

滇东喀斯特山原红壤退化过程中土壤 剖面团聚体和有机质变异

张磊, 王嘉学, 肖梦景, 刘保强, 赵茜, 余洁芳

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

摘要: [目的] 揭示山原红壤的退化机理及效应, 为滇东高原的石漠化效应研究及水土保持工作的开展提供科学依据。[方法] 以滇东山原红壤典型发育地带为研究对象, 对山原红壤退化过程中灌丛、草地、松林、红裸土剖面的团聚体特征和有机质分布规律进行研究分析。[结果] 山原红壤退化过程中干筛法结果显示以大团聚体为主, 并随着土层深度的增加而减少; 湿筛法结果显示以微团聚体含量最高, 灌丛、草地、松林在剖面上整体呈现出与干筛大团聚体一致的规律, 红裸土呈现出: 0—90 cm 层(B层) > 90—100 cm 层(C层)。土壤的稳定性和有机质含量在退化过程中基本呈现出: 灌丛 > 草地 > 松林 > 红裸土; 随着土层深度的增加, 灌丛、草地、松林土壤团聚体稳定性和物理性质逐渐劣化, 有机质含量减少, 红裸土则呈现出相反的规律; 与 A 层、B 层相比, 较深层次的 C 层团聚体稳定性和有机质含量差异显著降低。[结论] 有机质与平均重量直径、几何平均直径、>2 mm 粒级水稳性团聚体含量呈极显著正相关, 与分形维数呈极显著负相关, 增加有机质的含量应该是恢复和改良红裸土结构的重要手段。

关键词: 山原红壤; 剖面; 团聚体; 有机质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0053-06

中图分类号: S153.6, P642.25

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.012

Variations of Aggregates and Organic Matter in Soil Profile During Degradation Process of Mountainous Red Soil in Karst Area of East Yunnan Province

ZHANG Lei, WANG Jiaxue, XIAO Mengjing, LIU Baoqiang, ZHAO Qian, YU Jiefang

(School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: [Objective] The mechanism and effects of red soil degradation were elucidated in order to provide scientific basis to soil and water conservation and rocky desertification effect of the east Yunnan Plateau. [Methods] This study examined the mountainous red soil based on the analysis of soil profile aggregates associated with different vegetation types, as well as the distribution of organic matter. Particularly, soil samples were taken from area covered with pine, shrubland, grassland or unvegetated red soils respectively in the karst area of east Yunnan Province. [Results] The degraded soils were characterized by large aggregates after dry sieving, the contents of which generally decreased with depth. The highest content was micro-aggregates after wet sieving and samples from vegetation-covered area showed a similar trend as that with dry sieving, while the red bare soil showed the a trend of 0—90 cm (B layer) > 90—100 cm (C layer). Degree of stability and content of organic matter displayed a trend of shrub lands > pineland > grassland > red bare soil during the degradation process. Soil aggregate stability and physical properties of soils from shrubland, pineland and grassland gradually decreased and soil organic matter (SOM) deteriorated with increase of depth. On the contrary, all the proxies of red bare soil showed an opposite trend. In contrast to A and B layers, the structural property became inferior, and the content of SOM of C layer decreased significantly. [Conclusion] There was a significant and positive correlation between the content of SOM and mean weight diameter, geometric mean diameter and >2 mm size aggregate content, but a significant negative correlation between SOM and fractal dimension. All these suggest the possible and viable way to improve the structural condition of red bare soil by increasing the content of SOM.

