

水平阶种植油茶对红壤坡地土壤理化性质的影响

杨文利, 朱平宗, 闫靖坤

(南昌工程学院水利与生态工程学院, 南昌 330099)

摘要: 以江西省玉山县红壤丘陵区不同林龄(1 a 和 15 a)人工油茶林地土壤为研究对象,按不同坡位(上、中、下)、土层(0—10, 10—20cm)采集土壤样品,分析其理化性质。结果表明:(1)随着油茶林龄增加,土壤容重呈减小趋势,而土壤含水量、田间持水量均呈增大趋势;土壤 pH、有机质含量除上坡位外均呈显著增大趋势($P < 0.05$);全氮、全磷、全钾均呈减小趋势;红壤坡地水平阶整地种植油茶后,土壤理化性质有所改善,土壤含水量、田间持水量和土壤有机质含量均有不同程度的增加,而土壤容重和养分(N、P、K)含量有所降低,为满足生产需要,在油茶林抚育过程中,应注意合理施肥,尤其是磷肥的施用。(2)不同坡位间土壤理化性质表现出一定的规律性。土壤容重表现为上坡位<中坡位<下坡位;土壤含水量在上坡位最大,而田间持水量在下坡位最小;有机质含量、全钾均为上坡位<中坡位<下坡位,有机质含量在各坡位间差异显著,而全氮、全磷没有显著差异;(3)与 1 a 油茶林地相比,15 a 林龄的油茶林地土壤理化性质空间差异趋于均匀化。研究结果旨在揭示水平阶整地种植人工油茶复合措施的水土保持效应,为南方红壤坡地水土流失综合治理及人工油茶林地可持续经营提供理论依据。

关键词: 红壤坡地; 人工油茶林; 林龄; 坡位; 土壤理化性质

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0315-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.049

Effect of Horizontal Planting *Camellia oleifera* on Soil Physicochemical Properties in Red Soil Slope Land

YANG Wenli, ZHU Pingzong, YAN Jingkun

(School of Water Resources and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099)

Abstract: In this study, we used soil physicochemical properties analysis were conducted in artificial *Camellia oleifera* forests with different ages (1 years and 15 years) in red soil hilly region of Yushan County, Jiangxi Province. Soil samples were collected in different slope positions (upper slope, middle slope, and lower slope) and different soil layers (0—10 and 10—20 cm). The results showed that: (1) With the increasing of the artificial *Camellia oleifera* forest age, there was a decrease in soil bulk density, and an increase trend in soil water content and field capacity; significant increases in soil pH value and organic matter content of middle and lower slope ($P < 0.05$) were observed, and the contents of total nitrogen, total phosphorus and total potassium decreased; soil physicochemical properties improved after horizontal planting *Camellia oleifera* in red soil slope land, and soil water content, field capacity and soil organic matter content increased in varying degrees, while soil bulk density and nutrient (N, P, K) content decreased, therefore reasonable fertilization, especially the application of P fertilizer, should be pay more attention to meet the need of the production during tending process of *Camellia oleifera* forest. (2) The soil physicochemical properties showed certain regularity in different slope positions. The soil bulk density of different slope positions followed the order of upper slope < middle slope < lower slope; and the water content of upper slope was the maximum, and the minimum field capacity was in lower slope; soil organic matter and total potassium both followed the order of upper slope < middle slope < lower slope, and there was significant difference in soil organic matter among different slope positions, while there was no significant spatial difference in total nitrogen and total phosphorus. (3) Compared with the 1 year *Camellia oleifera* forest, the spatial difference of soil physicochemical properties tended to be homogeneous in the 15 a stands. In order to reveal soil and water conservation effect of the combination measures of horizontal soil preparation and artificial *Camellia oleifera*, and to provided

收稿日期: 2017-05-02

资助项目: 江西省高等学校科技落地计划项目“赣江流域不同植被类型的生态水文效应”(KJLD14095); 南昌工程学院研究生创新专项资金项目(YJSCX20160002)

第一作者: 杨文利(1968—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事生态水文和水土保持研究。E-mail: szyangwl@163.com

the theoretical basis for the comprehensive management of soil erosion and for the sustainable management of artificial tea tree land in the southern red soil slope.

