

文章编号: 1008-2786-(2015)1-8-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000002

喀斯特山原红壤退化过程中土壤表层团聚体变化规律

张磊, 王嘉学*, 刘保强, 肖梦景, 程艳芳, 许路艳

(云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

摘 要: 山原红壤是古气候影响下残存于高原面的古红土, 近年来退化严重。为认识山原红壤的退化机理及效应, 以滇东喀斯特典型山原红壤发育地带为研究对象, 分析了 4 种不同覆被条件下 0~20 cm 土壤表层团聚体的特征。结果表明: 从草地→灌丛→松林→红裸土, 土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体含量(WSAC)和平均重量直径(MWD)逐渐减少, 分形维数(FD)显著增大; 团聚体破坏率($PAD_{0.25}$)则表现为松林 < 草地 < 灌丛 < 红裸土。山原红壤从有植被到无植被(红裸土)退化过程中, 表层土壤的团聚体稳定性和其他物理性质劣化, 抗水蚀能力变弱, 有机质含量减少; 草地、灌丛、松林之间的土壤团聚体特征变化不明显, 尚不能准确反映植被间的退化过程。研究还表明水稳性团聚体的稳定性指标(WSAC、MWD)与容重呈显著负相关, 与土壤密度呈极显著负相关, 与孔隙度、通气度呈极显著正相关; 有机质对水稳性团聚体的稳定性和其他物理性质具有促进作用, 植被的保育是改善山原红壤结构状况的关键。

关键词: 喀斯特; 山原红壤; 团聚体; 影响因素

中图分类号: P642.25, P934

文献标志码: A

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(The Critical Zone), 土壤作为地球关键带的核心要素, 为植物的生长和发育提供了必要的环境^[1]。山原红壤是云贵高原主要的土壤类型之一, 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, 有别于其他中国南方红壤^[2]。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(Soil degradation)指在自然因素和人为因素下导致土壤的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^[3-5]。深入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, 也是云贵高原山区生态建设与水土保持、石漠化治理和农业生产中亟待解决的问题。

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]。特别是表层团聚体的稳定性对土壤侵蚀和径流产生重要影响, 在维持土壤孔隙、物质传输利用和

收稿日期(Received date): 2014-05-15; 改回日期(Accepted): 2014-06-14。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41061021); 云南省科技计划(2012CA024) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(41061021) and the Plan for Science & Technology of Yunnan Province(2012CA024).]

作者简介(Biography): 张磊(1989-), 男, 陕西商洛人, 硕士研究生, 主要从事区域环境与土壤恢复研究。[Zhang Lei(1989-), male, born in shangluo shanxi province, master candidate, research in Regional environmental and soil remediation.]E-mail: 646595296@qq.com

* 通信作者(Corresponding author): 王嘉学(1971-), 男, 云南富源人, 博士, 教授, 主要从事景观过程与控制研究。[Wang Jiaxue(1971-), male, born in Fuyuan yunnan province, doctor, professor, the major fields are Landscape processes and controls.]E-mail: wxjynds@163.com

水土流失等方面起到重要作用^[7-8]。土壤团聚体常用的评价指标包括 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 (WSAC)、平均重量直径 (MWD)、团聚体破坏率 (PAD)、分形维数 (FD) 等^[9]。本文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 0~20 cm 表层团聚体进行分析,以更客观地揭示山原红壤退化中的表层团聚体的自然变化规律,为认识山原红壤退化的机理、过程及效应提供依据。

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,耕作土又往往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,本文在遴选的 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。本区为低纬高原季风气候,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^[10]。年降水量 1 000~1 500 mm,近 30 a 年平均降雨为 1 084 mm,90% 的降水集中在 4—11 月,极端最高温 33℃,年平均气温 14℃左右,年日照时数 1 328~1 800 h。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)。

2 土样采集和测定方法

2.1 土样采集方法

2013 年 9 月,在研究样区选取松林、灌丛、草地、红裸土 4 种不同覆被条件下的山原红壤进行表土采样。在不同的覆被条件下选取代表性地段,其中灌丛覆盖率达到 80% 左右,松林、草地覆被率接近 100%,使用 GPS 定位,各设置 3 个(1 m×1 m)样方,每个样方按对角线选取 5 个样点,用环刀取原状土,以备实验室测定土壤容重、密度、孔隙度;用陶瓷工具(避免对测定微量元素的影响)采集 0~20 cm 土层土壤样品,将同一样方 5 个样点的土壤样品进行混合,重量控制在 1.5 kg 左右,以备实验室对土壤团聚体的测定(文中数据为重复 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 土样性质测定

