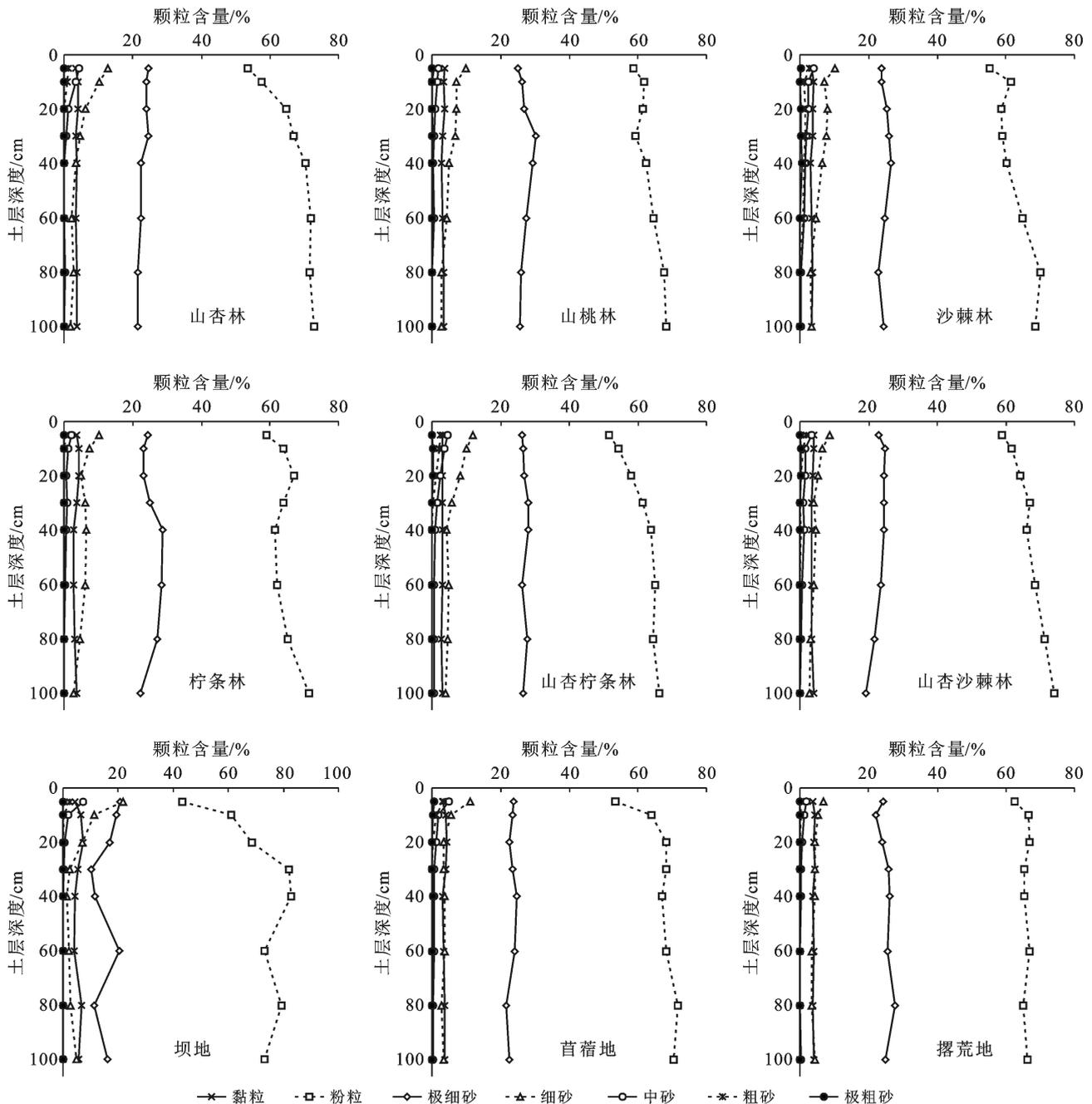
