

苕麻对红壤旱地土壤团聚体及其特性的影响

钟义军^{1,2}, 武林^{1,2}, 黄欠如^{1,2}, 廖绵清¹,
叶川^{1,2}, 成艳红^{1,2}, 孙永明^{1,2}, 章新亮¹, 熊春贵¹

(1. 江西省红壤研究所, 江西 南昌 331717; 2. 国家红壤改良工程技术研究中心, 江西 南昌 331717)

摘要: 采用干、湿筛法研究了种植苕麻和花生对红壤旱地土壤团聚体及其特性的影响, 并比较分析了土壤团聚体及土壤理化性质与地表径流和土壤侵蚀量的关系。结果表明: (1) 与花生地相比, 苕麻地有机质、田间持水量、总孔隙度、沙粒分别升高了 28.44%, 10.06%, 5.65% 和 53.13%, 土壤容重、粉粒和黏粒则分别降低了 7.20%, 14.85% 和 34.95%, 均达显著性差异水平 ($p < 0.05$)。 (2) 团聚体平均重量直径 (MWD)、稳定性指数 (ASI) 显著升高 ($p < 0.01$), 苕麻地土壤团聚体稳定性优于花生地; (3) 两处理均以 0.25~1 mm 粒径团聚体保存几率最大, 抗水蚀能力最强。 (4) 地表径流量和土壤侵蚀量与土壤有机质、沙粒含量、>1 mm 的干团聚体、>0.5 mm 的水稳性团聚体、MWD 以及 ASI 呈极显著负相关关系 ($p < 0.01$), 而与粉粒、黏粒、<0.25 mm 干团聚体、<0.053 mm 的水稳性团聚体、呈极显著正相关关系 ($p < 0.01$)。

关键词: 苕麻; 红壤旱地; 土壤团聚体; 地表径流; 土壤侵蚀

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0078-05

中图分类号: S152

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.017

Effect of Ramie on Soil Aggregate and Its Characteristics in Red Soil Region of South China

ZHONG Yi-jun^{1,2}, WU Lin^{1,2}, HUANG Qian-ru^{1,2}, LIAO Mian-qing¹,
YE Chuan^{1,2}, CHENG Yan-hong^{1,2}, SUN Yong-ming^{1,2}, ZHANG Xin-liang¹, XIONG Chun-gui¹

(1. Red Soil Institute of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 331717, China;

2. National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang, Jiangxi 331717, China)

Abstract: The effect of soil physical and chemical properties, soil aggregate and its characteristics of planting ramie and peanuts in red soil were studied by dry, wet sieving method. Moreover, the relationship between soil aggregates and surface runoff and soil erosion were also analyzed. The results indicated that: (1) After three years by planting ramie, soil organic matter, field capacity, total porosity, grains of sand were increased 28.44%, 10.06%, 5.65%, 28.44%, soil bulk density, silt, and clay were reduced by 7.20%, 14.85%, 34.95% ($p < 0.05$); (2) Mean weight diameter (MWD), stability index (ASI) of soil aggregate by planting ramie were significantly higher than that of planting peanut, soil aggregate stability of planting ramie was better than that of peanuts; (3) 0.25~1 mm aggregates is the best chance of preservation of the red soil, and the resist-erosion ability also the strongest. (4) Surface runoff and soil erosion, with soil organic matter, sand content, >1 mm dry aggregates, >0.5 mm water stable aggregates, MWD, ASI were negatively correlated ($p < 0.01$), but were significantly positively correlated with silt, clay content, <0.25 mm, dry aggregates, and <0.053 mm water stable aggregates.

Keywords: ramie; red soil; soil aggregates; surface runoff; soil erosion

土壤团聚体是土壤结构的基本单位, 是土壤的重要组成部分, 其数量的多少在一定程度上反映了土壤供储养分能力的高低^[1-2], 并且其数量分布和空间排

列方式决定了土壤孔隙的分布和连续性, 进而决定了土壤的水力性质, 影响土壤生物的活动^[3]。同时, 水稳性团聚体的数量和分布状况反映了土壤结构的稳

收稿日期: 2013-04-27

修回日期: 2013-06-20

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“红壤耕地次生障碍修复技术与集成示范”(2011BAD41B01-3); 水利部行业专项 (SWCC201201); “十二五”国家科技支撑计划项目 (2011BAD31B04-3); 水利部行业专项 (201301050)