Keywords: sloping land in red soil region; artificial *Camellia oleifera*; forest age; slope position; soil physicochemical properties

红壤是我国南方重要的土壤资源,关系着国家粮食安全和人民生活水平的提高。由于人口、资源、环境间的矛盾加剧,加之区域经济发展不平衡,在不合理的土地利用和水热、地形等自然条件的综合影响下,红壤地区土壤退化严重,其中包括局部水土流失加剧、土壤肥力和生态功能退化、土壤酸化加速等问题。这些退化过程影响了土壤的化学过程(如吸附、交换、沉淀、扩散等)、物理过程(如土壤结构形成、气体扩散、水分运动等)和生物过程(如微生物分解和合成、酶促反应等),最终表现为红壤物理学、化学与生物学特性的退化。土地利用与土地覆盖变化(LUCC)是全球环境变化的重要组成部分和主要原因,土壤作为陆地生态系统最大的碳库,在土地利用变化的研究中占有十分重要的位置,大量研究表明,土地利用变化可以引起陆地生态以及生物地球化学循环过程的变化,导致土壤性质变化和土地生产力改变,进而影响土壤质量和土壤环境变迁^[1-10]。土壤理化性质体现了土壤环境的基本状况,是土壤质量变化最基本的表征和核心研究内容。

油茶(*Camellia oleifera*)在我国南方丘陵山地有悠久的栽培历史,是南方各省重要的木本油料树种^[11-13]。由于其兼具经济价值高、保持水土、涵养水源等多种效益,在南方红壤丘陵区小流域综合治理中应用广泛。水平阶作为坡地造林的整地措施对于苗木成活、土壤水分提高、减少坡面侵蚀有重要作用^[14-17]。本文通过对比分析不同林龄人工油茶林地土壤理化性质变化,旨在揭示水平阶整地种植人工油茶复合措施的水土保持效应,为南方红壤坡地水土流失综合治理及人工油茶林地可持续经营提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于江西省玉山县叶桥小流域(28°40′07″—28°45′02″N,117°57′24″—118°01′54″E),属鄱阳湖水系信江流域,地貌属赣东北构造剥蚀低山丘陵区。流域内地面平均高程为 424 m,相对高差 620 m,地面坡度为 20°~35°。气候属亚热带季风区,多年平均气温 17.5℃,≥10℃积温 5 566℃,无霜期 260 d,大风日数为 6 d,年均日照时数 1 947 h,太阳总辐射量为 4 372.0 MJ/(cm²·a)。多年平均降水量为 1 825.9 mm,雨季主要集中在 4—6 月,约占全年降水量的 50%左右。多年平均输沙量为 4.57 万 t。土壤以泥质岩类、石灰岩类、红砂岩类风化物发育的红壤为主。

地带性植被为亚热带常绿阔叶林,流域内现状植被以马尾松、湿地松为主。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品的采集 在流域内分别选取 1 a 生和 15 a 生的人工油茶林坡地为采样点,其中 1 a 生油茶林地采样点地面平均坡度为 26°,坡向为阳坡,土壤为红砂岩类风化物发育的红壤,海拔为 300 m,林下植被以箬萁为主,盖度约为 0.7;15 a 生油茶林地采样点地面平均坡度为 28°,坡向为阳坡,土壤为红砂岩类风化物发育的红壤,海拔为 320 m,林下植被以箬萁和灌草为主,盖度约为 0.75,两采样点相距 1 km。土壤样品按“S”形采样法,整个坡面分上、中、下 3 个坡位分别采集 0—10,10—20 cm 的土样,每个坡位设置 3 个重复,并按四分法混合后作为一个样品。去除杂质,自然风干后进行土壤理化性质的分析。

采样时间为 2016 年 4 月中旬,采样前刚降雨。采样地均采用水平阶整地(按行距 3 m 沿等高线修筑水平阶,水平阶宽 1.5 m,台面向内侧倾斜 3°~5°)后种植油茶,油茶林每年施农家肥和菜籽饼发酵的有机肥 2 次。

