

# 不同植被群落土壤水溶性有机碳的变化特征

曾天慧<sup>1</sup>, 胡海波<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 卢雪萍<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 江苏 210037; 2. 浙江省林业生态工程管理中心, 杭州 浙江 310058)

**摘要:** [目的] 对比天然次生林和人工林土壤水溶性有机碳的含量、季节变化特征及与土壤理化性质的相关性, 评估不同植被恢复模式对土壤碳库的影响。[方法] 以浙江省凤阳山不同植被群落为对象, 在野外调查和实验测定的基础上, 通过相邻样地比较法进行研究。[结果] 不同植被群落 0—60 cm 土层平均水溶性有机碳含量的大小关系为: 35 a 杉木人工林(0.299 7 g/kg) > 40 a 常绿阔叶次生林(0.271 7 g/kg) > 35 a 针阔混交次生林(0.258 6 g/kg) > 40 a 杉木人工林(0.252 9 g/kg) > 30 a 柳杉人工林(0.252 8 g/kg) > 30 a 针阔混交次生林(0.248 0 g/kg), 相邻样地基本表现为人工林大于天然次生林; 不同植被群落土壤水溶性有机碳含量的最小值均出现在夏季。[结论] 土壤水溶性有机碳含量与土壤总有机碳、全氮、有效磷、速效钾呈极显著或显著正相关, 与土壤 pH 值及容重呈极显著或显著负相关。

**关键词:** 植被群落; 天然次生林; 人工林; 水溶性有机碳; 季节变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0049-06

中图分类号: S714.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.015

## Variations of Water-soluble Organic Carbon in Different Vegetation Communities

ZENG Tianhui<sup>1</sup>, HU Haibo<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, LU Xueping<sup>1</sup>

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Management Center of Forestry Ecological Engineering, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

**Abstract:** [Objective] To compare soil water-soluble organic carbon (WSOC) content, seasonal variation and its correlation of soil properties between the adjacent natural secondary forest and plantation, for estimating the effect of different vegetation restoration patterns on soil carbon pool. [Methods] Taking different vegetation communities of Fengyang Mountain in Zhejiang Province as object, based on the field investigation and experimental measurement, the adjacent sample comparison method was adopted. [Results] The average content of WSOC under different vegetation communities followed the order of *Cunninghamia lanceolata* plantation of 35 years old(0.299 7 g/kg) > evergreen broad-leaved secondary forest of 40 years old(0.271 7 g/kg) > coniferous and broad-leaved mixed secondary forest of 35 years old(0.258 6 g/kg) > *Cunninghamia lanceolata* plantation of 40 years old(0.252 9 g/kg) > *Cryptomeria fortunei* plantation of 30 years old(0.252 8 g/kg) > coniferous and broad-leaved mixed secondary forest of 30 years old(0.248 0 g/kg) at 0—60 cm depth. WSOC content of plantation were greater than natural secondary forest in adjacent plots. The minimum value of WSOC in different vegetation communities always appeared in summer. [Conclusion] The WSOC content has significant or extremely significant positive correlation with soil total organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and available potassium, but has significant or extremely significant negative correlation with soil pH value and bulk density.

**Keywords:** vegetation communities; natural secondary forest; plantation; soil water-soluble organic carbon (WSOC); seasonal variations

土壤碳库是陆地碳库的重要组成部分, 它在维持全球碳平衡中具有重要作用。水溶性有机碳

(WSOC)是联系陆地生态系统和水生生态系统的一种重要的、活跃的环境化学物质, 对于调节土壤阳离

收稿日期: 2014-04-20

修回日期: 2014-05-07

资助项目: 浙江省公益林公共管护支出资助项目(浙林生[2013]10号); 江苏省高等学校林学优势学科建设资助项目(苏政办发[2011]6号, 164010641)

第一作者: 曾天慧(1988—), 女(汉族), 江苏省丹阳市人, 硕士, 研究方向为水土保持与荒漠化防治, 林业生态工程。E-mail: 790215990@qq.com。

通信作者: 胡海波(1964—), 男(汉族), 江苏省宝应市人, 博士, 教授, 主要从事水土保持学、林业生态工程等研究。E-mail: huhb2000@yahoo.com。

