

植草恢复对侵蚀红壤重组有机质的影响^{*}

罗旭辉¹, 詹杰¹, 李秀峰², 郑仲登¹, 王义祥¹, 黄毅斌¹

(1. 福建省农科院 农业生态研究所/福建省山地草业工程技术研究中心, 福州 350013; 2. 福建农林大学 林学院, 福州 350002)

摘 要:在福建中亚热带红壤区,将侵蚀经济林(油茶)改造成人工草地(人工植草)、封山育林(自然恢复)进行生态恢复,11 a 后,分析 A - C 层土壤的常规理化性质、土壤复合物、原土复合度、腐殖质结合形态用以评价土壤肥力变化。结果表明:不同土层各指标有明显差异,其中土壤速效养分、有机质、土壤复合物表现为 A 层 > B 层 > C 层,原土复合度则表现为 C 层 > B 层 > A 层。土壤腐殖质在 C 层呈松结合态向紧结合态转变的趋势,其中在自然恢复区 B、C 层土壤的松/紧比值较 A 层分别下降 0.149、0.458 个单位,人工植草区 C 层土壤的松/紧比值较 A 层下降 0.292 个单位,松结合态向紧结合态转变速度较自然恢复区有所减缓。人工植草区 A 层土壤的有机质及有机碳总量虽低于自然恢复区,但重组有机碳含量相近,其它测定指标亦无明显差异。

关键词:人工植草; 红壤; 土壤侵蚀; 有机质; 腐殖质结合形态

中图分类号:S157;S153.61

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)01-0194-04

Effects of Planting Forage on Soil Organic Matter of Heavy Fraction in Eroded Red Soil

LUO Xu-hui¹, ZHAN Jie¹, LI Xiu-feng², ZHENG Zhong-den¹, WANG Yi-xiang¹, HUANG Yi-bin¹

(1. Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences/ Fujian Engineering and Technology Research Center for Hilly Prataculture, Fuzhou 350013, China; 2. College of Forest Science, Fujian Agriculture and Forestry Univeisity, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The study was conducted on the effect of 2 kinds of restoring measure, planting forage (PF), natural regradation (NR) to the quality of soil in eroded *Camelia oleifera* forest in subtropical region of Fujian Province, China. The results show that layer A enjoy the best at contents of soil available nutrient, organic matter, and degree of soil organo-mineral complexing, second by layer B, worst by layer C. But, at content of soil complexes, the trend is layer C > layer B > layer A. When humus of combined types of soil was tested, it seems that humus could be transferred from tightly-combined type to loosely-combined type on deeper soil layer. In plant forage plot, ratio of types between loosely-combined and tightly-combined were decreased 0.149, 0.458 on soil of layer B and C, compared with layer A. In NR plot, the ratio was decreased 0.292 on soil of layer C, compared with layer A. as analyzing on restoration effect of difference measure, it seems that humus transformation rate from tightly-combined type to loosely-combined type is slower in PF plot. No difference was found on key index, including available nutrient, carbon content of heavy soil on soil of 2 restoring plot, although organic matter content was lower in PF plot than in NR plot.

Key words: planting forage; red soil; soil erosion; organic matter; combined forms of humus

我国亚热带山地丘陵红壤区植被受人为破坏严重,表土易遭受侵蚀,是我国仅次于黄土高原的严重侵蚀区^[1]。该区开展了许多生态恢复与重建的研究与实践,其中有关水土保持的研究主要集中于土壤基本理化性质、土壤酶、土壤水分、土壤温度等方

面^[2-8],但对土壤有机质尤其是重组有机质的深入研究报道较少见。土壤有机质是土壤质量与健康的重要指标,对维持土壤生产力具有重要作用^[1],利用密度分组技术,将土壤有机质分为轻组和重组,重组有机质为主要存在于有机-无机复合体中,主要成分是

