

花椒不同种植密度下土壤活性有机碳变化规律

吴富雨¹, 李元会^{1*}, 文婧¹, 邹德强¹, 王腊梅², 刘志斌¹, 贺婷婷³ (1. 四川省甘孜州林业科学研究所, 四川甘孜 626001; 2. 四川省甘孜州康定木材检查站, 四川甘孜 626000; 3. 四川省阿坝州茂县林草局, 四川阿坝 623200)

摘要 [目的] 检验退耕还林工程改造效果, 探讨四川省甘孜州地区植树造林和生态恢复对生态系统碳汇/源功能的影响。[方法] 以甘孜州泸定县田坝乡种植的花椒地为研究区域, 研究退耕还林 3 年后不同种植密度下 (0.5 m×0.5 m、0.5 m×1.0 m、1.0 m×1.0 m) 各土层 (0~15、15~30、30~45 cm) 土壤总有机碳和活性有机碳的含量。[结果] 随着土层厚度的增加, 上层土壤有机碳和活性有机碳含量最高, 中层次之, 下层最低; 不同种植密度下土壤有机碳和活性有机碳之间有差异均高于对照, 且 0.5 m×0.5 m 种植密度下最大。[结论] 高密度种植花椒更有利于区域生态恢复、提升生态系统的碳汇/源功能, 并有利于提升其产业价值。

关键词 花椒; 种植密度; 土壤有机碳; 土壤活性有机碳; 生态恢复

中图分类号 S 153.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)14-0119-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.14.030

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Changes of Soil Active Organic Carbon under Different Planting Densities of *Zanthoxylum bungeanum*

WU Fu-yu, LI Yuan-hui, WEN Qiang et al (Ganzi Institute of Forestry and Science, Ganzi, Sichuan 623200)

Abstract [Objective] In order to test the effects of the conversion of farmland to forests and discuss the impact of afforestation and ecological restoration on the carbon sink/source function of the ecosystem in this area. [Method] Taking the prickly ash field planted in Tianba Township, Luding County, Ganzi as the study area, after returning farmland to forest 3 years later, the contents of total organic carbon (TOC) and active organic carbon (AOC) in different soil layers (0-15, 15-30, 30-45 cm) under different planting densities (0.5 m×0.5 m, 0.5 m×1.0 m, 1.0 m×1.0 m) were studied. [Result] The result showed that with the increase of soil thickness, the contents of organic carbon and active organic carbon in the upper layer were the highest, followed by the middle layer, and the lowest in the lower layer. The difference between soil organic carbon and active organic carbon under different planting densities was higher than that of the control, and the difference was the largest under 0.5 m×0.5 m planting density. [Conclusion] High-density planting of *Zanthoxylum* was more conducive to ecological restoration in the region, improving the carbon sink/source function of the ecosystem, and increasing its industrial value.

Key words *Zanthoxylum bungeanum*; Planting density; Soil organic carbon; Soil active organic carbon; Ecological restoration

随着科技的不断进步, 人类活动如工业化加快、森林的大面积乱砍滥伐、过度放牧、毁林开垦、农作物秸秆的焚烧等, 造成了土壤碳库的大量损失, 大量的土壤有机碳被氧化并以 CO₂ 等形式释放到大气中, 导致全球气候显著变化^[1]。同时气候变化加快了这一过程, 破坏了土壤有机碳与大气碳之间的平衡, 产生的温室效应成为目前世界三大环境问题之一^[2]。全球环境变化作为未来人类社会必须面对的重大问题, 全世界已经达成统一共识。而陆地生态系统碳库对全球气候变化的影响, 不仅是预测气候变化与 CO₂ 含量的重要基础, 同时是解决人类发展的根本性难题。陆地生态系统碳库主要由植被层、凋落物层和土壤层 3 个分碳库组成, 全球森林中 44% 的有机碳储存于土壤中^[3]。有机碳不仅影响土壤的理化性质和生物学特性^[4], 同时在土壤结构和土壤肥力中起着至关重要的作用^[5]。

土壤活性有机碳因其具有移动快、稳定性差、易氧化矿化、活性较高的特点, 是土壤有机碳最重要的组成部分, 包括动植物残体、微生物排泄物和分泌物等^[6]。根据分离方法和测定方式的不同, 常被划分为可溶性有机碳 (dissolved organic carbon, DOC)、土壤微生物生物量碳 (soil microbial biomass carbon, SMBC)、易氧化有机碳 (readily oxidizable carbon, ROC)、颗粒有机碳 (particulate organic carbon, POC) 等^[7]。可