Keywords: mountainous red soil; soil profile; aggregates; organic matter

收稿日期: 2014-05-22

修回日期: 2014-06-25

资助项目: 国家自然科学基金项目“滇东石漠化地区红裸土景观的形成研究”(41061021); 云南省科技计划项目(2012CA024)

第一作者: 张磊(1989—), 男(汉族), 陕西省商洛市人, 硕士研究生, 研究方向为区域环境与土壤修复。Email: 646595296@qq.com。

通信作者: 王嘉学(1972—), 男(汉族), 云南省富源县人, 博士, 教授, 主要从事景观过程与控制研究。E-mail: wjxynsd@163.com。

地表岩石—土壤—生物—水—大气相互作用带被称之为地球关键带,土壤—植被界面是控制物质循环和生态系统演化以及人类生存环境改变的重要界面,是认识生态系统演化规律及其实质的理论基础^[1-2]。山原红壤是云贵高原主要的土壤类型之一,分布面积约 $2.97 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布于滇东高原,目前多认为是在第三纪末期以来,早期高温高湿条件下经脱硅富铝化形成的大面积深厚高富铝红色风化壳,伴随着新构造运动大面积间歇性均衡抬升隆起后发育形成的^[3]。该区广布喀斯特地貌,水热条件较好,地势平缓,土体深厚,适宜多种林木、牧草和农作物生长。近年来,山原红壤退化严重,局部地段已多年裸露,呈现出一种与石漠化相伴生的特殊“土漠化”景观——红裸土。土壤退化指在自然因素和人为因素下导致土壤的农业生产能力或者土地利用和环境调控潜力以及其可持续下降甚至完全丧失的物理、化学、生物学过程,不仅地表植物群落结构与组成发生了变化,土壤的养分状况和物理性质也会随之变化^[4-5]。认识山原红壤退化的机理、过程及效应,既是云贵高原关键地段关键带研究的重要科学问题,也是解决云贵高原山地水土流失和石漠化生态系统修复的关键。土壤在物理性质方面的退化主要表现为土壤结构的退化,团聚体作为土壤结构的基本单元,是决定土壤侵蚀、压实、板结等物理过程速度和幅度的关键指标,影响着土壤的孔隙性、持水性、通透性和抗蚀性^[6-7],本研究选择滇东喀斯特山原红壤区未受人为耕作影响的 4 种不同覆被条件下土壤剖面团聚体

和有机质进行分析,以更客观地揭示山原红壤退化中团聚体和有机质在剖面的自然变化规律,为滇东高原的石漠化效应及水土保持工作提供科学依据。

1 研究区概况

云贵高原喀斯特山原红壤区地形复杂、景观破碎,耕作土受人为活动的影响较大,同一区域同一坡面不同覆被条件的自然土壤样品能更好地揭示山原红壤退化中的表层团聚体变化规律,但山原红壤区同一坡面同时包含林地、灌丛、草地和裸地的地方并不多见。经过野外考察和室内遥感资料分析,在遴选的 14 个坡面综合分析基础上,选择云南省富源县海田后山西南向坡面作为研究样区。样区位于小江断裂东侧的乌蒙山脉中段的准高原面上,均为山原红壤,下伏二叠纪浅海相灰岩,同时具有云南松林、火棘灌丛、草地(主要为扁茅)和裸地(“红裸土”)4 种覆被条件,基本情况详见表 1。

该区属低纬高原季风气候,夏半年受西南季风和东南季风控制,温暖湿润,冬半年受热带大陆气团控制,干燥少雨^[8]。年降水量在 $1\ 000 \sim 1\ 500 \text{ mm}$ 之间,近 30 a 平均降雨为 $1\ 084 \text{ mm}$,90% 的降水集中在 4—11 月,极端最高温 $33 \text{ }^\circ\text{C}$,年平均气温 $14 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,年日照时数在 $1\ 328 \sim 1\ 800 \text{ h}$,pH 值在 $5.26 \sim 7.50$ 之间,属于酸性土和中性土。山顶部位及部分坡面石漠化严重,云南松林、火棘灌丛、扁茅及红裸土斑块呈面积不大的散块状与裸岩相伴。坡麓及坡面局部为低产坡耕地,部分已撂荒。

