

DOI: 10.5846/stxb201410202056

成艳红,武琳,孙慧娟,钟义军,孙永明,章新亮,黄尚书,黄欠如.稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成及有机碳含量的影响.生态学报, 2016,36(12): - .

Cheng Y H, Wu L, Sun H J, Zhong Y J, Sun Y M, Zhang X L, Huang S S, Huang Q R. Effects of straw mulching and *Vetiver* grass hedgerows on the size distribution of the soil water stable aggregates and aggregate-associated organic carbon in red soil. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): - .

稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成及有机碳含量的影响

成艳红,武琳,孙慧娟,钟义军,孙永明,章新亮,黄尚书,黄欠如*

江西省红壤研究所/国家红壤改良工程技术研究中心, 南昌 330046

摘要:基于植物篱和秸秆覆盖控制红壤坡耕地水土流失的长期定位试验,研究香根草篱(H)、稻草覆盖(M)、香根草篱+稻草覆盖(HM)水保措施下红壤水稳性团聚体组成及有机碳分布特征。结果表明:与常规等高农作模式(CK)相比,草篱、稻草覆盖、草篱+稻草覆盖模式下土壤总有机碳含量提高 0.07—2.42 g/kg。草篱对土壤团聚体组成及其结合有机碳的影响在篱内效果显著,随着与草篱距离增大影响减弱。草篱和稻草覆盖对土壤团聚体组成和结合有机碳含量的影响不同,草篱主要增加>2 mm 水稳性团聚体含量及其结合有机碳含量,稻草覆盖增加<0.25 mm 水稳性团聚体含量及其结合有机碳含量。综合来看,草篱和稻草覆盖相结合对改善坡面土壤结构作用稳定。土壤有机碳含量较高时,土壤总有机碳含量与粒径>2mm 的大团聚体有机碳含量呈显著正相关($r=0.659$);随着有机碳含量降低,土壤总有机碳含量与土壤 0.25—0.053 mm 和<0.053 mm 微小团聚体碳含量相关性逐渐增大。

关键词:稻草覆盖;香根草篱;红壤;水稳性团聚体组成;团聚体结合碳

Effects of straw mulching and *Vetiver* grass hedgerows on the size distribution of the soil water stable aggregates and aggregate-associated organic carbon in red soil

CHENG Yanhong, WU Lin, SUN Huijuan, ZHONG Yijun, SUN Yongming, ZHANG Xinliang, HUANG Shangshu, HUANG Qianru*

Red Soil Institute of Jiangxi Province, National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 330046, China

Abstract: The sloping fields of red soil are the main source of agricultural production in south China. A specific soil parent material, red soil helps decrease erosion resistance. Furthermore, the combination of population increase and reduction of cropland increases soil erosion significantly, which significantly restricts the region's socio-economic development and ecological environment construction. Soil aggregates are the basic unit of soil structure, and their formation and stabilization have a direct impact on runoff and the loss of red soil in sloping farmland. The formation and stabilization of soil aggregates is a natural process influenced significantly by soil properties, soil organic carbon (SOC) in particular. Hedgerow and straw mulching, which are listed as important factors affecting the soil organic carbon and aggregate content by increasing the input of soil organic matter and improving soil water-stable aggregate (WSA) stability, are considered reasonable methods of restoring and reconstructing the fertility of eroded soil in red slope farmland. Compared to mulching, a hedgerow is a

基金项目:国家青年自然科学基金(41301235);江西省科技支撑项目(20151BBF60060);“十二五”国家科技支撑(2012BAD05B00);水利部行业专项(201301050)