1.2.2 样品分析 土壤容重采用环刀法测定;含水量采用烘干法测定;pH 采用电极电位法测定(水土质量比 2.5:1);有机质采用硫酸—重铬酸钾氧化外加加热法测定;全氮采用全自动凯氏定氮仪法测定;全磷采用 NaOH 碱熔—钼锑抗比色法测定;全钾采用碱熔定容—火焰光度计法测定;田间持水量采用威尔科克斯法测定^[18]。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 和 SPSS 21.0 统计软件进行数据整理和分析。其中不同林龄的土壤理化性质用独立样本 T 检验,不同坡位间的土壤理化性质的差异性用 LSD 多重比较检验^[19],且均取两土层数据的平均值进行差异分析,其中($P < 0.05$)表示在 0.05 显著水平下有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 油茶种植对土壤物理性质的影响

容重和含水量是土壤蓄水能力的重要指标,土壤容重越小,土壤的孔隙度越大,土壤越疏松,结构性越好,蓄水能力越强;而田间持水量长期以来被认为是土壤所能稳定保持的最高含水量,通常土壤的持水性能越好,土壤的田间持水量也越大^[20]。

由表 1 可知,不同林龄(1,15 a)油茶林地土壤物理性质呈现一定的差异性。1 a 生油茶林地土壤容重

均值为 1.29 g/cm^3 , 变化范围为 $1.23 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$, 大于 15 a 油茶林地的土壤容重; 而 15 a 油茶林地的土壤含水量均值为 21.65% , 高于 1 a 油茶林地土壤含水量均值 (16.55%), 同样田间持水量也高于 1 a

油茶林地的田间持水量。可见, 随着油茶林种植年限的增加土壤容重在减小, 而含水量和田间持水量在增大; 同一林龄油茶林地, 土壤容重随土层深度的增加而增大, 而土壤含水量和田间持水量均变小。

表 1 不同林龄油茶林地土壤物理性质描述性统计特征值

指标	林龄/a	土层/cm	极大值	极小值	平均值	标准差	变异系数/%
容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1	0—10	1.26	1.23	1.24	0.02	1.28
		10—20	1.45	1.25	1.34	0.10	7.68
	15	0—10	1.15	1.02	1.08	0.07	6.18
		10—20	1.31	1.08	1.19	0.15	9.64
含水量/ %	1	0—10	21.18	15.96	17.93	2.83	15.82
		10—20	17.20	13.40	15.17	1.91	12.62
	15	0—10	24.14	22.55	23.30	0.80	3.43
		10—20	20.37	19.81	20.02	0.31	1.53
田间持 水量/%	1	0—10	28.59	26.88	27.53	1.04	3.80
		10—20	26.60	23.92	25.67	1.36	5.34
	15	0—10	29.31	27.16	27.89	1.10	3.87
		10—20	28.04	25.72	27.38	1.16	4.31

进一步分析(图 1)发现, 与 1 a 油茶林地相比, 15 a 林地的土壤容重在各坡位上均呈减小的趋势, 其中上坡位表现为显著性减小的趋势 ($P < 0.05$), 上坡位、中坡位和下坡位分别减少了 15% , 12% , 9% ; 土壤含水量和田间持水量都呈不显著的增大趋势, 其中含水量在上坡位、中坡位和下坡位分别增大了 14% , 34% , 48% , 而田间持水量增大量分别为 6% , 3% , 4% 。说明随着油茶林种植年限的增加, 土壤孔隙率有所增加, 从而使土壤含水量和持水能力提高。而在相同林龄不同坡位上, 土壤容重表现为上坡位 $<$ 中坡位 $<$ 下坡位, 但没有达到显著性差异; 含水量在上坡位最大, 而田间持水量在下坡位最小。

