# 祁连山南坡不同植被类型土壤粒度特征

袁 杰[1,2,3], 曹生奎[1,2,3], 曹广超[1,2,3], 赵青林[1,2,3], 刁二龙[1,2,3], 陈 真[1,2,3], 陈治荣[1,2,3]

(1. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青海 西宁 810008; 2. 青海师范大学 研究生院, 青海 西宁 810008; 3. 青藏高原地表过程与生态保育教育部重点实验室, 青海 西宁 810008)

**摘　要**:[目的] 对祁连山南坡不同植被类型土壤粒度特征进行分析,为区域土壤资源可持续利用和生态环境保护提供科学依据。[方法] 对祁连山南坡不同植被类型下土壤进行标准化土壤样品采集,利用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪测定 75 件样品,通过福克和沃德公式计算粒度参数,最后进行单因素方差分析。[结果] ①青海云杉、祁连圆柏、高寒草甸为粉砂—黏粒级(<63 μm),混合灌丛和高山草地为砂粒级(>63 μm),粒级组成上林地质地最细,高寒草甸次之,混合灌丛和高山草地土壤质地粗颗粒成分较多,有退化趋势; ②平均粒径($M_z$)表现为:青海云杉(6.15$\Phi$)>祁连圆柏(5.81$\Phi$)>高寒草甸(5.22$\Phi$)>混合灌丛(5.07$\Phi$)>高山草地(5.04$\Phi$);分选系数($\sigma$)表现为:高山草地(2.65)>高寒草甸(2.45)>混合灌丛(2.33)>青海云杉(2.17)>祁连圆柏(2.11);偏度(SK)高寒草甸(0.19)>高山草地(0.12)>混合灌丛(0.035)>青海云杉(0.032)>祁连圆柏(−0.05);峰度($K_G$)表现为:青海云杉(0.968)>混合灌丛(0.966)>祁连圆柏(0.929)>高寒草甸(0.887)>高山草地(0.867); ③各植被类型频率曲线存在异同,其中林地和灌丛为近对称单峰态,高寒草甸和高山草地粒度频率曲线呈多峰态,说明草地类型受外界因素干扰较大,物源混杂。[结论] 在自然环境影响和人类活动强度大的情况下,高寒草甸和高山草地粒径将进一步粗化,荒漠化风险程度最大,是该区相对来说亟需保育的植被类型。

**关键词**:祁连山南坡;土壤粒度;不同植被类型

**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-288X(2019)02-0076-07　　**中图分类号**:K903, S159

**文献参数**: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. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.02.012; Yuan Jie, Cao Shengkui, Cao Guangchao, et al. Soil particle size characteristics under different vegetation types on southern slope of Qilian Mountains[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2):76-82.

# Soil Particle Size Characteristics Under Different Vegetation Types on Southern Slope of Qilian Mountains

Yuan Jie[1,2,3], Cao Shengkui[1,2,3], Cao Guangchao[1,2,3], Zhao Qinglin[1,2,3], Diao Erlong[1,2,3], Chen Zhen[1,2,3], Chen Zhirong[1,2,3]

(1. *Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process*, *Qinghai Normal University*, *Xi'ning*, *Qinghai* 810008, *China*; 2. *Graduate School of Qinghai Normal University*, *Xi'ning*, *Qinghai* 810000, *China*; 3. *MOE Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation*, *Xi'ning*, *Qinghai* 810008, *China*)

**Abstract**: [Objective] The soil particle size characteristics of different vegetation types on the southern slope of Qilian Mountain were analyzed in order to provide a scientific basis for the sustainable use of regional soil resources and ecological environment protection. [Methods] 75 samples were collected and measured from different vegetation types on the southern slope of Qilian Mountain by Mastersizer 2 000 laser particle size analyzer. Then the parameters of particle size were calculated by using Fokker and Ward formula and performed one-way ANOVA. [Results] ① *Picea crassifolia*, *Juniperus przewalskii* and alpine meadows were of silt-clay(<63 μm) grade, mixed shrubs and alpine grassland were of sand grade(>63 μm). The size of the forestland soil was finest and the alpine meadow was followed in composition of size. Mixed shrubs and alpine grassland showed degradation trend, and had coarser grain composition than those of forestland and