收稿日期:2014-10-20; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qianruhuang@163.com

vegetative barrier preferably placed along a topographical contour perpendicular to the direction of water flow in the field, in order to trap sediments and reduce runoff velocity. The effect of trapping sediments and reducing runoff varies depending on the distance of the soil from the hedgerow. Most preliminary studies have focused on the effect of either hedgerow installation or mulching on soil and water conservation, soil nutrient condition, non-point pollution, composition and fractal features of soil micro-aggregates. Very few studies have investigated the effect of both hedgerows and mulching on the soil water stable aggregate size distribution and aggregate-associated organic carbon, especially the WSA distribution characteristics on the slope. Based on field soil and water conservation experiments we designed and carried out beginning in 2009, hedges of *Vetiver Grass* (H), rice straw mulching (M), and hedges of *Vetiver Grass* + rice straw mulching (HM) were applied to sampling plots to investigate the effect of biological metrics of water and soil conservation on soil water-stable aggregate stability (WSA) and aggregate-associated organic carbon content. Additionally, this study reports the area of influence of hedges on the soil structure and soil organic carbon, using *Vetiver Grass* hedges as an example. The soil was sampled at 0 m, 2 m, and 4 m uphill of the hedge. The results indicate that, compared to conventional cultivation (CK), the organic carbon content in the H, M, and HM treatments increased by 0.07—2.42 g/kg. The effect of *Vetiver Grass* on WSA size distribution and aggregate-associated organic carbon decreases gradually as the distance from hedge increases. H treatment increases the macro-aggregate (> 2 mm) content and the aggregate-associated organic carbon, whereas M treatment increases the micro-aggregate (< 0.25 mm) content. Overall, HM treatment is the best in terms of improving slope red soil structure. These results indicated a significant positive correlation between soil organic carbon and the organic carbon content of the macro-aggregates (> 0.25 mm) in the soil. These results will play an important role in establishing reasonable measures of soil and water conservation measurement and determining good method of facilitating carbon accumulation in red slope farmland of southern China.

Key Words: straw mulching; *Vetiver Grass* Hedgerows; red soil; size distribution of the soil water stable aggregates; aggregate-associated organic carbon

红壤坡耕地是我国重要的土壤资源,水、热、光资源丰富,是我国重要的农业生产区域,但长期以来因自然和人为因素的干扰,该区已成为红壤区水土流失的主要策源地^[1-2],水土流失也成为导致红壤退化和生产能力下降的主要原因。土壤团聚体是土壤结构的基本单元,其数量和质量在保证和协调土壤中水肥气热、供应及转化土壤营养元素、维持和稳定土壤疏松熟化层等方面都发挥重要作用^[3-5]。其中,水稳性团聚体(water stable aggregate, WSA)的数量和稳定性是制约土壤抗蚀性和抗冲性最重要的因子^[6]。土壤有机碳作为水稳性团聚体形成的主要胶结物质,其含量与水稳性团聚体的数量与稳定性关系密切^[7-9],而不同粒级团聚体对土壤碳的保蓄能力也存在一定差异^[10-11]。因此,土壤团聚体组成及其有机碳含量一直是评价土壤结构特征和抗蚀性的重要指标。

草篱、秸秆覆盖等生物水土保持措施(生物水保措施)在有效减流减沙,保持坡地水土的同时^[12],对增加土壤有机质,改善土壤团粒结构,提高水稳性团聚体的数量和质量,增强土壤抗侵蚀能力效果显著^[13-15],被认为是恢复和重建侵蚀型红壤的有效措施。草篱通过机械拦阻可以控制坡面土壤侵蚀,而草篱根系分泌物和植物残体分解又可以增加土壤有机碳含量,因此坡面土壤团聚体分布及其结合有机碳含量可能与草篱的空间距离密切相关。然而,以往研究多集中在水保措施对土壤团聚体组成和稳定性、土壤养分状况及其水保效果的影响,且大多集中在草篱、覆盖等单一措施下,对草篱与覆盖相结合措施下土壤水稳性团聚体分布研究很少,而关于水保措施下土壤水稳性团聚体组成及有机碳含量、水稳性团聚体在坡面的分布特征则是鲜见报道。

本文采用始于 2009 年的红壤坡地不同生物水保措施的水保效果野外试验,研究香根草篱、稻草覆盖及二者结合与花生互作对土壤水稳性团聚体及与其结合有机碳分布特征。同时,以草篱为参照物,采集上坡位篱间(0m)、篱前 2m 和 4m 位置的表层原状土样,研究草篱对土壤结构及有机碳含量的空间影响距离。旨在为

