试验研究

种植苎麻对南方坡耕地土壤抗蚀性的影响

成艳红，黄欠如，钟义军，熊春贵，武 琳，孙永明

（江西省红壤研究所/国家红壤改良工程技术研究中心，江西 南昌 331717）

摘 要：基于时空互换法，采用野外典型区域调查和室内分析相结合的方法，分析了南方 4 省（江西、湖南、四川、湖北）不同苎麻种植年限坡耕地土壤抗蚀性的变化特征。结果表明：（1）＞0.25 mm 水稳性团聚体含量，结构体破坏率，＞0.5 mm 水稳性团聚体含量可以作为评价南方种植苎麻坡耕地土壤抗蚀性能的指标；（2）种植苎麻增加了土壤中＞2 mm 和＞0.25 mm 水稳性团聚体的含量，降低了土壤中＞2 mm 和＞0.25 mm 团聚体的破坏率，且其效果随着苎麻种植年限的增加而增强。种植苎麻对增加＞2 mm 团聚体的含量及降低其破坏率的作用尤为突出；（3）所选择的 4 个研究区中，以四川省达州地区种植苎麻提高坡耕地土壤抗蚀性的效果最为突出，其次是湖北省咸宁市。

关键词：苎麻；南方坡耕地；土壤抗蚀性

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)05-0001-05 **中图分类号**：S152.4，S157

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.007

Effect of Ranmie Plantation on Soil Anti-erodibility in Slope Land of Southern China

CHENG Yan-hong, HUANG Qian-ru, ZHONG Yi-jun, XIONG Chun-gui, WU Lin, SUN Yong-ming

(*Jiangxi Institute of Red Soil/National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang, Jiangxi* 331717, *China*)

Abstract: Based on space for time methods, the characteristic of soil anti-erodibility in four provinces(Jiangxi, Hunan, Sichuan, Hubei) planted with ramie for different years in slope land of Southern China were studied. The results showed that: (1) With principal component analysis, the content of ＞0.25 mm, ＞0.5 mm water stable aggregate composition and rate of structure deterioration could be used to indicate the soil anti-erodibility of different slope land planted with ramie; (2) Planting ramie could increase the content of ＞2 mm and ＞0.25 mm water stable aggregate composition, while decrease its structure deterioration rate, and the effects increased with planting time. For content and rate of structure deterioration of ＞2 mm aggregate, the effects are striking; (3) In the four study areas, planting ramie improved soil anti-erodibility most in Dazhou, Sichuan Province, followed by Xianning, Hubei Province.

Keywords: ramie; slope land of Southern China; soil anti-erodibility

坡耕地是南方重要的农业生产资源，面积约有 1.10×10^7 hm^2，在保障人民生产生活、发展农村经济方面发挥了极其重要的作用[1]。长期以来，因自然和人为因素的干扰，坡耕地成为南方水土流失的主要策源地[2]。土壤抗蚀性是指土壤对侵蚀营力分离和搬运作用的抵抗能力，是评价土壤抗侵蚀作用强弱的主要参数之一[3]，其强弱不仅与土壤内在的理化性质密切相关，还与土壤结构及土壤根系分布条件等有着密切的联系[4-5]。

苎麻〔*Boehmeria nivea*(Linn.) Gaudich.〕，多年生草本植物，在南方坡耕地种植具有悠久历史[6-7]。由于其枝繁叶茂，根系发达，可有效降低土壤侵蚀量和地表径流量，而被广泛应用于南方坡耕地水土流失的控制。目前，关于苎麻在水土流失治理和生态恢复中的水土保持效果已经取得一系列重要进展[8-9]。研究表明，红壤坡耕地种植苎麻对比种植花生分别减少年土壤径流量和侵蚀量 39.2%和 13.1%[9]；不同坡度的耕地种植苎麻后，5°，15°，25°麻地的年土壤侵蚀