土壤团聚体的测定: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,采用沙维诺夫法干筛和湿筛法^[11]测定 > 5 mm, 5~2 mm, 2~1 mm, 1~0.5 mm, 0.5~0.25 mm, < 0.25 mm 土壤粒径含量。干筛法:取 100 g 风干土样置于套筛(孔径依次为 5 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm 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 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm

表 1 样地基本情况
Table 1 Characteristics of the sampling sites

样地	经纬度	海拔	采样深度	样方坡度	坡向	颜色
Sampling site	Coordinate	Altitude /m	Depth/cm	Slope /°	Aspect	Color
松林	104°20'77.62"	2 050.5	0~20	3.2	NW75°	暗红
Pine wood	25°74'41.16"					Dull-red
灌丛	104°20'65.2"	2 222	0~20	4.1	NW69°	暗红棕
Shrub lands	25°75'79.01"					Reddish dark brown
草地	104°18'84.68"	2 070	0~20	2.5	NW76°	淡红棕
Grassland	25°72'73.33"					Light red brown
红裸土	104°18'81.69"	2 053	0~20	1.8	NW76°	淡红棕
Red bare soil	25°72'73.34"					Light red brown

和 0.25mm) 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 ℃) 称重,据此计算 >0.25 mm 水稳性团聚体含量(WSAC)、平均重量直径(MWD)、团聚体结构破坏率(PAD)、分形维数(FD),具体如下

$$WSAC = \sum_{i=1}^n (W_i)$$

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

$$PAD = \frac{m_d - m_w}{m_d} \times 100\%$$

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

式中 W_i 表示土壤不同粒级团聚体的重量(g), \bar{X}_i 表示某级团聚体平均直径, m_d 为干筛获得的粒径 > 0.25 mm 风干团聚体的质量百分数, m_w 为湿筛获得的粒径 > 0.25 mm 水稳定性团聚体的质量百分数, $M(r < \bar{X}_i)$ 为粒径 < \bar{X}_i 的团聚体的质量, M_i 为测定团聚体的总质量, X_{\max} 为团聚体的最大粒径。

土壤其他物理性质的测定: 土壤密度采用比重

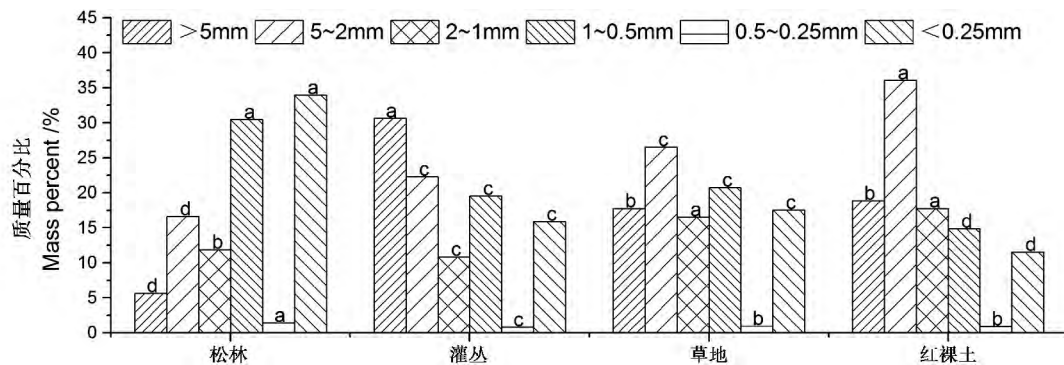
瓶法^[12]; 土壤容重、孔隙度、通气度测定采用环刀法^[13], 环刀规格 100 cm³; 有机质分析采用室内水合热-光电比色法。

3 结果与讨论

3.1 土壤团聚体分布和组成特征

干筛法测定的是自然状态下土壤机械稳定团聚体含量, 较少破坏土壤中某些瞬变性、临时性有机胶结物质, 湿筛法测得土壤的水稳性团聚体含量, 可以反应土壤潜在的抗蚀能力^[14]。干筛法下土壤团聚体各粒级的组成比例在不同覆被条件下存在差异(图1), >0.25 mm 粒级含量呈现出: 红裸土 > 灌丛 > 草地 > 松林, 其中红裸土、草地、灌丛三者之间差异不大, 三者均与松林差异显著 ($P < 0.05$)。0.5 ~ 0.25 mm 粒级含量最少, 均不超过 1.5%, 红裸土和灌丛均以 >2 mm 粒级含量为主, 分别达到 54.96% 和 52.93%。

经过湿筛之后(图2), 不同覆被条件下 >0.25



同一粒级不同覆被不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Different letters indicate significant differences at the same particle size of different land cover 5% level, The same as below.

