祁连山南坡不同生态系统土壤粒径分布与分形特征

张虔[1,2,3],袁杰[2,3*],曹广超[2,3,4],姚鸿云[5],李晓燕[3]

(1. 喀什大学生命与地理科学学院,新疆 喀什 844008;2. 青海师范大学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;3. 青海师范大学地理科学学院青海省自然地理与环境过程重点实验室,青海 西宁 810008;4. 青海省人民政府—北京师范大学高原科学与可持续发展研究院,青海 西宁 810008;5. 北京师范大学地理科学学部,北京 100875)

摘要:【目的】探究祁连山南坡不同生态系统土壤粒径分布与分形特征,揭示不同生态系统的水土保持效果。【方法】选择青海云杉、高山灌丛、高山草地生态系统为研究对象,利用激光衍射技术测定土壤粒度组成,拟合各生态系统土壤粒径和体积分形维数的回归关系,分析土壤粒径分布与分形特征,土壤蓄水性能与其关系。【结果】1)各生态系统土壤质地主要是粉砂—砂壤土,伴有黏粒组分;青海云杉和高山草地粒度频率曲线呈双峰态,但高山灌丛呈多峰态,其粒度组成复杂;2)各生态系统土壤粒径与体积分形维数的相关性均表现为黏粒>砂粒>粉粒,其中高山灌丛表现为高度相关;3)不同蓄水指标对不同生态系统影响不同,但土壤容重和总孔隙度的影响作用具有普遍性。【结论】不同生态系统水土保持功能差异明显,高山灌丛比青海云杉和高山草地黏粒含量高、抗蚀能力强,具有更好的水土保持效果。但高山灌丛质地复杂,受外界扰动大,呈退化趋势。

关键词:祁连山南坡;土壤粒径分布;水土保持;分形维数;土壤蓄水

中图分类号:S152.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)06-0034-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2024.06.004

祁连山地处青藏高原东北缘,是我国西北内陆干旱区的重要水源涵养区。近些年来,受全球气候变化、超载放牧和保护手段滞后等多种因素的影响,出现了植被退化、水源涵养效能减弱、土壤侵蚀加剧等诸多问题[1]。因此,对祁连山植被退化、土壤侵蚀等领域的研究成为了热点[2-4]。然而土壤作为连接地上地下生态系统的枢纽,其土壤粒径分布(PSD)很大程度上是大气水分与地上植被和地下生物之间转换最直接的影响因素,是土壤侵蚀、水土保持的重要评价指标[5-8]。但不同生态系统PSD存在差异,对土壤的修复和保持能力不同,能够促进或者阻碍土壤侵蚀[9]。通过文献归纳发现大量学者利用分形维数定量化研究土壤粒径特征[10-11],但受粒径组成影响,分形维数对不同生态系统的适用效果却不同[12-13]。鉴于此,本研究选取祁连山南坡具有森林、灌丛、草地垂直分布典型特征的阿咪东索小流域为研究区,选择青海云杉、高山灌丛、高山草地生态系统为研究对象。通过野外调查采样和室内分析相结合的方法对小流域不同生态系统的土壤粒径、分形特征及相关因素进行探讨,旨在为该区域植被保护和水土保持提供科学依据。

收稿日期:2023-06-10;**修回日期:**2024-03-20

基金资助:青海省“高端创新人才千人计划”(青人才字[2019]15号);青海省自然科学基金项目(2021-ZJ-937Q);祁连山国家公园青海研究中心开放课题(GKQ2019-1)

作者简介:张虔(1997-),男,甘肃白银人,硕士研究生。E-mail:2337970737@qq.com

*通信作者。E-mail:yuanjie8903@126.com

1　材料和方法

1.1　研究区概况

研究区位于青海省东北部，海北州中北部，属于托勒山支脉中段的东端。地理坐标为 38°05′30″ N～38°10′49″ N，100°10′46″ E～100°18′08″ E。在自然地理分区上属于高寒干旱—半干旱区，区域年温差大，平均气温 1 ℃，年均降水量 420 mm，海拔 2 800～3 200 m，属于典型的高原大陆性气候[14]。受气温、降水和海拔影响，植被类型非地带性特征和坡向性（南 200°）明显，在小流域阴坡具有完整的寒温带针叶林—草原群落，海拔自低至高伴有具备明显垂直带谱的高山草地、高山灌丛及青海云杉植物群落（图 1）。

