

植被恢复过程中侵蚀红壤有机质变化研究^①

张海东^{1,2}, 于东升^{1,2*}, 王 宁¹, 史学正^{1,2}, 宋正姍^{1,2}, 顾成军^{1,2}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 基于 2001 年与 2011 年两期土壤样品数据, 对江西省兴国县植被恢复过程中侵蚀红壤有机质的变化进行了研究。结果表明: 10 年间, 纯林、林草及林灌草结构下表层(0~10 cm)土壤有机质变化值分别为 -5.8、-0.1 及 8.0 g/kg, 千枚岩、红砂岩及花岗岩成土母质发育的红壤表层土壤有机质变化值分别为 8.7、-0.5 及 -3.1 g/kg。植被垂直结构对表层土壤有机质的变化影响显著, 主要是由于植被覆盖度及生物量的不同引起的凋落物量的差异所导致; 土壤颗粒组成是表层土壤有机质变化的重要影响因素之一, 研究区表层土壤有机质的变化与黏粒含量的变化呈显著正相关($P < 0.05$); 此外, 林下土壤侵蚀也影响着表层土壤有机质的变化。

关键词: 植被恢复; 土壤有机质; 土壤侵蚀; 土壤颗粒组成; 植被结构

中图分类号: S154.3

土壤有机质(soil organic matter, SOM)是土壤的重要组成部分, 有利于维持土壤良好的物理结构和养分输送, 直接影响着土壤肥力和土地生产力^[1-2]。SOM 也是侵蚀土壤生产力及生态恢复的重要评价指标, 其质量和数量对保障土壤可持续性利用及退化土壤的恢复至关重要^[3]。而植被是控制 SOM 的主要因素之一^[4], 一般而言, 侵蚀区植被恢复越好, SOM 含量也会相应提高。南方红壤区占我国国土面积的 1/5, 由于人为与自然因素的综合影响, 该区域曾经遭受强烈的土壤侵蚀。作为生态恢复与重建的有效途径, 植被恢复措施在南方红壤侵蚀区长期实施。植被恢复对 SOM 积累的影响主要体现在表层, 而表层 SOM 含量通常在剖面各土层中最高^[5-6]。因此, 研究植被恢复过程中表层土壤有机质的变化情况对侵蚀区土壤恢复及其生产力提高意义重大。

众所周知, SOM 的提高与植被紧密相关, 不同结构的植被会引起 SOM 变化的差异。周印东等^[5]研究表明, 黄土高原地区植被正向演替对 0~15 cm 的表层 SOM 积累有显著促进作用, 5 年间乔木林下 0~5 cm 和 5~15 cm SOM 含量分别增加 35% 及 40%, 乔灌结合林下分别增加 15% 和 23%, 而灌木林下表层 SOM 基本不变。王志云等^[7]对乔灌草、灌草、草本 3 种植被恢复模式的研究表明, 植

被覆盖最好的乔灌草结构比灌草结构和草本结构更有利于 SOM 的积累。李龙波等^[8]在子午岭地区的研究表明, 植被恢复过程中表层 SOM 含量大小依次为: 阔叶林(31.2 g/kg)>针叶林(15.8 g/kg)>灌木林(10.9 g/kg)。SOM 含量还与土壤侵蚀密切相关, 一般来讲, 侵蚀越严重的区域, 其 SOM 含量越低^[9-10]。谢宝平和牛德奎^[11]研究表明, 红壤丘陵严重侵蚀地区的土壤在长期侵蚀作用下, 完全失去有机质层的土壤可达山地面积的一半以上。何圣嘉等^[12]研究显示闽西地区部分强度侵蚀林地 SOM 低于 5 g/kg。

红壤侵蚀区植被恢复过程中, 除了植被因素, SOM 的恢复还受土壤质地^[13]、土壤侵蚀^[11]等因素的影响, 这些因素如何对有机质进行影响? 土壤有机质变化随各影响因素的不同呈现的差异性如何等问题还有待研究。本研究以江西省兴国县为例, 通过对比 2001 年与 2011 年红壤表层 SOM 含量, 研究了红壤侵蚀区植被恢复过程中表层 SOM 的变化特征及其影响因素, 对加深认识植被演替与侵蚀土壤恢复之间的关系具有重要意义, 可以为南方红壤侵蚀区土壤恢复研究提供一定的科学依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