**收稿日期**:2018-09-10　　**修回日期**:2018-10-19

**资助项目**:国家重点研发计划项目子专题"西北内陆区保水节水技术集成与应用"(2017YFC0404304); 国家自然科学基金项目(41361005)

**第一作者**:袁杰(1989—),男(汉族),青海省西宁市人,博士研究生,研究方向为地表环境过程。E-mail:yuanjie8903@126.com。

**通讯作者**:曹广超(1971—),男(汉族),山东省苍山县人,教授,博士生导师,主要从事 GIS 应用、地表环境过程方面的研究。E-mail: caoguangchao@qhnu.edu.cn。

alpine meadow. ② The mean grain size of different vegetation types was *Picea crassifolia*(6.15Φ)>*Juniperus przewalskii*(5.81Φ)>alpine meadow(5.22Φ)>mixed shrub(5.07Φ)>alpine grassland(5.04Φ). The sorting coefficient of different vegetation types was alpine grassland(2.65)>alpine meadow (2.45)>mixed shrub (2.33)>*Picea crassifolia*(2.17)>*Juniperus przewalskii*(2.11). The skewness of different vegetation types was alpine meadow(0.19)>alpine meadow(0.12)>mixed shrub(0.035)>*Picea crassifolia*(0.032)>*Juniperus przewalskii*(−0.05). The kurdishness of different vegetation types was *Picea crassifolia*(0.968)>mixed shrub(0.966)>*Juniperus przewalskii*(0.929)>alpine meadow(0.887)>alpine grassland(0.867). ③ There were some similarities and differences in frequency curves of different vegetation types. The peak shape of forestland and shrubs was nearly symmetrical and unimodal. The peak shape of alpine meadow and alpine grassland was multi-peaked and the fact indicates that grassland was greatly disturbed by external factors and sources were mixed. [Conclusion] In the case of natural environmental impact and high human activity intensity, the grain size of alpine meadows and alpine grasslands would be further coarsened, and the risk of desertification is the greatest, which is the type of vegetation that is relatively urgently needed for conservation in this area.

**Keywords: southern slope of Qilian Mountain; soil particle size; different vegetation types**

祁连山地处欧亚大陆中心，位于青藏高寒区、西北半干旱和东部湿润区交界带，因其海拔高和昼夜温差大成为气候变化敏感区和生态系统脆弱区[1]，然而由于近年来受人类活动和气候变暖的影响下，该区生态环境正在发生着剧烈变化，植被退化就是最为主要的恶性变化之一[2]，而植被退化势必会影响其下覆土壤环境的变化，针对下覆土壤环境的变化相关学者做了大量研究，王洁等[1]分析了祁连山北坡草甸草原地上生物量与土壤理化性质的关系，车宗玺等[3]对祁连山北坡林地土壤有机质的空间分布特征进行了分析，王雅琼等[4]对祁连山典型草地生态系统土壤的抗冲性进行了研究，白晓等[5]对祁连山不同土地覆被类型下的土壤水分变异特征进行了分析等。但众多研究中对祁连山南坡不同植被类型下土壤粒度的研究很少，土壤粒度是研究土壤环境以及整个生态系统特征的基础[6]，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[7]，另外土壤质地中的细颗粒组分的流失将直接影响土壤机械组成从而导致土地荒漠化的发生[8]。可见了解祁连山南坡不同植被类型下土壤粒度对研究本区乃至整个祁连山土壤退化及其发生原因具有一定的参考价值。本文针对实际情况选取祁连山南坡高寒草甸、高山草地、混合灌丛、青海云杉及祁连圆柏为研究对象，对其土壤粒度进行分析，以期为区域土壤资源可持续利用和生态环境保护提供科学依据。

# 1　材料和方法

## 1.1　研究区概况

研究区地处青海境内，位于 98°08′13″—102°38′16″E，37°03′17″—39°05′56″N，总面积约 $2.40\times10^4$ km$^2$，海拔 2 257～5 235 m，自然地理分区属于高寒干旱—半干旱区，因此气温和降水具有明显的水平和垂直梯度差异。该区全年平均气温为−5.9 ℃，全年最高气温约为 30.5 ℃，最低气温约为−37.1 ℃，年降水量在 300～400 mm 左右，降水量集中在 6—8 月，同时 6—8 月也是该区植物的生长季，年日照时数约为 2 200～2 900 h，由于日照时数多，最大年蒸发量达到 1 800 mm，远远大于降水量[9-10]。区内土壤类型复杂，共 12 个土类，26 个亚类；东段类型主要为栗钙土、黑钙土、石灰性灰褐土、石灰性草甸土、石质土、钙质石质土；西段主要分布着棕钙土、石灰性灰褐土、草原草甸土、高山寒漠土等[11]。该区植被类型主要包括青海云杉、祁连圆柏、高山湿性灌丛、中低山干性灌丛、高寒草甸、高寒草地、高山草地及温性草地等，垂直分布梯度极为明显。

## 1.2　样品采集及数据处理

1.2.1　*样品采集*　于 2017 年 7—8 月在研究区进行实地样品采集，分别选择海拔梯度在 3 000～4 000 m 之间的草地、灌丛、林地进行采样，其中草地类型选择高寒草甸和高山草地，灌丛选取具有代表性的混合灌丛，林地选择青海云杉和祁连圆柏。待样地选择结束后，为了降低空间异质性，分别对每类样地设立 20 m×20 m 样方，每类样地样方内随机布设 3 个大小均为 1 m×1 m 的样方，并用直径为 5 cm 的土钻钻取 0—50 cm(钻取间隔为 10 cm)的土壤样品，共收集土壤样品 75 件，具体样地信息详见表 1。