作者简介: 钟义军 (1984—), 男 (汉族), 江西省修水县人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为资源与环境。E-mail: zyjlw2004@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, 主要从事资源与环境、水土保持研究。E-mail: qianruhuang@163.com。

定性、持水性、通透性和抗侵蚀的能力^[4]。目前常用来表征土壤团聚体特性的指标^[5-7]主要有平均重量直径(MWD)、大于0.25 mm团聚体比例($R_{0.25}$)、团粒结构破坏率($PAD_{0.25}$)、团聚体分维数D(CFD)和稳定性指数(ASI)等。

我国南方地区处于亚热带季风区,降雨集中、强度较大,加上人类对土地的不合理利用,土壤退化现象严重,尤其是水土流失造成土壤肥力下降的状况普遍存在^[8]。南方红壤地区仅占全国土地面积的22%,而有研究表明^[9-10],其土壤流失量却占全国总流失量的50%以上,处于轻度、中度和严重退化的土地面积分别占21.5%、49.5%和29%。据统计,江西年水土流失量达 1.64×10^8 t,占土地面积的20%,而且还有不断恶化的趋势,极大制约了当地经济的发展^[11]。苕麻为多年生经济作物,卿太明^[12]1991年在25°以下荒坡紫色土上进行苕麻与水土保持林对比研究试验结果表明,苕麻种植两年后,水土流失轻微,相当于种植5~6 a的水土保持林。廖绵清^[13]等于2009年在红壤荒坡旱地采用径流小区试验对比研究了苕麻与花生的水土保持效益,从不同农艺措施和土壤入渗率等阐述了苕麻水土保持的作用机理。但是,关于种植苕麻对土壤理化性质及团聚体的影响未见报道。本研究在廖绵清^[13]研究基础上,即是种植苕麻4 a后,取样分析了苕麻对红壤旱地土壤理化性质、土壤团聚体及其特性的影响,并探讨了土壤理化性质和团聚体及其特性与地表径流和土壤侵蚀量的关系,以期对红壤旱地种植苕麻降低水土流失的机理有更全面、更深入的理解。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验在江西省红壤研究所水土保持试验站内进行。该试验点的地理位置为116°20'24"N,28°15'30"E。试验区气候温和,雨量丰富,日照充足,无霜期长,属中亚热带季风气候,年均降雨量1 537 mm,年蒸发量1 100~1 200 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℃,最冷月气温(1月)为4.6℃;最热月(7月)平均气温一般在28.0~29.8℃。土壤为第四纪红黏土母质发育的红壤旱地,质地较黏重。肥力中等,于20世纪70年代平整的梯田,排灌设施良好。2009年试验开始前测定土壤基础地力为:pH值5.0,有机质16.2 g/kg,全氮1.93 g/kg,全磷0.66 g/kg,有效磷6.8 mg/kg,全钾1.39 g/kg。

1.2 试验设计

采用径流小区试验,小区坡度为5°,面积200 m²(25 m×8 m),设置花生横坡种植、苕麻等高种植两个处理,每处理重复3次。花生于2012年4月16日播种,8月17日收获,供试花生品种为粤油“991”,种植密度为33 cm×15 cm。苕麻选用赣苕三号,于2009年3月25日移栽,移栽密度为50 cm×30 cm。试验于2012年4月开始,在花生生长季测定地表径流量和土壤侵蚀量。花生收获后(8月20日),沿对应等高线分别取土样测定土壤基本理化性质和土壤团聚体。

1.3 样品测定方法和数据处理

地表径流量采用翻斗仪法测定,土壤侵蚀量采用烘干称重法,土壤有机质采用重铬酸钾加热法测定^[14],田间持水量、土壤容重和孔隙度采用环刀法,土壤pH值采用玻璃电极法,土壤机械组成采用虹吸法,团聚体采用干筛、湿筛法测定,颗粒组成采用吸管法测定^[15];团聚体稳定性评价采用平均重量直径(MWD)和稳定性指数两个指标描述,MWD计算公式为:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \times m_i$$

式中: r_i ——第*i*个筛子孔径(mm), $r_0 = r_1$, $r_n = r_{n+1}$;
 m_i ——第*i*个筛子的破碎团聚体重量百分比。

团聚体保存几率和稳定性指数(ASI)采用转移矩阵法^[16]。

1.4 统计分析

数据处理、统计分析均用Excel和SPSS 16.0软件进行,不同处理间的差异显著性水平采用LSD法进行检验,数据间的相关性分析采用皮尔逊法分析,采用Origin 7.5做图。