收稿日期：2013-10-31 修回日期：2013-11-08

资助项目：国家青年自然科学基金项目“生物水保措施下红壤坡耕地团聚体的微生物稳定机制”(41301235)；“十二五”国家科技支撑计划重点项目“红壤耕地水分扩容技术研究集成与示范”(2011BAD41B01)；“十二五”国家科技支撑计划重点项目“红壤地区农田水土保持关键技术与示范”(2011BAD31B04)

作者简介：成艳红(1981—)，女(汉族)，内蒙古自治区赤峰市人，博士，助理研究员，主要从事土壤生物与生态修复研究。E-mail:yanhongch007@163.com。

通信作者：黄欠如(1966—)，男(汉族)，江西省樟树市人，博士，研究员，主要从事红壤生态及水土保持研究。E-mail:qianruhuang@163.com。

量比对照分别减少了 3 885,10 315,14 196 t/km^2,其水保效果与 5 年生的幼林相近[10]。但是,目前尚缺乏南方不同地区,不同苎麻种植年限坡耕地土壤抗蚀性的比较。同时,评价土壤抗蚀性的指标繁冗复杂,受水土流失研究工作自身的限制,尤其是样地较多时应用起来很不方便,因此国内外学者就此进行了大量的研究[11-14]。然而,关于南方种植苎麻坡耕地土壤抗蚀性的代表性土壤理化指标研究尚未见报道。

因此,本文根据中国苎麻分布特点,选择江西、湖南、四川和湖北省等 4 个南方苎麻主要种植区,基于时空互换法,采用野外典型样地调查和室内分析相结合,分析南方 4 省不同苎麻种植年限坡耕地土壤抗蚀性变化特征,并通过主成分分析法筛选出具有代表性的反映土壤抗蚀性的土壤理化指标,旨在为推动南方坡耕地苎麻产业发展,为开展不同利用方式坡耕地快速、准确土壤抗蚀性评价提供技术参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区均位于亚热带季风湿润气候区,年均气温 14.7～17.6 ℃,年均降雨量 1 076～1 720 mm,土壤类型差异明显。苎麻种植历史悠久,面积大。采集 4 个省份不同麻龄样地土壤样品共 19 个,其中非种植苎麻坡耕地代表当地土壤的原始利用状况(具体采样点信息见表 1)。

表 1 采样点的概况

土样号	采样地点	土壤质地及坡度	植被种类	种植年限
Y_0	江西省宜春市	红黏土 8°～10°	芝麻	—
Y_1			苎麻	1
Y_5			苎麻	5
Y_{10}			苎麻	10
Y_{15}			苎麻	15
Z_0	湖南省张家界市	黄 壤 10°～15°	裸露	—
Z_5			苎麻	5
Z_8			苎麻	8
Z_{10}			苎麻	10
Z_{15}			苎麻	15
D_0	四川省达州市	紫色土 10°～20°	玉米	—
D_5			苎麻	5
D_{10}			苎麻	10
N_0	湖北省咸宁市	红黄壤 20°～25°	绿豆	—
N_5			苎麻	5
N_{10}			苎麻	10
N_{15}			苎麻	15
N_{20}			苎麻	20
N_{25}			苎麻	25

1.2 样品采集及研究方法

在野外实地调查的基础上,根据各省份不同植麻年限苎麻地的地理位置和施肥情况进行综合考虑,选择成土母质相同、地理位置相对集中、施肥情况相似及麻龄与植麻年限一致的苎麻地为采样对象。在每个采样点随机布设 3 个典型样方,每个样方采用棋盘法均匀设置 12 个采样点,土壤采样深度为 0—20 cm,原状土用塑料盒(长×宽×高=25 cm×12 cm×5 cm)保存,尽量保持土壤结构完整;同时另外采集混合土样用于土壤有机质等理化性质测定,测定方法参照《土壤农业化学分析方法》[15]。