1.2.2　*土壤粒度测定*　待所有样品自然风干，过 2 mm筛后准确称取 0.4 g 土样置于 50 ml 烧杯中，然后按照以下步骤对样品进行处理[12]：①加入 10 ml 10%双氧水，加热煮沸到反应平静以去除土壤有机质和易氧化盐类；②待烧杯冷却后，加入 10 ml 10%的盐酸(HCl)后摇匀并且煮沸使其充分反应，以去除碳酸盐；③向这些样品中加入蒸馏水后静置 12 h 以上；④加入 10%的六偏磷酸钠 10 ml 并且置于超声

波震荡器中待测，其中粒度分析所用仪器为英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪，测量时待遮光度分布在 17%～20%之间，重复测量 3 次，取其平均值为最后结果。

**表 1 研究区采样点基本情况**

| 样地名称及编号 | 海拔/m | 覆盖度/% | 坡向 | 纬度 | 经度 | 土壤类型 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 高寒草甸(AM) | 3 600 | >75 | EN | 38°22′9″ | 99°19′49″ | 草毡土 |
| 高山草地(AG) | 3 430 | >75 | WN | 38°21′47″ | 99°25′29″ | 黑毡土 |
| 混合灌丛(MS) | 3 435 | 25～50 | ES | 38°02′45″ | 100°18′59″ | 草毡土 |
| 青海云杉(PC) | 3 085 | 50～75 | SW | 38°09′2″ | 100°12′44″ | 淋溶灰褐土 |
| 祁连圆柏(CQ) | 3 235 | <25 | E | 38°01′0.33″ | 100°22′14″ | 碳酸盐灰褐土 |

注：高寒草甸 AM(alpine meadow)；高寒草地 AG(alpine grassland)；混合灌丛 MS(mixed shrub)；青海云杉 PC(*Picea crassifolia*)；祁连圆柏 CQ(*Cypress Qilian*)。下同。

1.2.3 *数据处理* 粒度测定完成后利用 Excel 和 SPSS 21.0 软件对数据进行分析，采用单因素方差分析(one-way ANOVA)进行差异性分析($p<0.05$)，利用 Grapher 10.0 进行图表制作，其中粒度参数通过福克和沃德公式计算，粒度参数广泛应用于各种沉积环境分析中[13-14]，是沉积物基本性质之一，其中粒度各参数计算公式为：

$$M_z=\frac{\Phi_{16}+\Phi_{50}+\Phi_{84}}{3} \tag{1}$$

$$\mathrm{SK}=\frac{\Phi_{16}+\Phi_{84}-2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84}-\Phi_{16})}+\frac{\Phi_{5}+\Phi_{95}-2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95}-\Phi_{5})} \tag{2}$$

$$\sigma=\frac{\Phi_{84}-\Phi_{16}}{4}+\frac{\Phi_{95}-\Phi_{5}}{6.6} \tag{3}$$

$$K_G=\frac{\Phi_{95}-\Phi_{5}}{2.44(\Phi_{75}-\Phi_{25})} \tag{4}$$

式中：$M_z$——平均粒径；SK——偏度；$\sigma$——分选系数(标准偏差)；$K_G$——峰度；$\Phi_x$——克鲁宾在乌登—温特沃斯粒级标准基础上提出的粒度单位，表示粒度累计到 $x$%所对应的粒径[15]。换算公式为：

$$\Phi=-\log d$$

式中：$d$——颗粒直径。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植被类型土壤粒度组成分析

不同植被类型土壤各粒级含量整体服从正态分布(表 2)，其中青海云杉土壤黏粒含量最大(均值 19.31%)，其次为祁连圆柏(均值 16.52%)、高山草地(均值 16.35%)、高寒草甸(均值 15.67%)，混合灌丛土壤黏粒含量最小(均值 12.61%)；土壤粉砂含量祁连圆柏最大(均值 64.15%)，其次为青海云杉(均值 62.76%)、混合灌丛(均值 62.83%)、高寒草甸(均值 51.17%)，高山草地粉砂含量最小(均值 47.61%)；土壤砂粒含量高山草地最大(均值 36.04%)，其次为混合灌丛(均值 34.79%)、高寒草甸(均值 32.53%)，祁连圆柏和青海云杉砂粒含量相差不大，均值分别为 18.17%和 17.96%。