* 收稿日期:2009-05-15

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAD95B08);福建省科技计划项目“丘陵果茶园有机碳流失过程与减排研究”

作者简介:罗旭辉(1979-),男,福建顺昌人,助理研究员,主要研究方向:水土保持草本植物筛选与应用。E-mail:luoxuhui@jstny@yahoo.com.cn

腐殖质,在土壤水分、养分的保持及供应能力方面发挥重要的作用^[9-10]。本文分析福建中亚热带红壤侵蚀区人工植草与自然恢复 11 a 对土壤重组有机质的变化,为生态恢复实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1996 年起在福建省尤溪县西城镇玉池村水土保持科教基地后山坡顶(北纬 26°25′,东经 117°57′),分别设立人工植草、自然恢复样地,人工植草样地种植威恩圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia* cv. Wynn)+百喜草(*Paspalum notatum*),每年定期清除杂草,自然恢复样地进行封禁。试验区属中亚热带季风性湿润气候,全年实有日照时间 1 781.7 h,占全年可照时间的 40%,年降雨量 1 600~1 800 mm,年均温 19.2℃,7 月均温 26.6~28.9℃,1 月均温 8.0~12.0℃,无霜期 312 d 以上。土壤为第四纪山地红壤,质地为黏土,样地试验前为油茶(*Camelia oleifera*)林,样地周边植被类型主要有马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* Hook.)为建群种的针叶林,针、阔、竹混交林,以及毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. Pubescens)林。

1.2 取样方法

2007 年 7 月,在 2 个样地开挖土壤剖面,进行剖面调查,人工恢复区 A、B、C 层分别为 0-15 cm、15-30 cm、30 cm 以下;自然恢复区 A、B、C 层分别为 0-10 cm、10-25 cm、25 cm 以下土层。在 A、B、C 层取土壤环刀测定土壤容重、常规水分常数,并取 250 g 以上土样,带回试验室,风干、磨样,一部分供基本理化性质测定,另一部分供有机无机复合状况及腐殖质结合形态测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤基本理化性质的测定^[11] 土壤含水量

用烘干法,土壤容重及其他常规水分常数用环刀法,碱解氮用碱解扩散法,有效磷用盐酸-钼酸铵法,速效钾用醋酸铵火焰光度计法,pH 用 pH 计测定,有机碳用重铬酸钾氧化-外加加热法。

1.3.2 土壤有机无机复合状况测定^[12] 采用傅积平修改法,首先测定全土有机碳含量,用密度为 1.80 的溴仿-乙醇混合液提取重组(分离 2 次),测定重组质量及有机碳含量,项目测定设 3 个重复。土壤复合量及原土复合度分别通过(1)、(2)式计算而得:

$$\text{土壤复合量}(\text{g/kg}) = H_c \times H_w / S_w \tag{1}$$
$$\text{原土复合度}(\%) = H_c \times H_w \times 100 / (S_w \times S_c) \tag{2}$$

式中: H_c ——重组有机碳含量(g/kg); H_w ——重组质量(g); S_c ——全土有机碳含量(g/kg); S_w ——全土质量(g)。

1.3.3 腐殖质结合形态测定^[13] 按 1.3.2 中分离所得重组,用 0.1 mol/L 的 NaOH(pH=12.4)淋洗重组分离所得上清液为松结合态组分,用 0.1 mol/L 的 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (pH=13.0)继续淋洗所得上清液为稳结合态组分,残渣为紧结合态组分,最后用重铬酸钾氧化-外加加热法分别测定 3 个组分含碳量,项目测定设 3 个重复。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面及性质

经 11 a 恢复,调查土壤剖面并测定部分理化性状,结果表明(表 1):受定期除草的人工扰动影响,人工植草区土壤的 A、B、C 层均较自然恢复区下降 5 cm,与植被凋落物及其分解情况,土壤流失淋溶作用相关的土壤 pH 和有效养分的分析结果表明,有效磷基本为痕量,碱解氮、速效钾含随土层加深而减少,但 pH 则呈增加趋势。不同恢复措施间比较,上述化学性质指标无本质区别。