子淋失、矿物风化、土壤微生物活动以及其他土壤化学、物理和生物学过程具有重要意义,是常被用来表征土壤活性碳库变化的因子之一<sup>[1]</sup>。作为土壤有机碳最活跃的组成部分,水溶性有机碳易被土壤微生物分解,能为森林土壤提供养分,对森林土壤生态系统中元素的生物地球化学循环及重金属元素毒性和迁移都有深刻的影响<sup>[2]</sup>。受土地利用方式、气候特点及土壤性质的影响,不同生态系统土壤水溶性有机碳存在较大的差异<sup>[3]</sup>。近年来,国内外有关森林土壤和农田土壤水溶性有机碳的研究较多<sup>[4-6]</sup>,但数据来源、测定方法和测定结果都存在较大差异<sup>[7-8]</sup>。通过固定样地实测,对比研究不同森林群落土壤水溶性有机碳的含量和分布,探讨土壤水溶性有机碳的淋溶作用对研究区域碳循环和环境变化具有重要意义<sup>[9-10]</sup>。

凤阳山自然保护区是江浙地区的主要林区,在长江三角洲的碳汇管理和生态环境建设中起着重要作用。目前许多学者已对与凤阳山处于同纬度、气候、土壤等自然条件类似的武夷山、大岗山等土壤水溶性有机碳进行了大量深入的研究,但是对凤阳山相关内容的研究还鲜见报道。本文通过对比研究凤阳山不同植被群落土壤水溶性有机碳的含量及其季节变化特征,可以评估凤阳山不同植被恢复模式(天然次生林与人工林)对土壤活性碳库的影响,为凤阳山自然保护区森林的可持续经营和管理提供参考依据。

## 1 研究区概况

研究区设在凤阳山自然保护区,保护区位于浙江省龙泉市南部,由福建武夷山脉向东伸展而成,地处东经 119°06′—119°15′,北纬 27°46′—27°58′之间,属亚热带湿润季风气候。年平均气温 12.3 °C,年降雨量 2 438.2 mm,雨季集中在 5—6 月份。气候温暖湿润,雨量充沛,湿度大,雾多。区内主要土壤类型为黄壤土,土壤质地为中壤土,土层厚度一般在 60 cm 左右。

保护区自然植被保存较好,植物种类丰富,阔叶林多为人工林,主要由壳斗科(*Fagaceae*)、山茶科(*Theaceae*)、木兰科(*Magnoliaceae*)等常绿阔叶树种组成,灌木层多为杜鹃属(*Rhododendron*)、山茶属(*Camellia*)等,草本层一般以蕨类植物(*Pteridophyta*)为主。针叶林多为残存的自然植被,也有人工林混于其中。主要有黄山松林(*Pinus taiwanensis*)、杉木林(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉林(*Cryptomeria fortunei*)等,常混入常绿或落叶阔叶树种,如樟(*Cinnamomum*)、栲(*Fagaceae*)、山茶(*Camellia*)等科属;灌木层常见种类有杜鹃(*Rhododendron simsii*)、冬青(*Ilex chinensis*)等;林内草本有蕨(*Pteridophyta*)等植物。

## 2 材料与方法

### 2.1 样地设置与土样采集

在实地踏查的基础上,通过相邻样地比较法,选择邻近、相同海拔、坡向、成土母质、土壤条件和环境因子基本一致,且恢复过程中基本没有人为干扰的 3 个地点的天然次生林与人工林为研究对象。样地分别为石梁岙(小地名)常绿阔叶次生林与杉木人工林;上于桥(小地名)针阔混交次生林(主要针叶树种为黄山松)与杉木人工林;凤阳湖(小地名)针阔混交次生林(主要针叶树种为黄山松)与柳杉人工林,共 6 个植被群落。于 2013 年 4, 7, 10, 12 月下旬进行样地植被本底调查及采样。在每个林分的典型地段设 3 个 10 m×10 m 的土壤样方,每个样方内按 S 型挖 3 个土壤剖面,分别在 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 土层取样,每个样地 3 个剖面同一层混合带回实验室。土样从野外采回后,立即除去植物残体等杂物,取一部分新鲜土过 2 mm 筛,并置于冰箱中 4 °C 冷藏,供水溶性有机碳分析;另外部分土样风干、磨碎,过 0.25 mm 筛,用于测定土壤有机碳及土壤养分(表 1)。