不同植被类型中混合灌丛土壤黏粒变异系数最大 30.70%，其次为祁连圆柏 15.59%，高寒草甸和高山草地变异系数相差不大，分别为 9.97%和 11.18%，青海云杉变异系数最小为 3.1%；土壤粉砂级中混合灌丛变异系数最大 22.85%，其次为高寒草甸 13.11%，高山草地 11.55%，青海云杉和祁连圆柏变异系数相差不大，分别为 4.72%和 4.15%；土壤砂粒变异系数混合灌丛变异系数最大 45.72%，其次为高寒草甸 26.58%，高山草地 20.29%，青海云杉 17.39%，祁连圆柏最小 15.87%。另外从不同植被类型“砂粒组—粉砂组—黏粒组”三因分类法三角图解中可以看出(图 1)，所有植被类型明显分为两个群组，分别为以粉砂—黏粒(<63 μm)为主导群的青海云杉、祁连圆柏、高寒草甸群组和以砂粒级(>63 μm)为主导群的混合灌丛和高山草地群组。综上，可以看出林地变异性整体较小，质地最细，高寒草甸次之，混合灌丛和高山草地土壤变异程度大，土壤粗颗粒成分比重较大，沉积环境复杂，有退化趋势。

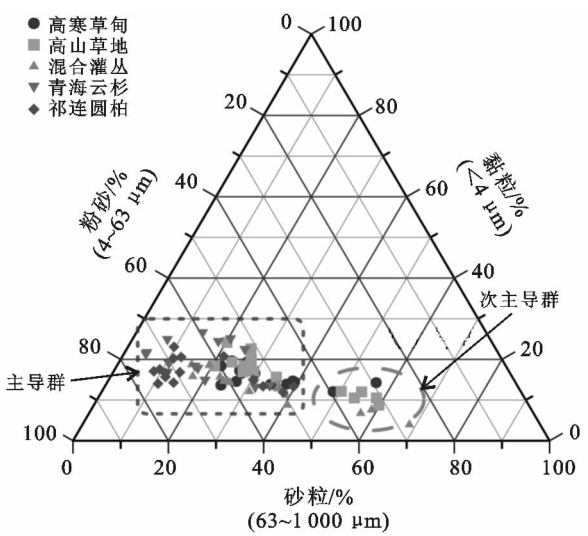



**图 1 不同植被类型粒级分布三角图**

**表 2　不同植被类型各粒级统计分析**

| 不同粒级 | 各统计值 | 高寒草甸 | 高山草地 | 混合灌丛 | 青海云杉 | 祁连圆柏 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 黏粒(<4 μm) | 最小值/% | 13.40 | 14.46 | 6.07 | 18.58 | 12.57 |
| | 最大值/% | 17.52 | 19.32 | 15.38 | 20.15 | 19.50 |
| | 均值/% | 15.67 | 16.35 | 12.61 | 19.31 | 16.52 |
| | 标准误差 | 1.562 | 1.828 | 3.872 | 0.599 | 2.577 |
| | KS 权距 | 0.192 7 | 0.250 5 | 0.265 3 | 0.226 5 | 0.206 2 |
| | $p$ 值 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| | 是否服从正态分布 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| | 变异系数/% | 9.97 | 11.18 | 30.70 | 3.10 | 15.59 |
| 粉砂(4～63 μm) | 最小值/% | 40.07 | 40.93 | 32.32 | 59.27 | 61.43 |
| | 最大值/% | 57.41 | 56.10 | 62.86 | 66.10 | 67.32 |
| | 均值/% | 51.17 | 47.61 | 52.83 | 62.76 | 64.15 |
| | 标准误差 | 6.709 | 5.498 | 12.070 | 2.961 | 2.663 |
| | KS 权距 | 0.245 8 | 0.241 5 | 0.280 9 | 0.195 9 | 0.228 9 |
| | $p$ 值 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| | 是否服从正态分布 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| | 变异系数/% | 13.11 | 11.55 | 22.85 | 4.72 | 4.15 |
| 砂粒(>63 μm) | 最小值/% | 24.1 | 24.59 | 21.75 | 14.83 | 13.89 |
| | 最大值/% | 46.53 | 44.61 | 61.29 | 22.29 | 21.02 |
| | 均值/% | 32.53 | 36.04 | 34.49 | 17.96 | 18.17 |
| | 标准误差 | 8.644 | 7.313 | 15.77 | 3.124 | 2.883 |
| | KS 权距 | 0.224 8 | 0.243 7 | 0.276 7 | 0.235 4 | 0.205 6 |
| | $p$ 值 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| | 是否服从正态分布 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| | 变异系数/% | 26.58 | 20.29 | 45.72 | 17.39 | 15.87 |