表 1 样地基本情况

样地	经纬度	海拔/m	样方坡度/($^\circ$)	坡向/($^\circ$)	根系范围/cm
松林	$104^\circ 20' 77.62'' \text{ E } 25^\circ 74' 41.16'' \text{ N}$	2 051	3.2	NW75 $^\circ$	0~130
灌丛	$104^\circ 20' 65.20'' \text{ E } 25^\circ 75' 79.00'' \text{ N}$	2 222	4.1	NW69 $^\circ$	0~60
草地	$104^\circ 18' 84.68'' \text{ E } 25^\circ 72' 73.33'' \text{ N}$	2 070	2.5	NW76 $^\circ$	0~30
红裸土	$104^\circ 18' 81.69'' \text{ E } 25^\circ 72' 73.34'' \text{ N}$	2 053	1.8	NW76 $^\circ$	0

2 材料与方法

2.1 样品的采集

2013 年 9 月在研究地选取松林、灌丛、草地、红裸土 4 种不同覆被条件下的山原红壤进行剖面采样,考虑其下伏基岩均为二叠纪灰岩,坡度、坡向和海拔等环境条件大体相似,使用 GPS 定位,在不同的覆被条件下选取代表性地段,设置 3 个(1 m \times 1 m)样方,用陶瓷工具(避免对测定微量元素的影响)每层 10 cm,按照土壤发生层次采集剖面土壤样品(红裸土缺失 A 层),将同种类型样方同一层土壤样品进行混

合,总重量控制在 1.5 kg 左右,以备实验室对土壤团聚体的测定(数据为重复 3 次平均值)。在采集和运输过程中尽量减少对土壤样品的扰动,以免破坏土壤团聚体。

2.2 土壤性质的测定

(1) 团聚体的测定。将采集的原装土带回实验室后,沿着土壤自然结构掰成直径约 1 cm 的小土块,除去植物残体、小石块以及动物遗体,自然风干后,采用沙维诺夫干筛和湿筛法^[9]测定 $>5 \text{ mm}$, $5 \sim 2 \text{ mm}$, $2 \sim 1 \text{ mm}$, $1 \sim 0.5 \text{ mm}$, $0.5 \sim 0.25 \text{ mm}$, $<0.25 \text{ mm}$ 土壤粒级含量。干筛法:取 100 g 风干土样置于套筛(孔径

依次为 5, 2, 1, 0.5 和 0.25 mm) 顶部, 以 30 次/min 手工上下震荡 5 min, 测定各孔径筛子上团聚体重量。湿筛法: 将 50 g 风干土样置于 1 L 量筒中, 沿量筒边缘缓慢加去离子水至饱和, 然后将饱和土样转移至放置于水桶中的套筛(孔径依次为 5, 2, 1, 0.5 和 0.25 mm) 顶部, 利用震荡仪以 30 次/min 上下震荡 5 min, 将各级孔径筛子上土样置于铝盒烘干(105 °C) 称重, 并据此计算平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)、分形维数(FD)。

$$MWD = \sum_{i=1}^n (\bar{X}_i \times W_i) \quad (1)$$

式中: MWD——指平均重量直径; \bar{X}_i ——指第 i 级团聚体平均直径; W_i ——指土壤不同粒级团聚体的重量(g)。

$$GMD = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right\} \quad (2)$$

式中: GMD——指几何平均直径; $\ln x_i$ ——指土壤粒级平均直径的自然对数。

$$\lg \left[\frac{M(r < \bar{X}_i)}{M_i} \right] = (3 - FD) \lg \left(\frac{\bar{X}_i}{X_{\max}} \right) \quad (3)$$

式中: $M(r < \bar{X}_i)$ ——粒径小于 \bar{X}_i 的团聚体的质量; M_i ——测定团聚体的总质量; X_{\max} ——团聚体的最大粒径; FD——分形维数, 通过取对数后, 以左边为纵坐标, 右边为横坐标进行线性回归, 3-FD 即为直线斜率, 从而求出 FD 值。