表 1 调查样地的基本情况

植被群落	坡度/ (°)	海拔/ m	林龄/ a	主要植物	平均 胸径/cm	平均 树高/m	郁闭度	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	pH 值	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
石梁岙常绿阔叶次生林	30	1 350	40	木荷、甜槠、短尾柯	18.32	12.71	0.85	0.84	4.83	4.05	6.75	141.81
石梁岙杉木人工林	30	1 350	40	杉木	19.35	13.38	0.90	0.89	4.77	4.27	7.37	97.25
上于桥针阔混交次生林	20	1 400	35	黄山松、华东山柳、木荷	11.71	10.72	0.85	0.75	4.88	5.80	6.68	131.69
上于桥杉木人工林	20	1 400	35	杉木	17.79	13.04	0.90	0.79	4.88	6.02	7.62	98.43
凤阳湖针阔混交次生林	30	1 500	30	黄山松、亮叶水青冈、华东山柳	7.03	8.75	0.70	0.84	4.91	4.62	6.55	128.79
凤阳湖柳杉人工林	26	1 500	30	柳杉	30.28	12.08	0.90	0.77	4.85	5.45	7.28	137.16

### 2.2 测定方法

土壤基本理化性质的测定采用常规分析方法<sup>[11]</sup>,

土壤容重采用环刀法;土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾外加热氧化—硫酸亚铁滴定法;全氮采用半微量凯

氏定氮法;pH值采用电位法(pH计);有效磷采用双酸浸提钼锑抗比色法;速效钾采用 $\text{NH}_4\text{Ac}$ 浸提火焰光度法;水溶性有机碳(WSOC)用去离子水提取(水与土质量比为2:1),震荡、离心,上清液用 $0.45\ \mu\text{m}$ 微孔滤膜抽滤,滤液在岛津TOC-VCPH自动分析仪上测定<sup>[7]</sup>。

数据采用SPSS 19.0软件,通过单因素方差分析(ANOVA)研究不同植被群落不同土壤深度不同季节对水溶性有机碳的影响,并在差异显著时进行多重比较(LSD),水溶性有机碳与土壤养分的关系运用相关分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同植被群落土壤水溶性有机碳的变化

植被群落不同,土壤水溶性有机碳含量各异(表2)。凤阳山不同植被群落0—60 cm土层水溶性有机碳研究结果显示:土壤平均水溶性有机碳含量大小依次为

35 a 杉木人工林>40 a 常绿阔叶次生林>35 a 针阔混交次生林>40 a 杉木人工林>30 a 柳杉人工林>30 a 针阔混交次生林,变化范围为 $0.248\ 0\sim 0.299\ 7\ \text{g/kg}$ ,变异系数为 $28.53\%\sim 38.22\%$ ,不同群落差异不明显( $p>0.05$ )。6个植被群落中土壤水溶性有机碳含量最大为35 a 杉木人工林,其相邻针阔混交次生林为 $0.258\ 6\ \text{g/kg}$ ;最小的为30 a 针阔混交次生林,其相邻柳杉人工林为 $0.252\ 8\ \text{g/kg}$ ;40 a 常绿阔叶次生林和杉木人工林分别为 $0.271\ 7\ \text{g/kg}$ 和 $0.252\ 9\ \text{g/kg}$ 。35 a 杉木人工林与40 a 常绿阔叶次生林水溶性有机碳含量较高与其土壤总有机碳含量高密切相关,土壤水溶性有机碳主要来源于枯枝落叶和根系分泌、土壤有机质的水解以及微生物的代谢,土壤总有机碳和土壤水溶性有机碳常处于动态平衡中,总有机碳中的其他组分碳与水溶性有机碳在一定条件下可以相互转化,因此,土壤总有机碳高,水溶性有机碳也常常较高<sup>[6]</sup>。