### 2.2　不同植被类型土壤剖面粒度组成差异性分析

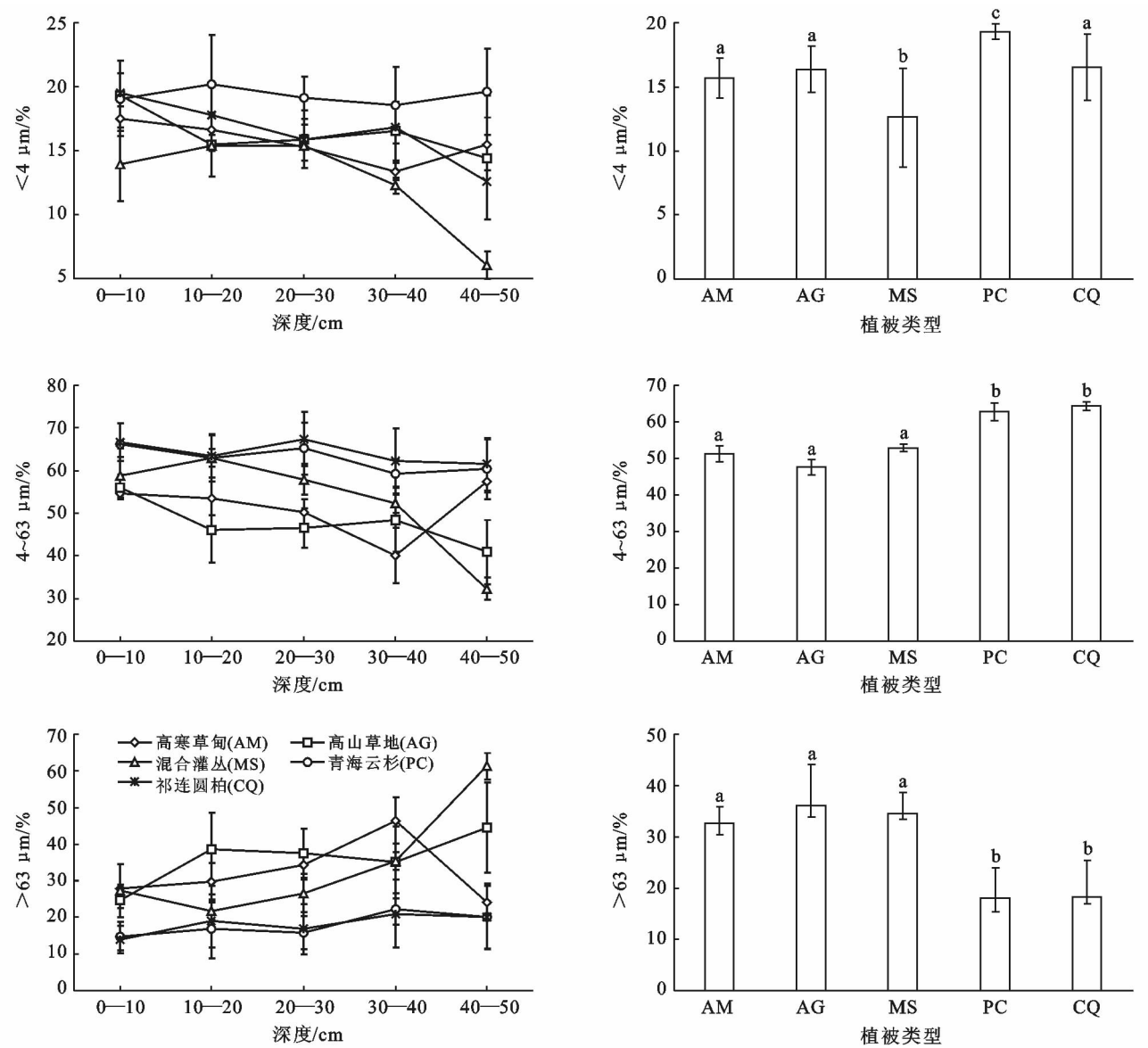
不同植被类型土壤粒径沿剖面变化趋势如图 2 所示。

由图 2 可知，高寒草甸土壤黏粒含量自表层至 40 cm呈递减趋势，40 cm 开始增加，高山草地黏粒含量在 0—50 cm 变动较大，呈先减后增再减趋势，混合灌丛黏粒含量自表层呈先增后减趋势且 40—50 cm 土层黏粒含量明显小于其它植被类型，青海云杉各土层黏粒含量则明显高于其它植被类型且在剖面上波动不大，祁连圆柏黏粒含量变化趋势和高山草地基本相同，以 30 cm 为界，界上黏粒含量小于高山草地，界下两者黏粒含量趋同。此外，高寒草甸、高山草地及祁连圆柏黏粒含量无显著差异($p>0.05$)，与混合灌丛、青海云杉差异性显著($p<0.05$)；各植被类型土壤粉砂含量在剖面上变化波动较大，其中高寒草甸粉砂含量变化趋势和黏粒相同，高山草地 0—20 cm 粉砂含量明显大于 20 cm 以下土层，20 cm 以下土层粉砂含量波动不大，混合灌丛粉砂含量呈现自表层向下逐层递减趋势，青海云杉和祁连圆柏粉砂含量在 0—50 cm 变化趋势一致，且在 20 cm 开始祁连圆柏粉砂含量逐层略大于青海云杉；差异性方面，高寒草甸、高山草地、混合灌丛与青海云杉、祁连圆柏粉砂含量差异性显著($p<0.05$)；各植被类型砂粒含量在剖面上变化趋势与粉砂含量相反，其中高寒草甸、高山草地、混合灌丛与青海云杉、祁连圆柏粉砂含量差异性显著($p<0.05$)。