(2) 有机质分析。采用室内水合热—光电比色法测定。

3 结果与分析

3.1 土壤团聚体粒级组成

试样团聚体组成分析结果表明(表 2), 干筛处理时 >0.25 mm 粒级的团聚体平均含量为 (84.09 ± 9.06)%, 在剖面上整体呈现出随着深度增加逐渐增大的规律。其中 >5 mm 粒级的团聚体平均含量为 (21.65 ± 12.54)%, 5~2 mm 粒级的团聚体平均含量为 (25.75 ± 7.36)%, 2~1 mm 粒级的团聚体平均含量为 (15.01 ± 3.89)%, 1~0.5 mm 粒级的团聚体平均含量为 (20.68 ± 6.62)%, 0.5~0.25 mm 粒级的团聚体平均含量为 (1.00 ± 0.46)%, <0.25 mm 粒级的团聚体平均含量为 (15.91 ± 9.06)%。

表 2 试样土壤团聚体的组成

样地	土壤层次/cm	处理方法	团聚体组成/%						
			>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm	
	(A层)0—30	a	22.97	32.56	10.48	17.24	0.67	16.08	
		b	6.30	16.50	11.53	19.81	1.14	44.72	
	灌丛	(B层)30—60	a	29.96	23.30	13.01	19.78	0.69	13.26
			b	0.54	16.86	15.84	22.62	1.19	42.95
	(C层)60—70	a	52.55	19.24	8.46	13.84	0.37	5.54	
		b	0.00	11.15	12.08	23.55	1.24	51.98	
草地	(A层)0—10	a	19.78	24.71	16.66	21.41	1.11	16.33	
		b	15.18	18.94	14.48	21.08	0.64	29.68	
	(B层)10—190	a	13.72	23.96	16.88	20.61	1.30	23.53	
		b	3.86	11.87	11.43	21.44	1.26	50.14	
	(C层)190—210	a	11.15	15.26	22.82	36.99	1.82	11.96	
		b	0.85	8.17	11.66	28.34	1.34	49.64	
松林	(A层)0—10	a	5.59	16.62	11.97	28.16	1.47	36.19	
		b	5.83	16.06	11.74	32.25	1.36	32.76	
	(B层)10—170	a	14.78	23.37	16.08	20.35	1.23	24.20	
		b	2.94	10.68	12.11	20.19	1.98	52.11	
	(C层)170—180	a	16.93	35.47	17.01	17.02	0.77	12.80	
		b	1.68	13.64	13.26	14.32	0.84	56.26	
裸地	(B层)0—90	a	22.53	34.95	16.51	16.21	1.15	8.65	
		b	0.97	4.33	8.08	20.09	1.81	64.72	
	(C层)90—100	a	28.22	33.79	15.24	15.89	0.40	6.46	
		b	0.00	6.23	6.84	27.42	1.58	57.93	

注: a 为干筛法^[9], b 为湿筛法^[9]; 样本数 $n=11$ 。

用湿筛法测得的土壤团聚体含量表现出较大的差异(表 2),湿筛 >0.25 mm 粒级的团聚体平均含量为 $(51.56\pm 10.43)\%$,其中 >5 mm 粒级的团聚体平均含量为 $(3.47\pm 4.47)\%$, $5\sim 2$ mm 粒级的团聚体平均含量为 $(12.22\pm 4.69)\%$, $2\sim 1$ mm 粒级的团聚体平均含量为 $(11.73\pm 2.54)\%$, $1\sim 0.5$ mm 粒级的团聚体平均含量为 $(22.83\pm 4.92)\%$, $0.5\sim 0.25$ mm 粒级的团聚体平均含量为 $(1.31\pm 0.39)\%$; <0.25 mm 粒级的团聚体平均含量为 $(48.44\pm 10.43)\%$ 。灌丛、草地、松林在剖面上整体呈现出与干筛 >0.25 mm 粒级的团聚体含量一致的规律,红裸土呈现出: B 层 $>$ C 层。