图 1　研究区植被分布

Fig. 1　Vegetation distribution map of the study area

1.2　样品采集与处理

2021 年 7－9 月在研究区选择青海云杉、高山灌丛和高山草地生态系统采集土壤样品。青海云杉设计采样样方为 20 m×20 m，高山灌丛为 10 m×10 m，高山草地为 1 m×1 m。为使统计更具代表性，高山草地在样方内按对角设置 3 个采样点，青海云杉和高山灌丛在样方内随机布设 1 m×1 m 的小样方按对角设置 3 个采样点。在选定样方内利用土钻以 10 cm 土层为取样间隔，每层取 3 个重复，采样深度为 50 cm。共收集青海云杉、高山灌丛、高山草地土壤样品分别为 158、90、135 件，总计 383 件。土样采集后置于密封袋内，清除草根和石子，风干待测。土壤粒度测定利用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪，测量范围为 0.02～2 000 μm，遮光度为 5%～15%，试验结果重复 3 次，取平均值[15]。

1.3　研究方法

1.3.1　*分形维数*　采用王国梁等[16]推导的土壤颗粒体积分形维数：

$$\frac{V(r<R)}{V_T}=\left(\frac{R}{\lambda_V}\right)^{3-D}$$

两边取对数处理：

$$lg\left[\frac{V(r<R)}{V_T}\right]=(3-D)lg\left(\frac{R}{\lambda_V}\right)$$

式中：r 是土壤颗粒粒径，μm；$V(r<R)$ 为粒径小于 R 的颗粒累积体积百分比数量；V_T 是指土壤颗粒的总体积；λ_V 指的是对所有粒级而言的上限值，数值上等于最大粒径（本研究为 2 000 μm）；D 是土壤颗粒体积分形维数；$V(r<R)/V_T$ 是粒径小于 R 的土壤颗粒累积体积百分比含量。

1.3.2　*土壤蓄水指标测定*　土壤容重利用环刀法测定，计算公式为：

$$U_i=\frac{m_2-m_1}{v}$$

式中：U_i 是第 i 层土壤容重，g/(cm^3)；m_1 是环刀质量，g；m_2 是环刀＋烘干土质量，g；v 是环刀容积，cm^3。

土壤含水量采用烘干法测定，计算公式为：

$$W=\frac{(M_w-M_d)}{(M_d-M_b)}\times 100$$

式中：W 是土壤含水量，%；M_w 是湿土＋铝盒重，g；M_d 是干土＋铝盒重，g；M_b 是铝盒重，g。

土壤总孔隙度计算公式为：

$$P_t=93.947-32.995U_i$$

式中：P_t 是土壤总孔隙度；U_i 是土壤容重。

土壤贮水量通过土壤容重得到，计算公式为：

$$S_i=W_iU_id_i\times 10^{-1}$$

式中：S_i 是土壤贮水量；W_i 是第 i 层土壤含水量；U_i 是第 i 层土壤容重，g/(cm^3)；d_i 是第 i 层土壤深度，cm；10^{-1} 是单位换算系数。

土壤饱和蓄水量通过土壤总孔隙度得到，计算公式为：

$$W_t=P_td_i\times 10^4$$

式中：W_t 是土壤饱和蓄水量，t/(hm^2)；d_i 是第 i 层土壤深度，cm；P_t 为土壤总孔隙度。

1.3.3　*数据处理*　利用激光粒度仪测试的结果计算土壤粒度组成百分比，重复测量误差小于等于 0.02。土粒分级按照美国制的分级规范（USDA）。采用 Origin 2019 绘制土壤粒级分布三角图和线性回归图；利用 SPSS24.0 进行正态分布、回归分析、相关性分析等统计分析[17]。

2 结果与分析

2.1 不同生态系统土壤粒级分布特征

青海云杉、高山灌丛、高山草地土壤粒级含量均呈正态分布,变异程度属于中等变异。黏粒含量为高山灌丛(10.32±0.91) μm>高山草地(9.75±0.95) μm>青海云杉均值(6.22±0.24) μm;粉粒含量:高山草地(58.70±4.38) μm>青海云杉(50.61±1.75) μm>高山灌丛(47.80±2.30) μm;砂粒含量:青海云杉(43.17±1.95) μm>高山灌丛(41.90±3.05) μm>高山草地(31.40±5.23) μm。比较而言,高山灌丛土壤质地最细(表1)。