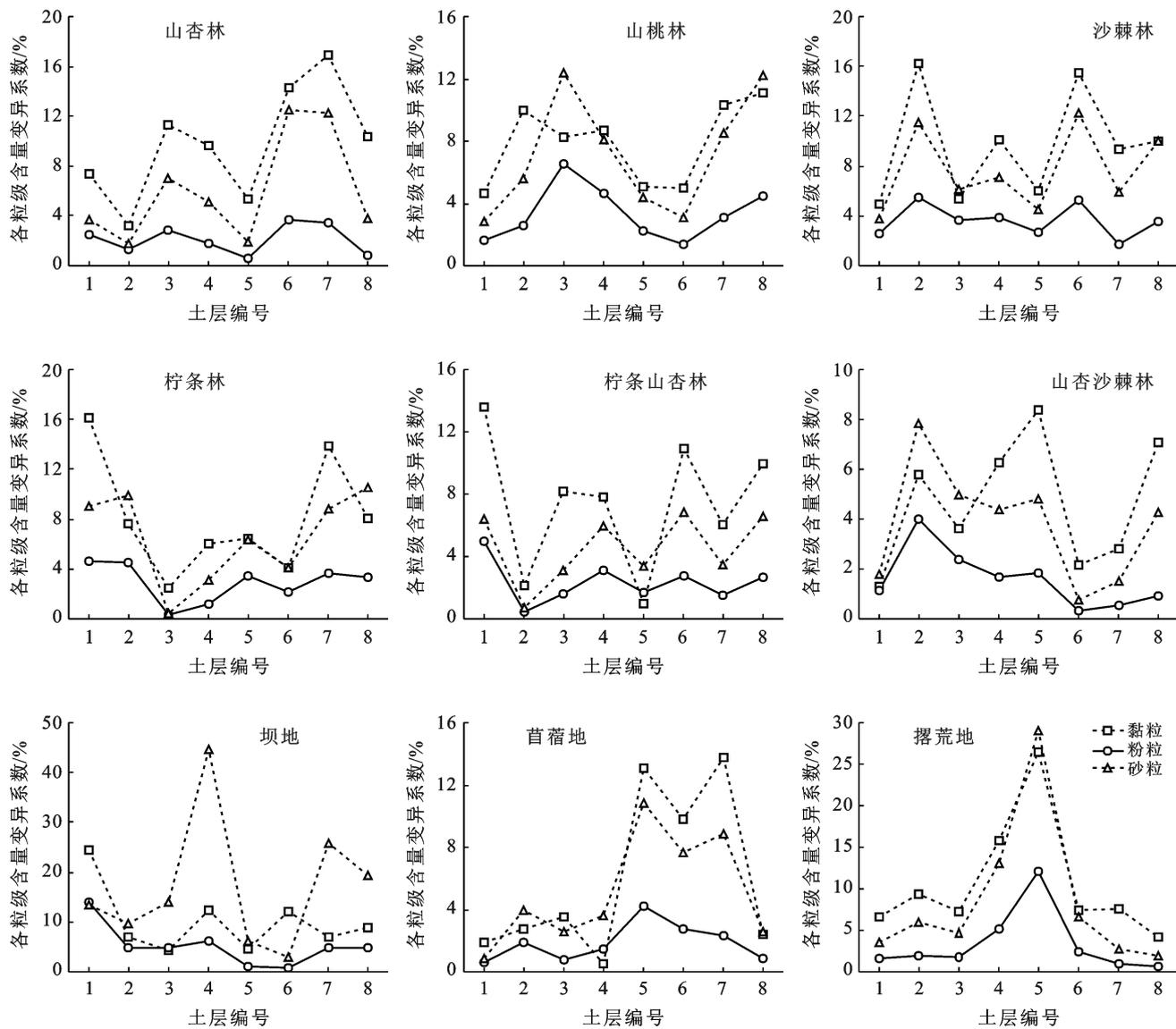