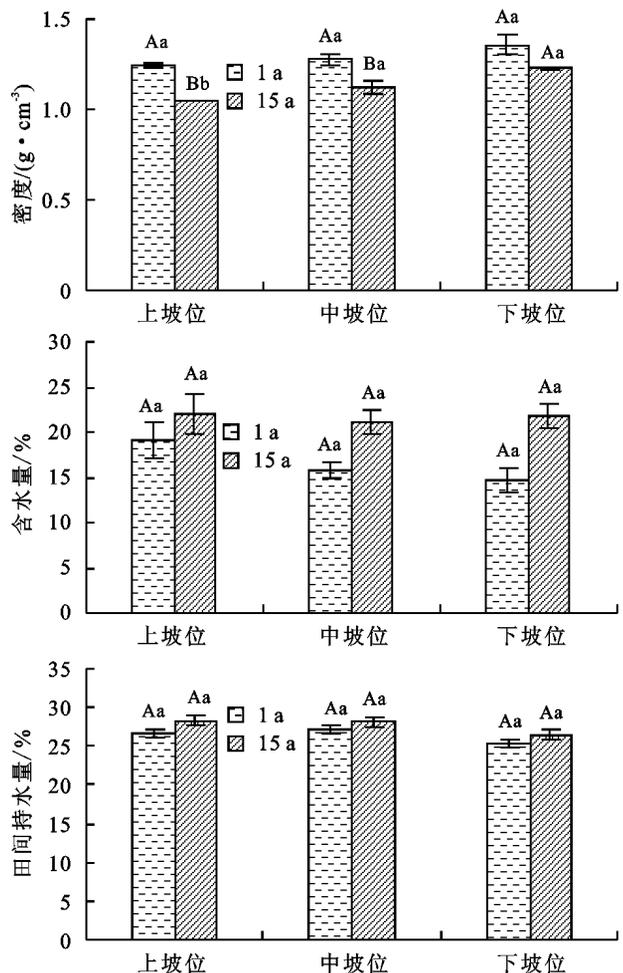
2.2 油茶种植对土壤 pH 和有机质的影响

土壤的酸碱性不仅直接影响作物的生长, 而且与有机质的分解和 N、P 等养分的转化与释放等都有密切关系^[21]; 土壤有机质可以改善土壤结构, 提高土壤保水保肥能力, 有机质含量的高低是衡量土壤肥力的重要指标^[22]。

由表 2 可知, 1 a 生油茶林地土壤 pH 为 $3.16 \sim 3.71$, 有机质含量为 $24.94 \sim 46.93 \text{ g/kg}$; 15 a 生油茶林地土壤 pH 为 $3.41 \sim 4.00$, 有机质含量为 $32.83 \sim 48.73 \text{ g/kg}$ 。可以看出随着油茶种植年限的增加, 土壤的 pH 和有机质含量均有一定程度的提高。同一林龄油茶林地, 随着土层深度的增加, 土壤 pH 和有机质含量均变小。

进一步分析(图 2)发现, 与 1 a 油茶林地相比, 15 a 油茶林地土壤的 pH 和有机质含量在各坡位上均呈增大的趋势, 且除在上坡位呈不显著的增大趋势外, 在中坡位和下坡位均呈显著增大的趋势 ($P < 0.05$), 在上、中、下坡位上土壤的 pH 增加量分别为 14.5% , 7% , 9% , 有机质含量的增加量分别为 0.8% , 8% , 10% , 这说明油茶林种植对红壤坡地土壤的酸性有一定的改善作用, 同时

可有效提高土壤有机质含量, 这主要是由于林龄的增加使得枯落物不断积累增加造成的。在相同林龄不同坡位上, 1 a 和 15 a 油茶林地有机质含量则表现为上坡位 $<$ 中坡位 $<$ 下坡位, 且在各坡位间差异显著 ($P < 0.05$); pH 在各坡位间没有明显的变化规律。



注: 不同大写字母表示相同林龄不同坡位显著差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示相同坡位不同林龄显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 1 油茶种植对土壤物理性质的影响