兴国县位于江西省中南部(115°01'~115°51' E,

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2010CB950702)和中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050507)资助。

* 通讯作者(dshyu@issas.ac.cn)

作者简介: 张海东(1984—), 男, 江苏东台人, 博士研究生, 主要从事资源环境与遥感信息研究。E-mail: arronkwokzhang@163.com

26°03'~26°41'N), 总面积 3 214.5 km², 其中林地总面积达 2 260.0 km², 占整体面积的 70.2%。东西北三面环山, 中南部丘陵亘绵, 地势由北部逐渐向中南部倾斜。地貌以低山和丘陵为主, 海拔 127.9~1 204.0 m。属亚热带季风气候, 年均气温为 18.9℃, 年均降雨量达 1 538.7 mm, 4—6月雨量最多, 占全年的 48.5%^[14]。成土母质主要有千枚岩、红砂岩和花岗岩等, 地带性土壤类型主要为红壤。地带性植被为亚热带常绿阔叶林, 但由于历史上山火频繁和乱砍滥伐, 原始植被遭到严重破坏, 现有植被主要为次生马尾松林。经过大规模治理, 兴国县森林覆盖率明显提高, 2000 年已达到 72.5%。但由于土层瘠薄, 林下植被稀疏, 水土流失依然严重。

1.2 数据基础

本研究以 2001 年底本课题组在兴国县采集的 153 个样点的表层 SOM、土壤颗粒组成及二者的 Kriging 插值结果为本底数据^[15]。

2011 年 9 月底, 在兴国县西南部花岗岩、千枚岩及红砂岩发育的红壤次生林地内选取 56 个样点, 其中千枚岩和红砂岩上各 17 个, 花岗岩上 22 个(图 1)。采样点分别设置在纯林、林草及林灌草 3 种垂直结构的植被下, 所有样点均处于山坡的中部位置, 利用 GPS 记录每个土壤剖面调查样点的经纬度与海拔, 并测量样方树高等信息。土壤剖面按土壤发生层次由上而下采集, 每层采集土壤样品 1 kg。