2 结果与讨论

2.1 苕麻对土壤理化性质的影响

有研究表明^[17-18],影响土壤团聚体分布特征的主要因素包括土壤有机质、土壤容重、土壤颗粒组成等。从表1可以看出,与花生地相比,苕麻地有机质升高了28.44%,达显著差异($p < 0.05$),其原因主要有:(1)植株还田量不一致,如苕麻根、茎还田量约为11 250 kg/hm²,而花生茎、叶、根还田量约为3 000 kg/hm²;(2)苕麻地地表径流和土壤侵蚀量均显著低于花生地,流失的有机质较少^[13]。(3)有机质的提升则影响了土壤田间持水量、容重和孔隙度的变化,如与花生地相比,苕麻地田间持水量、总孔隙度分

别升高了 10.06% 和 5.65%，土壤容重则降低了 7.20%，均达显著性差异 ($p < 0.05$)。从表 1 中还可以看出，两处理的颗粒组成差异显著，如苕麻地土壤中沙粒含量比花生地高 53.13%，而粉粒和黏粒含量

则下降 14.85% 和 34.95%。黏粒含量高是红壤的主要障碍因素之一^[8]。可见，红壤旱地种植苕麻有利于减少土壤颗粒中沙粒的流失，从而引起土壤颗粒组成发生显著变化。

表 1 供试土壤基本性质

样地	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	田间持水量/ %	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	总孔隙度/ %	沙粒/ %	粉粒/ %	黏粒/ %
花生地	16.22b	36.88b	1.17a	56.04b	32.00b	33.67a	34.33a
苕麻地	20.83a	40.59a	1.08b	59.20a	49.00a	28.67b	22.33b

注：小写字母为 LSD 在 $p < 0.05$ 水平下显著。下同。

2012 年，花生处理的地表径流量和土壤侵蚀量分别为 $57.51 \pm 1.83 m^3/km^2$, $1680.09 \pm 78.58 t/km^2$ ；苕麻处理的地表径流量和土壤侵蚀量分别为 $12.35 \pm 1.13 m^3/km^2$, $416.69 \pm 18.92 t/km^2$ 。从土壤理化性质与地表径流和土壤侵蚀量相关性分析结果(表 2)可以看出，地表径流量和土壤侵蚀量与土壤有机质、沙粒含量呈极显著负相关 ($p < 0.01$)；与田间持水量、总孔隙度呈显著性负相关 ($p < 0.05$)；与土壤中粉粒和黏粒含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$)，与土壤容重呈显著性正相关 ($p < 0.05$)。从这一侧面说明，水土保持是改善红壤坡耕地土壤理化性状的主要手段。

表 2 土壤理化性质与地表径流量和土壤侵蚀量的相关性

土壤理化性质	地表径流	土壤侵蚀量
有机质/($g \cdot kg^{-1}$)	-0.998**	-0.994**
田间持水量/%	-0.866*	-0.847*
容重/($g \cdot cm^{-3}$)	0.897*	0.883*
总孔隙度/%	-0.897*	-0.883*
沙粒含量/%	-0.983**	-0.971**
粉粒含量/%	0.923**	0.899**
黏粒含量/%	0.995**	0.988**

注：*，**：分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 显著水平。下同。

2.2 种植苕麻对土壤团聚体数量特征的影响

2.2.1 土壤团聚体数量特征 通过干筛法可获得土壤中团聚体的总体数量，这些团聚体包括非水稳性团聚体和水稳性团聚体^[19]。如图 1 所示，土壤团聚体各粒级的组成比例在不同种植模式下表现出一定差异。花生地和苕麻地均呈现随着团聚体粒径减小而减小的总趋势，两者均以 $>0.5 mm$ 的土壤团聚体为主，分别占 71.46% 和 85.56%，苕麻地高出 14%；而花生地 $<0.25 mm$ 的团聚体则比苕麻地高 23.50%，差异极显著 ($p < 0.01$)。各粒径团聚体的百分比也存在差异，如花生地 $>2 mm$ 和 $1 \sim 2 mm$ 的团聚体则显著低于苕麻地 ($p < 0.05$)； $0.5 \sim 1 mm$, $0.053 \sim 0.25 mm$ 和 $<0.053 mm$ 的团聚体则显著高于苕麻地 ($p < 0.05$)，