表 2 不同林龄油茶林地土壤化学性质描述性统计特征值

指标	林龄/a	土层/cm	极大值	极小值	平均值	标准差	变异系数/%
pH	1	0—10	3.71	3.32	3.48	0.20	5.82
		10—20	3.42	3.16	3.32	0.14	4.28
	15	0—10	4.00	3.73	3.85	0.14	3.57
		10—20	3.77	3.41	3.63	0.19	5.26
有机质/ (g · kg ⁻¹)	1	0—10	46.93	35.58	41.38	5.68	13.72
		10—20	24.94	40.29	31.87	7.78	24.42
	15	0—10	48.73	33.69	41.05	7.53	18.33
		10—20	41.18	32.83	37.08	4.18	11.26
N 含量/(g · kg ⁻¹)	1	0—10	3.43	2.39	2.96	0.53	17.82
		10—20	2.25	2.01	2.13	0.12	5.65
	15	0—10	2.45	2.23	2.34	0.11	4.70
		10—20	2.37	2.05	2.21	0.16	7.23
P 含量/(g · kg ⁻¹)	1	0—10	0.62	0.45	0.52	0.09	17.56
		10—20	0.70	0.59	0.63	0.06	9.66
	15	0—10	0.47	0.42	0.44	0.03	6.61
		10—20	0.50	0.57	0.54	0.04	6.68
K 含量/(g · kg ⁻¹)	1	0—10	37.28	35.64	36.73	0.95	2.58
		10—20	57.06	34.00	48.83	12.87	26.35
	15	0—10	37.28	14.22	26.30	11.57	43.99
		10—20	47.19	37.29	39.49	6.87	17.39

2.3 油茶种植对土壤全氮、全磷、全钾含量的影响

氮是植物生长和发育所需的大量元素之一,也是植物从土壤中吸收量最大的元素之一,全氮含量表明了氮素的供应量,反映了土壤氮含量的总体水平^[23];土壤全磷是土壤中各种形态磷素的总和,但土壤磷含量的高低主要受土壤母质、成土作用和后期施肥的影响;土壤中钾的含量主要来自于土壤中的含钾矿物、后期施肥和淋溶等的影响。通过对以上养分指标的测定,来评价油茶林地土壤肥力的变化规律。

由表 2 可知,1 a 油茶林地土壤全氮含量为 2.01~3.43 g/kg,全磷含量为 0.45~0.70 g/kg,全钾含量为 34.00~57.06 g/kg;而 15 a 生油茶林地土壤全氮含量为 2.05~2.45 g/kg,全磷含量为 0.42~0.57 g/kg,全钾含量为 14.22~47.19 g/kg,可以看出随着林龄的增加,土壤的全氮、全磷和全钾含量均有一定程度的减小。相同林龄,随着土层深度的增加,1 a 油茶林地土壤全氮含量呈减小的趋势,而全磷和全钾含量则没有明显的变化规律;15 a 油茶林地土壤全氮含量在减小,而全磷和全钾含量则在增加。

由图 2 可知,随着油茶种植年限的增加,在各坡位上,土壤全氮、全磷和全钾均呈不显著的减小趋势。与 1 a 相比,15 a 油茶林地土壤全氮含量在上坡位、中坡位和下坡位的减小量分别为 7.8%,17.3%,5.1%;全磷含量的减小量分别为 5.7%,16.4%,19.3%;全钾的减小量分别为 30.8%,19.6%,20.9%。在相同林龄不同坡位上,全钾含量表现为上坡位<中坡位<下坡位,但没有达到显著性差异;而全氮和全磷含量没有明显的变化规律。

3 讨论

土地利用方式和地形是决定坡地土壤理化性质变化的重要因素,同时降雨产生水土流失也是造成坡面土壤性质和养分分布差异的一个因素^[24]。本研究得出随着林龄的增加土壤容重呈减小趋势,而含水量和田间持水量呈增加趋势,这与张慧等^[25]得到的结果一致,主要是由于水平阶整地能够有效的削减地表径流流速,增加土壤下渗量;其次随着油茶林龄的增加,油茶林根系不断扩张及枯落物的不断积累,使土壤质地变得疏松多孔,土壤的下渗能力也在增强,而水平阶汇集的降水通过下渗方式增加土壤的含水量。可见,水平阶整地种植油茶林能够增强红壤坡地涵养水源、保持水土能力。而在相同林龄不同坡位上,1 a 和 15 a 的油茶林地土壤容重表现为上坡位<中坡位<下坡位,虽然土壤含水量在上坡位最大,而田间持水量在下坡位最小,但基本呈现出上坡位>中坡位>下坡位的趋势,可能是由于油茶林地坡型的影响造成的,有待进一步研究。