探讨侵蚀红壤结构重建的途径,筛选更利于红壤坡地土壤结构改良和碳累积的合理管理模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于江西省进贤县江西省红壤研究所水土保持试验站(116°20'24"E, 28°15'30"N)。该区属中亚热带季风气候,年均降雨量 1537 mm,年蒸发量 1100—1200 mm,干湿季节明显,3—6 月为雨季,降雨量占全年雨量 61%—69%;7—9 月为旱季,蒸发量占全年蒸发量的 40%—59%;年均气温 17.7—18.5 ℃。地形为典型低丘(海拔高度 25—30 m)。土壤为第四纪黏土母质发育的红壤旱地,供试土壤的基本理化性质如下:pH (H₂O) 5.0,有机质 16.2 g/kg,全氮 1.93 g/kg,全磷 0.66 g/kg,有效磷(Olsen-P) 6.8 mg/kg,全钾 1.39 g/kg。土壤容重 1.27 g/cm³,土壤总孔隙度 58.4%,土壤砂粒、粉粒和粘粒的组成分别是 16.31%、42.35%、41.35%。

1.2 试验设计

该试验站始于 2009 年,设置等高花生常规耕作(CK)、花生+香根草篱(H)、花生+稻草覆盖(M)、花生+香根草篱+稻草覆盖(HM) 4 个处理,3 次重复,完全随机排列。各处理基础肥力及花生种植方式和农事操作相同。样地坡度 10°,小区面积 120 m²(24 m×5 m)。供试花生品种为粤油“991”,种植密度为 32 cm×20 cm,花生等高种植,对照小区和秸秆覆盖小区种植 72 行,草篱小区和草篱+秸秆覆盖小区种植 66 行(其余 6 行为草篱)。香根草(*Vetiveria zizanioides*)篱每隔 8 m 双行种植,株行距为 50 cm×50 cm,试验期间确保香根草定期刈割至 30—50 cm。土地翻耕后均匀播撒石灰 1875 kg hm⁻²,播种前施三元复合肥 416.7 kg hm⁻²,钙镁磷肥 525 kg hm⁻²。覆盖稻草处理花生播种后每个小区均匀覆盖干稻草 4500 kg hm⁻²。

5a 的试验结果表明,与对照相比,草篱、稻草覆盖、稻草覆盖+草篱处理分别能降低地表径流 11.2%—35.1%、30.9%—50.7%和 41.2%—86.2%;土壤侵蚀模数分别降低 82.8%—97.5%、92.3%—97.3%和 94.9%—99.5%,对阻控红壤坡耕地水土流失起到了显著作用。

1.3 测定方法与数据分析

于 2013 年 9 月(花生收获后一个月)在试验小区的上坡位香根草篱带间(0 m)和距其上部边缘 2 m、4 m 处采集耕层 0—15 cm 原状土,无篱小区沿等高线采集相同坡位原状土样,每个土样为等高线上 6 个采样点的混合样。待土壤样品达土壤塑限含水量条件,沿土壤自然破碎面将土样掰开,过 8 mm 筛,并除去植物残体、可见根系及石块后,采用湿筛法分离土壤水稳性团聚体,并进行常规理化指标分析^[10]。

本文对无篱处理取 0 m、2 m、4 m 三个采样点数值的均值进行比较。试验结果通过 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和相关分析。多重比较选择 Duncan 极值法,显著性水平为 5%。绘图采用 Origin8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 稻草覆盖和香根草篱对土壤总有机碳含量的影响

各处理不同采样点土壤总有机碳含量见图 1。草篱(H)、覆盖(M)和草篱+覆盖(HM)处理土壤总有机碳含量均高于常规耕作处理(CK)土壤,平均提高 0.07—2.42 g/kg。CK 与 M 处理 0 m、2 m、4 m 三采样点有机碳含量的均值比较表明,M 处理土壤总有机碳含量较 CK 处理提高 7.1%。有篱处理 H 和 HM 处理 0 m、