山原红壤的风干团聚体和湿筛团聚体组成表明,风干团聚体以大团聚体含量为主,稳定性较好;经过湿筛后, >5 mm, $5\sim 2$ mm 粒级团聚体含量分别减少了 84%,53%左右, <0.25 mm 粒级团聚体含量增加了 204%,湿筛团聚体以微团聚体含量为主,表明经过湿筛后大粒级团聚体更易破碎;风干团聚体和湿筛团聚体在各粒级分布不均匀,均以 $0.5\sim 0.25$ mm 粒级含量最少。总体上,干筛大团聚体数量远多于湿筛大

团聚体含量,这主要是由于风干团聚体中包括水稳性与非水稳性团聚体,而湿筛过程中非水稳性大粒级团聚体发生破碎分解为小粒级团聚体,因此,水稳性团聚体粒级分布更能反映山原红壤剖面团聚体的特征。

3.2 土壤水稳性团聚体特征

平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)可以反映土壤团聚体粒级大小分布状况,其值越大表示团聚体的平均粒级团聚度越高,稳定性越好^[10]。研究区不同覆被下土壤 MWD 的平均值在 $0.66\sim 1.26$ mm 之间(图 1),呈现出:草地 $>$ 灌丛 $>$ 松林 $>$ 红裸土,其中灌丛、草地、松林的差异不显著,而红裸土的值显著减少,仅为 0.66 mm,表明山原红壤的退化使得土壤团聚体稳定性变差,其中又以红裸土的整体稳定性最差。MWD 在松林、灌丛、草地剖面上呈映出: A 层 $>$ B 层 $>$ C 层,而在红裸土剖面上呈映出: C 层 $>$ B 层,这是由于植被被破坏,导致红裸土的 B 层抗蚀能力减弱。MWD 在 A 层呈现出草地 $>$ 松林 $>$ 灌丛的规律,在 B 层呈现出:灌丛 $>$ 草地 $>$ 松林 $>$ 红裸土,在 C 层呈现出:松林 $>$ 草地 $>$ 灌丛 $>$ 红裸土的规律。