表1 不同生态系统粒级统计分析

Table 1 Statistical analysis table of different ecosystem size

粒级	统计值	青海云杉	高山灌丛	高山草地
黏粒(0~2)μm	最大值	17.20	38.80	19.37
	最小值	0.50	1.50	2.83
	均值	6.22±0.24	10.32±0.91	9.75±0.95
	标准差	3.06	8.49	4.85
	变异系数	0.49	0.82	0.50
	正态分布	是	是	是
粉粒(2~50)μm	最大值	93.96	80.36	84.47
	最小值	7.86	14.38	21.60
	均值	50.61±1.75	47.80±2.30	58.70±4.38
	标准差	21.94	21.43	22.35
	变异系数	0.43	0.45	0.38
	正态分布	是	是	是
砂粒(50~2 000)μm	最大值	91.64	84.09	75.57
	最小值	1.04	0.00	2.58
	均值	43.17±1.95	41.90±3.05	31.40±5.23
	标准差	24.53	28.49	26.67
	变异系数	0.57	0.68	0.85
	正态分布	是	是	是

各生态系统土壤粒级组成均以粉粒级为主,其次为砂粒级和黏粒级。粉粒含量为50%~62%,砂粒含量为27%~44%,黏粒含量为6%~13%。3类生态系统土壤质地均为粉砂-砂壤组(图2)。其中青海云杉土壤质地组分群紧密偏向砂粒组,高山草地土壤质地组分群紧密偏向粉砂组,高山灌丛土壤质地组分介于上述两者之间。综上可以看出,研究区生态系统土壤质地组分主要是粉砂-砂壤土,伴有<2 μm的黏粒组分。

土壤粒度分布频率曲线可以反映土壤PSD情况,青海云杉和高山草地粒度频率曲线呈明显双峰态,主峰介于1~100 μm,次主峰介于100~1 000 μm(图3);而高山灌丛则呈明显三峰态,粒度组成成分较青海云杉和高山草地混杂,粗颗粒组分明显高于两者。

2.2 不同生态系统土壤粒径与土壤颗粒体积分形维数的关系

土壤黏粒、粉粒体积百分比含量分别与土壤颗粒体积分形维数呈正相关($P<0.01$)且相关性显著;而土壤砂粒百分比含量与之呈显著负相关($P<0.01$)。在相关性强度上,青海云杉:黏粒($R^2=0.713$)>粉粒($R^2=0.50$)>砂粒($R^2=0.450\ 9$);高山灌丛:黏粒($R^2=0.995\ 4$)>砂粒($R^2=0.918\ 2$)>粉粒($R^2=0.823$);高山草地:黏粒($R^2=0.981$)>砂粒($R^2=0.779\ 5$)>粉粒($R^2=0.712$)(图4-6)。

综上所述,各生态系统土壤粒径对土壤颗粒体积分形维数的影响整体上是黏粒>砂粒>粉粒,其中黏粒与分形维数呈极显著正相关。但各生态系统土壤颗粒体积分形维数与土壤粒径相关性不尽相同,其中高山灌丛呈高度相关($R^2>0.8$)。