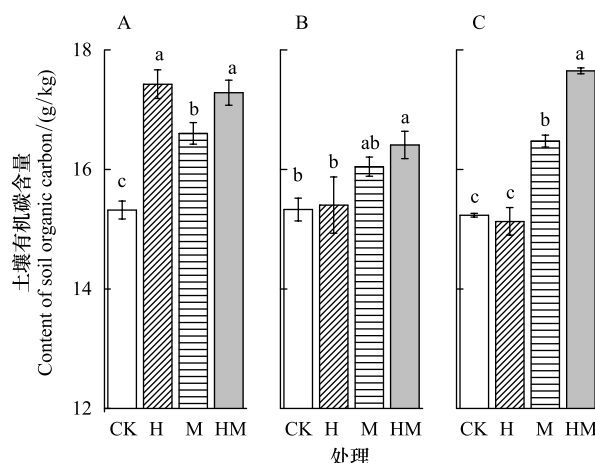


图 1 水保措施对土壤总有机碳含量的影响

Fig.1 Content of soil organic carbon under different biological measures of water and soil conservation

A: 篱间 0 m; B: 篱前 2 m; C: 篱前 4 m, 同采样带不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2 m、4 m 三采样点土壤总有机碳含量的对比结果表明:两个处理的土壤有机碳含量均以篱间(0 m)最高,但二者之间差异不显著;随着距草篱距离的增大,H 处理土壤总有机碳含量逐渐下降,而 HM 处理土壤总有机碳含量在空间上没有明显的规律,差异不显著。这说明,香根草篱根系及其分泌物和稻草等外源碳的投入可以显著增加土壤总有机碳含量。但草篱以带状方式通过其根系分泌物或枯枝落叶归还土壤,其对土壤总有机碳含量的影响受篱空间距离的制约,距离草篱越远,影响越小,而草篱和稻草覆盖相结合兼具了草篱和秸秆覆盖对提高土壤有机碳含量的作用,效果尤为明显。

2.2 稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成的影响

与 CK 相比,M 处理土壤中>2 mm 的水稳性团聚体的含量平均增加 9.1%。与 CK 处理相比,H 和 HM 处理篱内土壤>2mm 的水稳性团聚体的含量分别提高 5.77 和 8.23 个百分点,而<0.053 mm 团聚体含量显著降低。随着距草篱距离的增大,草篱对土壤>2 mm 水稳性团聚体含量影响减弱,2 m 和 4 m 采样点土壤>2 mm 水稳性团聚体含量与 CK 间均没有显著差异;与单独草篱处理不同,草篱+秸秆覆盖处理 2 m 采样点土壤>2 mm 水稳性团聚体含量显著高于 CK 处理,提高达 11.38 个百分点。与单独草篱(H)相比,有稻草覆盖处理(M 和 HM)分别增加<0.053 mm 水稳性团聚体含量 0.4%—12.7% 和 0.8%—13.6%,这与香根草篱与稻草覆盖对红壤坡耕地地表径流的影响及有机碳归还的方式和影响范围不同有关。

表 1 不同粒径水稳性团聚体的百分含量

Table 1 The distribution of different size of soil water stable aggregates under different biological measures of water and soil conservation (mean±SD)

采样距离 Sample distance/m	处理 Treatments	不同粒径水稳性团聚体占总团聚体重量的比例 Dry weight proportion of different size water stable aggregates/%			
		>2mm	2—0.25mm	0.25—0.053mm	<0.053mm
0	CK	14.95±0.61c	58.68±1.73a	4.68±0.47a	21.68±1.96b
	H	20.72±0.63b	57.61±1.16a	3.26±0.15b	18.41±1.08c
	M	19.97±0.75b	49.07±1.54c	1.83±0.19c	29.13±0.79a
	HM	23.18±0.49a	54.57±0.84b	5.03±0.43a	17.22±0.72c
2	CK	16.62±0.77b	57.88±3.31a	3.44±0.82a	22.05±3.20a
	H	16.63±1.50b	59.69±3.55a	3.94±0.67a	19.74±3.36a
	M	14.46±0.52b	60.85±0.68a	4.52±0.45a	20.17±0.90a
	HM	28.00±2.22a	47.28±2.78b	3.02±0.49a	21.70±1.44a
4	CK	14.40±2.19a	64.71±1.51a	3.77±0.47ab	17.12±0.63b
	H	13.49±1.25a	67.01±2.77a	4.64±0.46a	14.86±1.81b
	M	15.71±1.97a	63.86±5.29a	2.73±0.12b	17.70±3.71b
	HM	17.80±2.55a	50.89±3.06b	2.90±0.53b	28.41±1.55a
平均值 Mean	CK	15.33±1.12	60.43±3.73	3.96±0.64	20.28±2.75
	M	16.71±2.87	57.93±7.81	3.03±1.37	22.34±6.02