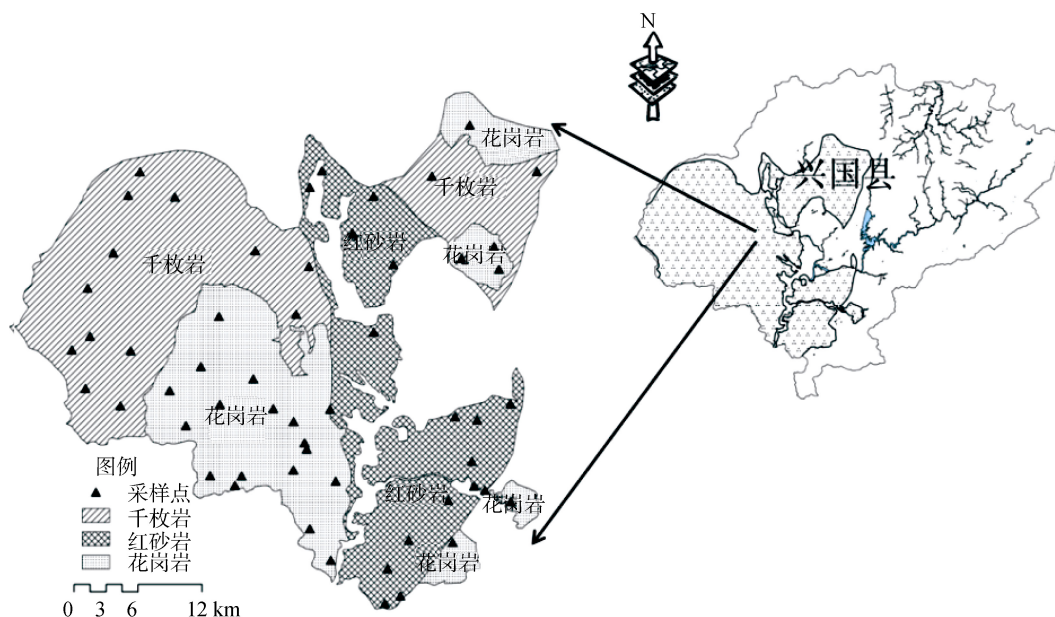


图 1 研究区位置

Fig.1 The location of the study area

采集的样品经过风干, 挑拣出土样中的植物残体, 并研磨过 10 目和 60 目土筛待测。土壤有机质含量测定采用重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)氧化滴定法^[16]; 土壤颗粒组成的测定采用(卡氏制)比重计法测定^[17], 土壤粒级按美国制标准划分, 即砂粒(2.0~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)。

1.3 样点土壤表层 SOM 变化计算

以本课题组 2001 年采样点表层 SOM 及其 Kriging 插值数据为基准, 利用 2011 年 56 个采样点的 SOM 值减去 2001 年相应位置的表层 SOM 值, 即得到 10 年间兴国县土壤表层 SOM 变化量。两期数据中共有 30 个采样点位置重合, 直接利用两期数据表层 SOM 值进行差值对比; 不重合的样点, 用 2011

年采样点的 SOM 值减去 2001 年相应点的插值数据获取差值。

2 结果

2.1 SOM 及其变化统计特征

表层 SOM 差值统计结果显示, 2011 年研究区 56 个采样点表层 SOM 平均值为 17.0 g/kg, 而 2001 年平均值为 15.7 g/kg, 10 年间植被恢复区表层 SOM 平均增加了 1.3 g/kg, 表层 SOM 总体呈现上升趋势。然而, 56 个样点中仅有 24 个样点表层 SOM 增加, 平均增加值为 11.0 g/kg; 32 个样点表层 SOM 呈下降趋势, 平均减少值为 6.0 g/kg, 表明受多种因素的影响, 表层 SOM 的恢复存在着不同程度的差异。

2.2 不同植被结构下 SOM 含量变化特征

不同植被结构下, SOM 含量的变化量随着植被层次的增多呈现增加的趋势。纯林结构下, SOM 含量平均减少 5.8 g/kg; 林草结构下, SOM 含量变化较小, 平均仅减少 0.1 g/kg; 而林灌草结构下, SOM 含量增加较明显, 平均增加 8.0 g/kg。单因素方差分析结果表明, 林灌草结构与纯林结构、林草结构间 SOM 含量变化均呈现显著性差异($P < 0.05$)。

2.3 不同成土母质发育的红壤 SOM 变化特征

针对 SOM 变化的特征, 对 3 种成土母质发育的红壤表层 SOM 变化量进行分类分析。结果表明不同成土母质类型上表层 SOM 变化异质性较大(图 2)。

千枚岩发育的红壤表层 SOM 呈升多降少的情形, 17 个样点中有 11 个样点表层 SOM 增加, 平均值为 15.9 g/kg, 而 6 个样点表层 SOM 下降, 平均减少 7.2 g/kg(图 2a); 红砂岩表层 SOM 升降基本持平, 表层 SOM 提高的样点平均增加了 5.8 g/kg, 表层 SOM 减少的样点平均降低了 6.3 g/kg(图 2b); 花岗岩表层 SOM 呈降多升少的情形, 22 个样点中表层 SOM 降低的有 19 个, 而上升的仅有 3 个(图 2c)。总体上, 10 年间千枚岩发育的红壤表层 SOM 平均增加 8.7 g/kg, 红砂岩发育的红壤表层 SOM 平均减少 0.5 g/kg, 花岗岩发育的红壤表层 SOM 平均减少 3.1 g/kg(图 2d)。