溶性有机碳不仅能促进矿物的风化, 也是土壤微生物最重要的物质和能量来源, 影响微生物的新陈代谢, 而且对生态系统营养物质的流动性、有效性和重金属毒性的迁移都有直接作用。一些研究认为可溶性有机碳含量随土层深度的增加而不断增加^[8-9], 也有部分学者认为 DOC 含量随土层深度增加呈现先降低后升高的趋势^[10]。SMBC 是用来表示土壤微生物量大小的指标, 土壤微生物量主要包括细菌、真菌和放线菌等, 是土壤活性有机碳中最活跃、最易变化的部分, 不仅直接参与土壤养分转化和循环, 还在维护生态平衡方面有重要意义^[11]。ROC 是土壤有机碳中对物理/化学等干扰因素反应最敏感的部分, 对土壤结构的稳定有着重要作用^[12]; 同时对于大气环境的优劣也起着指示作用, ROC 的变化可以指示土壤有机质的早期变化^[13]。POC 主要由砂粒结合的植物残体分解产物组成, 可以结合在土壤大团聚体与微团聚体中, 是新鲜植物残体腐化和稳定有机质腐解过程中的中间产物, 周转速率介于活性和非活性有机碳之间, 对于揭示土壤中有机碳循环过程具有重要价值^[14]。

土壤活性有机碳的影响因素主要可以划分为自然因素、气候变化、地形和土壤理化性质、土壤酶活性和生物因素^[15-17]等, 其中生物因素主要通过植树造林、抚育间伐管理、水肥灌溉等方式提高区域内动植物种类和数量, 是解决土壤有机碳与大气碳之间平衡的重要手段和根本途径。植树造林不仅有利于水土保持、防风固沙、净化环境, 还能够为人类提供木材和林副产品, 广受社会接纳和推广。四川省甘孜州隶属于长江上游, 是退耕还林、天然林保护的重点区域, 但该

基金项目 甘孜州地方财政资金项目“花椒病虫害防治技术研究”。
作者简介 吴富雨(1992—), 男, 四川仁寿人, 工程师, 硕士, 从事林木遗传育种工作。* 通信作者, 工程师, 硕士, 从事经济林栽培研究。
收稿日期 2020-11-19

区域经济发展落后,亟需解决生态和经济发展的双重问题。

花椒属落叶小乔木或灌木,具有重要的食用、药用、经济价值,不仅能够支持区域产业振兴,同时作为速生小乔木,有着解决水土保持、生态修复和涵养水源等重要生态功能。但在关注其经济效益的同时,忽视了其生态效益的发挥。该试验以2016年11月底四川省甘孜州泸定县田坝乡种植的花椒地为研究区域,研究其退耕还林3年后土壤活性有机碳的变化规律,以期为检验退耕还林工程改造效果及为该地区植树造林和生态恢复以及产业规划提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 泸定县隶属四川省甘孜藏族自治州(101°46′~102°25′E,29°54′~30°10′N),位于四川省西部二郎山西麓、甘孜藏族自治州东南部,界于邛崃山脉与大雪山脉之间,大渡河由北向南纵贯泸定县全境。地处四川盆地到青藏高原过渡带,受东南、西南季风和青藏高原冷空气双重影响,气候垂直差异明显,海拔1800 m以下地区属亚热带季风气候,为有名的干热河谷地区。属高原气候区,冬无严寒,夏无酷暑,冬季干燥温暖,季均温度7.5℃;夏季温凉湿润,季均温度22.7℃;年平均气温16.5℃,年平均无霜期279 d,年均降雨量664.4 mm。珍稀植物种类较多,主要有红豆杉、康定木楠、连香树、麦吊杉、银杏等40余种国家保护的珍贵植物;山野菜资源丰富,有山白菜、蕨菜、香椿、刺五加、鱼腥草等。

1.2 试验设计 该试验共设3个花椒种植密度,分别为 T_1 :0.5 m×0.5 m, T_2 :0.5 m×1.0 m, T_3 :1.0 m×1.0 m,未种植花椒样地为对照(CK)。每处理3次重复,合计12个样地。每个样地间均设置2 m×2 m的缓冲带,并进行挖沟处理,以防干扰。