图1 机械稳定性团聚体组成

Fig. 1 Composition of soil mechanical-stable aggregates

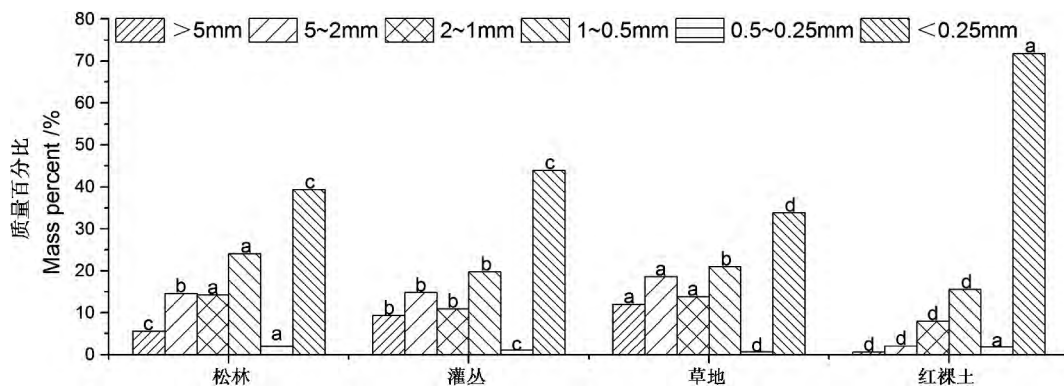


图2 水稳性团聚体组成

Fig. 2 Composition of soil water-stable aggregates

mm 的团聚体含量明显减少,与干筛相比,松林、灌丛、草地、红裸土分别减少了 8.24%、33.42%、19.73%、68.98%,其中又以红裸土 > 2 mm 粒级的团聚体含量减少最多,减少了 95.02%,表明与有植被的山原红壤相比,红裸土遇水更易崩解。松林、灌丛、草地均以 0.5 ~ 0.25 mm 粒径含量最少,红裸土以 > 5 mm 粒径含量最少。干、湿筛测定结果表明不同覆被条件下机械稳定性团聚体含量差异较小,而水稳性团聚体含量之间差异显著,土壤干筛大团聚体含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径团聚体发生破碎分解为小粒径团聚体,因此,水稳性团聚体粒径含量更能反映山原红壤区不同利用方式下土壤团聚体的结构特征。这与陈山^[15]等和林培松^[16]等在研究不同土地利用方式下其他类型红壤和紫色土团聚体的结论一致。

3.2 土壤水稳性团聚体特征

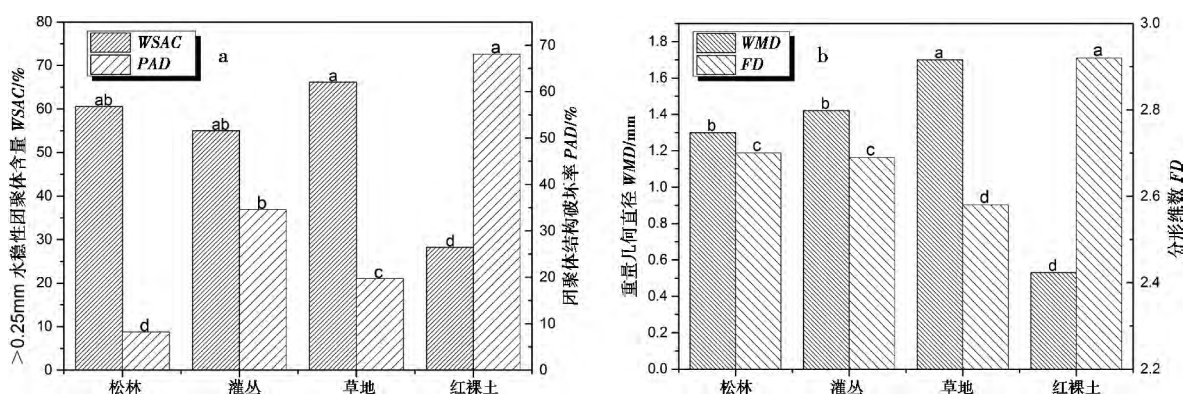
> 0.25 mm 的水稳性团聚体含量(WSAC)常被用来评价土壤团聚体的稳定性,是抗蚀能力的重要指标^[16]。研究区山原红壤 WSAC 呈现草地(66.17%) > 松林(60.60%) > 灌丛(56.00%) > 红裸土(23.23%)的规律。已经有研究表明^[17-18]贵州乌江流域喀斯特(无植被裸地、荒草地、旱地、灌丛群落、森林群落)石灰土湿筛 WSAC 含量在 45.70% ~ 89.38%,重庆喀斯地区(耕地、果园、弃耕地、灌草坡、林地)黄色石灰土 WSAC 含量在 69.50% ~ 87.50%。本研究区不同覆被下 WSAC 含量在 23.23% ~ 66.17%,表明山原红壤区土壤与其他喀斯特石灰岩土壤相比,整体抗水蚀能力较弱。山原红壤区草地、松林、灌丛 > 0.25 mm 的水稳性团