表2 不同植被群落土壤总有机碳(TOC)、水溶性有机碳(WSOC)含量随土层深度的变化

植被群落	土层/cm	WSOC/(g·kg <sup>-1</sup> )	TOC/(g·kg <sup>-1</sup> )	WSOC占TOC的比例/%
石梁岙常绿阔叶次生林	0—20	0.4031±0.0136 <sup>Aa</sup>	13.9567±0.2650 <sup>Ac</sup>	2.89
	20—40	0.2428±0.0036 <sup>Bb</sup>	8.3967±0.2926 <sup>Bb</sup>	2.89
	40—60	0.1691±0.0010 <sup>Cc</sup>	6.3533±0.1570 <sup>Cc</sup>	2.66
石梁岙杉木人工林	0—20	0.3499±0.0029 <sup>Ac</sup>	12.2633±0.4786 <sup>Ae</sup>	2.85
	20—40	0.2148±0.0101 <sup>Bc</sup>	7.9533±0.2779 <sup>Bc</sup>	2.70
	40—60	0.1940±0.0040 <sup>Cb</sup>	7.4900±0.3940 <sup>Bb</sup>	2.59
上于桥针阔混交次生林	0—20	0.3724±0.0048 <sup>Ab</sup>	15.1433±0.3179 <sup>Ab</sup>	2.46
	20—40	0.2346±0.0008 <sup>Bb</sup>	8.9200±0.1153 <sup>Bb</sup>	2.63
	40—60	0.1689±0.0026 <sup>Cc</sup>	6.2500±0.2138 <sup>Cc</sup>	2.70
上于桥杉木人工林	0—20	0.4114±0.0060 <sup>Aa</sup>	15.7700±0.2458 <sup>Aa</sup>	2.61
	20—40	0.2635±0.0027 <sup>Ba</sup>	9.600±0.1652 <sup>Ba</sup>	2.74
	40—60	0.2243±0.0033 <sup>Ca</sup>	7.9567±0.0569 <sup>Ca</sup>	2.82
凤阳湖针阔混交次生林	0—20	0.3502±0.0038 <sup>Ac</sup>	13.1733±0.7974 <sup>Ad</sup>	2.66
	20—40	0.2228±0.0060 <sup>Bc</sup>	7.4567±0.4761 <sup>Bc</sup>	2.99
	40—60	0.1711±0.0030 <sup>Cc</sup>	6.1767±0.1818 <sup>Cc</sup>	2.77
凤阳湖柳杉人工林	0—20	0.3724±0.0024 <sup>Ab</sup>	14.1767±0.1704 <sup>Ac</sup>	2.63
	20—40	0.2083±0.0033 <sup>Bd</sup>	8.8567±0.3478 <sup>Bb</sup>	2.35
	40—60	0.1779±0.0036 <sup>Cc</sup>	6.2133±0.5805 <sup>Cc</sup>	2.86

注:表中数据为平均值±标准差;不同上角标大写字母表示同一植被群落不同土层间差异显著,不同上角标小写字母表示同一土层不同植被群落间差异显著( $p<0.05$ )。

不同植被群落水溶性有机碳在剖面上的垂直分布与有机碳的分布规律一致,均以表层(0—20 cm)最高,0—60 cm水溶性有机碳含量介于 $0.168\ 9\sim 0.411\ 4\ \text{g/kg}$ 。40 a 常绿阔叶次生林和杉木人工林水溶性有机碳含量变化范围分别为 $0.169\ 1\sim 0.4031\ \text{g/kg}$ 和 $0.194\ 0\sim 0.349\ 9\ \text{g/kg}$ ;35 a 针阔混交次生林和杉木人工林分别为 $0.168\ 9\sim 0.372\ 4\ \text{g/kg}$ 和 $0.224\ 3\sim 0.411\ 4\ \text{g/kg}$ ;30 a 针阔混交次生林和柳杉人工林分

别为 $0.171\ 1\sim 0.350\ 2\ \text{g/kg}$ 和 $0.177\ 9\sim 0.372\ 4\ \text{g/kg}$ ,变化幅度达到44.56%以上。同一群落中,土壤水溶性有机碳随土层的增加而极显著减少( $p<0.01$ ),可见土壤深度对水溶性有机碳含量的影响非常显著。不同植被群落相同土层水溶性有机碳含量差异并未均达到显著水平,但相邻人工林和天然林0—20 cm和20—40 cm土层水溶性有机碳含量差异极显著( $p<0.01$ ),40—60 cm土层差异较小。地被