将原状土沿土壤缝隙掰成 10 mm 大小的土块,风干后分 2 份备用。一份用干筛法和湿筛法分别测定>2,1～2, 0.5～1, 0.25～0.5, 0.053～0.25 和<0.053 mm 的各级风干团聚体和水稳定性团聚体含量(沙维诺夫法)[16];一份磨细后过 2 mm 筛,分别测定土壤微团聚体含量及机械组成。土壤机械组成和微团聚体采用吸管法[17]进行测定。

1.3 土壤抗蚀性指标评价

土壤抗蚀性指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力[4]。衡量土壤抗蚀性的指标很多,一般分为 4 类:(1) 水稳性团粒类,主要指水稳性团粒含量;(2) 无机黏粒类,主要有结构性颗粒指数、小于 0.001 mm 胶粒含量、小于 0.01 mm 物理性黏粒含量、小于 0.05 mm粉黏粒含量;(3) 微团聚体类,主要有团聚状况、团聚度、分散率、分散系数;(4) 有机胶体类,代表性指标有机质。本文在对已有研究成果进行分析的基础上,结合土壤的结构特点,选取土壤机械组成、水稳性团聚体、微团聚体类、有机质 4 类 12 个指标对表 1 中所列全部土样进行土壤抗蚀性特征研究。其中土壤机械组成类包括<0.05 mm 粉黏粒含量(X_1),<0.01 mm 物理性黏粒含量(X_2),<0.001 mm 胶粒(细黏粒)含量(X_3)和结构性颗粒指数(X_4);水稳性团聚体类包括> 0.25 mm 水稳性团聚体含量(X_5),>0.5 mm 水稳性团聚体含量(X_6),稳定性指数(X_7)和团聚体破坏率(X_8);微团聚体类包括团聚状况(X_9),团聚度(X_{10}),分散率(X_{11})和有机胶体类的有机质含量(X_{12})。

X_4=细黏粒含量(<0.001 mm)/粉粒含量(<0.001～0.05 mm);X_7=稳定性指数(ASI)采用转移矩阵法[17];X_8=结构破坏率(%)=〔>0.25 mm 团聚体分析值(干筛—湿筛)〕/(>0.25 mm 团聚体干筛分析值)×100%[18]; X_9=(>0.05 mm 微团聚体分析值)—(>0.05 mm 机械组成分析值);X_{10}= 团聚状况/

(>0.05 mm 微团聚体分析值);X_{11}=(<0.05 mm 微团聚体分析值)/(<0.05 mm 机械组成分析值)。

1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行主成分和回归分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行差异显著性检验;Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 南方种植苎麻坡耕地土壤抗蚀性代表指标筛选

由表 2 可知,前 3 个主成分 Y_1,Y_2,Y_3 累计贡献率已经达到 90.42%,损失的信息量只有 9.58%,可以满足主成分分析对信息损失量的要求。对于第 1主成分,> 0.25 mm 水稳性团聚体含量(X_5),>0.5 mm 水稳性团聚体含量(X_6),团聚体破坏率(X_8)的相关系数较高;对于第 2 主成分,<0.05 mm 粉黏粒含量(X_1),团聚状况(X_9),团聚度(X_{10})的相关系数较高;对于第 3 主成分,结构性颗粒指数(X_4),<0.001 mm 胶粒(细黏粒)含量 (X_3)的相关系数较高。根据 3 个主分量组合而成的排序图可知,第 1 类为水稳性团聚体类因子,第 2 类为粉黏粒含量因子与水稳性指数,第 3 类为细黏粒含量因子。

表 2　南方种植苎麻坡耕地抗蚀性指标 PCA 分析

主成分	指标因子负荷量												特征根	累计贡献率/%
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}		
Y_1	0.05	0.25	0.32	0.24	0.93	0.91	0.87	−0.93	0.27	0.13	−0.78	0.67	4.69	39.10
Y_2	0.99	0.66	0.33	−0.15	0.21	0.18	−0.01	0.03	0.95	0.99	−0.46	0.24	3.76	70.46
Y_3	0.05	0.66	0.88	0.95	0.23	0.31	0.23	−0.21	0.08	0.04	−0.19	0.01	2.40	90.42