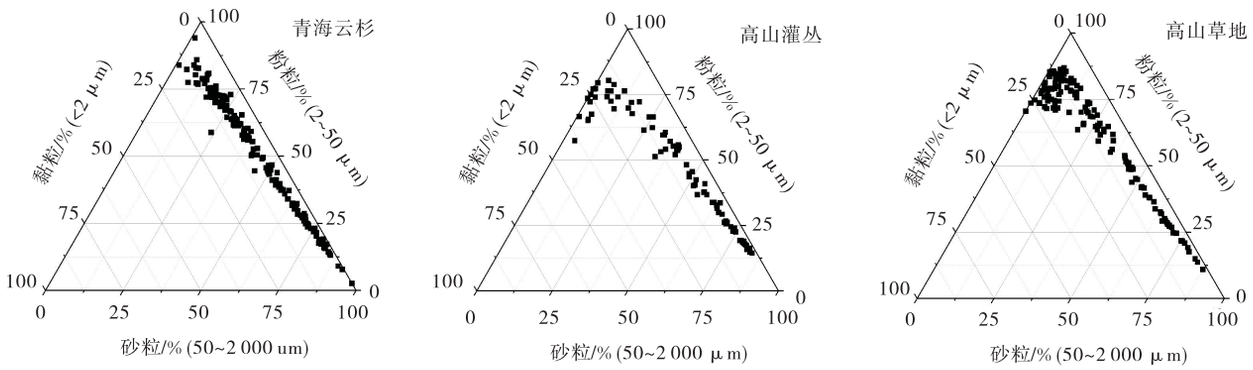

图 2　不同生态系统粒级分布

Fig. 2　Triangulation of grain size distribution of different ecosystems

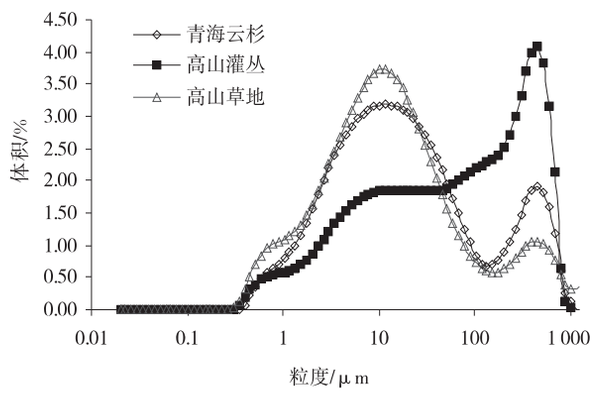

图 3　不同生态系统土壤粒度频率分布曲线

Fig. 3　Frequency distribution curves of soil particle size in different ecosystems

2.3　不同生态系统土壤粒径分形特征

小流域各生态系统土壤颗粒体积分形维数值介于 2.02～2.88；变异系数为 3%～6%，属于弱变异，标准差较小，分形维数值分选性较好（表 2）。在 0～50 cm 土层上随着土层深度增加分形维数值递减，但变化范围扩大，尤其是高山灌丛和高山草地具有明显的递增变化。各生态系统的分形维数变异系数也在 40～50 cm 处最大，分别为 0.5、0.6、0.4。

2.4　不同生态系统土壤蓄水性能与土壤粒径及分形维数的关系

青海云杉土壤容重、总孔隙度、含水量与土壤粒

表 2　土壤颗粒体积分形维数统计分析表

Table 2　Statistical analysis of fractal dimension fractal dimension of soil particle volume

统计值	土层深度/cm	青海云杉	高山灌丛	高山草地
最大值	0～10	2.57	2.67	2.69
	10～20	2.66	2.73	2.7
	20～30	2.61	2.74	2.72
	30～40	2.65	2.73	2.68
	40～50	2.67	2.77	2.88
最小值	0～10	2.17	2.45	2.46
	10～20	2.04	2.32	2.31
	20～30	2.2	2.33	2.29
	30～40	2.26	2.28	2.24
	40～50	2.02	2.29	2.37
均值	0～10	2.49	2.53	2.57
	10～20	2.48	2.53	2.55
	20～30	2.46	2.5	2.54
	30～40	2.45	2.51	2.53
	40～50	2.41	2.5	2.55
变异系数	0～10	0.3	0.3	0.03
	10～20	0.5	0.5	0.3
	20～30	0.4	0.5	0.4
	30～40	0.4	0.5	0.4
	40～50	0.5	0.6	0.4