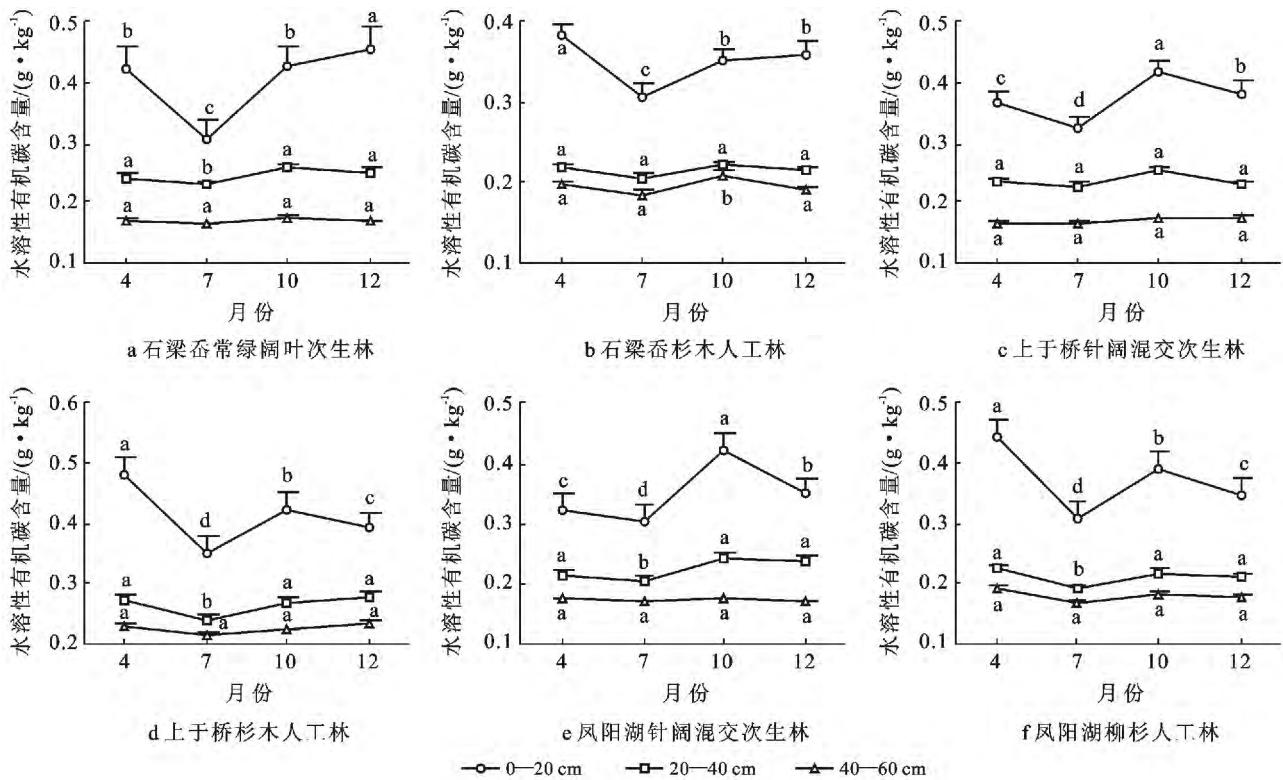
物、养分质量、pH 值、地表径流、黏土矿物、微生物及真菌活动、微环境等都将影响土壤水溶性有机碳的含量<sup>[5]</sup>, 研究中水溶性有机碳含量在各土层之间的差异是多种因素共同作用的结果。

相对活性有机碳的含量而言, 活性有机碳占土壤总有机碳的比例不仅能在更大程度上体现土壤活性有机碳库的状况, 也更能反映森林植被对土壤碳行为的影响结果<sup>[12]</sup>。凤阳山不同植被群落中, 水溶性有机碳占总有机碳的比例介于 2.35%~2.99%, 40 a 常绿阔叶次生林最高, 30 a 柳杉人工林最低, 不同群落相同土层差异不明显 ( $p>0.05$ )。40 a 林龄的相邻 2 群落不同土层土壤水溶性有机碳占总有机碳的比例均随着土层的加深而递减, 35 a 林龄的相邻 2 群落不同土层土壤水溶性有机碳占总有机碳的比例均随着土层的加深而增加, 其余 2 群落没有一致的变化规律。