### 2.3　不同植被类型土壤粒度参数差异性分析

土壤粒度参数是土壤的基本性质之一，广泛用于土壤沉积环境中[15]，其中平均粒径($M_z$)，表示土壤颗粒的粗细，是土壤粒度特征中最主要的特征之一，代表粒度分布的集中趋势，一定程度上取决于物源区的粒度分布；标准偏差($\sigma$)表现围绕集中趋势的离差，用来衡量土壤粒度的分选程度，即颗粒大小的均匀性，因此又称分选系数。它采用频率累积曲线上 25%和 75%处的粒度值，能够反映出居于频率累积曲线中间的粒度的变化。偏度(SK)用来测量频率曲线的不对称程度，频率曲线按其对称形态可分为三类：对称、正偏态及负偏态。峰态($K_G$)用来度量粒度分布曲线的尖锐或钝圆程度，即度量粒度分布的中部与两尾端的展形之比，代表了不同来源物质的混合程度，通过表 3 可以看出，土壤平均粒径表现为：青海云杉(6.03 $\Phi$)>祁连圆柏(5.81 $\Phi$)>高寒草甸(5.22 $\Phi$)>混合

灌丛(5.07 Φ)>高山草地(5.04 Φ),其变异系数表现为:混合灌丛(15.11%)>高山草地(8.53%)>高寒草甸(7.58%)>祁连圆柏(5.53%)>青海云杉(1.41%);土壤分选性表现为:高山草地(2.65)>高寒草甸(2.45)>混合灌丛(2.33)>青海云杉(2.17)>祁连圆柏(2.11),其变异系数表现为:高寒草甸(7.76%)>高山草地(5.35%)>青海云杉(5.02%)>祁连圆柏(4.87%)>混合灌丛(4.71%);土壤偏度值表现为:高寒草甸 (0.19)>高山草地(0.12)>混合灌丛(0.04)>青海云杉(0.03)>祁连圆柏(−0.05),其变异系数表现为:青海云杉(38.09%)>祁连圆柏(22.50%)>混合灌丛(15.95%)>高山草地(14.47%)>高寒草甸(8.47%);土壤峰度值表现为:青海云杉(0.968)>混合灌丛(0.966)>祁连圆柏(0.929)>高寒草甸(0.887)>高山草地(0.867),其变异系数表现为:青海云杉(8.32%)>高寒草甸(7.30%)>高山草地(6.11%)>祁连圆柏(5.03%)>混合灌丛(2.98%)。




注:不同小写字母代表不同植被类型间差异性显著($p<0.05$)。下同。

**图 2 研究区不同植被类型剖面粒径变化**

综上分析,青海云杉和祁连圆柏为代表的林地土壤颗粒最细,其空间变异性较小,土壤结构稳定,土壤分选性也较其它植被类型好,频率曲线呈近对称分布,峰态呈中等(正态)峰型,表明在成土过程中其成土物源单一,土壤受外界扰动较小;混合灌丛土壤颗粒粗于林地和高寒草甸而细于高山草地,而土壤分选程度好于草甸和草地,偏度也属近对称分布,峰态呈近右偏正态分布,表明在成土过程中沉积物物源较一致,但沉积物物源较粗,土壤整体受外界扰动程度小。高寒草甸虽然土壤颗粒较灌丛细,但是由于其生长海

拔高,受冻融作用强烈,其分选性差,呈正偏不对称峰态,说明其土壤在发育过程中由于自然环境的影响,物源复杂且颗粒较粗,受外界扰动程度较大;高山草地土壤颗粒在所有植被类型中最粗,分选也最差,呈正偏不对称峰态,说明高山草地在自然发育状态下物源多杂且粗颗粒物源介入最多,后期受外界扰动程度也最大,在所有植被类型中土壤粗化风险最大。

此外,从不同植被类型粒度参数沿剖面变化情况来看,高寒草甸和高寒草地由于受外界因素干扰大,在剖面上各粒度参数波动程度较大,林地和灌丛各参数波动较小,和上述分析结果一致。另外从不同植被类型各参数因素方差分析可以看出(表 3),林地、灌丛、草甸及草地平均粒径差异性显著($p<0.05$),高山草地分选性和其它植被类型差异性显著($p<0.05$),各植被类型峰度值无显著差异($p>0.05$),偏度各植被类型差异性较大,其中青海云杉和混合灌丛无显著差异,其余植被类型之间差异性显著($p<0.05$)。