图 1 不同植被恢复方式下土壤颗粒随深度的变化



注:土层编号 1,2,3,4,5,6,7,8 分别代表 0—5,5—10,10—20,20—30,30—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层。

图 2 不同植被恢复方式下各粒级土壤的变异系数

表 4 不同植被恢复方式下土壤平均粒径状况

不同土地利用方式	不同土层深度(cm)土壤平均粒径								
	0—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—60	60—80	80—100	0—100
山杏林	56.02 <sup>A</sup> <sub>bc</sub>	48.06 <sup>B</sup> <sub>a</sub>	39.52 <sup>C</sup> <sub>bcd</sub>	38.54 <sup>CD</sup> <sub>e</sub>	35.83 <sup>DE</sup> <sub>c</sub>	35.21 <sup>Ecd</sup>	34.94 <sup>Ed</sup>	34.27 <sup>Ebc</sup>	40.30 <sup>cd</sup>
山桃林	45.87 <sup>Ad</sup>	42.31 <sup>AB</sup> <sub>b</sub>	41.77 <sup>B</sup> <sub>b</sub>	44.06 <sup>AB</sup> <sub>a</sub>	41.73 <sup>B</sup> <sub>ab</sub>	40.24 <sup>BC</sup> <sub>ab</sub>	37.52 <sup>CD</sup> <sub>cd</sub>	37.20 <sup>C</sup> <sub>ab</sub>	41.33 <sup>c</sup>
沙棘林	54.11 <sup>Ac</sup>	42.72 <sup>BC</sup> <sub>b</sub>	46.39 <sup>B</sup> <sub>a</sub>	45.33 <sup>B</sup> <sub>a</sub>	44.58 <sup>BC</sup> <sub>a</sub>	40.06 <sup>CD</sup> <sub>ab</sub>	36.13 <sup>DE</sup> <sub>cd</sub>	37.51 <sup>D</sup> <sub>ab</sub>	43.35 <sup>b</sup>
柠条林	45.89 <sup>Ad</sup>	40.06 <sup>BCD</sup> <sub>bc</sub>	36.62 <sup>DE</sup> <sub>d</sub>	36.62 <sup>CD</sup> <sub>bc</sub>	43.37 <sup>AB</sup> <sub>ab</sub>	42.38 <sup>ABC</sup> <sub>a</sub>	39.98 <sup>BCD</sup> <sub>ab</sub>	34.81 <sup>E</sup> <sub>bc</sub>	40.34 <sup>cd</sup>
山杏柠条	59.04 <sup>A</sup> <sub>bc</sub>	52.61 <sup>B</sup> <sub>a</sub>	47.01 <sup>C</sup> <sub>a</sub>	43.21 <sup>D</sup> <sub>ab</sub>	41.10 <sup>D</sup> <sub>ab</sub>	40.19 <sup>D</sup> <sub>ab</sub>	41.58 <sup>D</sup> <sub>a</sub>	40.02 <sup>D</sup> <sub>a</sub>	45.59 <sup>a</sup>
山杏沙棘	46.92 <sup>Ad</sup>	42.70 <sup>B</sup> <sub>b</sub>	40.51 <sup>BC</sup> <sub>bc</sub>	38.88 <sup>CD</sup> <sub>e</sub>	39.29 <sup>CD</sup> <sub>bc</sub>	37.39 <sup>DE</sup> <sub>bc</sub>	35.40 <sup>EF</sup> <sub>d</sub>	32.87 <sup>F</sup> <sub>cd</sub>	39.24 <sup>de</sup>
侵蚀沟坝地	81.02 <sup>A</sup> <sub>a</sub>	40.77 <sup>B</sup> <sub>bc</sub>	31.35 <sup>CD</sup> <sub>e</sub>	25.68 <sup>D</sup> <sub>d</sub>	28.51 <sup>CD</sup> <sub>d</sub>	34.01 <sup>BC</sup> <sub>d</sub>	25.11 <sup>D</sup> <sub>e</sub>	30.70 <sup>CD</sup> <sub>d</sub>	37.14 <sup>f</sup>
苜蓿地	61.81 <sup>A</sup> <sub>b</sub>	40.18 <sup>B</sup> <sub>bc</sub>	36.23 <sup>CDE</sup> <sub>d</sub>	36.62 <sup>CDE</sup> <sub>c</sub>	39.05 <sup>BC</sup> <sub>bc</sub>	37.69 <sup>BCD</sup> <sub>bc</sub>	34.63 <sup>Ed</sup>	35.83 <sup>DE</sup> <sub>bc</sub>	40.26 <sup>cd</sup>
撂荒地	41.42 <sup>Ad</sup>	37.43 <sup>Ac</sup>	37.41 <sup>A</sup> <sub>cd</sub>	37.82 <sup>A</sup> <sub>c</sub>	38.82 <sup>A</sup> <sub>bc</sub>	36.87 <sup>A</sup> <sub>cd</sub>	38.86 <sup>A</sup> <sub>abc</sub>	37.30 <sup>A</sup> <sub>ab</sub>	38.24 <sup>ef</sup>