$0.25 \sim 0.5 mm$ 的团聚体则没有差异 ($p > 0.05$)。因此，种植苕麻能够增加土壤中 $>1 mm$ 风干团聚体，降低 $<0.25 mm$ 的微小团聚体。

湿筛法获得的团聚体是土壤中的水稳性团聚体，水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要的作用，同时也是衡量土壤抗侵蚀能力的指标之一^[20]。湿筛法获得的土壤团聚体各粒径组成比例差异显著，从图 2 可知，经湿筛后，花生地和苕麻地水稳团聚体均以 $<1 mm$ 的团聚体为主，分别占 85.58% 和 79.25%。花生地 $>2 mm$, $1 \sim 2 mm$, $0.5 \sim 1 mm$ 的水稳性团聚体分别比苕麻地低 28.98%，31.45% 和 3.52%，而 $0.25 \sim 0.5 mm$, $0.053 \sim 0.25 mm$, $<0.053 mm$ 则高于苕麻地同粒径水稳团聚体，分别高出 15.16%，8.87% 和 15.24%。因此，种植苕麻有利于红壤旱地 $>0.5 mm$ 土壤水稳团聚体的增加，尤其是 $>1 mm$ 的土壤水稳团聚体；同时，也能显著降低 $<0.5 mm$ 的微小团聚体。

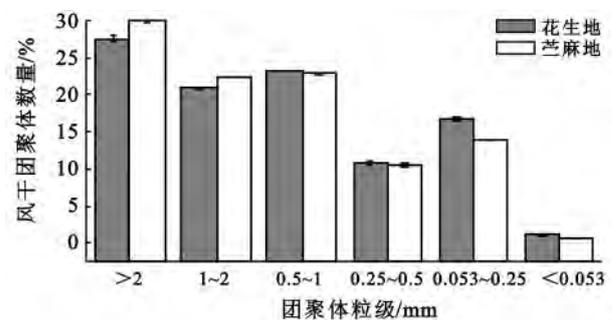


图 1 不同种植模式下风干团聚体数量

2.2.2 团聚体稳定性评价 从图 3 可用看出，无论是干筛还是湿筛，苕麻地土壤团聚体的 MWD 都显著 ($p < 0.05$) 高于花生地，分别比花生高出 5.64% 和 18.85%。同时，干筛法的 MWD 远比湿筛法的大，这是因为在水分的浸泡下大量的非水稳性团聚体分解的结果，该结果和周虎^[21]的研究一致。且经统计分析得知(图 4)，苕麻地土壤团聚体稳定性指数 ASI 比花

生地高出 7.31, 达显著差异。该结果表明了红壤旱地种植苕麻时土壤团聚体的稳定性优于种植花生。再从两处理各粒径团聚体保存几率(表 3)来看, 粒径 < 0.25 mm 的团聚体保存几率为 1.00, 这是由于将小于 0.25 mm 的粒径划分为最小的一级, 在进行团聚体湿筛时不可能再破坏为下一个粒径级所致; 其余的粒径在湿筛过程中都有破裂, 因此保存几率小于 1.00。苕麻地 >2 mm, 1~2 mm, 0.5~1 mm 的保存几率显著高于花生地 ($p < 0.05$), 分别高 29.99%, 40.66% 和 8.89%, 而 0.25~0.5 mm 则比花生地低了 5.38%。苕麻地和花生地 0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 团聚体保存几率在各粒径团聚体保存几率所占比例较大。就红壤旱地而言, 0.25~1 mm 粒径团聚体保存几率最大, 表明了该粒径团聚体抗水蚀能力强, 因此, 在红壤旱地水土保持的研究工作中, 关注 0.25~1 mm 团聚体数量和特性则显得尤为重要。