随着林龄的增加,土壤的 pH 呈增大的趋势,说明油茶林的种植有利于改善红壤坡地土壤的酸性;土壤的有机质含量也呈增大的趋势,除上坡位外均表现为显著性增大的趋势。可能是由于上坡位植被状况相对于中、下坡位较差,枯落物的积累量相对较少,而水土流失使得上坡位的表层土壤流失,导致有机质含量在上坡位呈不显著增大趋势。

与王纪杰等^[26]在人工巨尾桉上的研究结果一致:随着林龄的增加,土壤全氮、全磷和全钾含量均呈不显著的减小趋势,主要是人工油茶林的生长需要消耗大量的养分,且油茶林挂果后,果实被采摘,使得养分没有完全归还土壤,且后期人工抚育施肥量不足等

导致土壤养分的减小,从而使得油茶林地土壤肥力有降低的趋势,因此应加大抚育期间的施肥量。

的趋势^[26]。而本研究与1 a的油茶林地相比,15 a的油茶林地土壤理化性质指标在各个坡位上相差较小,更趋于均一化。这可能是由于水平阶整地方式减缓了坡面地表径流流速,而随着林龄的增加,上坡位土壤和养分的流失量在越来越小,导致土壤理化性质在上、中、下3个坡位上更趋于均一化。

4 结论

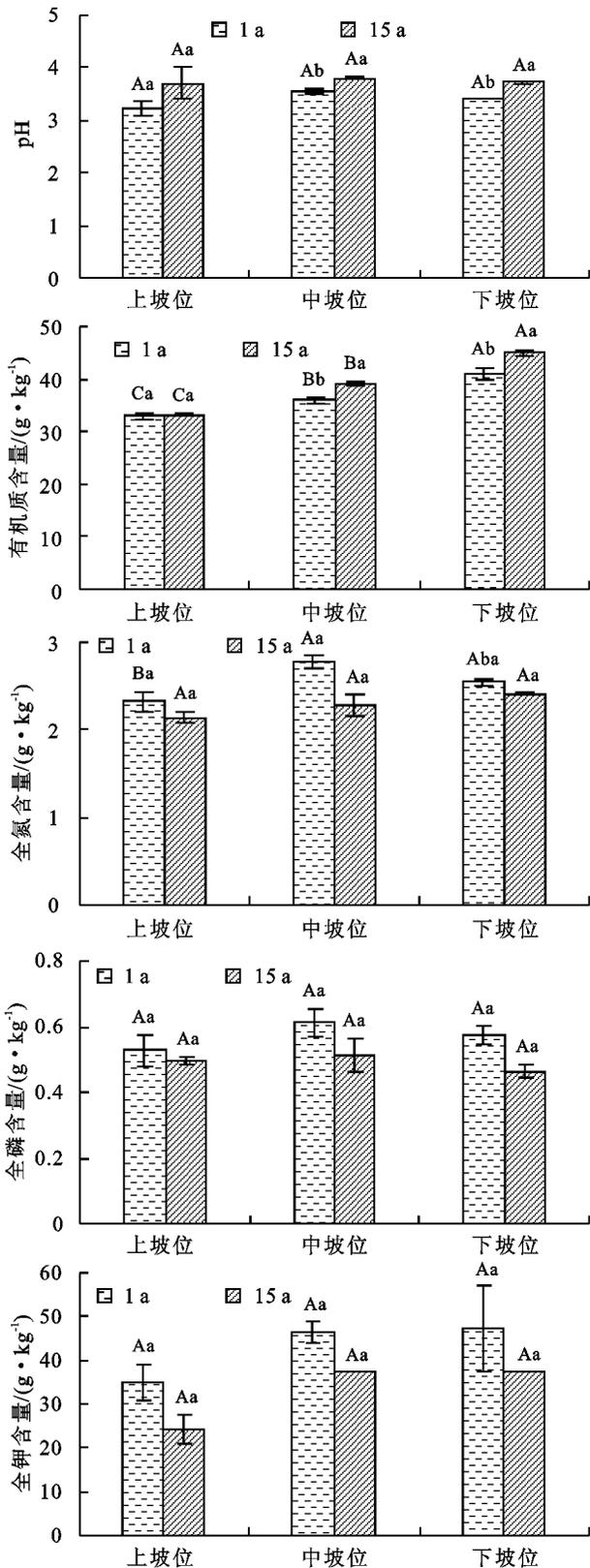
(1)随着林龄的增加,人工油茶林地土壤物理性质有明显的改善,土壤容重除上坡位外均呈减小的趋势,而土壤含水量和田间持水量均呈增大的趋势;在相同林龄不同坡位上,土壤容重均表现为上坡位<中坡位<下坡位,土壤含水量在上坡位最大,而田间持水量在下坡位最小。