采样距离指距草篱根系的距离。Conventional cultivation (CK): 常规等高农作; Hedgerows (H): 香根草篱; Mulching (M): 稻草覆盖; Hedgerows and Mulching (HM): 香根草篱+稻草覆盖。同列不同字母表示同采样点同一粒径团聚体下不同处理间的差异达显著水平 ($P < 0.05$) (Duncan)

2.3 稻草覆盖和香根草篱对各粒径水稳性团聚体有机碳分布的影响

本研究中,所有处理均表现出<0.25 mm 水稳性微团聚体有机碳的含量显著高于>0.25mm 水稳性大团聚体(表 2)。在相同粒径水稳性团聚体中,与 CK 相比,M 处理 2—0.25 mm、0.25—0.053 mm 和<0.053 mm 粒径团聚体有机碳含量分别增加了 7.6%、16.8% 和 14.7%,表明,红壤坡耕地增施外源有机物可以显著增加水稳性微小团聚体有机碳的含量;单独草篱(H)处理对各粒级水稳团聚体有机碳含量没有显著影响;而 HM 处理增加了>2 mm 和<0.053 mm 团聚体碳含量。与 CK 相比, HM 处理篱内土壤>2 mm 团聚体有机碳含量显著增

加 13.0%;随着采样点距香根草篱距离的增大, HM 处理逐渐由增加 < 0.25 mm 微小团聚体有机碳含量到增加 < 2 mm 中微小团聚体有机碳含量, 说明, 单独草篱对红壤坡耕地土壤水稳团聚体有机碳含量没有明显影响, 而草篱和稻草覆盖相结合的水保措施可以增加各级水稳性团聚体有机碳含量, 且这种影响与草篱的空间分布有关。

表 2 不同水保措施下不同粒径团聚体中有机碳含量 (g/kg)

Table 2 Content of organic carbon in different size aggregates (g/kg)

采样距离/m Sample distance	处理 Treatments	不同粒径团聚体有机碳含量 (g/kg) Contents of aggregate-associated organic carbon of different size water stable aggregates			
		> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.053mm	< 0.053mm
0 m	CK	15.32±0.27b	15.58±1.03a	17.54±0.28b	17.65±0.55b
	H	16.18±0.20ab	15.60±0.29a	19.07±0.53ab	19.27±0.45ab
	M	15.70±0.20b	16.38±0.37a	19.26±0.52a	21.57±0.53a
	HM	17.31±0.37a	16.19±0.80a	17.60±0.44b	19.86±1.27ab
2 m	CK	14.81±0.16a	14.25±0.44a	16.47±0.49b	17.97±0.33c
	H	15.70±0.72a	15.20±0.34a	17.46±0.21b	18.88±0.20bc
	M	14.74±0.20a	15.52±0.75a	19.80±0.40a	19.74±0.55ab
	HM	15.88±0.33a	15.67±0.29a	20.17±0.42a	20.92±0.41a
4 m	CK	15.45±0.12ab	14.27±0.17b	17.88±0.61bc	17.75±0.51b
	H	14.67±0.47b	13.34±0.39b	16.79±0.71c	17.52±0.48b
	M	14.90±0.05b	15.56±0.51a	21.57±0.11a	19.92±0.42a
	HM	16.04±0.24a	15.90±0.19a	18.87±0.71b	19.71±0.42a
平均值 Mean	CK	15.19	14.70	17.30	17.79
	M	15.12	15.82	20.21	20.41