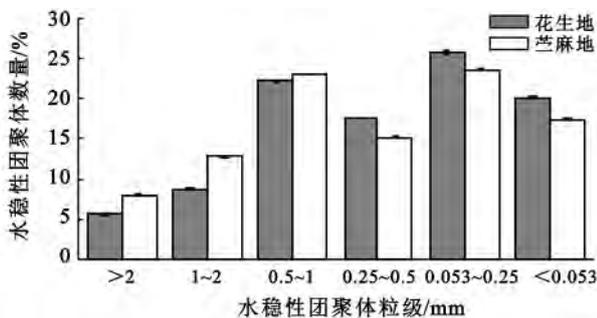


图 2 不同种植模式下水稳性团聚体数量

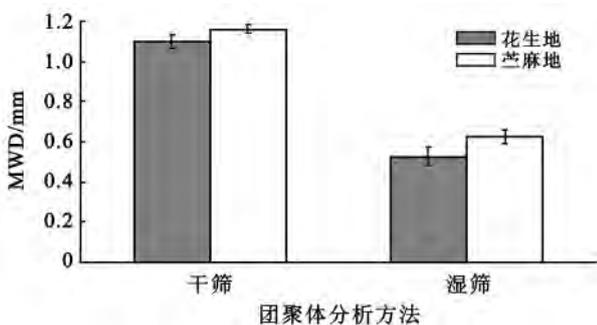


图 3 不同种植模式下团聚体平均重量直径

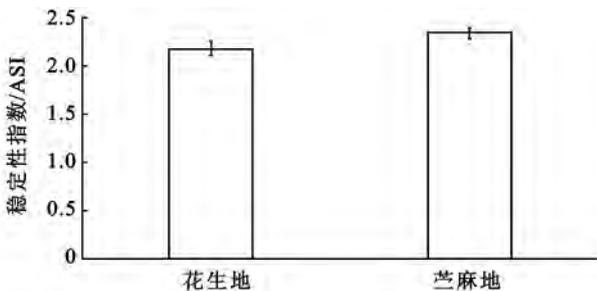


图 4 不同种植模式下团聚体稳定性指数

表 3 不同种植模式下土壤团聚体保存几率

样地	>2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
花生地	0.21b	0.21b	0.39b	0.39a	1.00
苕麻地	0.27a	0.29a	0.42a	0.36b	1.00

2.3 土壤团聚体与地表径流和土壤侵蚀量的相关分析

表 4 为土壤团聚体数量特征与地表径流和土壤侵蚀量的相关分析结果。从表 4 可知, 干筛法中, 地表径流和土壤侵蚀量与 >2 mm 和 1~2 mm 的干团聚体呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 与 0.5~1 mm 干团聚体呈正显著相关 ($p < 0.05$), 与 0.25~0.5 mm 干团聚体呈正相关, 与 0.053~0.25 mm, <0.053 mm 干团聚体呈极显著正相关 ($p < 0.01$); 而湿筛法中, 地表径流和土壤侵蚀量与 >2 mm, 1~2 mm, 0.5~1 mm 的水稳团聚体呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 与 0.25~0.5 mm, 0.053~0.25 mm, <0.053 mm 的水稳团聚体呈极显著正相关 ($p < 0.01$)。可见, 采用湿筛法分析土壤团聚体与水土流失的关系效果更佳。

表 4 土壤团聚体数量与地表径流量和土壤侵蚀量相关分析

团聚体粒径/mm	干筛		湿筛	
	地表径流	土壤侵蚀量	地表径流	土壤侵蚀量
>2	-0.993**	-0.995**	-0.999**	-0.997**
1~2	-0.997**	-0.994**	-0.996**	-0.989**
0.5~1	0.859*	0.867*	-0.975**	-0.985**
0.25~0.5	0.413	0.405	0.994**	0.994**
0.053~0.25	0.996**	0.999**	0.982**	0.973**
<0.053	0.966**	0.959**	0.999**	0.997**

3 结论

(1) 种植苕麻 4 a 后, 与花生地相比, 苕麻地有机质、田间持水量、总孔隙度、沙粒指标显著升高, 土壤容重、粉粒和黏粒指标则显著降低。地表径流量和土壤侵蚀量与土壤有机质、沙粒含量呈极显著负相关 ($p < 0.01$); 与田间持水量、总孔隙度呈显著性负相关 ($p < 0.05$); 与土壤中粉粒和黏粒含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与土壤容重呈显著性正相关 ($p < 0.05$)。

(2) 种植苕麻, 有利于提高 >1 mm 土壤团聚体数量分布, 降低微小团聚体数量; 且土壤团聚体稳定性优于种植花生。就红壤旱地而言, 0.25~1 mm 粒径团聚体保存几率最大, 因此, 在红壤旱地水土保持的研究工作中, 关注 0.25~1 mm 团聚体数量和特性则显得尤为重要。

(3) 地表径流和土壤侵蚀量与 >1 mm 的干团聚体和 >0.5 mm 的水稳团聚体呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 与 <0.25 mm 干团聚体和 <0.5 mm 的水稳团