相邻样地中, 水溶性有机碳占总有机碳的比例基本表现出天然林大于人工林的趋势, 说明研究地天然林的土壤碳库稳定性较人工林差。

### 3.2 土壤水溶性有机碳的季节变化

大量研究发现, 土壤总有机碳随季节的动态波动不明显, 同一地区的同一植被群落下土壤总有机碳的年增量很少, 检测其变化相对而言比较困难, 但是土壤活性有机碳的季节变异却十分强烈<sup>[13]</sup> (图 1)。水溶性有机碳含量均具有明显的季节动态变化, 且 6 种植物群落土壤水溶性有机碳含量最小值均出现在夏季, 杉木人工林和柳杉人工林的变化规律一致, 土壤水溶性有机碳的含量变化规律为春季>秋季>冬季>夏季; 常绿阔叶次生林为冬季>秋季>春季>夏季; 针阔混交次生林的变化规律为秋季>冬季>春季>夏季。



注: 不同小写字母表示同一植被群落不同季节表层差异显著 ( $p < 0.05$ )。

图 1 不同植被群落土壤水溶性有机碳的季节变化

在 0—20 cm 土层, 35 a 杉木人工林四季水溶性有机碳含量分别是 0.480 2, 0.347 5, 0.424 5, 0.393 5 g/kg, 其相邻针阔混交次生林分别为 0.366 5, 0.324 0, 0.417 0, 0.382 1 g/kg; 30 a 柳杉人工林分别为 0.442 1, 0.311 2, 0.390 7, 0.345 7 g/kg, 其相邻针阔混交次生林分别为 0.323 2, 0.305 0, 0.422 5, 0.350 2 g/kg; 4 个群落水溶性有机碳含量随季节变化明显 ( $p < 0.05$ )。40 a 常绿阔叶次生林四季水溶性有机碳含

量分别为 0.423 8, 0.307 5, 0.424 8, 0.456 1 g/kg, 春、秋两季含量差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 其他季节差异显著 ( $p < 0.05$ ); 40 a 杉木人工林四季水溶性有机碳含量分别为 0.381 6, 0.308 4, 0.359 0, 0.350 7 g/kg, 秋、冬两季含量差异不显著 ( $p > 0.05$ )。人工林水溶性有机碳含量在春季最高可能跟植物生长期为土壤微生物提供了足够的易分解的新鲜有机质有关, 同时由于水热条件适宜, 微生物活性增加、植物新陈

代谢速率加快、根系的分泌物增多,水溶性有机碳含量得到极大的提高。天然次生林水溶性有机碳含量在秋冬较高跟地表枯落物增加,有机质大量积累有关,进入冬季后,由于气温降低,微生物活动减弱,水溶性有机碳略有下降。夏季降水量增加,长时间的降雨使可溶解的有机碳部分淋溶作用加强,因而土壤水溶性有机碳含量最低。同一植被群落,随着土层的加深,微生物活动减弱,土壤水溶性有机碳的季节波动逐渐减缓,差异减小。

### 3.3 土壤水溶性有机碳与土壤理化性质间的关系

植被类型、土壤性质、土壤养分可利用性等要素的变化,会影响土壤水溶性有机碳的含量<sup>[14]</sup>(表3)。对土壤水溶性有机碳含量与土壤基本理化性质相关

分析表明:土壤水溶性有机碳与土壤总有机碳的相关性达到了极显著水平( $p < 0.01$ ),说明土壤水溶性有机碳含量与土壤总有机碳含量关系密切,而土壤全氮含量很大程度上取决于土壤总有机碳的含量,因此,水溶性有机碳与土壤全氮含量相关性也达到了极显著水平( $p < 0.01$ ),可见土壤全氮和总有机碳含量的提高有助于增加土壤水溶性有机碳含量;水溶性有机碳与土壤有效磷和速效钾都显著相关( $p < 0.05$ ),说明土壤有效磷、钾含量也是影响其含量的重要因子;水溶性有机碳与土壤 pH 值表现出极强的负相关性( $p < 0.01$ );水溶性有机碳与土壤容重显著负相关( $p < 0.05$ ),说明随着容重的增大,水溶性有机碳含量显著减少。

表3 土壤水溶性有机碳与土壤基本理化性质的相关系数

植被群落	总有机碳	全氮	有效磷	速效钾	pH 值	容重
石梁岙常绿阔叶次生林	0.995**	0.988**	0.762*	0.941**	-0.971**	-0.855**
石梁岙杉木人工林	0.984**	0.926**	0.814**	0.735*	-0.972**	-0.719*
上于桥针阔混交次生林	0.999**	0.973**	0.856**	0.963**	-0.988**	-0.880**
上于桥杉木人工林	0.997**	0.981**	0.926**	0.941**	-0.962**	-0.863**
凤阳湖针阔混交次生林	0.983**	0.965**	0.970**	0.892**	-0.986**	-0.799**
凤阳湖柳杉人工林	0.978**	0.986**	0.721*	0.898*	-0.902**	-0.676*