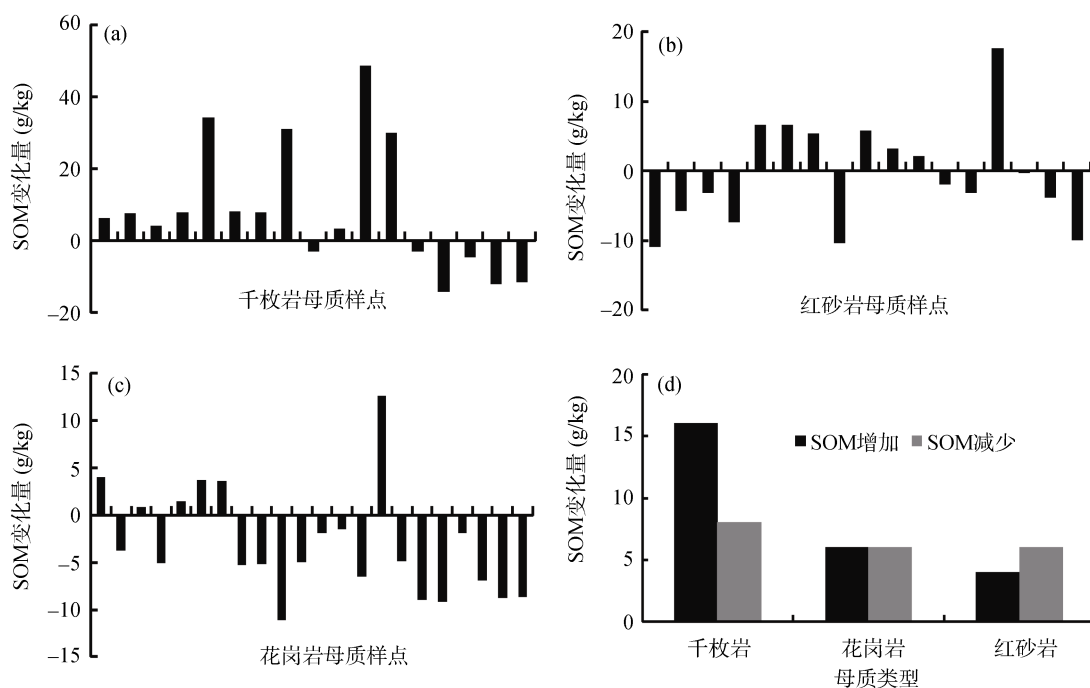


图 2 不同成土母质发育土壤表层 SOM 变化特征

Fig. 2 The characteristic of SOM change under different parent materials

3 讨论

3.1 植被垂直结构差异对 SOM 变化的影响

相关性分析结果显示, SOM 含量的变化与植被覆盖度的恢复显著正相关($P < 0.01$), 该结果与覃勇荣等人^[18]的研究结果一致。植被覆盖度越大、垂直层次越多, 生物量就越大, 凋落物的数量也会相应增加, 而凋落物是林地 SOM 的主要来源之一, 下渗水流可将地表凋落物中可溶性物质带入地下供林木根系吸收, 加快凋落物的分解, 可以直接促进 SOM 的增长。

从图 3 可知, 植被垂直结构对表层 SOM 的变化影响显著。与 2001 年相比, 纯林结构的植被下表

层 SOM 都有所减少, 原因是纯林植被结构单一, 地表凋落物较少, 且针叶林的叶子 C/N 比较高, 分解速度缓慢, 从而不利于表层 SOM 的积累。林草结构下, 凋落物量的增加促使千枚岩和红砂岩表层 SOM 比纯林结构都有较大提高; 由于花岗岩林下草本盖度仅有 20% ~ 30%, 远低于千枚岩和红砂岩林下草本盖度(平均达 40% 以上), 导致花岗岩发育的红壤林草结构近似于纯林结构, 因而并没有有效提高表层 SOM 的含量。林灌草植被结构下凋落物数量最大, 且各类凋落物混合后降低了其 C/N 比, 使其更易于分解, 加快了养分归还给土壤的速度, 因此有机质含量提升最高, 千枚岩上表层 SOM 平均增加 24.4 g/kg; 其次为红砂岩, 平均增加 7.0 g/kg; 虽然