花椒栽植前对试验区进行翻耕、除草、浇水,施加草木灰等整地处理措施,栽植后未进行任何人工管护措施。于栽植后3年,在样地内分别按照“S”形选择5个样点,采用环刀法

进行土壤样品采集处理,在每个样地内分别采用分层法进行采样(0~15、15~30、30~45 cm),先取上层土样,再取中层土样,后取下层土样,上、中、下各层土样分别混匀后,采用四分法采集适量土样,剔除草根、石块和凋落物,分别做好标记放入冰盒中,快速带回实验室进行处理。

1.3 测定方法 土壤有机碳(SOC)含量的测定采用重铬酸钾外加热法;DOC含量的测定采用水提取法;SMBC含量的测定采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取法;ROC含量的测定采用0.333 mol/L高锰酸钾氧化法;POC含量的测定采用5 g/L六偏磷酸钠分散法。

1.4 数据处理 用Excel软件进行整理和汇总,采用SPSS 20.0软件进行统计分析,各处理间先采用双因素方差分析种植密度、土层厚度及其交互作用对土壤SOC和活性有机碳各组分的影响,其次采用单因素方差分析种植密度和土层厚度之间的差异性,显著性判断采用0.05水平。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度下各层土壤有机碳含量 由双因素方差分析可知(表1),不同种植密度、土层厚度及其交互作用均会对土壤有机碳含量产生显著影响($P<0.05$)。单因素方差分析结果表明(表2),不同花椒种植密度均会提高SOC含量,且显著高于CK($P<0.05$), T_1 、 T_2 和 T_3 处理上层土壤有机碳分别约为CK的1.67、1.55和1.53倍,表明花椒种植能够提升土壤表层SOC含量;同时中、下层土壤SOC含量之间也有显著增加($P<0.05$)。随着种植密度增加,SOC含量表现为 $T_1>T_2>T_3$,但各处理间差异不显著($P>0.05$);随土层厚度增加,SOC表现为上层>中层>下层($P<0.05$),表明种植花椒在短期内能够改变各土层SOC含量,但土壤上层影响更显著。总体而言,高密度种植能够在短期内提升土壤SOC含量。

表1 不同种植密度下各层土壤SOC和活性有机碳的双因素方差分析(P值)

Table 1 Two factor analysis of variance of soil organic carbon and active organic carbon in different planting densities(P value)

变异来源 Source of variation	SOC	DOC	SMBC	ROC	POC
土层厚度 Thickness of soil layer	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
种植密度 Planting density	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
土层厚度×种植密度 Thickness of soil layer × planting density	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05

表2 不同种植密度下各土层SOC含量

Table 2 SOC content in different soil layers under different planting densities g/kg

处理 Treatment	上层 Upper (0~15 cm)	中层 Middle (15~30 cm)	下层 Lower (30~45 cm)
T_1	23.74±0.79 Aa	19.31±1.26 Ab	13.57±0.36 Ac
T_2	21.94±0.35 Aa	18.85±0.42 Ab	13.45±0.55 Ac
T_3	21.76±1.52 Aa	18.77±1.32 Ab	12.34±1.09 ABc
CK	14.18±1.12 Ba	13.27±1.03 Bab	11.43±1.26 Bc

注:同列不同大写字母表示各处理间SOC含量差异显著($P<0.05$),同行不同小写字母表示各土层SOC含量差异显著($P<0.05$)

Note: Different capital letters in the same column indicate significant differences in total organic carbon content among treatments ($P<0.05$), different lowercases letters in the same row indicate significant differences in total organic carbon content among soil layers ($P<0.05$)

2.2 不同种植密度下各层土壤活性碳含量 由表1可知,不同种植密度、土层厚度及其交互作用均对土壤活性有机碳(DOC、SMBC、ROC和POC)产生显著影响($P<0.05$),但交互作用对ROC除外($P>0.05$)。由表3可知,花椒种植均能够显著提高各土层DOC、SMBC、ROC和POC含量,大致表现为上层>中层>下层($P<0.05$),上层效果更明显;其次高种植密度效果更好,表现为 $T_1>T_2>T_3>CK$ ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同种植密度对土壤总有机碳含量的影响 土壤有机碳的含量是评价土壤质量的重要指标,它既能增强土壤的保肥和供肥能力,提高土壤养分的有效性,还可以促进团粒结构的形成,改善土壤的通透性、透水性及蓄水能力,增强土壤的缓冲等^[4,15]。该研究发现,随着土层厚度的增加,土壤总