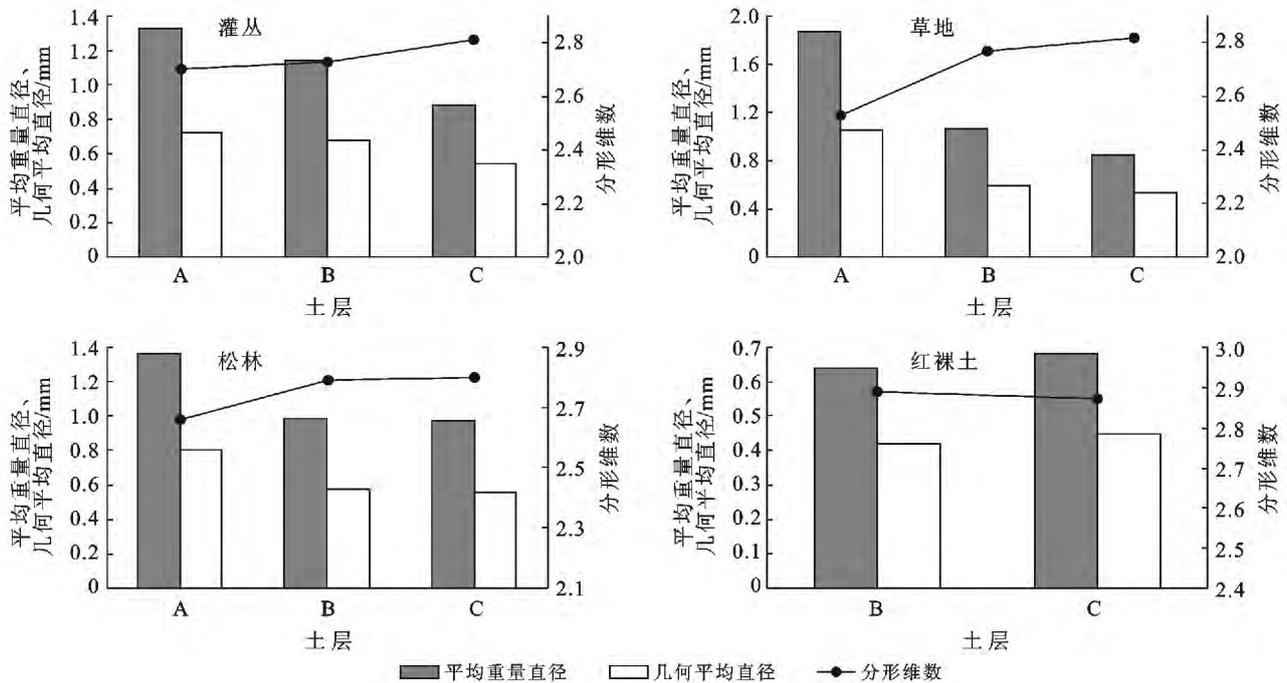


图 1 研究区土壤退化过程中不同覆被土壤水稳性团聚体特征

GMD 的平均值在 $0.44\sim 0.73$ mm 之间(图 1),在不同覆被下呈现出与 MWD 一致的规律,其中灌丛、草地、松林之间差异不显著,红裸土的值显著变小;GMD 和 MWD 在不同覆被剖面上反映出一致的规律;GMD 在 A 层和 B 层呈现出与 MWD 一致的规律,在 C 层呈现出:松林 $>$ 灌丛 $>$ 草地 $>$ 红裸土的规律。

土壤团聚体分形维数(FD)用于表征团聚体的稳

定性以及物理性质的优劣,其值越小,结构稳定性、物理性质越好,反之越差^[11]。山原红壤退化过程中的土壤剖面团聚体分形维数(FD)平均值在 $2.71\sim 2.88$ 之间(图 1),呈现出:红裸土 $>$ 松林 $>$ 灌丛 $>$ 草地的规律,其中,草地、灌丛、松林差异不显著,而红裸土的 FD 显著增大,说明与松林、灌丛、草地相比,红裸土的结构稳定性和物理性质劣化。松林、灌丛、草地的土

壤团聚体分形维数(FD)和 MWD,GMD 在剖面上表现出的规律相反,说明随着土壤深度的增加,土壤的物理性质和结构稳定性越差;红裸土的剖面上则表现出:B层>C层的规律。

综上所述可知,土壤的团聚体的稳定性在退化过程中基本呈现出:灌丛>草地>松林>红裸土的规律,灌丛、草地、松林之间稳定性差异不显著,红裸土的稳定性最差,抗蚀能力弱,易崩解。土壤的稳定性在灌丛、草地、松林剖面上呈现出:A层>B层>C层的规律,红裸土呈现出:C层>B层的规律。表明红裸土的形成和山原红壤退化过程中 A 层植被破坏,导致土壤的稳定性和物理性质劣化有直接的关系。

3.3 有机质含量的变异

由图 2 可知,山原红壤退化过程中土壤剖面平均有机质含量表现为:灌丛>草地>松林>裸地。灌丛、草地、松林在剖面上均呈现出:A层>B层>C层,随着深度的增加有机质含量减少,红裸土呈现出:B层<C层的规律。不同覆被下 A 层有机质含量表现出:草地>灌丛>松林的规律,这主要是由于灌丛和草地的枯枝落叶层以及微生物更丰富,更容易形成有机质。有机质含量在 B 层表现为:灌丛>松林>草地>红裸土,这主要与灌丛和松林的根系分布较深及其分泌物有关,红裸土 B 层有机质含量 18.00 g/kg,全国地带性土壤表层有机质平均含量为 32.30 g/kg^[12],对比分析表明,红裸土的 B 层有机质约为全国地带性土壤表层有机质含量的 56%。不同覆被 C 层有机质含量均较少,差异较小,表现出:灌丛>红裸土>草地>松林的规律。