注: \*\*表示在 0.01 水平相关性显著; \*表示在 0.05 水平相关性显著。

## 4 讨论与结论

土壤水溶性有机碳主要来源于植物凋落物、土壤腐殖质、微生物和根系及其分泌物等,植被的物种组成不同、凋落物的累积量和分解不同,土壤中有有机碳的质量、数量和周转各异<sup>[15-16]</sup>,水溶性有机碳也就不同。天然次生林和人工林的植被类型不同,土壤有机碳的归还量也随之改变,水溶性有机碳也就存在差异。本研究中不同植被群落 0—60 cm 土层平均水溶性有机碳含量的大小关系为 35 a 杉木人工林(0.299 7 g/kg) > 40 a 常绿阔叶次生林(0.2717 g/kg) > 35 a 针阔混交次生林(0.258 6 g/kg) > 40 a 杉木人工林(0.252 9 g/kg) > 30 a 柳杉人工林(0.252 8 g/kg) > 30 a 针阔混交次生林(0.248 0 g/kg),相邻样地中,水溶性有机碳含量基本表现出人工林大于天然次生林的趋势,这与许多研究结果不尽一致<sup>[16-18]</sup>。张剑<sup>[16]</sup>等研究发现,常绿阔叶林、杉木人工纯林、火力楠人工纯林以及杉木火力楠人工混交林 4 种林分中,土壤微生物量碳、水溶性有机碳、热水浸提有机碳和热水浸提碳水化合物含量均以常绿阔叶林最高,杉木人工林最低;姜培坤<sup>[17]</sup>,王清奎<sup>[18]</sup>等研究也提出,与阔叶林相比,杉木人工林水溶性有机碳有不同程度的降低。引起

不同结果的主要原因可能跟凤阳山人工林营造初期人为大量施肥有关,仪明媛<sup>[8]</sup>等学者发现,施用有机肥可提高土壤有机碳和活性有机碳的含量,有机肥腐解过程能放出大量水溶性有机化合物,因而水溶性有机碳含量能显著提高。本研究中不同植被群落土壤水溶性有机碳含量都以表层(0—20 cm)最高,这与姜培坤等人研究结果一致,跟表层枯枝落叶积累多、根系分布多、生物活动频繁使得表层总有机碳含量较高有关,水溶性有机碳含量在很大程度上取决于土壤总有机碳的含量<sup>[11,17]</sup>。土壤活性有机碳占总有机碳的比例越高,土壤碳的活性就越大,稳定性就越差<sup>[19]</sup>。本研究中不同植被群落水溶性有机碳占总有机碳的比例并未表现出一致的变化规律,就相邻样地而言,天然林水溶性有机碳占总有机碳的比例基本要大于人工林,说明研究地人工林的土壤碳库稳定性较天然林好,这可能是不同营林措施造成的结果。本研究中不同植被群落土壤水溶性有机碳含量最小值均出现在夏季,这与 Zhang<sup>[20]</sup>等对杉木和格氏栲人工林水溶性有机碳季节变化研究结果一致,分析原因可能主要是夏季降雨较多,土壤水溶性有机碳的淋溶增强。

相关性分析得出,土壤水溶性有机碳含量与土壤总有机碳、全氮、有效磷速效钾极显著或显著正相关,

这与许多研究结果一致<sup>[14,21]</sup>。徐秋芳<sup>[15]</sup>认为土壤有机碳是土壤水溶性有机碳的主要来源,戴全厚<sup>[21]</sup>等指出土壤活性有机碳与土壤主要肥力因子相关性及其密切,可以作为反映生态恢复过程土壤质量演变的指标。pH 值对活性有机碳的影响较复杂,Kaiser<sup>[22]</sup>等认为大部分天然土壤的 pH 值(一般介于 3.5~6.0)对溶解性有机物质的吸附能力影响不显著,因为只有当 pH 值大于 6.0 或小于 3.5 时,倍半氧化物吸附能力才明显减弱,这与本研究的结果有所不同。土壤 pH 值通常被认为是调节土壤微生物群体结构和活性的主要因子,同时也是调控有机质的微生物周转的一个重要因子。本研究中 pH 值的差异对研究地土壤水溶性有机碳的含量造成了极显著影响,这可能跟研究地的气候、土壤类型等因素有关。土壤容重是衡量土壤透气性及孔隙度的定性指标<sup>[23]</sup>,土壤容重的大小可以影响土壤结构、性质及土壤微生物的组成,进而影响土壤水溶性有机碳的含量。