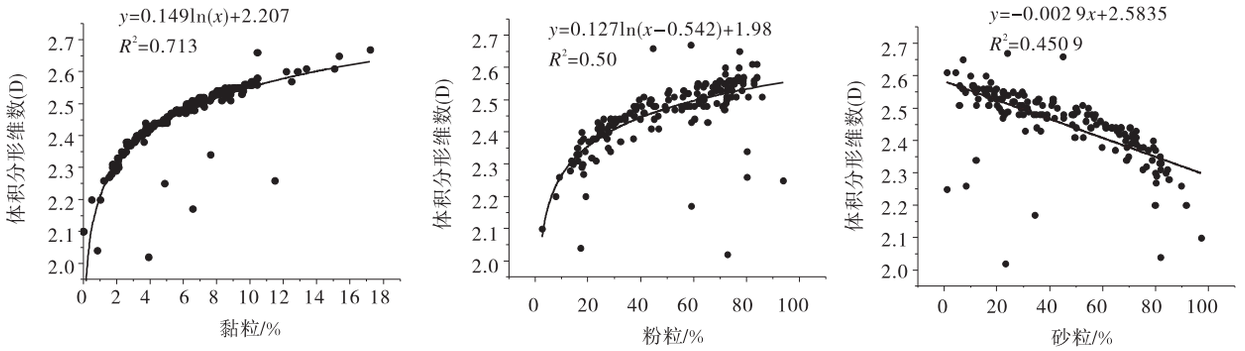

图4 青海云杉生态系统土壤粒级对土壤颗粒体积分形维数的影响

Fig. 4 Effect of soil particle size on fractal dimension of soil particle volume in picea crassifoliaecosystem

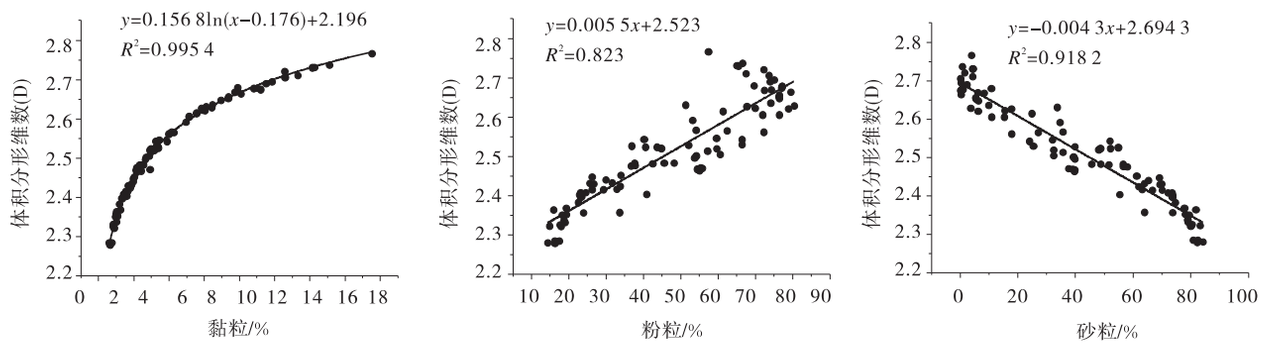

图5 高山灌丛生态系统土壤粒级对土壤颗粒体积分形维数的影响

Fig. 5 Effect of soil particle size on fractal dimension of soil particle volume in alpine shrub ecosystem

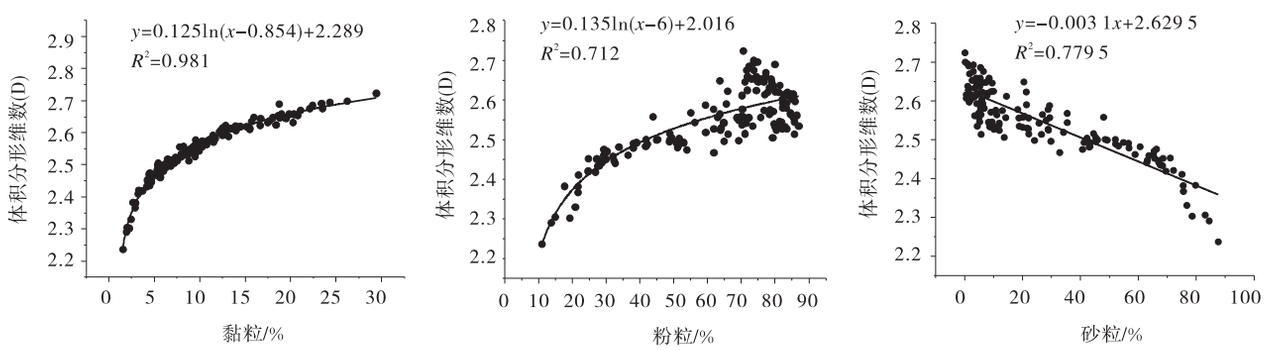

图6 高山草地生态系统土壤粒级对土壤颗粒体积分形维数的影响

Fig. 6 Effect of soil particle size on fractal dimension of soil particle volume in alpine grassland ecosystem