由于主成分 1 的贡献率最大,为 39.10%,说明以水稳性团聚体类为基础的指标,能较好地衡量本文所取土样的土壤抗蚀性,表明土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量越高,团聚体结构破坏率越小,土壤抗蚀性能越强;主成分 2 的贡献率为 31.39%,说明<0.05 mm粉黏粒含量以及微团聚体类为基础的指标也能很好表现土壤抗蚀性能,粉黏粒含量越高,团聚度越大,团聚状况越好,抗蚀性就越强;主成分 3 的贡献率最小,为 20.07%,说明以细黏粒含量表示土壤抗蚀性能时具有一定局限性,同时也表明<0.001 mm胶粒(细黏粒)含量越高,结构性颗粒指数越高,土壤的抗蚀性越强。因此,>0.25 mm 水稳性团聚体含量(X_5),结构体破坏率(X_8),>0.5 mm 水稳性团聚体含量(X_6)能较好地反映土壤抗蚀性能,可以作为本文评价南方种植苎麻坡耕地土壤抗蚀性能的代表指标。

2.2 不同地区种植苎麻坡耕地土壤团聚体稳定性比较

土壤团聚体即土壤结构,是指由若干土壤单粒通过各种胶结物质黏结在一起形成的疏松多孔的直径<10 mm 的结构单位,是机械稳定性和水稳性团聚体的总和。其中适于作物生长的良好土壤结构往往有赖于直径>0.25 mm 的大团聚体[19],而团聚体在浸水状况下的结构性能和分散强度是鉴定土壤抗蚀性的重要指标[20]。本文以 5 a 为一个时间段,分析了种植苎麻年限对调查样地土壤团聚体稳定性的影响。

结果表明,本研究选取的采样点土壤>0.25 mm 风干土团聚体含量在 86.99%~97.80%,其中> 2 mm 团聚体含量占 64.66%~81.84%,这表明 4 个采样地区土壤团聚状况总体较好,且团聚体中以大粒径团聚体为主(图 1)。>0.25 mm 水稳性团聚体含量在 53.37%~82.85%,较>0.25 mm 风干团聚体含量明显减小;>2 mm 水稳性团聚体含量介于 2.18%~28.18%,仅占> 2 mm 风干团聚体含量的 2.5%~28.8%,说明,4 个采样地区> 0.25 mm 土壤团聚体的水稳性较差,其中尤以>2 mm 的大团聚体的破坏率显著,均在 70%以上。

种植苎麻可以有效降低土壤团聚体的破坏率,但不同地区、不同种植年限苎麻的作用效果不同,但总体来看,随着植麻时间的延长,土壤>2 和>0.25 mm 团聚体的破坏率呈递减趋势(表 3)。从植麻年限与>2 和>0.25 mm 团聚体破坏率的拟合曲线可以看出,江西宜春、湖南张家界、四川达州和湖北咸宁 4 个地区土壤中>2 和>0.25 mm 团聚体破坏率均与植麻年限呈负相关关系,其中湖北咸宁的相关性达到极显著。此外,除湖北咸宁外,种植苎麻对提高其他 3 个采样地区坡耕地土壤>2 mm 团聚体水稳性的作用要大于对应的>0.25 mm 团聚体。同时由拟合曲线还可以看出,种植苎麻对提高土壤>2 mm 团聚体稳定性效果以四川达州最为突出(k=−1.795 5),其次为湖北咸宁(k=−0.623 9)(表 3)。