表3 不同种植密度下各土层土壤活性碳含量

Table 3 Soil active carbon content in each soil layers under different planting densities

处理 Treat- ment	DOC 含量 DOC content//mg/kg			SMBC 含量 SMBC content//mg/kg			ROC 含量 ROC content//g/kg			POC 含量 POC content//g/kg		
	0~ 15 cm	15~ 30 cm	30~ 45 cm	0~ 15 cm	15~ 30 cm	30~ 45 cm	0~ 15 cm	15~ 30 cm	30~ 45 cm	0~ 15 cm	15~ 30 cm	30~ 45 cm
T ₁	91.48± 0.98 Aa	67.34± 1.26 Ab	48.37± 1.23 Ac	563.12± 2.38 Aa	444.37± 3.59Ab	387.15± 3.26 Ac	3.76± 0.43 Aa	3.12± 0.39 Aa	1.97± 0.21 Ab	8.53± 0.65 Aa	4.95± 0.63 Ab	3.97± 0.75 Ab
T ₂	80.13± 0.85 Ba	54.73± 1.35 Bb	45.27± 0.89 Bc	548.57± 3.59 Ba	423.48± 4.21 Bb	383.12± 3.53 Ac	3.58± 0.35 Aa	2.78± 0.15 Ab	1.91± 0.13 Ac	6.78± 0.17 Ba	4.83± 0.33 Ab	3.93± 0.32 Ac
T ₃	69.58± 3.26 Ca	51.08± 2.35 Cb	39.85± 1.59 Cc	527.79± 5.32 Ca	417.59± 3.25 Bb	341.57± 1.29 Bc	3.16± 0.26 ABa	2.53± 0.35 ABb	1.83± 0.17 Ac	5.98± 0.29 Ca	4.67± 0.32 Ab	3.82± 0.42 Ac
CK	54.18± 2.53 Da	47.53± 1.89 Db	34.33± 1.53 Dc	514.83± 8.59Da	385.47± 7.35 Cb	332.1± 9.56 Bb	2.87± 0.25 Ba	2.14± 0.31 Bb	1.78± 0.12 Ab	5.85± 0.43 Ca	4.53± 0.32 Ab	3.71± 0.31 Ac

注:同列不同大写字母表示各处理间总有机碳含量差异显著($P < 0.05$),同行不同小写字母表示各土层总有机碳含量差异显著($P < 0.05$)

Note: Different capital letters in the same column indicate significant differences in total organic carbon content among treatments ($P < 0.05$), different lower-cases letters in the same row indicate significant differences in total organic carbon content among soil layers ($P < 0.05$)

有机碳含量均下降,土壤有机碳呈现出表层聚集现象,这与前人研究结果一致^[8-9]。因为凋落物分解与腐殖化过程都聚集于土壤表层,有利于土壤有机碳的积累^[11];同时植物根系周转及其分泌物进入土壤表层^[18]。该研究发现,在短期内,花椒高密度种植更有利于土壤有机碳的积累,这与刘秉儒等^[16]的研究结果相一致。短期内植物进入土壤的数量与其增加土壤通透性与改善土壤养分性质呈现出正相关,更有利于土壤有机碳的积累^[13];同时花椒作为落叶小乔木或灌木,高密度种植每年通过凋落物输入系统的碳更多^[19];其次落叶树种凋落物通常含有更多丰富且更容易分解的碳,在一定程度上更利于土壤有机碳的富集^[20]。

3.2 不同种植密度对土壤活性有机碳含量的影响 DOC、SMBC、ROC 和 POC 作为土壤活性有机碳最重要的组成部分,因其具有移动快、稳定性差、易氧化矿化、活性较高的特点,在一定程度上表征土壤有机质的质量及潜在分解特征。该研究发现,DOC、SMBC、ROC 和 POC 均表现为随着土层厚度的增加而降低,尤其以低密度种植时最为明显,但是均比无林地高。这主要是由于土壤活性有机碳的含量依赖于土壤总有机碳含量,随着土层加深,越往下输入的有机碳更少,使其含量下降^[13,19]。土壤活性有机碳主要来源于动植物残体、土壤腐殖质和根系分泌物等,不仅受到光、温、水、热等环境因子的影响,同时植物种类和数量也会具有较大差别。如牟凌等^[8]研究发现,落叶人工林高于常绿人工林,主要是由于落叶树种具有更多的凋落物可供微生物取食,作为土壤微生物最重要的物质和能量来源,影响微生物的新陈代谢,同时也能促进矿物的风化,这与张宏^[21]的研究结果一致。