径及分形维数均呈显著相关关系($P<0.05$);土壤黏粒与容重、含水量呈正相关,与总孔隙度呈负相关,而土壤砂粒正好相反(表3)。

土壤容重、总孔隙度与土壤粒径及分形维数均呈显著相关($P<0.05$)。其中,土壤黏粒与容重呈正相关,与总孔隙度呈负相关,而土壤砂粒正好相反。另外,饱和蓄水量与土壤黏粒呈显著负相关,其他蓄水指标与高山灌丛生态系统土壤粒径及分形维数相关性不显著(表4)。

土壤容重、贮水量与土壤粒径呈显著相关($P<0.05$)。其中,土壤黏粒与容重呈正相关而土壤砂粒正好相反。另外,土壤总孔隙度与黏粒、粉粒呈显著相关($P<0.05$),其他蓄水指标与高山草地生态系统土壤粒径及分形维数相关性不显著(表5)。

3 讨论

祁连山地区主要成土为第四纪黄土沉积和后期的岩石风化物,黄土要经过长时间序列的搬运而沉积,在沉积过程中土壤颗粒组成以大小适中的粉砂粒

表 3　青海云杉生态系统土壤蓄水性能与土壤粒级及分形维数的相关性

Table 3　Correlation between soil water storage performance and soil particle size and fractal dimension in picea crassifolia ecosystem

蓄水指标	黏粒	粉粒	砂粒	分形维数
容重/(g•cm^{-3})	0.35**	0.49**	−0.48**	0.39**
总孔隙度/%	−0.35**	0.49*	0.48*	−0.39**
含水量/%	0.32**	0.37**	−0.37**	0.26**
贮水量/mm	−0.03	−0.09	0.08	−0.14
饱和蓄水量/(t•hm^{-2})	−0.06	−0.04	0.05	−0.03

注：** 0.01 级别相关性极显著；*0.05 级别相关性显著，下同。

表 4　高山灌丛生态系统土壤蓄水性能与土壤粒级及分形维数的相关性

Table 4　Correlation between soil water storage performance and soil particle size and fractal dimension in alpine shrub ecosystem

蓄水指标	黏粒	粉粒	砂粒	分形维数
容重/(g•cm^{-3})	0.76**	0.83**	−0.82**	0.73**
总孔隙度/%	−0.75*	0.82*	0.82**	−0.72*
含水量/%	0.23	0.27	−0.27	0.21
贮水量/mm	−0.18	−0.11	0.12	−0.17
饱和蓄水量/(t•hm^{-2})	−0.32*	−0.14	0.15	−0.18

表 5　高山草地生态系统土壤蓄水性能与土壤粒级及分形维数的相关性

Table 5　Correlation between soil water storage performance and soil particle size and fractal dimension in alpine grassland ecosystem

蓄水指标	黏粒	粉粒	砂粒	分形维数
容重/(g•cm^{-3})	0.64**	1.00**	−0.75**	0.01
总孔隙度/%	−0.30*	0.40**	0.23	−0.23
含水量/%	0.17	−0.04	0.10	−0.01
贮水量/mm	0.65**	−0.74**	0.33*	0.16
饱和蓄水量/(t•hm^{-2})	−0.04	−0.04	0.08	0.16

为主，砂粒和黏粒较少。这与本研究区土壤颗粒组成总体变化特征一致，即粉砂粒＞砂粒＞黏粒。本研究中各生态系统的土壤质地主要是砂质壤土、粉壤土，伴有壤质砂土、砂土，但不同生态系统土壤质地存在差异，高山灌丛生态系统土壤黏粒含量高具有粉质黏壤土。已有研究发现土壤黏粒含量与团聚体稳定性呈正相关，较高的黏粒含量将会促进稳定性团聚体的形成，增强土壤抗蚀能力，更有利于水土保持[18−19]。但从频率曲线来看高山灌丛生态系统土壤质地较复杂，表现为后期物质的杂乱性，从分形特征来看高山灌丛生态系统土壤颗粒变异程度较大，两者都体现出了高山灌丛生态系统土壤退化的趋势。这可能是因为高山灌丛位于坡中受外界扰动较大。综上，不管是从高山灌丛较强的抗侵蚀能力还是高山灌丛退化的趋势来看，重视对高山灌丛生态系统的保护对于该区域水土保持意义重大[20−21]。