(2)随着油茶林种植年限的增加,土壤的pH和有机质含量均呈增大趋势,而全氮、全磷和全钾含量均呈减小的趋势;在相同林龄下,土壤的有机质含量表现为上坡位<中坡位<下坡位,且各坡位之间呈显著性差异;土壤全钾含量表现为上坡位<中坡位<下坡位,除15 a油茶林上坡位与中坡位和下坡位呈显著性减小外,其他没有显著性关系;而土壤pH、全磷和全氮含量没有明显的变化规律。

(3)水平阶种植油茶能够有效的减小林地土壤理化性质的空间差异性,使其更趋于均一化。

参考文献:

- [1] 陈超,杨丰,赵丽丽,等. 贵州省不同土地利用方式对土壤理化性质及其有效性的影响[J]. 草地学报, 2014, 22(5): 1007-1013.
- [2] 杨智杰,崔纪超,谢锦升,等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理科学, 2010, 16(3): 475-480.
- [3] 黄晓强,赵云杰,信忠保,等. 北京山区典型土地利用方式对土壤理化性质及可蚀性的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 5-10.
- [4] 李娟,廖洪凯,龙健,等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2147-2156.
- [5] 张仕吉,项文化,孙伟军,等. 湘中丘陵区不同土地利用方式对土壤有机碳和微生物量碳的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 222-227.
- [6] 李民义,张建军,王春香,等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 125-130.
- [7] 陆晴,王玉刚,李彦,等. 淋溶条件下土地利用方式对土壤有机碳含量及其理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 242-247.
- [8] 张淑娟,王道杰,梅永丽,等. 泥石流多发区小流域土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 257-262.
- [9] 刘志祥,江长胜,祝滔. 缙云山不同土地利用方式对土壤全磷和有效磷的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),



注:不同大写字母表示相同林龄不同坡位差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示相同坡位不同林龄差异显著($P<0.05$)。