聚体含量(WSAC)差异不显著($P < 0.05$),三者与红裸土差异显著($P < 0.05$),分别是红裸土的 2.85 倍、2.61 倍、2.41 倍,表明区内草地土壤的水稳性能最好,红裸土表层最易崩解。

土壤团聚体破坏率($PAD_{0.25}$)越大,土壤结构越易崩解破碎,土壤越容易被侵蚀,其值越小,团聚体稳定性越高^[19]。研究区山原红壤的 $PAD_{0.25}$ 变化,呈现出松林(8.2%) < 草地(19.7%) < 灌丛(34.6%) < 红裸土(68.1%)的规律(图 3a)。与松林、草地、灌丛相比,红裸土的团聚体破坏率显著增大($P < 0.05$),分别是松林、草地、灌丛的 8.30 倍、3.46 倍、1.87 倍,表明区内松林抗蚀能力最强,红裸土抗蚀能力最弱。

平均重量直径(WMD)可以反映土壤团聚体粒径大小分布状况,其值越大表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越好^[20]。不同覆被条件下山原红壤表土水稳性团聚体的平均重量直径(WMD)呈现出草地(1.70 mm) > 灌丛(1.41 mm) > 松林(1.30 mm) > 红裸土(0.53 mm)的规律(图 3b),与 > 0.25 mm 的水稳性团聚体含量(WSAC)呈现出一致的规律。与草地相比,灌丛、松林、红裸土团聚体的平均重量直径(WMD)分别减少了 19.72%、28.17%、220.75%,说明区内草地土壤的团聚度最高,红裸土最差。

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^[21],其值越小,结构稳定性、物理性质越好,反之越差。水稳性团聚体的分形维数表现出(图 3b):草地(2.58) < 灌丛(2.69) < 松林(2.70) < 红裸土(2.91),与 WSAC, WMD 表现出相反的规律。其中,红裸土的分形维数(FD)与



同一指标不同覆被不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different letters indicate significant differences at the same index of different land cover 5% level.

图3 不同覆被 Different cover

草地、灌丛、松林相比显著增大,说明区内草地的结构稳定性最好,红裸土最差。

3.3 土壤水稳团聚体特征影响因素

土壤容重、密度、孔隙度、通气度以及有机质含量对水稳团聚体的特征有直接的影响^[3, 22-23]。

土壤容重大小反映出土壤透水性通气性和根系伸展时的阻力状况,因此,土壤容重的变化对土壤的多孔性质产生较大的影响,从而影响团聚体的抗水蚀能力^[3],容重值与 *WSAC* 和 *MWD* 呈极显著负相关和显著负相关,与 *PAD*_{0.25} 和 *FD* 呈极显著正相关和显著正相关(表 2),表明容重值越大,团聚体的抗水蚀能力越弱,这与已有的对红壤和高山牧区土壤容重与团聚体稳定性的关系结果一致^[24-25]。研究区山原红壤容重值呈现出松林 < 灌丛 < 草地 < 红裸土(表 3),松林和灌丛的容重差异较小,草地和裸地的差异较小,松林、灌丛与草地、裸地容重之间差异比较显著,其中,红裸土与松林、灌丛、草地的容重值相比,分别增加了 27.27%、26.45%、5.79%。