土壤颗粒体积分形维数可以用来表示土壤结构的松实程度，黏粒含量越高，分形维数值越大，表征了土壤结构越紧实的特征；砂粒含量越高，分形维数值越小，表征了土壤结构通透性越好的特征[22]。本研究发现各生态系统在 0～50 cm 土层上随着土层变深 D 值变小，说明随着土层变深土壤的砂粒含量增多，这与野外取样过程中的直观感受一致。王国梁等[16]研究表明，土壤颗粒 D 值与土壤粒径体积百分含量具有显著的对数相关关系，其相关程度黏粒大于砂粒和粉粒，这与本研究结果相似，说明王国梁等推导的土壤颗粒体积分形维数可以用来表征小流域不同生态系统土壤粒径特征。但通过对小流域不同生态系统分形特征分析发现，体积分形维数对不同生态系统的适用效果不同。高山灌丛的土壤粒级与分形维数的相

关性明显比青海云杉和高山草地高，呈高度相关(R^2>0.8)。说明土壤颗粒体积分形维数对高山灌丛生态系统有很好的表征作用，这可能是因为高山灌丛土壤黏粒含量高，具有粉质黏壤土这一其他两种生态系统没有的土壤类型，而体积分形维数和黏粒呈极显著正相关。所以体积分形维数对于黏粒含量高、土壤质地细的土壤具有更好的表征作用。另外，土壤粒级大小和土壤蓄水能力具有极强的关联性，本研究发现诸多蓄水指标中土壤容重和总孔隙度对各个生态系统的土壤粒径影响最大。

4 结论

本研究对祁连山南坡典型小流域青海云杉、高山灌丛、高山草地生态系统的土壤粒级进行分析，拟合土壤粒级和体积分形维数的回归关系，探究土壤蓄水性能对其影响作用。得出如下结论：

1）研究区各生态系统土壤粒级组成均以粉砂级为主，其次为砂粒级和黏粒级；质地主要为粉砂－砂壤土，伴有黏粒组分；青海云杉和高山草地土壤质地较单一而高山灌丛土壤质地较复杂。

2）高山灌丛生态系统土壤黏粒含量高，具有较好的抗侵蚀能力，但沉积环境杂乱受外界扰动大，表现出退化趋势，在该区应重视高山灌丛生态系统的保护，增强小流域水土保持功能。

3）研究表明土壤体积分形维数更加适用于表征土壤黏粒含量高的生态系统。

4）研究区各生态系统的土壤粒级和分形维数受蓄水作用影响明显，不同蓄水指标对不同生态系统的相关性和相关程度不同，但土壤容重和土壤总孔隙度对各生态系统土壤粒径和分形维数的影响具有普遍性。

参考文献：

[1] 周雪如，李育．千百年尺度祁连山地区干湿变化对暖期的响应[J]．地理学报，2022，77(5)：1138－1152.

[2] 童珊，曹广超，闫欣，等．祁连山南坡土壤侵蚀定量研究与影响因素分析[J]．水土保持研究，2022，29(5)：100－107.

[3] 杜苗苗．祁连山青海云杉径向生长对气候变化的响应及林分结构研究[D]．兰州：兰州大学，2022.

[4] 周万海，冯瑞章，满元荣．黄河源区不同退化程度高寒草地土壤特征研究[J]．草原与草坪，2008(4)：24－28.

[5] 宛倩，王杰，王向涛，等．青藏高原不同草地利用方式对土壤粒径分形特征的影响[J]．生态学报，2022，42(5)：1716－1726.

[6] Cao P，Niu X，Lv S Q，*et al*. Fractal characterization of soil particle－size distribution under different land－use patterns in the Yellow River Delta Wetland in China[J]. Journal of Soils Sediments，2014，14(6)：1116－1122.

[7] Huang Y Y，Jing Y D，Bei M，*et al*. Short－term effects of organic amendments on soil fertility and root growth of rubber trees on Hainan Island，China[J]. Journal of Forestry Research，2020，31(6)：2137－2144.

[8] 肖海龙，周会程，姚玉娇，等．三江源地区不同退化程度高寒草原植被与土壤特征分析[J]．草原与草坪，2023，43(2)：85－91.

[9] 孙忠超，郭天斗，于露，等．宁夏东部荒漠草原向灌丛地人为转变过程土壤粒径分形特征[J]．草业学报，2021，30(4)：34－45.