CK: 常规等高农作; H: 香根草篱; M: 稻草覆盖; HM: 香根草篱+稻草覆盖

不同粒径土壤团聚体含量与其有机碳含量及土壤总有机碳 (SOC) 之间存在着明显的相关关系 (表 3)。SOC 含量与各级团聚体碳含量之间均呈正相关, 相关系数为 0.200—0.820。在香根草篱内土壤中, SOC 与粒径 > 2 mm 的大团聚体有机碳含量呈显著正相关 ($r = 0.659$); 而随着采样点距草篱距离的增大, SOC 含量与土壤 0.25—0.053 mm 和 < 0.053 mm 微小团聚体碳含量相关性逐渐增大。

表 3 不同粒级水稳性团聚体有机碳含量及土壤总有机碳的相关系数

Table 3 Linear correlation coefficients of the relationship between organic carbon in water-stable aggregates and SOC

采样距离/m Sample distance	不同粒径团聚体碳 Organic carbon in different size aggregates (g/kg)	不同粒径团聚体比例 (A) / % Dry weight proportion of different size water stable aggregates				总有机碳 SOC / (g/kg)
		> 2mm	2~0.25mm	0.25~0.05mm	< 0.053mm	
0 m	> 2 mm	0.824 **	0.005	0.325	-0.527	0.659 *
	2~0.25 mm	0.271	-0.231	-0.143	0.281	0.200
	0.25~0.05 mm	0.234	-0.681 *	-0.757 **	0.255	0.464
	< 0.053 mm	0.511	-0.719 **	-0.575	0.363	0.430
2 m	> 2 mm	0.357	-0.08	-0.088	-0.386	0.553
	2~0.25 mm	0.229	-0.185	-0.416	0.103	0.450
	0.25~0.05 mm	0.464	-0.312	0.094	-0.178	0.737 **
	< 0.053 mm	0.691 *	-0.481	-0.061	-0.174	0.691 *
4 m	> 2 mm	0.051	-0.4	-0.491	0.572	0.618 *
	2~0.25 mm	0.217	-0.447	-0.851 **	0.600 *	0.820 **
	0.25~0.05 mm	-0.017	-0.064	-0.783 **	0.216	0.459
	< 0.053 mm	0.482	-0.574	-0.864 **	0.624 *	0.701 *

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3 讨论

3.1 水土保持对红壤坡耕地土壤水稳性团聚体分布的影响

植物篱和秸秆覆盖等生物水土保持措施在保持坡地水土,改善土壤团粒结构等方面效果显著^[16-17]。研究表明,植物篱显著提高了土壤各粒级团聚体含量,尤其是大粒级团聚体^[14],秸秆覆盖能有效提高 >0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量^[18]。本研究中,香根草篱和稻草覆盖单独处理以及二者结合都增加了 >2 mm 土壤水稳性团聚体含量,这主要因为香根草篱或稻草覆盖都增加了新鲜有机物料的输入,植物根系、微生物及他们的代谢产物增多,土壤中有机胶结物质增多,从而促进了 >2 mm 水稳性团聚体的形成^[3]。与香根草篱处理不同,稻草覆盖还增加了 <0.053 mm 微团聚体的含量,原因可能与两种水土保持措施的水保效应及机理不同有关。植物篱的控蚀机理主要通过地上部的拦截作用和地下根系及根系分泌物改善土壤结构^[13],因此对土壤水稳性大团聚体的影响主要体现在根系发达的篱间区域;秸秆覆盖不但能减弱雨滴对地表的溅蚀,同时还延缓了雨水在地表的集聚速度和强度,增强土壤的持水能力,提高了土壤生物活性,进而加快了旱地红壤大小团聚体的转化速率^[19-21]。