土壤密度大小与土壤的化学矿物组成有关,一般土壤的密度多在 2.6 ~ 2.8 g/cm³ 范围内^[26],土壤密度与土壤容重呈极显著正相关,与 *WSAC* 和 *MWD* 呈显著负相关(表 2),表明土壤密度越大,团聚体团聚度越低。土壤的密度呈现出灌丛 < 草地 < 松林 < 红裸土显著增大的规律(表 3),其中,松林、灌丛、草地的土壤密度均处在一般土壤密度范围内,红裸土的密度达到 3.13 g/cm³,与其他三种覆被的差异显著,远超过了一般范围,这主要是由于容重升高,结构紧实,保水能力弱,导致土壤团聚体团聚度降低。

土壤的孔隙度是土壤物理性质的基础,能够反映土壤的疏松程度及水分、空气容量的大小,可以反映整个土体结构状况和衡量土壤肥力的重要指标。土壤通气度是土壤中有机质矿化与腐殖殖化程度的指标^[23],土壤孔隙度与通气度(表 2)呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数达到 0.959^{**},表明土壤的孔隙度直接决定着土壤的通气性能。土壤的孔隙度和通气度与 *WSAC* 和 *MWD* 均呈极显著正相关,表明

表 2 土壤水稳性团聚体各参数之间的相关性
Table 2 Correlation of parameters of water stable aggregation

指标 Index	<i>WSAC</i>	<i>PAD</i>	<i>WMD</i>	<i>FD</i>	<i>BD</i>	<i>SOM</i>	<i>PD</i>	<i>TP</i>	<i>VQ</i>
<i>WSAC</i>	1.000								
<i>PAD</i>	-0.943 ^{**}	1.000							
<i>WMD</i>	0.974 ^{**}	-0.829 ^{**}	1.000						
<i>FD</i>	-0.974 ^{**}	0.836 ^{**}	-0.996 ^{**}	1.000					
<i>BD</i>	-0.532 ^{**}	0.630 ^{**}	-0.432 [*]	0.370 [*]	1.000				
<i>SOM</i>	0.702 ^{**}	-0.439 [*]	0.821 ^{**}	-0.775 ^{**}	-0.428 [*]	1.000			
<i>PD</i>	-0.755 ^{**}	0.595 [*]	-0.836 ^{**}	0.782 ^{**}	0.671 ^{**}	-0.956 [*]	1.000		
<i>TP</i>	0.670 ^{**}	-0.810 ^{**}	0.534 ^{**}	-0.496 [*]	-0.955 ^{**}	0.354 [*]	-0.609 ^{**}	1.000	
<i>VQ</i>	0.629 ^{**}	-0.840 ^{**}	0.451 [*]	-0.435 [*]	-0.845 ^{**}	0.131	-0.400 [*]	0.959 ^{**}	1.000

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$. *WSAC*: >0.25mm 水稳性团聚体含量 Water-stable aggregates content; *PAD*: 团聚体结构破坏率 Aggregates destruction rate; *WMD*: 平均重量直径 Mean weight diameter; *FD*: 分形维数 Fractal dimension; *BD*: 容重 Bulk density; *SOM*: 有机质含量 Soil organic matter; *PD*: 密度 Particle density; *TP*: 总孔隙度 Total porosity; *VQ*: 通气度 Venting quality.

表 3 表层(0 ~ 20 cm)土壤有机质含量和物理性质
Table 3 Soil organic matter content and physical of the surface soil (0 ~ 20 cm)

样地 Sampling site	容重 Bulk density /(g/cm)	有机质含量 SOM /(g/kg)	密度 Particle density /(g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity /%	通气度 Venting quality /%
松林 Pine wood	0.88 ^c	28.3 ^{bc}	2.88 ^b	64.19 ^a	36.10 ^a
灌丛 Shrub lands	0.89 ^c	53.7 ^a	2.70 ^c	60.82 ^{ab}	29.59 ^b
草地 Grassland	1.14 ^b	45.8 ^a	2.82 ^b	56.53 ^b	27.76 ^b
红裸土 Red bare soil	1.21 ^a	17.4 ^c	3.07 ^a	52.55 ^{bc}	24.20 ^c

注: 同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: means with different letters in the same columns are significantly different at the 0.05 level.