花岗岩表层 SOM 值与 2001 年相比仍然有所下降,但其减少量却是花岗岩 3 种植被结构中最少的,也体现出林灌草植被结构对表层 SOM 的正向影响作用。

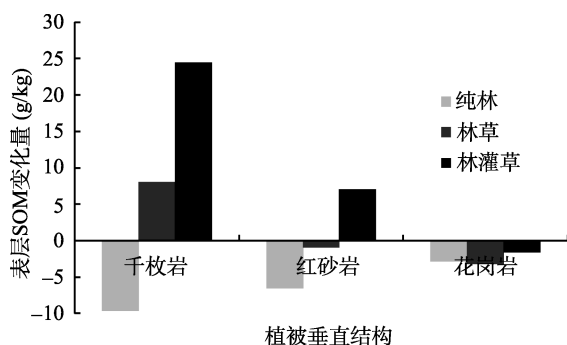


图 3 不同垂直结构植被下表层 SOM 变化特征

Fig. 3 The characteristic of SOM change under different vertical structure of vegetation

3.2 土壤颗粒组成差异对 SOM 变化的影响

由于岩性的不同,发育于不同成土母质的红壤表层 SOM 变化的差异性较大。千枚岩发育的红壤质地黏细,有利于 SOM 的累积,因而表层 SOM 增加较多。红砂岩发育的红壤以细砂粒和黏粒为主,整个土层中含粉砂和细砂较多,质地疏松,不利于表层 SOM 的累积。花岗岩发育形成的红壤,表层土壤的机械组成以细砂粒和粗砂粒为主,且粗砂粒所占的比重较大,较弱的凝聚力致使表层土壤疏松,非毛管孔隙大,土壤抗蚀性差,每年 4—7 月份的持续性降雨极易导致土壤侵蚀的发生,因此表层 SOM 下降最多。

已有研究表明黏粒含量是保障 SOM 数量的重要因素,对有机质的保护作用较强^[19]。Pearson 相关分析结果显示(图 4),表层 SOM 变化量与黏粒变化量显著正相关($P < 0.05$),随着黏粒增加量的增大,表层 SOM 增加量也呈增长的趋势。原因在于黏粒比表面积大、电荷密度高,易于吸附土壤中的有机质,从而对有机质起到保护作用,使其不易被分解^[6];另一方面,黏粒含量多的土壤孔隙较小,通气性能差,使得微生物的活动受到抑制,从而有机质分解相对缓慢,腐殖质与黏粒结合紧密而难以分解,更易于积累;黏粒还能吸附对 SOM 有分解力的酶,对 SOM 产生物理保护作用^[20]。

3.3 土壤侵蚀差异对 SOM 变化的影响

植被恢复措施实施以来,兴国县土壤侵蚀状况得到明显好转,但是部分区域林下土壤侵蚀仍有发生^[21-22]。原因在于该区域植被结构单一,多为次生人工马尾松林,如果林下地表植被稀少,土壤侵蚀仍