3.4 土壤水稳性团聚体各粒级含量及其各参数之间相关性

利用相关分析评价土壤水稳性团聚体各粒级含

量及其各参数之间的关系(表 3)。MWD 和 GMD 之间的相关系数达到 0.99,周虎等^[13]对不同层位不同耕作方式土壤团聚体的研究和董莉丽等^[14]对不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体 MWD 和 GMD 之间的相关系数均达到 0.95。土壤有机质含量与 MWD,GMD 呈极显著正相关,与 FD 呈极显著负相关,表明有机质对团聚体的数量和稳定性具有促进作用,这与前人的研究结果基本一致^[15-18]。>5 mm,5~2 mm 粒级与 MWD,GMD 呈极显著正相关,表明土壤水稳性团聚体中>2 mm 粒级越多,土壤团聚体结构越稳定。FD 与>5 mm,5~2 mm,2~1 mm 粒级呈极显著负相关,相关系数分别达到-0.90,-0.89 和-0.64,说明>1 mm 粒级团聚体含量越多,团聚体分形维数越小,土壤稳定性和物理性质越优;与 0.5~0.25 mm 粒级呈显著负相关,与<0.25 mm 粒级呈极显著负相关,相关系数分别为 0.65 和 0.95,说明土壤团聚体分形维数与较大粒级团聚体含量呈负相关,与较小粒级团聚体呈正相关,表明分形维数能反映土壤退化过程中土壤的剖面团聚体特征,这与张保华等^[19]、董莉丽等^[14]的研究结果一致。FD 与 MWD,GMD,SOM 之间的相关系数分别为-0.99,-0.99 和-0.87,均达到极显著水平。

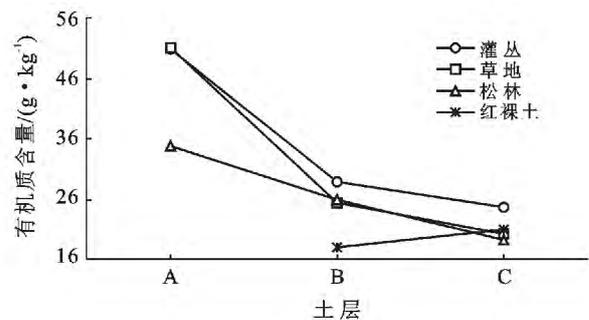


图 2 土壤剖面有机质含量

表 3 土壤水稳性团聚体各参数之间的相关性分析

指标	MWD	GMD	FD	SOM	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm
MWD	1.00									
GMD	0.99**	1.00								
FD	~0.99**	~0.99**	1.00							
SOM	0.89**	0.86**	~0.87**	1.00						
>5 mm	0.92**	0.92**	~0.90**	0.84**	1.00					
5~2 mm	0.89**	0.87**	~0.89**	0.78**	0.66*	1.00				
2~1 mm	0.64*	0.73**	~0.64*	0.40	0.37	0.81**	1.00			
1~0.5 mm	~0.02	0.06	~0.05	~0.01	~0.07	~0.11	~0.25	1.00		
0.5~0.25 mm	~0.66*	~0.65*	0.65*	~0.51*	~0.54	~0.71*	~0.60*	0.24	1.00	
<0.25 mm	~0.92**	~0.94**	0.95**	~0.78**	~0.76*	~0.85**	~0.63**	~0.34	0.55*	1.00

注:*表示在 $p < 0.05$ 水平显著相关,**表示在 $p < 0.01$ 水平极显著相关。MWD 为平均重量直径,GMD 为几何平均直径,FD 为分形维数,SOM 为有机质含量。

4 结论

(1) 山原红壤的团聚体组成分析表明,风干团聚体以大团聚体含量为主,稳定性较好;经过湿筛后,团聚体以微团聚体含量最高。风干团聚体和湿筛团聚体在各粒级分布不均匀,均以 0.5~0.25 mm 粒级含量最少,水稳性团聚体粒级分布可更好地反映山原红壤团聚体特征。