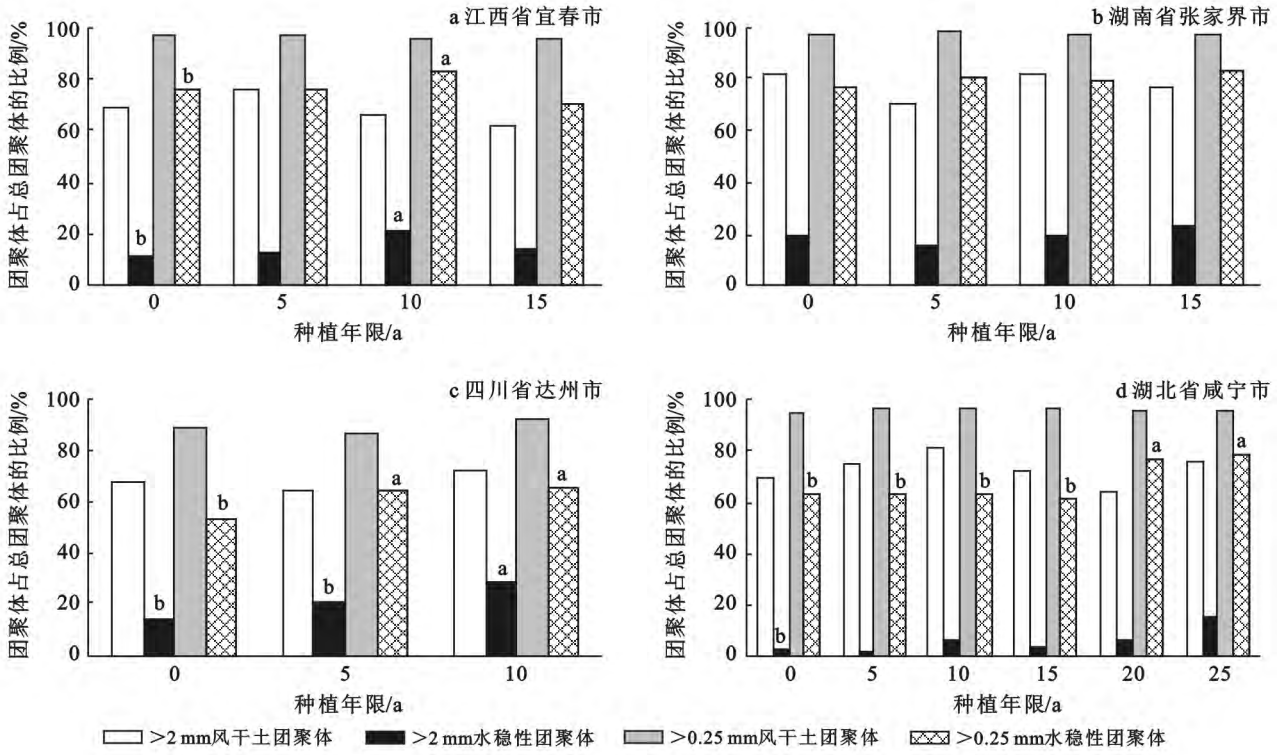


图 1 苎麻地>2 mm 和>0.25 mm 土壤团聚体含量变化特征

注:小写字母代表同一地区苎麻地与非苎麻地的差异在 0.05 水平上差异显著。

表 3 植麻年限与>2 mm 和>0.25 mm 水稳性团聚体破坏率和含量的拟合曲线

采样地点	团聚体粒径/mm	拟合曲线		样本数 n/个
		团聚体破坏率	团聚体含量	
江西省宜春市	>2.00	$y=-0.483\ 6x+85.022(R^2=0.277\ 4)$	$y=0.435\ 2x+10.481(R^2=0.0.308\ 2^*)$	15
	>0.25	$y=-0.160\ 3x+24.126(R^2=0.103\ 2)$	$y=0.459\ 3x+69.739(R^2=0.106\ 2)$	
湖南省张家界市	>2.00	$y=-0.479\ 9x+79.825(R^2=0.259\ 6)$	$y=0.376\ 9x+15.458(R^2=0.215\ 1)$	15
	>0.25	$y=-0.333\ 3x+22.623(R^2=0.330\ 4)$	$y=0.432\ 3x+76.899(R^2=0.332\ 4^*)$	
四川省达州市	>2.00	$y=-1.795\ 5x+78.188(R^2=0.375\ 4)$	$y=1.407\ 5x+14.309(R^2=0.597\ 6^*)$	9
	>0.25	$y=-0.520\ 9x+34.575(R^2=0.054\ 0)$	$y=1.107\ 3x+55.849(R^2=0.469\ 3^*)$	
湖北省咸宁市	>2.00	$y=-0.623\ 9x+99.155(R^2=0.448\ 9^{**})$	$y=0.403\ 2x+1.328\ 6(R^2=0.476\ 8^{**})$	18
	>0.25	$y=-0.887\ 1x+44.617(R^2=0.588\ 9^{**})$	$y=0.656\ 7x+59.845(R^2=0.569\ 6^{**})$	