表 1 不同恢复措施土壤部分理化性状

恢复措施	土层	深度/ cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	田间持 水量/%	pH	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
人工植草	A	0-15	1.03	50.00	4.47	168.90	0.58	35.10
	B	15-30	1.08	47.87	4.67	118.39	0.58	25.20
	C	>30	1.16	41.10	4.84	78.92	0.58	15.20
自然恢复	A	0-10	1.08	50.18	4.30	173.00	0.58	20.20
	B	10-25	1.25	37.14	4.65	125.64	0.58	16.10
	C	>25	1.12	41.61	4.81	80.82	0.58	19.80

2.2 有机无机复合状况

对试验样地土壤剖面 A、B、C 层的土壤有机质分

析结果表明(表 2-3),土壤有机质呈明显垂直差异,表现为 A 层>B 层>C 层,其中人工植草区的 A 层有

机质含量比自然恢复下降 2.64 g/kg,差异极显著 ($P<0.01$)。有机无机复合状况的分析结果表明,重组有机碳、土壤复合量亦表现为 A 层>B 层>C 层,原土复合度则呈相反变化趋势,这与表层、亚表层凋落物较多,尚未分解的有机物质比例较高有关。

不同恢复措施间比较,人工植草区 A、B、C 层重

组有机碳含量分别为 18.19 g/kg、11.96 g/kg、7.11 g/kg,较自然恢复区无明显差异;土壤复合量分别为 17.58 g/kg、11.71 g/kg、6.84 g/kg,较后者略有提升,增幅为 0.25~0.67 g/kg;原土复合度分别为 85.93%、89.64%、95.09%,较后者提升 3.35~7.30%,但差异均未达显著水平。

表 2 不同恢复措施土壤有机碳含量

恢复措施	土层	原土有机碳/ (g·kg ⁻¹)	与 CK 增减量/ (g·kg ⁻¹)	重组有机碳/ (g·kg ⁻¹)	与 CK 增减量/ (g·kg ⁻¹)	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)	与 CK 增减量/ (g·kg ⁻¹)
人工植草	A	20.47 ±0.21	- 1.53 **	18.19 ±0.48	0.09	33.31 ±0.35	- 2.64 **
	B	13.07 ±0.08	- 0.21	11.96 ±0.47	0.28	18.65 ±0.14	- 0.36
	C	7.14 ±0.06	0.11	7.11 ±0.14	0.84	10.28 ±0.10	0.19
自然恢复	A	22.01 ±0.16		18.10 ±0.10		33.60 ±0.29	
	B	13.28 ±0.16		11.68 ±0.23		19.59 ±0.28	
	C	7.03 ±0.06		6.27 ±0.04		10.33 ±0.10	

表 3 不同恢复措施土壤复合量及原土复合度

恢复措施	土层	土壤复合量/ (g·kg ⁻¹)	Duncans 多重比较		原土复合度/%	Duncans 多重比较	
			$P<0.05$	$P<0.01$		$P<0.05$	$P<0.01$
人工植草	A	17.58 ±0.58	ab	AB	85.93 ±3.63	bcde	ABCDE
	B	11.71 ±0.42	c	C	89.64 ±3.63	ab	AB
	C	6.84 ±0.09	e	E	95.09 ±1.57	a	A
自然恢复	A	17.69 ±0.15	a	A	80.41 ±0.64	cdef	BCDEF
	B	11.46 ±0.24	cd	CD	86.29 ±1.89	bcd	ABCD
	C	6.17 ±0.04	ef	EF	87.79 ±0.83	abc	ABC