**表 3　不同植被类型粒度参数变化**

| 粒度参数 | 统计值 | 高寒草甸 | 高山草地 | 混合灌丛 | 青海云杉 | 祁连圆柏 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $M_z$ | 最小值 | 4.549 | 4.556 | 3.794 | 5.930 | 5.308 |
| | 最大值 | 5.509 | 5.706 | 5.721 | 6.154 | 6.197 |
| | 均值 | 5.219 | 5.037 | 5.073 | 6.032 | 5.808 |
| | 标准误差 | 0.396 | 0.430 | 0.766 | 0.086 | 0.321 |
| | 变异系数/% | 7.58 | 8.53 | 15.11 | 1.42 | 5.53 |
| $\sigma$ | 最小值 | 2.271 | 2.436 | 2.203 | 2.008 | 1.952 |
| | 最大值 | 2.758 | 2.825 | 2.495 | 2.258 | 2.205 |
| | 均值 | 2.447 | 2.649 | 2.327 | 2.170 | 2.105 |
| | 标准误差 | 0.189 | 0.141 | 0.109 | 0.108 | 0.102 |
| | 变异系数/% | 7.76 | 5.35 | 4.71 | 5.02 | 4.87 |
| SK | 最小值 | 0.166 | 0.054 | −0.008 | −0.049 | −0.069 |
| | 最大值 | 0.201 | 0.221 | 0.124 | 0.245 | −0.043 |
| | 均值 | 0.185 | 0.121 | 0.035 | 0.032 | −0.053 |
| | 标准误差 | 0.016 | 0.066 | 0.053 | 0.124 | 0.012 |
| | 变异系数/% | 8.47 | 14.47 | 15.95 | 38.09 | 22.50 |
| $K_G$ | 最小值 | 0.804 | 0.784 | 0.944 | 0.832 | 0.892 |
| | 最大值 | 0.971 | 0.921 | 1.007 | 1.045 | 1.009 |
| | 均值 | 0.887 | 0.867 | 0.966 | 0.968 | 0.929 |
| | 标准误差 | 0.065 | 0.053 | 0.029 | 0.081 | 0.047 |
| | 变异系数/% | 7.30 | 6.11 | 2.98 | 8.32 | 5.03 |

## 3　讨 论

祁连山南坡不仅是我国西北内陆的重要水源涵养区,而且是高寒地区生态脆弱带,海拔梯度大,地形地貌、成土母质、土壤类型复杂多样。而颗粒组成是土壤一个重要物理特征[16],影响土壤颗粒发生差异的原因主要是人为活动、植被类型以及成土母质环境,对于成土母质环境来说整个祁连山区主要为第四纪黄土风成沉积,还有部分为后期岩石风化物[17]。在野外调查过程中发现,祁连山南坡整体土壤层位较薄(一般不超过 50 cm),而黄土沉积过程一般都要经过长时间搬运而导致其颗粒组成一般都以粉砂为主,砂粒和黏粒次之,这和本研究不同植被类型土壤呈现的粒级组配一致,所以该区域在其成土母质一致的情况下,决定土壤粒度差异的主要原因就在于土壤上覆植被类型和人为活动。基于此,通过绘制不同植被类型 0—50 cm 土壤频率曲线(图 3)并结合上述分析结果对植被类型和人为活动造成土壤粒度差异的原因进行尝试性讨论。由图 3 可以看出,各植被类型频率曲线存在异同,其中林地和灌丛为近对称单峰态,其中林地主峰位于 1～10 μm 之间,属于黏—粉砂级,峰型更为尖锐,灌丛主峰位于 4～30 μm 之间,属于细粉砂级,峰型较为平坦,高寒草甸和高山草地粒度频率曲线与林地和灌丛明显不同,呈多峰态,其中主峰都位于 10～50 μm 级,属于粉砂级,次主峰位于 1～4 μm 之间,属于黏—粉砂级,第三峰位于 60～100 μm 之间,属于砂粒级,峰型尖锐,中部主峰和首尾两端展型比较大,再次说明草地受外界因素干扰较大,物源混杂,表现出既有粗颗粒的介入又有自身发育的细颗粒组分,这与李璇等在祁连山区土壤砂粒含量剖面分布模式相同[18]。此外,如图 2 分析结果所示,在研究区海拔 3 000～4 000 m 梯度内,不同植被类型土壤由于自身的发育情况其土壤粒度组分存在明显的差异,其中云杉和圆柏由于其自身庞大的地下根系组织保护土壤中细颗粒组分(<63 μm),加之其土壤类型为灰褐土,主要成土过程为腐殖质累计和弱粘化作用,而表现出土壤细颗粒组分明显高于其他植被类型,其保育功能也最强;混合灌丛是高寒草甸向高山草原过渡带中出现的一种植被类型,其土壤粒级大小也介于高寒草甸和高山草地之间,粗于高寒草甸而细于高山草地。而高寒草甸和高山草地作为该区域天然牧业对象,分布广,生态地位重要,前者由于要经历长久封冻期而被用作暖季牧场,后者由于产草率高而被用作冷季牧场,所以人为活动作用较其它植被类型频繁,而分析结果也显示高寒草甸和高山草地土壤粒径相较于其它植被类型存在粗化现象,所以高寒草甸和高山草地荒漠化风险程度最大,是该区相对来说急需保育的植被类型。综合来看,该区不同植被类型下土壤粒度发生差异的主要原因是植被种类和人为活动,在这种交互影响下很难用单一环境变量来解释土壤颗