孔隙度和通气性影响着团聚体的稳定性。山原红壤区不同覆被下土壤的孔隙度在 52.55% ~ 64.17%, 通气度在 24.20% ~ 36.1% (表 3), 均呈现出松林 > 灌丛 > 草地 > 红裸土的规律, 说明植被覆盖能提高土壤孔性和通气性能, 提高土壤团聚体的稳定性。

有机质在腐解过程中合成的腐殖质等有机胶体, 与土壤中粘土矿物复合成胶体, 可改善土壤的结构。有机质与 *WSAC* 和 *MWD* 均呈极显著正相关 (表 2) 相关系数分别达到 0.702^{**}、0.821^{**}, 表明有机质对土壤团聚体的稳定性具有促进作用, 这与对喀斯特地区不同土地利用方式团聚体与有机质的关系的研究结果相吻合^[18 27]。研究区不同覆被下土壤的有机质含量呈现出灌丛 > 草地 > 松林 > 红裸土的规律, 其中, 灌丛和草地的有机质含量高于松林, 主要因为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。灌丛、草地、松林表土的有机质含量分别是红裸土的 3.09 倍、2.63 倍、1.63 倍, 红裸土由于缺少枯枝落叶层, 难以形成有机质, 再加上缺少植物根系的穿插生长, 孔隙度和通气性变差, 不利于微生物的活动, 有机质含量会进一步减少, 进而使土壤胶体状况变劣, 减小了土壤颗粒之间的胶结, 土壤结构紧实, 降低了地表径流的入渗量, 地表产生的超渗径流会进一步冲蚀表土, 导致大团聚体转变为微团聚体, 形成结构不稳定和抗水蚀能力弱的团聚体。

4 结论

山原红壤在从有植被(草地、灌丛、松林)到无植被(红裸土)退化过程中, 表层土壤的 *WSAC*、*MWD*、有机质含量, 孔隙度和通气性呈现出显著降低的规律, *FD*、*PAD*、容重和密度呈现出显著增大的规律。说明山原红壤退化过程中, 植被破坏是关键因素, 使得土壤的团聚体稳定性和其他物理性质劣化, 抗水蚀能力变弱, 有机质含量减少。研究还表明团聚体稳定性(*WSAC*、*MWD*)与容重呈显著负相关, 与土壤密度呈极显著负相关, 与有机质、孔隙度、通气度显著正相关。草地、灌丛、松林表层山原红壤团聚体特征变化不明显, 尚不能准确反映植被间的退化过程。

为防止山原红壤退化, 最大限度地避免植被破坏是关键。对于已严重退化的红裸土而言, 其表土的团聚体稳定性差, 易崩解, 抗蚀能力弱, 容重和密

度增大, 孔隙度和通气度降低以及有机质含量少的特征是其难以生长植被的重要原因, 加之本区独特的地质、地貌、气候, 如不尽快进行人工恢复, 会使其表层土壤进一步被侵蚀, 基岩裸露, 加剧石漠化进程。因此, 合理利用红裸土这一尚存的土壤载体, 采用地形改造、人工施肥、配植植物等措施提高红裸土表层质量, 应该是滇东山原红壤区红裸土改良的重要手段。

参考文献(References)