3.2 水土保持对红壤坡耕地土壤水稳性团聚体有机碳的影响

土壤有机碳含量及其动态平衡是衡量土壤肥力的重要指标^[13],而系统中碳的投入是影响土壤有机碳的最直接因素。农田系统的碳投入主要来自作物根系及其分泌物、根系残茬、有机肥投入和秸秆还田等^[22-23]。本研究中,H、M 和 HM 外源碳投入分别增加土壤有机碳 0.67、1.05 和 1.79 g/kg,这与黄丽等^[13]研究相似,且在篱间 0 m 采样点植草篱的 H 和 HM 处理增加幅度大于 M 处理,这除了草篱的根系分泌物及其枝叶还田可增加部分土壤有机碳外,等高香根草篱能拦截富含养分的细土颗粒的流失。随着采样点与草篱距离的增大,秸秆覆盖是增加土壤有机碳的主要因素。这是因为植物篱通过拦截作用对土壤理化性质及作物生长的影响与空间距离有关,距离植物篱越近,效果越明显^[24];而外源有机物料稻草在水分作用下腐烂降解成小分子有机物质,直接增加了土壤有机碳含量^[25]。而草篱与稻草覆盖相结合处理中坡地土壤有机碳表现出不同的特点。篱前 4 m 处 HM 处理土壤有机碳含量高于篱前 2 m 处,与以往研究报导的土壤养分在篱前富集,篱下侵蚀的分布规律^[26-27]不一致,可能是因为采样篱带的上方 8 m 处还有一草篱带,在篱带下方密置稻草能促成淤积带发展,有利于延缓径流在带间流动和减少土壤颗粒分离和扩散,影响了坡面养分的再分配,但具体原因还有待于进一步研究。

不同水土保持措施下各粒径团聚体有机碳含量基本上随着粒径的减小而增加,其原因为较小团聚体中有机和无机胶体能紧密结合固持碳,固持的碳不易被微生物分解释放^[3]。但也有研究表明由微团聚体胶结成的大团聚体中有机碳含量更高^[26-27]。H 和 HM 处理增加了大团聚体有机碳含量,这与前人研究结果相似,植被修复首先增加较大粒径团聚体的有机碳含量,新输入的有机碳首先出现在大团聚体中^[28],而 <0.053 mm 微团聚体有机碳含量也相应增加是由于大团聚体内的颗粒有机物有助于微团聚体的形成,伴随颗粒有机物的分解和其他干扰过程,大团聚体破碎后将携带大量养分的微团聚体释放出来^[29]。稻草覆盖提高了土壤微生物活性^[21],加速了颗粒有机物的分解,进而加快了大团聚体向微团聚体的转化,这可能是其增加微团聚体有机碳含量的主要原因。

土壤团聚体碳是土壤碳蓄积与转化的重要机制,各粒级团聚体有机碳含量是土壤有机碳平衡与转化的限制因子,土壤总有机碳是土壤团聚体形成的重要胶结物^[30],而有机碳对大团聚体与微团聚体的胶结模式存在差异。当土壤有机质含量较高时,小粒径团聚体在有机质的胶结作用下团聚成大粒径团聚体,这种胶结过程有效抑制了有机质在空气中的矿化分解。而土壤有机质含量下降后,大粒径团聚体破碎、分解成小粒径团聚体,有机质的物理保护机制则被破坏。本研究中,篱间 0 m 土壤总有机碳含量较高,大团聚体有机碳与土壤有机碳呈显著正相关,随着土壤有机碳含量降低,微团聚体有机碳决定土壤总有机碳含量(表 3),是由于大团聚