聚体呈极显著正相关($p < 0.01$)。因此,研究土壤团聚体对指导红壤旱地水土保持工作具有指导意义。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡立群,齐鹏,张仁陆. 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[J]. 水土保持学报,2008,22(2): 141-145.
- [2] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报,1994,31(1): 18-25.
- [3] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure [J]. Soil & Tillage Research, 1988, 11(3/4):199-238.
- [4] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses [J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1936,28(5):337-351.
- [5] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(1):252-256.
- [6] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [7] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体的稳定性[J]. 水土保持通报,2006,26(3):91-95.
- [8] 赵其国,谢为民,贺湘逸,等. 江西红壤[M]. 江西 南昌:江西科学技术出版社,1988:76-89.
- [9] 陈永强. 侵蚀红壤肥力退化评价指标体系[J]. 水土保持学报,2001,15(2):72-75.
- [10] 孙波,赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. 地球科学进展,1999,18(2):118-128.
- [11] 肖荣洁. 江西省水土流失现状及其防治对策[J]. 水土保持学报,1994,14(3):39-43.
- [12] 卿太明. 苜蓿保持水土效益初步研究[J]. 中国水土保持,1991(8):29-30,57.
- [13] 廖绵清,李靖,黄欠如. 低丘红壤坡耕地苜蓿与花生水土保持效果对比研究[J]. 土壤,2011,43(4):657-661.
- [14] 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,1999.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究,2002,9(1):81-85.
- [18] 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.
- [19] 孙永丽,梅再生. 贵阳市白云岩地区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 贵州师范大学学报,2006,24(2):27-31.
- [20] 刘文利,罗广军. 不同林型下土壤物化性质的差异研究[J]. 吉林林业科技,2006,35(1):26-34.
- [21] 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.
- [26] 徐艳,张凤荣,段增强,等. 区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J]. 土壤通报,2005,36(6):836-839.
- [27] 李鸿博,史锟,徐德应. 植物过程对土壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报,2005,26(6):1163-1168.
- [28] 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[J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.
- [29] 鄢燕,张建国,张锦华,等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量[J]. 生态学报,2005,25(11):2817-2823.
- [30] 晨乐木格,刘茂松,黄峥,等. 我国西北地区芨芨草—苦豆子群落根系分布与种间关系[J]. 植物生态学报,2009,33(4):748-754.
- [31] 张法伟,韩道瑞,郭小伟,等. 青藏高原芨芨草型温性草原不同土地利用方式的理论碳增汇潜力比较[J]. 西北植物学报,2011,31(9):1866-1872.
- [32] 周国英,陈桂琛,徐文华,等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草原生物量的影响[J]. 干旱区地理,2010,33(3):434-441.
- [33] 吴雅琼,刘国华,傅伯杰,等. 青藏高原土壤有机碳密度垂直分布研究[J]. 环境科学学报,2008,28(2):362-367.
- [34] 汤洁,韩维峥,李娜,等. 吉林西部草地生态系统不同退化演替阶段土壤有机碳变化研究[J]. 生态环境学报,2010,19(5):1182-1185.
- [35] 冯瑞章,周万海,龙瑞军,等. 江河源区不同退化程度高寒草地土壤物理、化学及生物学特征研究[J]. 土壤通报,2010,41(2):263-269.
- [36] 杨凯,高清竹,李玉娥,等. 藏北地区草地退化空间特征及其趋势分析[J]. 地球科学进展,2007,22(4):410-416.
- [37] Post W M, King A M, Wullschlegler S D. Soil organic matter models and global estimates of soil organic carbon [C] // Powlson D S. Evaluation of Soil Organic Matter Models. Berlin: Heidelberg: Springererlag, 1996: 201-224.
- [38] 潘根兴,赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全[J]. 地理科学进展,2005,20(4):384-393.
- [39] 胡卫国,曹军骥,韩永明,等. 青海湖环湖区表土有机碳氮储量估算[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):85-88.
- [40] 张凡,祁彪,温飞,等. 不同利用程度高寒干旱草地碳储量的变化特征分析[J]. 草业学报,2011,20(4):11-18.
- [41] 石锋,李玉娥,高清竹,等. 管理措施对我国草地土壤有机碳的影响[J]. 草业科学,2009,26(3):9-15.

(上接第 77 页)