图2 油茶种植对土壤化学性质的影响

在不同坡位上,一般而言,由于受重力的影响,上坡位水土流失较为严重,土壤从上坡位到下坡位表现为由剥蚀到堆积的过程,土壤有机质和养分应呈增大

- 2013,35(3):140-145.
- [10] 周义贵,郝凯婕,李贤伟,等. 川西亚高山不同土地利用类型对土壤微生物量碳动态特征的影响[J]. 自然资源学报,2014,29(11):1944-1956.
- [11] 国家油茶科学中心. 油茶高效实用栽培技术[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [12] 俞元春,白玉杰,俞小鹏,等. 油茶林施肥效应研究概述[J]. 林业科技开发,2013,27(2):1-4.
- [13] 周寅杰,王瑞辉,陈志钢,等. 低山丘陵地区油茶林地土壤水分特性分析[J]. 经济林研究,2013,31(1):7-12.
- [14] 杨帆,张富,马立鹏,等. 柠条林径流聚集工程的土壤水分研究[J]. 北京林业大学学报,2014,36(6):124-129.
- [15] 杨万芳,张富,邢自生,等. 定西市安定区退耕还林地径流聚集工程的土壤增墒效果[J]. 水土保持通报,2016,36(3):8-12.
- [16] 于洋,卫伟,陈利顶,等. 黄土丘陵区坡面整地和植被耦合下的土壤水分特征[J]. 生态学报,2016,36(11):3441-3449.
- [17] 张国庆,杨吉华,于连家,等. 石灰岩山地不同整地组合对侧柏林蓄水保土功能的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(1):209-214.
- [18] 江培福,雷廷武,刘晓辉,等. 用毛细吸渗原理快速测量土壤田间持水量的研究[J]. 农业工程学报,2006,22(7):1-5.
- [19] 郑宁,胡雄,薛晓光. SPSS 21 统计分析与应用从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [20] 覃森,翟禄新,周正朝. 桂北地区土地利用类型对土壤饱和导水率和持水能力的影响研究[J]. 水土保持研究,2015,22(3):28-32.
- [21] 李双龙,杜超群,韩梅,等. 不同林龄日本落叶松人工林土壤化学性质的变化[J]. 西部林业科学,2016,45(3):128-131.
- [22] 赵筱青,丁宁,闫平. 滇西南不同林龄桉树林土壤理化性质的变化规律分析[J]. 安徽农业科学,2012,40(6):10455-10458.
- [23] 刘兴诏,周国逸,张德强,等. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征[J]. 植物生态学报,2010,34(1):64-71.
- [24] 李志,刘文兆,王秋贤. 黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(6):1303-1308.
- [25] 张慧,孙栋元. 不同林龄日本落叶松人工林对凋落物与土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(1):12-16.
- [26] 王纪杰,王炳南,李宝福,等. 不同林龄巨尾桉人工林土壤养分变化[J]. 森林与环境学报,2016,36(1):8-14.
- (上接第 314 页)
- [15] 吕春娟,路琼. 矿区复垦植被土壤涵养水源功能的研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):184-188.
- [16] 牛勇,刘洪禄,张志强. 北京地区典型树种及非生物因子对枯落物水文效应的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(8):183-189.
- [17] 吕刚,傅昕阳,李叶鑫,等. 露天煤矿排土场复垦区不同植被类型枯落物持水特性研究[J]. 水土保持学报,2017,31(1):146-152.
- [18] 张洪江. 水土保持与荒漠化防治实践教程[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [19] 孟秦倩,王健,吴发启. 延安丘陵沟壑区坡面果园土壤水库特征[J]. 灌溉排水学报,2008,27(1):93-95.
- [20] 李强,周道玮,陈笑莹. 地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J]. 生态学报,2014,34(14):3807-3819.
- [21] Das T, Das A K. Litter production and decomposition in the forested areas of traditional homegardens: A case study from Barak Valley, Assam, northeast India [J]. Agroforestry Systems,2010,79(2):157-170.
- [22] 施爽,郭继勋. 松嫩草原三种主要植物群落枯落物层生态水文功能[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1722-1726.
- [23] 赵锦梅,张德罡,刘长仲. 东祁连山土地利用方式对土壤持水能力和渗透性的影响[J]. 自然资源学报,2012,27(3):422-429.
- [24] 刘洁,李贤伟,纪中华,等. 元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性[J]. 生态学报,2011,31(8):2331-2340.
- [25] 胡建朋,杨吉华,罗明达,等. 山东石灰岩山地不同林分类型土壤入渗特征研究[J]. 水土保持学报,2011,25(3):54-58.
- [26] 吕刚,吴祥云. 土壤入渗特性影响因素研究综述[J]. 中国农学通报,2008,24(7):494-499.
- [27] 黄荣珍,杨玉盛,谢锦升,等. 福建闽江上游不同林地类型土壤水库“库容”的特性[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):92-96.
- [28] 何斌,黄承标,秦武明,等. 不同植被恢复类型对土壤性质和水源涵养功能的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(2):71-74.
- [29] 徐军,牛健植. 北京鹫峰山区常见树种的枝叶及枯落物截留特征[J]. 水土保持学报,2016,30(1):103-110.
- [30] 魏雅丽,贺玉晓,金杰,等. 元谋干热河谷典型植被枯落物持水能力研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):181-186.
- [31] 孙佳美,余新晓,李瀚之,等. 模拟降雨下枯落物调控坡面产流产沙过程及特征研究[J]. 水利学报,2017,48(3):341-350.
- [32] 栾莉莉,张光辉,孙龙,等. 黄土高原区典型植被枯落物蓄积量空间变化特征[J]. 中国水土保持科学,2015,13(6):48-53.
- [33] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等. 六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J]. 北京林业大学学报,2009,31(1):91-99.