注:同一行不同大写字母表示同一植被恢复方式不同土层土壤平均粒径差异显著( $p < 0.05$ );同一列不同小写字母表示不同植被恢复方式同一土层平均粒径差异显著( $p < 0.05$ )。

表 5 不同植被恢复方式下土壤标准偏差

不同土地利用方式	不同土层深度(cm)土壤标准偏差								
	0—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—60	60—80	80—100	0—100
山杏林	65.72	53.98	32.68	28.08	25.75	23.82	24.91	23.37	34.79
山桃林	45.53	34.25	33.16	32.16	28.66	27.99	25.60	25.24	31.57
沙棘林	77.93	45.02	51.75	47.57	40.15	31.23	25.61	25.93	43.15
柠条林	47.13	37.61	29.48	32.19	30.82	30.20	27.62	24.92	32.50
山杏柠条林	75.85	65.19	45.52	32.21	28.62	28.56	27.69	26.50	41.27
山杏沙棘林	61.45	45.70	33.03	27.66	29.87	27.23	25.24	23.81	34.25
坝地	98.31	46.02	32.92	19.99	18.24	23.12	22.11	27.57	36.03
苜蓿地	92.09	38.34	28.14	26.71	27.21	26.44	24.89	25.42	36.15
撂荒地	36.83	31.71	28.43	28.50	28.11	26.92	27.06	28.43	29.50

表 6 不同植被恢复方式下土壤偏度

不同土地利用方式	不同土层深度(cm)土壤偏度								
	0—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—60	60—80	80—100	0—100
山杏林	0.554	0.504	0.334	0.277	0.260	0.223	0.264	0.225	0.330
山桃林	0.435	0.331	0.294	0.258	0.225	0.242	0.200	0.198	0.273
沙棘林	0.597	0.448	0.471	0.441	0.397	0.321	0.250	0.246	0.396
柠条林	0.450	0.378	0.282	0.309	0.281	0.273	0.247	0.233	0.306
山杏柠条林	0.581	0.534	0.436	0.301	0.249	0.278	0.268	0.255	0.363
山杏沙棘林	0.545	0.417	0.339	0.276	0.309	0.282	0.272	0.269	0.339
坝地	0.590	0.573	0.541	0.289	0.185	0.189	0.323	0.366	0.382
苜蓿地	0.653	0.390	0.268	0.241	0.275	0.263	0.257	0.264	0.326
撂荒地	0.379	0.337	0.261	0.236	0.232	0.210	0.199	0.241	0.262

表 7 不同植被恢复方式下土壤峰度

不同土地利用方式	不同土层深度(cm)土壤峰度								
	0—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—60	60—80	80—100	0—100
山杏林	1.919	1.825	1.275	1.169	1.122	1.080	1.117	1.077	1.323
山桃林	1.542	1.260	1.156	1.133	1.092	1.106	1.059	1.063	1.176
沙棘林	2.667	1.721	1.945	1.776	1.554	1.246	1.127	1.123	1.645
柠条林	1.608	1.403	1.135	1.172	1.165	1.132	1.102	1.078	1.224
山杏柠条林	2.405	2.351	1.726	1.249	1.141	1.145	1.162	1.144	1.540
山杏沙棘林	2.291	1.814	1.338	1.180	1.225	1.148	1.135	1.126	1.407
坝地	1.424	1.265	1.169	1.245	1.175	1.124	1.156	1.205	1.220
苜蓿地	3.017	1.616	1.161	1.121	1.189	1.129	1.096	1.122	1.431
撂荒地	1.400	1.269	1.138	1.046	1.060	1.036	1.042	1.079	1.134