2.3 腐殖质结合形态

分析测定试验样地土壤剖面 A、B、C 层的松、稳、紧结合态腐殖质的有机碳含量,用以表征有机质与土壤黏粒的结合态情况,结果表明松、稳、紧结合态腐殖质有机碳含量呈明显垂直差异,表现为 A 层>B 层>C 层,与原土、重组有机碳含量变化趋势一致。基于不同恢复措施的重组有机碳无差异(即腐殖质总量无差异)为基础,进行腐殖质的不同结合态组成进行比较,结果表明(表 4),不同结合态腐殖质所占比例存在差异,其中紧结合态有机无机复合体比例最高,占总结合态的 46.26%~59.79%,松结合态次高,占 30.88%~45.05%,稳结合态最低,占 6.75%~11.61%;不同土层腐殖质在不同结合态的分配也有所差异,与 A、B 层比较,C 层的松结合态腐殖质比例下降 9.06%~14.17%,紧结合态则上升 6.62%~13.53%,松紧比值下降 0.292~0.457 个单位,土壤腐殖质呈松结合态向紧结合态转变的趋势。

不同恢复措施间差异则主要体现在 B 层腐殖质不同结合态的变化以及 C 层腐殖质由松结合态向紧结合态转变的幅度。在自然恢复区(表 4),B 层松结合态有机无机复合体比例下降 5.11%,稳、紧结合态比例分别上升 2.93%、2.18%,松/紧比值下降 0.149

个单位,而在人工植草区 A、B 土层有机无机复合体结合态组成则基本无变化。C 层土壤有机无机复合体松/紧比值在自然恢复区下降 0.308~0.457 个单位,在人工植草区则仅下降 0.292~0.328 个单位,表现为人工植草区优于自然恢复区的趋势。

表 4 不同恢复措施的结合态腐殖质百分比及其松/紧比值

恢复措施	土层	松结 合态/%	稳结 合态/%	紧结 合态/%	松/紧 比值
人工植草	A	44.03	6.92	49.05	0.898
	B	45.02	6.75	48.23	0.933
	C	33.72	10.61	55.67	0.606
自然恢复	A	45.05	8.69	46.26	0.974
	B	39.94	11.61	48.44	0.825
	C	30.88	9.33	59.79	0.516

3 结论与讨论

(1) 在福建中亚热带红壤山地,将侵蚀经济林(油茶)改造成人工草地(人工植草)、封山育林(自然恢复)进行生态恢复,11 a 后,A-C 层土壤 pH 值为 4.30~4.84,碱解氮达 78.92~173.00 mg/kg、有效磷<1.0 mg/kg、速效钾为 15.20~35.10 mg/kg,对照福建省园地土壤养分的分级指标(试行)^[13],磷、钾素仍较缺乏,不同恢复措施基本无差

异。土壤有机质含量 10.28 ~ 33.31 g/kg, 重组有机碳含量 6.27 ~ 18.19 g/kg, 不同土层的土壤理化性质、有机无机复合状况呈明显分异, 其中速效养分、有机质随土层加深呈下降趋势, 土壤复合量亦呈相同变化趋势, 与史吉平等在旱地红壤的研究结果相符^[14], 土壤原土复合度随土层加深则呈上升趋势, 与表层、亚表层凋落物较多, 有机质总量高且未分解或半分解的轻组有机质比例较高有关, 与熊毅的“高复合度的土壤, 其有机质含量往往较低”观点及彭新华等山地红壤研究结果相符^[15-16]。