注:* 表示显著相关;** 表示极显著相关。

土壤水稳性团聚体含量,反映了土壤潜在的抗蚀能力。种植苎麻有效地增加本研究采样地区域坡耕地土壤中>2 和>0.25 mm 水稳性团聚体的含量,从植麻年限与>2 和>0.25 mm 水稳性团聚体含量的拟合曲线(表 3)可以看出,除湖南省张家界外,随着植麻年限的延长江西省宜春市、四川省达州市和湖北省咸宁市 3 地区土壤中>2 mm 水稳性团聚体含量均显著增加;除了江西省宜春地区外,湖南张家界、四川省达州和湖北省咸宁 3 地区土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量与植麻年限均呈显著线性正相关关系。从各采样地区水稳性团聚体含量和植麻年限的拟合曲线还可以看出,种植苎麻对>2 和>0.25 mm 两粒径水稳性团聚体含量的影响在不同地区有明显差异,在四川省达州市种植苎麻显著增加了土壤中>2 mm 水稳性团聚体含量,而在湖北省咸宁市,种植苎麻对提高土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量作用明显。种植苎麻对增加坡耕地土壤中水稳性大团聚体含量的作用以四川省达州地区最为突出,其次为湖北省咸宁市(表 3)。

用于衡量土壤抗蚀性的指标很多,但却繁冗复杂,尤其是样地较多时应用起来很不方便,而且有些指标间信息重叠,相互间具有一定的关联性[21],因此,本文采用 SPSS 统计软件对文中所述的 12 个常用指标进行主成分分析,选择用较少的新指标来综合反映多个指标,以揭示各变量对苎麻地土壤抗蚀性的贡献(表 2)。以往研究依据土壤的物理化学性质,先后提出了很多评价土壤抗蚀性的指标[13-14],总体归结为

有机质、水稳性团粒类、微团聚体类、无机黏粒类,并在不同地区分别探讨了各指标的可用性及优越性[11]。本文分析得出水稳性团粒类中>0.25 和>0.5 mm 水稳性团聚体含量和团聚体破坏率与主成分 1 的相关系数最大,说明此 3 个水稳性团粒类指标可以作为衡量苎麻地土壤抗蚀性能的指标。

土壤团聚体的形成和稳定性主要依赖于土壤中各种胶结物质的数量和性质[22],不同团聚体的稳定机制各不相同。红壤水稳定性大团聚体的形成主要依靠有机质的胶结作用,但在有机质含量较少、铁铝含量较高的土壤中,黏粒和氧化铁铝等无机黏结剂在保持土壤团聚体的稳定性上起到主导作用[23]。植麻地区麻叶、麻杆还地,可以增加土壤有机质,增加土壤中大团聚体的数量,同时苎麻根系分泌物等也是>0.25 mm 的大团聚体胶结的有机胶结物质。以植麻 10 a 为例,苎麻地土壤>2 和>0.25 mm 水稳性团聚体含量分别增加 1.28%~14.18%和 2.57%~11.89%;>2 和>0.25 mm 团聚体破坏率分别降低了 1.78%(湖南)~17.95%(四川)和 0.87%(湖北)~5.21%(四川),而且随着植麻时间的延长,降低幅度越大(表 3)。而不同调查地区苎麻对土壤中>2 和>0.25 mm 含量和破坏率影响的差异可能是因为各地区自身成土母质不同以及苎麻刈割、施肥等外界管理方式不同导致的,具体原因还有待于进一步系统研究。