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1) 通过对宁南黄土区 9 种不同植被恢复方式下土壤粒度分布特征发现,研究区的土壤主要由粉粒和砂粒组成,属于粉(砂)壤土,不同植被恢复方式下土壤黏粒、粉粒和砂粒含量的分布不同,且差异显著。在 0—100 cm 土层,9 种不同植被恢复方式下的土壤粒度组成均以粉粒和极细砂为主,以粉粒含量在各粒度分级中所占比例最大。7 个粒级中,坝地、山杏沙棘林、苜蓿地和撂荒地的粉粒和黏粒含量占比相对较

大,其他立地极细砂含量占比相对较大。造成这种差异主要是因为不同植被恢复系统的地块受扰动的程度以及方式不同<sup>[24]</sup>,受人类活动扰动越多的土壤,黏粒和粉粒的含量越高,土壤质地就越好。受人类活动扰动少的土壤,土壤母质、植被类型及搬运条件等自然因素和人为因素也会影响粒度的分布<sup>[25]</sup>。另外也可以看出,研究区的坝地、山杏沙棘林、苜蓿地和撂荒地的土壤质地相对较好,水土流失现象相比其他林地要轻,保土能力较强。

(2) 研究区不同植被恢复方式土壤剖面粒度变化也存在差异。从垂直剖面来看,在 0—100 cm 土

层,各植被恢复方式下黏粒、粗砂、极粗砂和中砂含量分层整体趋于稳定,随着土层加深变化不大,较为缓和。粉粒、极细砂和细砂含量均随土层深度增加变化较为明显,起伏较大,各层段表现出不同的变化趋势。说明不同植被恢复方式下地表不同植被及人类扰动对黏土含量的影响不大,对粉粒和砂粒的含量影响显著。细砂主要在 0—40 cm,随着土层深度的加深在减小,在 40—100 cm 基本是趋于稳定的。极细砂含量除了在坝地波动性较大外,在其他土地方式下基本是从表层到深层呈现缓慢下降趋势。粉粒含量除了坝地、苜蓿地和撂荒地 在 0—40 cm 呈现增加趋势,40—100 cm 变化较小外,林地从表层到深层基本是呈现增加趋势。这主要与人类扰动及林木根系对土壤的影响主要集中在 40 cm 深度内,在 40 cm 以下影响较小<sup>[26]</sup>,故林地的变化趋势呈现一致性。另外,由于受土壤侵蚀作用的影响,表层土壤中的细颗粒组容易流失,9 种植物恢复方式下 0—10 cm 土层的粉粒含量所占比例与 10—20 cm 土层相比均呈现降低趋势,降幅在 2.77%~17.7%。坝地和苜蓿地的降幅较大,山杏柠条林和山杏沙棘林的降幅较小。总体可以看出,研究区由于林草植被覆盖度较高,人类干扰活动较小,降雨所带来的径流造成的水土流失并不明显。不同植被恢复方式下不同粒级土壤的变异系数也不尽相同,相差很大,其中撂荒地土壤的变异系数除了在 20—40 cm 变化较大外,其他土层变化相对是最小的。即荒地土壤粒度保留有较多原生土壤粒度组成的特点,而且根系主要分布于 20—40 cm,人为扰动较小,黏粒、粉粒和砂粒含量的空间变化相对较小。坝地砂粒的变异系数变化幅度较大,粉粒和黏粒的变异系数变化较小。苜蓿地下层 40—100 cm 粒度的变异系数明显要高于上层 0—40 cm。林地土壤黏粒和砂粒的的变异系数明显要高于粉粒,粉粒的变异系数变化相对较小。说明不同粒级的土壤颗粒可能受到外界不同条件的控制,如利用方式、人为活动及管理方式及植被类型等影响,使得不同土层土壤粒度含量的分布差异较大。但是各粒级变异系数的变化规律基本是一致的,黏粒的变异系数最高,其次为砂粒,粉粒最小。这一结果与吴美榕等<sup>[18]</sup>在新疆伊犁河谷新垦荒地各种类型土壤剖面黏粒和砂粒组分含量的变异均大于粉砂粒含量的研究结论是相吻合的。