(2) 水稳定团聚体 MWD 的平均值在 0.66~1.26 mm 之间,GMD 的平均值在 0.44~0.73 mm 之间,FD 的平均值在 2.71~2.88 之间,土壤的稳定性在不同的退化过程中基本呈现出:灌丛>草地>松林>红裸土的规律,其中,灌丛、草地、松林在 MWD,GMD 均反映出:A 层>B 层>C 层,在 FD 反映出:A 层<B 层<C 层,表明随着深度的增加,土壤的团聚体稳定性和物理性质逐渐劣化;红裸土在 MWD,GMD 反映出:B 层<C 层,FD 表现出:B 层>C 层。与灌丛、草地、松林相比,红裸土的 B 层结构稳定性极差,易崩解,抵抗水蚀能力弱,加之该区雨量多又集中,如不尽快治理,会使土壤进一步被侵蚀,最终导致下覆岩石裸露,形成石漠化景观。

(3) 有机质含量平均值在 19.43~34.78 g/kg 之间,灌丛、草地、松林呈现出:A 层>B 层>C 层的规律,红裸土呈现出:B 层<C 层的规律。与 A 层、B 层相比,C 层在结构稳定性和有机质含量显著降低。

(4) 有机质含量与 MWD,GMD,>2 mm 粒级团聚体含量呈极显著正相关,与 FD 呈极显著负相关,表明有机质对团聚体的稳定性具有促进作用,水稳性大团聚体的形成主要依靠有机质的胶结作用。因此,合理利用红裸土这一尚存的土壤物质载体,采用地形改造、人工施肥、配植植被等措施提高红裸土 B 层有机质含量,是山原红壤退化区生态恢复的重要手段。

[参 考 文 献]

- [1] 李小雁. 干旱地区土壤—植被—水文耦合、响应与适应机制[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2011, 41(12): 1721-1730.
- [2] 刘丛强, 郎赞超, 李思亮, 等. 喀斯特生态系统生物地球化学过程与物质循环研究: 重要性、现状与趋势[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 1-12.
- [3] 周乐福. 云南土壤分布的特点及地带性规律[J]. 山地学报, 1983, 1(4): 31-38.
- [4] 张磊, 王嘉学, 刘保强, 等. 喀斯特山原红壤退化过程中表层团聚体变化规律[J]. 山地学报, 2015, 33(1): 8-15.
- [5] 王佩将, 戴全厚, 丁贵杰, 等. 喀斯特植被恢复过程中的土壤分形特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 178-183.
- [6] 吴尧, 姚健, 吴永波. 岷江上游典型植被下土壤分形特征及对水分入渗的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 12-16.
- [7] 赵世伟, 苏静, 杨永辉, 等. 宁南黄土丘陵区植被恢复对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 27-29.
- [8] 陈虎, 王嘉学, 胡灿灿, 等. 滇东喀斯特地区石漠化裸露红土的表层有机质含量分析[J]. 中国岩溶, 2012, 31(4): 423-425.
- [9] 何淑勤, 郑子成, 杨玉梅. 茶园土壤团聚体分布特征及其对有机碳含量影响的研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 187-191.
- [10] 王宇, 韩兴, 赵兰坡. 黑土坡面土壤团聚体组成特征研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 88-90.
- [11] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤团粒结构的分形特征[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 56-65.
- [12] 戴万宏, 黄耀, 武丽, 等. 中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 851-860.
- [13] 周虎, 吕貽忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [14] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 95-100.
- [15] 李阳兵, 谢德体. 不同土地利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 122-125.
- [16] 严宁珍, 白仲才, 徐卫红, 等. 喀斯特山地土地利用方式对土壤团粒的影响: 以重庆黔江为例[J]. 中国岩溶, 2011, 30(1): 72-77.
- [17] 杜立宇, 李天来, 梁成华, 等. 长期不同施肥处理对设施土壤团聚体组成及其稳定性的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 38-42.
- [18] 柴仲平, 王雪梅, 陈波浪, 等. 新疆典型小流域土壤水稳性团聚体分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 94-96.
- [19] 张保华, 刘子亭, 何毓, 蓉, 等. 应用分形维数研究土壤团聚体与低吸力段持水性的关系[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 857-860.