3　结 论

(1) >0.25 mm 水稳性团聚体含量,结构体破坏率,>0.5 mm 水稳性团聚体含量与南方苎麻坡耕地土壤抗蚀性能的关系最为密切,可以作为评价土壤抗蚀性能的代表指标。

(2) 种植苎麻可以增加土壤中>2 和>0.25 mm 水稳性团聚体含量,降低土壤中>2 和> 0.25 mm 团聚体的破坏率,随着植麻年限的延长效果逐步增强。种植苎麻对增加>2 mm 团聚体的含量及降低其破坏率的作用尤为突出。

(3) 种植苎麻提高坡耕地土壤抗蚀性的效果以四川省达州地区最为突出,其次是湖北省咸宁地区。

[参 考 文 献]

[1] 梁音,张斌.南方红壤区水土流失动态演变趋势分析[J].土壤,2009,41(4):534-539.

[2] 梁音,张斌,潘贤章.南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):22-27.

[3] 史晓梅,史东梅,文卓立.紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J].水土保持学报,2007,21(4):63-66.

[4] 康玲玲,王云璋,刘雪,等.水土保持措施对土壤化学特性的影响[J].水土保持通报,2003,23(1):46-48.

[5] 陈佳,陈洪松,冯腾,等.桂西北喀斯特地区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究[J].中国生态农业学报,2012,20(1):105-110.

[6] 高海军.江西苎麻产业经济发展与对策[J].中国麻业科学,2010,32(2):112-115.

[7] 王栋,揭雨成,邢虎成,等.湘北丘陵区几种旱地苎麻栽培措施研究[J].中国农学通报,2010,26(15):203-206.

[8] 廖绵清,李靖,黄欠如.低丘红壤坡耕地苎麻与花生水土保持效果对比研究[J].土壤,2011,43(4):657-661.

[9] 胡建忠,李蓉,夏静芳,等.振兴苎麻产业:加快南方坡耕地水土流失治理步伐[J].中国水土保持科学,2008,6(5):67-69.

[10] 黄承建,赵思毅.坡耕地苎麻水土保持机理研究[J].中国水土保持,2012,3(4):44-46.

[11] 高维森.土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J].水土保持学报,1991,5(2):60-64.

[12] 汤崇军,郑海金,谢颂华.不同土壤抗蚀性指标对侵蚀泥沙影响的灰色关联度分析[J].水土保持研究,2012,19(2):1-6.

[13] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crust ability and erodibility(Ⅰ):Theory and methodology[J]. European Journal of Soil Science, 1996,47(4):425-437.

[14] 骆东奇,侯春霞,魏朝富,等.紫色土团聚体抗蚀特征研究[J].水土保持学报,2003,17(2):20-23.

[15] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[16] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978:1-245.

[17] 吕文星,张洪江,王伟.重庆四面山不同林地土壤团聚体特征[J].水土保持学报,2010,24(4):192-197.

[18] 蔡丽平,陈光水,谢锦升,等.南亚热带侵蚀赤红壤治理前后土壤抗蚀性的变化[J].水土保持学报,2001,15(6):129-131.

[19] 姜灿烂,何园球,刘晓利,等.长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J].土壤学报,2010,47(4):715-722.

[20] Valmis 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[J]. Soil and Tillage Research, 2005,80(1/2):139-147.

[21] 胡建忠,张伟华,李文忠,等.北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J].土壤学报,2004,41(6):854-863.

[22] 章明奎,何振立,陈国潮,等.利用方式对土壤水稳性团聚体形成的影响[J].土壤学报,1997,34(4):359-366.

[23] 李朝霞,王天巍,史志华,等.降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系[J].水土保持学报,2005,19(1):1-4.