(3) 根据粒度参数特征,不同植被恢复方式土壤剖面的粒度参数也存在差异。本研究结果表明,该区域粉砂壤土分选性极差,颗粒粗细分配呈正偏或极正偏,反映出了颗粒分布的集中程度很尖窄。不同立地类型 0—100 cm 土层土壤平均粒径大小排序为:山杏

× 柠条林 > 沙棘林 > 山桃林 > 柠条林 > 山杏林 > 苜蓿地 > 山杏 × 沙棘林 > 撂荒地 > 坝地,可以看出除了山杏沙棘林外,坝地、撂荒地和苜蓿地的平均粒径均小于其他林地,这与不同的植被恢复方式及对土壤粒度组成的扰动密切相关。另外从土壤标准偏差、土壤峰度也反映出撂荒地与其他 8 种植物恢复方式相比有较大的差异,撂荒地的分选性相对其他植被恢复方式相对较好,其他植被恢复方式由于受到人类活动、植被类型及地表枯枝落叶的影响,土壤颗粒发生扰动,使颗粒形态细化或圆化程度增强,所以土壤趋向正偏或极正偏<sup>[26]</sup>。

#### 4.2 结论

研究区 9 种不同植被恢复方式下的土壤粒度组成均以粉粒和极细砂为主,以粉粒含量在各粒度分级中所占比例最大。7 个粒级中,坝地、山杏沙棘林、苜蓿地和撂荒地的粉粒和黏粒含量占比相对较大,其他立地极细砂含量占比相对较大。在 0—100 cm 土层,黏粒、粗砂、极粗砂和中砂含量分层整体趋于稳定,随土层的加深变化不大,波动较为缓和。粉粒、极细砂和细砂含量均随土层深度增加变化较为明显,起伏较大。撂荒地、山桃林和柠条林的分选性明显优于其他立地。总体可以看出不同植被恢复方式的土壤粒度分布主要受到植被类型及人类活动扰动等主要因素的影响。其中坝地、山杏沙棘林、苜蓿地和撂荒地的土壤质地相对较好,水土流失现象相比其他林地要轻,保土能力较强。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [2] 唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81-86.
- [3] 龚子同, 陈鸿昭, 骆国保. 人为作用对土壤环境质量的影响及对策[J]. 土壤与环境, 2000(1): 7-10.
- [4] 张雪琪, 崔东, 夏振华, 等. 伊犁河谷不同土地利用方式下土壤粒度特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 162-167.
- [5] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 等. 丹江中游典型小流域土壤颗粒及分形特征[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(5): 28-35.
- [6] 郭伟, 张鸾, 刘爽, 等. 晋北风沙区人工林土壤水分及粒度特征[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 80-87.
- [7] 毛丽, 苏志珠, 王国玲, 等. 毛乌素沙地不同土地利用类型的土壤粒度及有机质特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(3): 589-598.
- [8] 王根绪, 马海燕, 王一博, 等. 黑河流域中游土地利用变化的环境影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 359-367.
- [9] 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.
- [10] 王英芹, 李林立, 张海, 等. 岩溶高山区不同土地利用类型土壤粒度特征[J]. 人民长江, 2009, 40(3): 29-30, 34.
- [11] 张小萌, 李艳红, 赵明亮. 干旱区不同植物群落下土壤粒度特征研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(21): 45-49.
- [12] 袁杰, 曹广超, 鄂崇毅, 等. 环青海湖表层土壤沉积物粒度分布特征及其指示意义[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 150-154.
- [13] 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.
- [14] 张正偲, 董治宝. 土壤风蚀对表层土壤粒度特征的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(12): 86-89.
- [15] 张彩云, 庞奖励, 常美蓉, 等. 农业耕作土壤与人工经济林地土壤磁化率和质地特征对比[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(1): 91-94.
- [16] 周群英, 黄春长, 庞奖励. 泾河上游黄土高原全新世成壤环境演变与人类活动影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 142-147.
- [17] 阿依图尔荪·哈力穆拉提, 玉素甫江·买买提, 买合皮热提·吾拉木. 渭干河—库车河三角洲绿洲植棉土壤的粒度分布特征[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(23): 9580-9582, 9630.
- [18] 吴美榕, 李志忠, 靳建辉, 等. 新疆伊犁河谷新垦荒地土壤粒度特征[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2011, 35(2): 211-216.
- [19] 杨志勇, 陈新闻, 郭建英, 等. 乌兰布和沙漠不同土地利用类型粒度特征分析[J]. 中国水土保持, 2015(7): 50-53.
- [20] 唐艳, 刘连友, 杨志鹏, 等. 毛乌素沙地南缘灌丛沙丘土壤水分与粒度特征研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 6-9.
- [21] 李占宏, 海春兴, 丛艳静. 毛乌素沙地表土粒度特征及其空间变异[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 74-79, 92.
- [22] 陈国靖, 蔡进军, 马璠, 等. 宁夏黄土丘陵区典型林草植被类型对土壤水稳性团聚体的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(05): 49-53+60.
- [23] 袁杰, 曹生奎, 曹广超, 等. 祁连山南坡不同植被类型土壤粒度特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 76-82.
- [24] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地不同土地利用和管理方式对土壤质量性状的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1681-1686.
- [25] 王惠泽, 孙虎. 秦岭南麓小流域不同土地利用类型剖面粒度分析[J]. 河南科学, 2016, 34(12): 2118-2123.
- [26] 常美蓉, 庞奖励, 张彩云, 等. 关中东部不同土地利用方式对土壤质地影响探讨[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(1): 50-53.