粒差异的具体原因，必须充分考虑探索复合环境变量，这也是本研究下一步需要深入的入口。

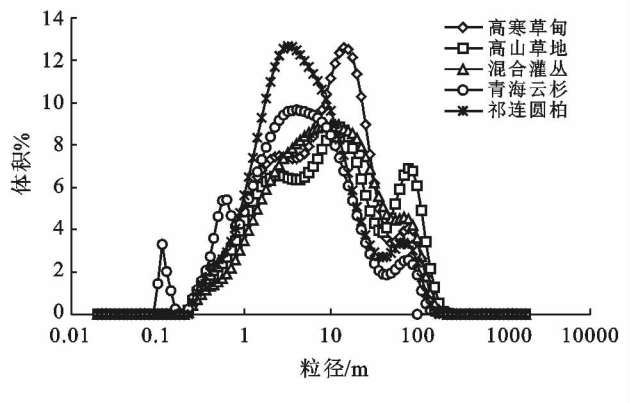



**图 3 研究区不同植被类型粒度频率曲线**

## 4 结 论

（1）不同植被类型粒级明显分为两个群组，分别为以粉砂—黏粒为主导群的青海云杉、祁连圆柏、高寒草甸群组和以砂粒级为主导群的混合灌丛和高山草地群组，其中土壤黏粒含量表现为：青海云杉＞祁连圆柏＞高山草地＞高寒草甸＞混合灌丛，土壤粉砂含量表现为：祁连圆柏粉砂＞青海云杉＞混合灌丛＞高寒草甸＞高山草地，土壤砂粒含量表现为：高山草地＞混合灌丛＞高寒草甸＞祁连圆柏＞青海云杉。

（2）不同植被类型粒度频率曲线明显不同，其中林地和灌丛土壤颗粒最细，分选性好，土壤结构稳定，频率曲线呈单峰近对称分布，表明在成土过程中其成土物源单一，土壤受外界扰动较小；高寒草甸和高山草地土壤颗粒较粗，分选性差，呈多峰态，表明其土壤物源复杂且颗粒较粗，受外界扰动程度较大。

（3）不同植被类型中，在自然环境影响和人类活动强度大的情况下，高寒草甸和高山草地粒径将进一步粗化，荒漠化风险程度最大，是该区相对来说急需保育的植被类型。

［ 参 考 文 献 ］


［1］ 王洁，贾文雄，赵珍，等. 祁连山北坡草甸草原地上生物量与土壤理化性质的关系［J］. 水土保持研究，2017，24（1）：36-42.

［2］ 张佳宁. 祁连山北坡高寒草地退化现状及应对策略［J］. 草业科学，2014，31（4）：776-780.

［3］ 车宗玺，刘贤德，车宗奇，等. 祁连山青海云杉林土壤有机质及氮素的空间分布特征［J］. 水土保持学报，2014，28（5）：164-169.

［4］ 王雅琼，张建军，李梁，等. 祁连山区典型草地生态系统土壤抗冲性影响因子［J］. 生态学报，2018，38（1）：122-131.

［5］ 白晓，张兰慧，王一博，等. 祁连山区不同土地覆被类型下土壤水分变异特征［J］. 水土保持研究，2017，24（2）：17-25.

［6］ 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.

［7］ 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.

［8］ 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.

［9］ 牛赟，刘贤德，王立，等. 祁连山大野口流域青海云杉林分结构及其土壤水热特征分析［J］. 生态环境学报，2014，23（3）：385-391.

［10］ 巩宁刚，孙美平，闫露霞，等. 1979—2016 年祁连山地区大气水汽含量时空特征及其与降水的关系［J］. 干旱区地理，2017，40（4）：762-771.

［11］ 赵锦梅，刘长仲，张德罡. 土地利用方式对东祁连山土壤表层有机碳的影响［J］. 干旱地区农业研究，2012，30（4）：82-85.

［12］ 孙东怀，鹿化煜. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义［J］. 沉积学报，2000，18（3）：327-335.

［13］ 国家质量监督检验检疫总局. GB/T12763.8-2007，海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查［S］. 北京：中国标准出版社，2007.

［14］ 李艳茹. 苏贝淖湖滨沉积物粒度特征对比研究［D］. 陕西 西安：陕西师范大学，2012.

［15］ 赵澄林，朱筱敏. 沉积岩石学［M］. 北京：石油工业出版社，1982.

［16］ 黄昌勇. 土壤学［M］. 北京：北京农业出版社，2005.

［17］ 熊毅，李庆逵. 中国土壤［M］. 2 版. 北京：科学出版社，1990.

［18］ 李璇，杨帆，李德成，等. 祁连山区土壤砂粒含量剖面分布模式及影响因素［J］. 土壤学报，2017，54（4）：854-863.