(2) 一般认为土壤有机质的含量与土壤质量存在正相关, 因此恢复措施对侵蚀地土壤质量的影响也将反映土壤有机质的水平与质量。土壤有机质包括腐殖质类、非腐殖质类、有机残体、土壤微生物体, 其中由漫长的腐殖化过程而形成的土壤腐殖质是作物吸收养分的主要来源, 亦是当前国内外土壤界研究重点^[10]。研究表明长期恢复措施对土壤的培肥效果在腐殖化程度的提高, 以及松、稳结合态腐殖质含量的增加上均有所体现^[2, 17-18], 但不同的恢复措施对上述指标的贡献有所差别, 尤其是在有多种恢复措施可供选择的热带、亚热带区。杨玉盛等^[2]研究表明封禁育林措施较植草措施有利于侵蚀区土壤腐殖化程度提高, 黄炎和等^[18]研究表明, 日本草 (*Borreria latisolia*) 等 5 种绿肥翻埋均可提高土壤腐殖质松/紧结合态比值, 其中日本草作用最大。在本试验中人工植草(圆叶决明+百喜草)与自然恢复(封禁)的土壤腐殖质总量基本无差异, 且前者 B、C 土层的松/紧结合态比值较后者分别提高 0.108, 0.040 个单位, 这与杨玉盛等^[2]研究结果不一致, 与他们试验中植草效果不佳有关。恢复过程中, 植被凋落物是影响土壤腐殖化过程的重要因素, 自然恢复区凋落物以芒萁 (*Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh.)、珍珠茅 (*Scleria hebecarpa* Nees) 枯枝落叶为主, 辅以少量油茶枯枝落叶, 生物量较大, 木质素含量较高; 而人工植草区凋落物量主要为圆叶决明、百喜草枯枝落叶虽凋生物量较低, 但其中易分解的纤维素、半纤维素含量较高, 有利于加速其腐殖化过程。

参考文献:

[1] 谢锦升, 杨玉盛, 解明曙, 等. 植被恢复对退化红壤轻组有机质的影响[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 170-175.

- [2] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀, 等. 退化红壤治理模式对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 276-282.
- [3] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 侵蚀红壤人工恢复的马尾松林水源涵养功能[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(2): 48-51.
- [4] 黄炎和, 卢程隆, 杨学震, 等. 侵蚀劣地果园套种绿肥对土壤肥力的影响[J]. 福建农业大学学报, 1996, 25(2): 204-207.
- [5] 李发林, 黄炎和, 刘长全, 等. 土壤管理模式对幼龄果园根际土壤养分和酶活性的影响[J]. 福建农业学报, 2002, 17(2): 112-115.
- [6] 郑仲登, 黄毅斌, 翁伯琦, 等. 福建山地综合开发中红壤保育研究: I. 不同垦殖方式对果园生态系统的影响[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 149-151.
- [7] 向佐湘, 肖润林, 王久荣, 等. 间种白三叶草对亚热带茶园土壤生态系统的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 29-35.
- [8] 徐明岗, 文石林, 高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 77-80.
- [9] 熊毅, 陈家坊. 土壤胶体: 土壤胶体的性质[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 2-11.
- [10] 武天云, Jeff J, 李凤民. 土壤有机质概念和分组技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 717-722.
- [11] 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.
- [12] 傅积平, 张绍德, 褚金海. 土壤有机无机复合度测定法[J]. 土壤肥料, 1978(4): 40-42.
- [13] 傅积平. 土壤结合态腐殖质分组测定[J]. 土壤通报, 1983(2): 36-37.
- [13] 福建省土肥站. 我省耕地、园地土壤养分分级指标初步确定[EB]. 2009-06-22 [2009-07-14] <http://www.fjagri.gov.cn/html/2009/06/22/38683.html>
- [14] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤有机无机复合状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 131-136.
- [15] 熊毅. 土壤有机无机复合与土壤肥力[J]. 土壤, 1982(5): 161-167.
- [16] 彭新华, 李元沅, 赵其国. 我国中亚热带山地土壤有机质研究[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 489-496.
- [17] 马兴旺, 赵成义, 李宁. 退化草场恢复时土壤有机矿质复合体中结合态腐殖质变化[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 22-26.
- [18] 黄炎和, 卢程隆, 杨学震. 有机物料对闽南侵蚀劣地土壤有机质的影响[J]. 福建农业大学学报, 1994, 23(4): 440-445.