4 结论

花椒作为重要的经济林树种,不仅发挥乡村振兴的经济效益,同时具有保持土壤养分有效性、水土和环境修复等生态功能。基于前期数据,该研究认为高密度种植更有利于生态功能的发挥。

参考文献

- [1] 沈瑞昌,徐明,方长明,等.全球变暖背景下土壤微生物呼吸的热适应性:证据、机理和争议[J].生态学报,2018,38(1):11-19.
- [2] 王志齐,杜兰兰,赵俊,等.黄土区不同退耕方式下土壤碳氮的差异及其影响因素[J].应用生态学报,2016,27(3):716-722.
- [3] 何珊,刘娟,姜培坤,等.经营管理对森林土壤有机碳库影响的研究进展[J].浙江农林大学学报,2019,36(4):818-827.
- [4] 祖元刚,李冉,王文杰,等.我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性[J].生态学报,2011,31(18):5207-5216.
- [5] 赵明松,张甘霖,王德彩,等.徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析[J].土壤学报,2013,50(1):1-11.
- [6] 赵光影,江珊,邵宗仁.小兴安岭森林沼泽湿地土地利用变化对土壤活性碳组分的影响[J].水土保持通报,2017,37(6):68-74.
- [7] 宇万太,马强,赵鑫,等.不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J].生态学杂志,2007,26(12):2013-2016.
- [8] 牟凌,张丽,陈子豪,等.四川盆地西缘4种人工林土壤有机碳组分特征[J].甘肃农业大学学报,2020,55(3):121-126,133.
- [9] 吴建国,徐德应.六盘山林区几种土地利用方式对土壤中可溶性有机碳浓度影响的初步研究[J].植物生态学报,2005,29(6):945-953.
- [10] 王连峰,潘根兴,石盛莉,等.酸沉降影响下庐山森林生态系统土壤溶液溶解有机碳分布[J].植物营养与肥料学报,2002,8(1):29-34.
- [11] 王泽西,陈倩妹,黄尤优,等.川西亚高山森林土壤呼吸和微生物生物量碳氮对施氮的响应[J].生态学报,2019,39(19):7197-7207.
- [12] 王朔林,杨艳菊,王改兰,等.长期施肥对栗褐土活性有机碳的影响[J].生态学杂志,2015,34(5):1223-1228.
- [13] 张迪,韩晓增,李海波,等.不同植被覆盖与施肥管理对黑土活性有机碳及碳库管理指数的影响[J].生态与农村环境学报,2008,24(4):1-5.
- [14] 马渝欣,李徐生,李德成,等.江淮丘陵地区农田表层土壤有机碳空间变异:以定远县为例[J].土壤,2014,46(4):638-643.
- [15] 陈小花,杨青青,余雪标,等.热带海岸防护林土壤活性有机碳分布特征:人工林与天然次生林比较[J].热带作物学报,2017,38(3):494-499.
- [16] 刘秉儒,杨阳,陈林.宁夏荒漠草原4种典型植物群落土壤活性有机碳垂直分布特征[J].草地学报,2014,22(5):986-990.
- [17] 陆昕,孙龙,胡海清.森林土壤活性有机碳影响因素[J].森林工程,2013,29(1):9-14.
- [18] 刘海,韦莉,任永胜,等.柏木根系分泌物对栎树细根形态及N、P含量的影响[J].西北植物学报,2019,39(9):1661-1669.
- [19] 张文娟,廖洪凯,龙健,等.种植花椒对喀斯特石漠化地区土壤有机碳矿化及活性有机碳的影响[J].环境科学,2015,36(3):1053-1059.
- [20] 张慧玲,杨万勤,汪明,等.岷江上游高山森林溪流木质残体碳、氮和磷贮量特征[J].生态学报,2016,36(7):1967-1974.
- [21] 张宏.黄土高原不同植被区侵蚀环境下有机碳及其组分分布特征[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.