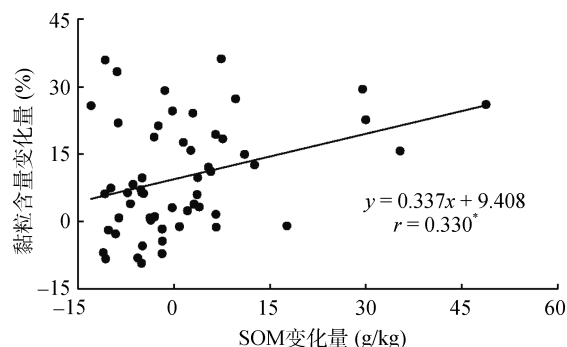


图 4 SOM 变化量与黏粒变化量相关性

Fig. 4 The relationship between SOM change and clay change

然会发生,即所谓“林下流”现象^[23]。林下土壤侵蚀与冠层高度关系密切,冠层越高,林内形成的降雨到达地表的速度与动能也越大,从而加大林下土壤侵蚀的危害,其侵蚀危害程度甚至高于空旷地^[24]。不同区域研究结果表明,当冠层高度达到 1 m^[25]、3~4 m^[26]、6 m^[27]时,林冠形成的大雨滴的额外动能基本上消除了植被冠层防止土壤侵蚀的作用,林下土壤侵蚀与无植被覆盖时效果相当。普遍研究结果认为植被冠层防止林下侵蚀的临界高度在 6~10 m 的范围内^[28]。本研究中千枚岩、红砂岩及花岗岩发育红壤的树高分别为 7.6 m ± 3.4 m、7.5 m ± 2.8 m 及 7.3 m ± 3.2 m(平均值 ± 标准差),平均树高均达到 7 m 以上,在地表植被覆盖较差区域,4—6 月份的强降雨常引发林下土壤侵蚀。实地调查显示在红砂岩和花岗岩发育的红壤上,存在着不同程度的林下土壤侵蚀现象。林下土壤侵蚀会选择性地从土壤中带走较细颗粒,使表土砂质化或砾质化,如花岗岩剧烈侵蚀区裸地的物理性黏粒含量仅 51 g/kg^[11],导致了表层 SOM 的剧烈下降。

4 结论

(1) 植被通过凋落物的养分归还,对南方红壤侵蚀区表层 SOM 增加起主导作用,不同的植被垂直结构对表层 SOM 含量的变化呈现出差异性;由于成土母质不同而引起的土壤颗粒组成的差异也对表层 SOM 的变化产生影响,主要表现为黏粒含量越大,表层 SOM 增加越多;此外,林下土壤侵蚀等因素也是表层 SOM 变化的重要影响因素。

(2) 表层 SOM 的变化并不是受单一因素的影响,而是由植被的覆盖度、垂直结构、土壤颗粒组成、林下土壤侵蚀等因素相互作用,共同影响着植被恢复区表层 SOM 的变化特征。土壤黏粒含量越高、植被垂直结构越好、植被覆盖度越大,林下土壤侵蚀的发生越少,越利于红壤侵蚀区表层 SOM 的正向积累。