总之,影响土壤水溶性有机碳含量和季节变化的因素十分复杂,植被、气候、生物、人类活动等因素还可能同时起作用,因此对造成土壤水溶性有机碳时空差异的主要因素还待进一步探讨。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Bu Xiaoli, Ding Jiumin, Wang Limin, et al. Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountains, Southeastern China[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2011,47(2):102-107.
- [2] 李淑芬,俞元春,何晟. 土壤溶解有机碳的研究进展[J]. *土壤与环境*, 2002,11(4):422-429.
- [3] 柳敏,宇万太,姜子绍,等. 土壤活性有机碳[J]. *生态学杂志*, 2006,25(11):1412-1417.
- [4] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biogeochemistry*, 2000,48(1):7-20.
- [5] Smith P, Smith J U, Powlson D S, et al. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments[J]. *Geoderma*, 1997,81(1):153-225.
- [6] 周焱,徐宪根,阮宏华,等. 武夷山不同海拔土壤水溶性有机碳的含量特征[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2009,33(4):48-52.
- [7] 刘涛泽,刘丛强,张伟,等. 喀斯特地区坡地土壤可溶性有机碳的分布特征[J]. *中国环境科学* 2009,29(3):248-253.
- [8] 仪明媛,彭畅,张会民,等. 长期施肥下黑土活性有机碳变化特征[J]. *土壤通报*, 2012,43(5):1139-1144.
- [9] 李玲,仇少君,刘京涛,等. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用[J]. *应用生态学报*, 2012,23(5):1407-1414.
- [10] 俞元春,何晟,李炳凯,等. 杉林土壤溶解有机碳吸附及影响因素分析[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2005,29(2):15-18.
- [11] 林大仪. 土壤学实验指导[M]. 北京:中国林业出版社, 2004.
- [12] 徐侠,陈月琴,汪家,等. 武夷山不同海拔高度土壤活性有机碳变化[J]. *应用生态学报*, 2008,19(3):539-544.
- [13] 曹建华,潘根兴,袁道先,等. 岩溶地区土壤溶解有机碳的季节动态及环境效应[J]. *生态环境*, 2005,14(2):224-229.
- [14] Garten C T, Hanson P J. Measured forest soil C stocks and estimated turnover times along an elevation gradient[J]. *Geoderma*, 2006,136(1):342-352.
- [15] 徐秋芳,姜培坤,沈泉. 灌木林与阔叶林土壤有机碳库的比较研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005,27(2):18-22.
- [16] 张剑,汪思龙,王清奎,等. 不同森林植被下土壤活性有机碳含量及其季节变化[J]. *中国生态农业学报*, 2009,17(1):41-47.
- [17] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库的研究[J]. *林业科学*, 2005,41(1):10-13.
- [18] 王清奎,汪思龙,于小军,等. 常绿阔叶林与杉木林的土壤碳矿化潜力及其对土壤活性有机碳的影响[J]. *生态学杂志*, 2007,26(12):1918-1923.
- [19] 朱志建,姜培坤,徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. *林业科学研究*, 2006,19(4):523-526.
- [20] Zhang Jiangshan, Guo Jianfen, Chen Guangshui, et al. Concentrations and seasonal dynamics of dissolved organic carbon in forest floors of two plantations (*Castanopsis kawakamii* and *Cunninghamia lanceolata*) in subtropical China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2005,16(3):205-208.
- [21] 戴全厚,刘国彬,薛蕙,等. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区土壤碳库及其管理指数的影响[J]. *水土保持研究*, 2008,15(3):61-64.
- [22] Kaiser K, Guggenberger G, Zech W. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils[J]. *Geoderma*, 1996,74(3):281-303.
- [23] 陈建宇. 杉木林下植被生物量与土壤容重关系的研究[J]. *福建林业科技*, 2000,27(4):56-60.