[10] 周萍，文安邦，严冬春，等．紫色土坡耕地不同坡位不同高度地埂土壤颗粒组成及分形特征[J]．水土保持研究，2017，24(2)：84－88.

[11] 李德成，张桃林．中国土壤颗粒组成的分形特征研究[J]．土壤与环境，2000(4)：263－265.

[12] Wang L，Yang R ，Zhang S，*et al*. Fractal features and infiltration characteristics of the soil from different land uses in a small watershed in a rocky，mountainous area in Shandong Province[J]. Journal of Forestry Research，2020，31(3)：1017－1024.

[13] 程冬兵，蔡崇法，彭艳平，等．根据土壤粒径分形估计紫色土水分特征曲线[J]．土壤学报，2009，46(1)：30－36.

[14] 刘和斌，李育，张新中，等．祁连山东西段不同时间尺度气候差异研究[J]．兰州大学学报(自然科学版)，2020，56(6)：724－732.

[15] 陈宇轩，张飞岳，高广磊，等．科尔沁沙地樟子松人工林土壤粒径分布特征[J]．干旱区地理，2020，43(4)：1051－1058.

[16] 王国梁，周生路，赵其国．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(4)：545－550.

[17] 沙国良，魏天兴，陈宇轩，等．黄土高原丘陵区典型植物群落土壤粒径分布特征[J]．干旱区地理，2022，45(4)：1224－1234.

[18] 郭士维，钟斌，许文年，等．不同土地利用方式下粉壤土粒径分形特征——以鄂西典型小流域下牢溪为例[J]．中国水土保持科学，2022，20(1)：25－32.

[19] 贺燕，魏霞，魏宁，等．祁连山区主要下垫面土壤粒径分布特征[J]．水土保持研究，2020，27(2)：42－47.

[20] 刘志林. 人工栽培灌丛对牧草生长及水土保持效果的研究[J]. 草原与草坪,2009(6):50－52.

[21] Dian Q, Du Y, Li Q, *et al*. Impacts of alpine shrub－meadow degradation on its ecosystem services and spatial patterns in Qinghai－Tibetan Plateau[J]. Ecological Indicators,2022,135－136.

[22] 董智今,展秀丽,丁小花. 毛乌素沙地西南缘不同土地利用类型土壤颗粒分形特征[J]. 水土保持研究,2022,29(3):43－48.

Soil particle size distribution and fractal characteristics of different ecosystems on the southern slope of Qilian Mountains

ZHANG Qian[1,2,3], YUAN Jie[2,3*], CAO Guang-chao[2,3,4], YAO Hong-yun[5], LI Xiao-yan[3]

(1. *The college of life and geographic sciences, Kashi University, Kashi* 844008, *China*; 2. *Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation* (*Ministry of Education*), *Qinghai Normal University, Xining* 81008, *China*; 3. *Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, College of Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining* 81008 , *China*; 4. *Academy of Plateau Science and Sustainability, People's Government of Qinghai Province and Beijing Normal University, Xining*81008, *China*; 5. *Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

Abstract:【Objective】In order to explore the soil particle size distribution and fractal characteristics of different ecological system on the southern slope of Qilian Mountains, and to provide scientific basis for regional soil and water conservation.【Method】Picea crassifolia, alpine shrub and alpine grassland ecosystems were selected as the research objects. The laser diffraction technology was used to determine the soil particle size composition. The regression relationship between soil particle size and volume fractal dimension was fitted. The soil particle size distribution and fractal characteristics were analyzed, and the effect of soil water storage performance on it was explored.【Result】1) The soil texture of each ecological system was mainly silty-sandy loam with clay components. The grain size frequency curves of picea crassifolia and alpine grassland were bimodal, but the alpine shrub was multimodal, among which grain size composition was complex. 2) The correlation between soil particle size and volume fractal dimension of each ecological system was clay ＞ sand ＞ silt, and high correlation was found in alpine shrub. 3) Different ecological system were affected by different water storage indexes, but the influence of soil bulk density and total porosity was universal.【Conclusion】The alpine shrub ecological system in the study area has a better soil and water conservation effect, but shows a trend of degradation, so the protection should be strengthened.

Key words: south slope of Qilian Mountains; soil particle size distribution; soil and water conservation; fractal dimension; soil water storage

(**责任编辑**:康宇坤)