- [1] Li Xiaoyan. Mechanism of coupling response and adaptation between soil vegetation and hydrology in arid and semiarid regions[J]. Science China: earth science 2011 41(12): 1721–1730 [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: 地球科学 2011 41(12): 1721–1730]
- [2] Zhou Lefu. characteristics and zonality of soil distribution in Yunnan Province[J]. Mountain Research 1983 1(4): 31–38 [周乐福. 云南土壤分布的特点及地带性规律[J]. 山地研究(现山地学报), 1983 1(4): 31–38]
- [3] Zhao Zhongqiu, Hou Lisheng, Cai Yunlong. The process and mechanism of soil degradation in karst area in South west China[J]. Earth Science Frontiers 2006 13(3): 185–189 [赵中秋, 后立胜, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨[J]. 地学前缘, 2006 13(3): 185–189]
- [4] Zhao Yonggang, Zhao Shiwei, Hua Juan, et al. Soil structural properties of enclosed steppe in the Semiarid area[J]. Acta Prataculturae Sinica 2009 17(1): 106–112 [赵勇钢, 赵世伟, 华娟, 等. 半干旱典型草原封育草地土壤结构特征研究[J]. 草地学报, 2009 17(1): 106–112]
- [5] Shen Youxin, Jiang Jie, Chen Shengguo, et al. Vegetation degradation and its restoration strategies of Karst upland in south-eastern Yunnan[J]. Mountain Research 2005 23(4): 425–430 [沈有信, 江洁, 陈胜国, 等. 滇东喀斯特山地植被退化及其恢复对策[J]. 山地学报 2005 23(4): 425–430]
- [6] Li Yangbin, Xie Deti, Wei Chaofu, et al. A Study of features of water-stable soil aggregates structure under different land use in karst mountains[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002 11(5): 452–454 [李阳兵, 魏朝富, 谢德体, 等. 利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响研究[J]. 长江流域资源与环境 2002 11(5): 452–454]
- [7] Zhao Yonggang, Zhao Shiwei, Hua Juan, et al. Soil structural characteristics and its effect on infiltration on abandoned lands in semi-arid typical grassland areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008 24(6): 14–20 [赵勇钢, 赵世伟, 华娟, 等. 半干旱典型草原区退耕地土壤结构特征及其对入渗的影响[J]. 农业工程学报, 2008 24(6): 14–20]
- [8] Li Bing, Tang Ya. Impacts of human activities on soil erosion in the lower Jinsha river Basin[J]. Mountain Research 2012 30(3): 299–307 [李冰, 唐亚. 金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响[J]. 山地学报 2012 30(3): 299–307]

- [9] Zhao Baohua, He Yurong, Miao Guozeng et al. Synthetical evaluation of soil Structure under subalpine forests on east slope of Gongga mountain[J]. Mountain Research 2006 24(4): 504 – 509 [张保华, 何毓蓉, 苗国增, 等. 贡嘎山东坡亚高山林区土壤结构综合评价[J]. 山地学报 2006 24(4): 504 – 509]
- [10] Chen Hu, Wang Jiaxue, Hu Cancan et al. Organic matter content of the bare lateritic surface-layer in east Yunnan karst rocky deserts [J]. Carsologica Sinica 2012 31(4): 423 – 425 [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]
- [11] He Shuqin, Zheng Zicheng, Yang Yumei. Distribution characteristics of soil aggregates and organic carbon in tea plantation [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2009 23(5): 187 – 191 [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]
- [12] Chen Lixin. Soil experiment and practice tutorials [M]. Harbin: Northeast Forestry University 2005: 19 – 189 [陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社 2005: 19 – 189]
- [13] Bao Shidan. Soil agrochemistry analysis [M]. 3th Edition. Beijing: China Agriculture Press 2000: 56 – 106 [鲍士旦. 土壤农化分析(第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社 2000: 56 – 106]
- [14] Pu Yulin, Lin Chaowei, Xie Deti et al. Composition and stability of soil aggregates in hedgerow crop slope land [J]. Chinese Journal of Plant Ecology 2013 24(1): 122 – 128 [蒲玉琳, 林超文, 谢德体, 等. 植物篱 – 农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J]. 应用生态学报 2013 24(1): 122 – 128]
- [15] Chen Shan, Yang Feng, Lin Bin et al. Impact of land use patterns on stability of soil aggregates in red soil region of South China [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2012 26(5): 211 – 216 [陈山, 杨峰, 林杉, 等. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报 2012 26(5): 211 – 216]
- [16] Lin Peisong, Gao Quanzhou. Study on changes in structural properties of purple soils under different land use [J]. Research of Soil and Water Conservation 2010 17(4): 134 – 138 [林培松, 高全洲. 不同土地利用方式下紫色土结构特性变化研究[J]. 水土保持研究 2010 17(4): 134 – 138]
- [16] Six J, Elliot E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability Index and the effect of mineralogy [J]. Soil Science Society of America Journal 2000 64(3): 1042 – 1049
- [17] Zhang Dongqing, He Tengbing, Lin Changhu, et al. Study on the physical properties of karst soil in Guizhou Wuyang river basin [J]. Guizhou Science 2006 24(2): 39 – 43 [张冬青, 何腾兵, 林昌虎, 等. 贵州乌江流域喀斯特土壤物理性质的研究[J]. 贵州科学 2006 24(2): 39 – 43]
- [18] Li Yangbin, Xie Deti. Features of water-stable soil aggregate structure under different use in Karst mountains [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2001 15(4): 122 – 125 [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]
- [19] Zhang Zhiwei, Fu Wali, Zhang Hong. Study on structural stability of Limestone Soil and its influencing factors [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2009 23(1): 164 – 168 [张治伟, 傅瓦利, 张洪, 等. 石灰岩土壤结构稳定性及影响因素研究[J]. 水土保持学报 2009 23(1): 164 – 168]
- [20] Wang Yu, Han Xing, Zhao Lanpo. Composition characteristics of black soil aggregates on sloping Farmland [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation 2010 30(5): 88 – 90 [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]
- [21] Gong Wei, Hu Tingxing, Wang Jingyan. Study on fractures of soil aggregate structure under natural evergreen broadleaved forest and artificial regeneration in south Sichuan Province [J]. Chinese Journal of Plant Ecology 2007 31(1): 56 – 65 [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]
- [22] Huang Shaoyan, Zha Xuan. Study on soil erosion process and evolution of soil physico chemistry characteristics on sloping farmland [J]. Mountain Research 2002 20(3): 290 – 295 [黄少燕, 查轩. 坡耕地侵蚀过程与土壤理化特性演变[J]. 山地学报, 2002 20(3): 290 – 295]
- [23] Cao Guodong, Chen Jiehua, Xia Jun et al. Analysis of soil physical properties under different vegetation type in the alluvial fan area of Mansa river watershed [J]. Acta Ecologica Sinica 2013 33(1): 195 – 204 [曹国栋, 陈接华, 夏军, 等. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质[J]. 生态学报 2013 33(1): 195 – 204]
- [24] Liu Xiaoli, He Yuanqiu, Li Chengliang et al. Distribution and physical properties of soil water-stable aggregates in red soil different in land use and soil fertility [J]. Acta Pedologica Sinica 2008 45(3): 460 – 465 [刘晓利, 何园球, 李成亮, 等. 不同利用方式和肥力红壤中水稳性团聚体分布及物理性质特征[J]. 土壤学报 2008 45(3): 460 – 465]
- [25] Zhan Zhengyan, Li Xiaogang, Zhang Degang, et al. Effects of land-use on organic C concentration and structural properties in alpine grassland soil [J]. Acta Pedologica Sinica 2005 42(5): 777 – 782 [展争艳, 李小刚, 张德罡, 等. 利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量及土壤结构性质的影响[J]. 土壤学报 2005 42(5): 777 – 782]
- [26] Song Zhiwei. Soil fertilizer [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009: 45 – 60 [宋志伟. 土壤肥料[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 45 – 60]
- [27] Yan Ningzhen, Bai Zhongcai, Xu Weihong et al. Land use effect on soil aggregates in the karst hilly areas——A case study in Qianjiang, Chongqing (in Chinese). China [J]. Carsologica Sinica, 2011 30(1): 72 – 77 [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]