(上接第 82 页)

- [26] Hsieh J C C, Chadwick O A, Kelly E F, et al. Oxygen isotopic composition of soil water: Quantifying evaporation and transpiration [J]. Geoderma, 1998, 82(1/2/3): 269-293.
- [27] Renée Brooks J, Barnard H R, Coulombe R, et al. Ecohydrologic separation of water between trees and streams in a Mediterranean climate [J]. Nature Geoscience, 2010, 3(2): 100-104.
- [28] 周天河, 赵成义, 吴桂林, 等. 塔里木河上游胡杨(*Populus euphratica*), 怪柳(*Tamarix ramosissima*) 水分来源的稳定同位素示踪[J]. 中国沙漠, 2017, 37(1): 124-131.
- [29] Gazis C, Feng Xiahong. A stable isotope study of soil water: Evidence for mixing and preferential flow paths [J]. Geoderma, 2004, 119(1/2): 97-111.
- [30] Wu Huawu, Li Xiaoyan, Jiang Zhiyun, et al. Contrasting water use pattern of introduced and native plants in an alpine desert ecosystem, Northeast Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. Science of the Total Environment, 2016, 542: 182-191.
- [31] 许炯心. 黄河内蒙古段支流“十大孔兑”侵蚀产沙的时空变化及其成因[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1641-1649.
- [32] 王立新, 刘华民, 刘玉虹, 等. 河流景观生态学概念、理论基础与研究重点[J]. 湿地科学, 2014, 12(2): 228-234.
- [33] 董哲仁, 孙东亚, 赵进勇, 等. 河流生态系统结构功能整体性概念模型[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 550-559.
- [34] Silvertown J, Araya Y, Gowing D. Hydrological niches in terrestrial plant communities: A review [J]. Journal of Ecology, 2015, 103(1): 93-108.
- [35] Meißner M, Köhler M, Schwendenmann L, et al. Partitioning of soil water among canopy trees during a soil desiccation period in a temperate mixed forest [J]. Biogeosciences, 2012, 9(8): 3465-3474.
- [36] Nie Yunpeng, Chen Hongsong, Wang Kelin, et al. Water source utilization by woody plants growing on dolomite outcrops and nearby soils during dry seasons in karst region of Southwest China [J]. Journal of Hydrology, 2012, 420/421: 264-274.
- [37] Wang Jian, Lu Nan, Fu Bojie. Inter-comparison of stable isotope mixing models for determining plant water source partitioning [J]. Science of the Total Environment, 2019, 666: 685-693.
- [38] Schenk H J, Jackson R B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics [J]. , 2005, 126(1/2): 129-140.