体分解成小粒径的团聚体,同时大团聚体有机碳在较短的时间被微生物分解释放供作物吸收利用^[31]。由此说明,本研究中,采用稻草覆盖和香根草篱增加土壤中有机碳含量、提高水稳性大团聚体比例及其碳含量,进而影响有机碳在团聚体内的储备,增强了土壤对碳的固持能力,碳汇功能也相应加强,但两种措施间的协同作用及对红壤旱地有机碳含量的影响机理,有待于进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 于东升,史学正. 低丘红壤区旱地土壤渗透性与可蚀性定量关系的研究. 土壤学报, 2000, 37(3): 316-322.
- [2] 梁音,张斌,潘贤章,史德明. 南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 22-27.
- [3] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报, 2005, 36(3): 415-421.
- [4] Marshall T J, Holmes J W, Rose C W. Soil Physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [5] 彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展. 土壤学报, 2004, 41(4): 618-623.
- [6] Valmisi S, Dimoyiannis D, Danalatos N G. Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece. Soil and Tillage Research, 2005, 80(1/2): 139-147.
- [7] 杨莹莹,魏兆猛,黄丽,陈家宙,蔡崇法. 不同修复措施下红壤水稳性团聚体中有机质分布特征. 水土保持学报, 2012, 26(3): 154-158.
- [8] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils. Australian Journal of Soil Research, 1991, 29(6): 815-828.
- [9] DeGryze S, Six J, Paustian K, Morris S J, Paul E A, Merckx R. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. Global Change Biology, 2004, 10(7): 1120-1132.
- [10] 刘晓利,何园球,李成亮,姜灿灿,陈平帮. 不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征. 土壤学报, 2009, 46(2): 254-262.
- [11] 何淑勤,郑子成,宫渊波. 不同退耕模式下土壤水稳性团聚体及其有机碳分布特征. 水土保持学报, 2011, 25(5): 229-233.
- [12] 钟义军,叶川,黄欠如,章新亮,武琳,孙永明,秦江涛. 红壤缓坡花生地不同水土保持措施效果分析. 中国水土保持科学, 2011, 9(3): 71-74.
- [13] 黄丽,蔡崇法,丁树文,张光远. 几种绿篱梯田中紫色土有机质组分及其性质的研究. 华中农业大学学报, 2000, 19(6): 559-562.
- [14] 蒲玉琳,林超文,谢德体,魏朝富,倪九派. 植物篱-农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征. 应用生态学报, 2013, 24(1): 122-128.
- [15] 郭伟,史志华,陈利顶,李朝霞,闫峰陵,蔡崇法. 红壤表土团聚体粒径对坡面侵蚀过程的影响. 生态学报, 2007, 27(6): 2516-2522.
- [16] 黎建强,张洪江,陈奇伯,周红芬. 长江上游不同植物篱系统土壤抗冲、抗蚀特征. 生态环境学报, 2012, 21(7): 1223-1228.
- [17] 蔡立群,齐鹏,张仁陟. 保护性耕作对麦-豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响. 水土保持学报, 2008, 22(2): 141-145.
- [18] 王海霞,孙红霞,韩清芳,王敏,张睿,贾志宽,聂俊峰,刘婷. 免耕条件下秸秆覆盖对旱地小麦田土壤团聚体的影响. 应用生态学报, 2012, 23(4): 1025-1030.
- [19] 方堃,陈效民,张佳宝,王伯仁,黄晶,甘再福. 红壤地区典型农田土壤饱和导水率及其影响因素研究. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 67-69.
- [20] 周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105.
- [21] 武琳,黄欠如,叶川,成艳红,钟义军,章新亮,孙永明. 香根草篱对红壤坡耕地坡面土壤酶活性的影响. 土壤, 2013, 45(4): 673-677.
- [22] 范云涛,雷廷武,蔡强国. 湿润速度对土壤表面强度和土壤团聚体结构的影响. 农业工程学报, 2008, 24(5): 46-50.
- [23] 张敬业,张文菊,徐明岗,黄庆海,骆坤. 长期施肥下红壤有机碳及其颗粒组分对不同施肥模式的响应. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 868-875.
- [24] 钟义军,叶川,黄欠如,武琳,成艳红,章新亮,孙永明. 红壤区坡耕地香根草篱对花生生长的空间影响. 草业科学, 2013, 30(2): 231-237.
- [25] 林超文,涂仕华,黄晶晶,陈一兵. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. 生态学报, 2007, 27(6): 2191-2198.
- [26] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,朱锦懋,曾宏达,杨智杰. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响. 生态学报, 2008, 28(2): 702-709.
- [27] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣, Hwat B S, 李秀英,李娟. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [28] 李恋卿,潘根兴,张旭辉. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化. 土壤通报, 2000, 31(5): 193-195.
- [29] Six J, Elliot E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(3): 1042-1049.
- [30] Rattan L. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. Soil Science, 2000, 165(3): 191-207.
- [31] 张曼夏,季猛,李伟,刘华存,王彦杰,张林,潘开文. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响. 应用与环境生物学报, 2013, 19(4): 598-604.