The Variation of Surface Soil Aggregates in the Degradation Process of the Mountain Red Earth Zone Karst

ZHANG Lei ,WANG Jiaxue ,LIU Baoqiang ,XIAO Mengjing ,CHENG Yanfang ,XU Luyan

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

Abstract: Mountain red earth is the Paleosol influenced by the ancient climate and has been degenerated seriously in recent years. In order to understand the mechanism of degradation and the effects of mountain red earth , and the typical development zone of the mountain red earth in Karst eastern Yunnan of China is chosen to analyze the characteristics of the 0 ~ 20 cm soil surface aggregates under the four different covers in red earth zone. The results indicate that > 0.25 mm water stable aggregate content (WSAC) and mean weight diameter (MWD) are gradually reduced , but the fractal dimension (FD) increased significantly in process of grassland → shrub lands → pine wood → red bare soil. The percentage aggregate destruction (PAD) demonstrated: the law of pine wood < grassland < shrub lands < red bare soil. The surface soil aggregate stability and other physical properties deteriorate , weakening the anti-erosion ability , reduce the organic content of mountain red earth from vegetation to no vegetation (red bare soil) degradation process. At the same time , characteristics of soil aggregates grassland , shrub lands , pine wood between change significantly , yet not accurately reflect the degradation process between vegetation. The research also indicated that The stability index of water-stable aggregates (WSAC , WMD) shows a significant negative correlation with bulk density , significant negative correlation with Particle density , and significant positive correlation with total porosity and venting quality. Soil organic matter on the stability and other physical properties of water-stable aggregates with a role in promoting. Conservation of vegetation is the key to improving the structural condition of the mountain red earth.

Key words: karst; mountain red earth; aggregate characteristics; factors