参考文献：

- [1] 宋莎, 李廷轩, 王永, 张锡洲. 县域农田土壤有机质空间变异及其影响因素分析[J]. 土壤, 2011, 43(1): 44-49
- [2] 王淑芳, 王效科, 欧阳志云. 密云水库上游流域土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 土壤, 2011, 43(4): 515-524
- [3] 聂斌斌, 蔡强国, 张卓文, 李国强, 张文君. 植被恢复过程中土壤有机质和全氮的变化特征及区域差异[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 363-371
- [4] Quideau SA, Chadwick OA, Benesi A, Graham RC, Anderson MA. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition[J]. Geoderma, 2001, 104: 41-60
- [5] 周印东, 吴金水, 赵世伟, 郭胜利, 路鹏. 子午岭植被演替过程中土壤剖面有机质与持水性能变化[J]. 西北植物学报, 2003, 23(6): 895-900
- [6] 陈庆强, 沈承德, 孙彦敏, 彭少麟, 易惟熙, 李志安, 姜漫涛. 鼎湖山土壤有机质深度分布的剖面演化机制[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 1-9
- [7] 王志云, 陆耀东, 温达志, 徐国良. 不同植被恢复模式对生物多样性及土壤有机质的影响[J]. 中国城市林业, 2009, 7(5): 45-47
- [8] 李龙波, 涂成龙, 赵志琦, 崔丽峰, 刘文景. 黄土高原不同植被覆盖下土壤有机碳的分布特征及其同位素组成研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(4): 441-449
- [9] 华珞, 张志刚, 李俊波, 冯琰, 赵红, 尹逊, 朱凤云. 基于土壤 ^{137}Cs 监测的土壤侵蚀与有机质流失——以密云水库为例[J]. 核农学报, 2005, 19(3): 208-213
- [10] 张雪, 李忠武, 申卫平, 郭旺, 陈晓琳, 张越男, 黄金权. 红壤有机碳流失特征及其与泥沙径流流失量的定量关系[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 465-473
- [11] 谢宝平, 牛德奎. 华南严重侵蚀地植被恢复对土壤条件影响的研究[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(1): 135-139
- [12] 何圣嘉, 谢锦升, 杨智杰, 尹云锋, 李德成, 杨玉盛. 南方红壤丘陵区马尾松林下水土流失现状、成因及防治[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(6): 65-70
- [13] 周纯亮, 吴明. 中亚热带四种森林土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 土壤, 2011, 43(3): 406-410
- [14] Shi XZ, Wang K, Warner ED, Yu DS, Wang HJ, Yang RW, Liang Y, Shi DM. Relationship between soil erosion and distance to roadways in undeveloped areas of China[J]. Catena, 2008, 72: 305-313
- [15] 程先富, 史学正, 于东升, 潘贤章. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64-67
- [16] 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: 106-107
- [17] 南京农业大学主编. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 36-37
- [18] 覃勇荣, 王燕, 刘旭辉, 徐金强. 马尾松对喀斯特石漠化地区土壤有机质的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(05): 104-109
- [19] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 方华军. 土壤细颗粒对有机质的保护能力研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 748-752
- [20] 乔照华. 土壤有机质含量与土壤物理性能参数的相关性分析[J]. 中国农村水利水电, 2008(2): 3-4
- [21] Zhou G, Morris JD, Yan J, Yu Z, Peng S. Hydrological impacts of reafforestation with eucalyptus and indigenous species: A case study in southern China[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 167: 209-222
- [22] Zhang WT, Yu DS, Shi XZ, Tan MZ, Liu LS. Variation of sediment concentration and its drivers under different soil management systems[J]. Pedosphere, 2010, 20: 578-585
- [23] 赵其国. 我国南方当前水土流失与生态安全中值得中山的问题[J]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 1-8
- [24] Nanko K, Mizugaki S, Onda Y. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of through fall drop sizes and velocities[J]. Catena, 2008, 72: 348-361
- [25] Khan MJ, Monke EJ, Foster GR. Mulch cover and canopy effect on soil loss[J]. Transactions of the ASAE, 1988, 31(3): 706-711
- [26] 王晗生, 刘国, 王青宁. 防蚀有效植被的结构特征探讨[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 54-56
- [27] Moss AJ, Green TW. Erosive effects of the large water drops (gravity drops) that fall from plants[J]. Australian Journal of Soil Research, 1987, 25: 9-20
- [28] 张颖, 牛健植, 谢宝元, 余新晓, 朱建刚, 李维. 森林植被对坡面土壤水蚀作用的动力学机理[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5 084-5 094

The Change of Soil Organic Matter Under Vegetation Restoration on the Eroded Red Soil

ZHANG Hai-dong^{1,2}, YU Dong-sheng^{1,2*}, WANG Ning¹, SHI Xue-zheng^{1,2},
SONG Zheng-shan^{1,2}, GU Cheng-jun^{1,2}

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, China)

Abstract: The change of soil organic matter under vegetation restoration on the eroded red soil in Xingguo County, Jiangxi Province was studied, based on the soil samples collected in 2001 and 2011. The results showed that the various vertical structure of vegetation made the change of soil organic matter different, the restoration degree under various vegetation structures in the order was: forest, shrub and grass structure (8.0 g/kg) > forest and grass structure (−0.1 g/kg) > pure forest structure (−5.8 g/kg), which was caused by the quality of the litter. The soil organic matter in surface soils (0–10 cm) derived from phyllite, red sandstone and granite parents changed 8.7 g/kg, −0.5 g/kg and −3.1 g/kg, respectively. Soil particle was the one of the main factors influenced soil organic matter change, which was significantly correlated with the change of clay contents ($P < 0.05$). Furthermore, the soil erosion under the forest was also affecting the change of soil organic matter.

Key words: Vegetation restoration, Soil organic matter, Soil erosion, Soil particle, Vegetation structure