

## 火干扰对兴安落叶松林土壤轻组有机碳的影响

陆昕, 胡海清, 孙龙\*, 魏书精 (东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要** 该研究基于土壤轻组有机碳在土壤碳循环中的重要作用, 以大兴安岭林区兴安落叶松林土壤为研究对象, 分析了火干扰后不同年份高强度火烧对土壤轻组有机碳的影响。用比重分离法对兴安落叶松林火干扰后3年(2008年)、火干扰5年(2006年)和火干扰后9年(2002年)样地及各对照样地的土壤样品进行测定。结果表明: 不同年限火干扰后土壤轻组有机碳存在显著差异( $P < 0.05$ ); 火干扰后3年土壤轻组有机碳增加11.99%, 而火干扰后5年土壤轻组有机碳含量减少了8.77%, 火干扰后9年土壤轻组有机碳含量减少了6.27%, 减少程度随着时间的推移有所下降。研究结果表明, 土壤轻组有机碳与土壤含水率并无显著性关系; 火干扰后3年和5年样地轻组有机碳与pH值呈显著性负相关, 火干扰后轻组有机碳与土壤温度具有显著性负相关( $P < 0.05$ )。火干扰后短期内土壤轻组有机碳表现出更加明显的季节动态性。该研究为进一步了解火干扰对北方森林土壤碳循环、碳平衡的影响机理以及火干扰后森林生态系统的碳效应提供基础数据。

**关键词** 火干扰; 兴安落叶松林; 土壤轻组有机碳; 季节动态; 不同年限

**中图分类号** S714 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)29-11709-05

Effects of Fire Disturbance on Soil Light Fraction Organic Carbon of *Larix gmelinii* Forest

LU Xin et al (Forestry College, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** Based on the vital function of LFOC in soil carbon cycle, the effects on soils burned from high-intensity wildfire in different years in the forests of *Larix gmelinii* were studied. Used a specific gravity separation method to examine dynamics of soil light fraction organic carbon (LFOC) of the soils burned in different years (2002, 2006 and 2008) and the soils unburned. The results showed that there was a significant difference between LFOC of soils burned by fire in different years ( $P < 0.05$ ); the LFOC content of soils burned in 2008 increased by 11.99%; the LFOC content of soils burned in 2006 decreased by 8.77% and burned in 2002 decreased by 6.27%. LFOC were not correlated with soil water content, but were significantly correlated with the pH value and the LFOC of soils burned in 2008 were very significant positively correlation ( $P < 0.05$ ); LFOC were also correlated with soil temperature. The seasonal dynamics of soil light fraction organic carbon within all the sample plots performed and especially more obvious after fire disturbance. The results of study provide basic data for researching the fire disturbance on the Northern forest soil carbon cycle, carbon balance mechanism and the carbon effect of forest ecosystem carbon after fire disturbance.

**Key words** Fire disturbance; *Larix gmelinii*; Soil light fraction organic carbon; Seasonal dynamics; Different years

土壤是地球陆地碳库的主要组成部分, 作为碳的源或汇, 影响着大气中  $\text{CO}_2$  的浓度变化, 在全球碳循环中起着非常重要的作用<sup>[1]</sup>。土壤活性碳组分通常可用溶解性有机碳、微生物量碳、可矿化碳、轻组有机碳、颗粒有机碳等来进行表征<sup>[2]</sup>。虽然活性碳只占土壤有机碳总量的较小部分, 但它却直接参与土壤生物化学转化过程, 其对土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持具有重要意义<sup>[3]</sup>。土壤有机碳的活性部分是指示土壤有机碳状态, 同时反映土壤碳库动态的较有用的敏感性指标<sup>[4-5]</sup>。其中, 轻组有机碳对土壤生态系统的结构和功能具有重要作用, 是异养型生物的能量物质和植物养分的汇。轻组有机碳主要是游离态的有机质, 包括可识别的处于不同分解阶段的植物残体(包括孢子、种子等)、小的动物和微生物<sup>[6]</sup>。轻组有机碳仅占土壤组成的一小部分, 但是轻组有机碳含量一般显著高于全土<sup>[7]</sup>。轻组有机碳分解率高、周转期短、周转速度快, 是土壤养分的短期储存库<sup>[8]</sup>。一般来说, 轻组有机碳具有明显的季节动态<sup>[9]</sup>, 并且易受到环境因素的影响, 例如土地利用方式改变会影响轻组有机碳的含量等<sup>[10-12]</sup>。同时轻组碳具有较高的土壤生物活

性, 能体现土壤碳的活性, 在土壤碳循环有关研究中引起广泛的关注, 近年来已成为土壤、环境和生态科学领域所关注的焦点和研究的热点。

大兴安岭林区是我国北方森林分布最集中的地带之一, 同时亦是火灾发生频率较高的区域<sup>[13]</sup>。火干扰是大兴安岭林区森林生态系统重要的自然干扰因子, 也是森林破坏与修复的主要因子<sup>[14]</sup>。1965~2010年46年间大兴安岭共发生森林火灾1614次, 年均35.09次, 森林总过火林地面积达3523011.86  $\text{hm}^2$ , 年均过火林地面积为7.66  $\times 10^4$   $\text{hm}^2$ <sup>[15]</sup>。基于土壤轻组有机碳在土壤碳循环中的重要作用, 该研究通过对大兴安岭地区兴安落叶松林不同年限火干扰后的土壤轻组有机碳季节动态变化及其影响因素进行分析, 预期揭示大兴安岭林区不同年限火干扰后土壤轻组有机碳的动态变化规律, 为进一步研究火干扰对北方森林土壤碳循环和碳平衡的影响机理以及火干扰后森林生态系统的碳效应提供基础数据, 同时对制定合理的火干扰后碳增汇技术、减缓气候变暖具有重要意义。

## 1 研究地区概况与研究方法

**1.1 自然概况** 大兴安岭地区位于中国最北部, 东与小兴安岭毗邻, 西以大兴安岭山脉为界, 与内蒙古自治区接壤, 南濒广阔的松嫩平原, 北以黑龙江主航道中心线与俄罗斯为邻。地理坐标为: 121°12'~127°00' E, 50°10'~53°33' N。该地区是中国最北、面积最大的现代化国有林区, 总面积8.46万  $\text{hm}^2$ , 林木蓄积量5.01亿  $\text{m}^3$ , 占全国总蓄积量的7.8%。

**基金项目** 国家林业局公益项目(201004003-3); 黑龙江省科技攻关重点项目(GA09B201-06); 国家自然科学基金(31070544); 霍英东基金(131029); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(DL12CA07)。

**作者简介** 陆昕(1987-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士研究生, 从事林火生态与管理研究。\*通讯作者, E-mail: luxindefu@163.com。

**收稿日期** 2013-09-16

大兴安岭为重要的气候分带,东坡降水多,西坡干旱,整个山区的气候比较湿润,气候属于寒温带大陆性季风气候,年平均气温 $-3^{\circ}\text{C}$ ,极端最低温度 $-48^{\circ}\text{C}$ ,年日照时数2 500 h,无霜期90~100 d,年平均积雪165~175 d,年降水量500 mm。山脉北段是中国东部地区最冷之地,冬季平均气温 $-28^{\circ}\text{C}$ ,有大面积多年冻土区;山脉中段与南段温暖干燥,1月气温约 $-21^{\circ}\text{C}$ ,年降水量250~300 mm,雪量较少。

**1.2 样地设置** 分别选取兴安落叶松林火干扰后3年

(2008年)、火干扰后5年(2006年)和火干扰后9年(2002年)的火烧迹地作为研究样地,火干扰后3年(2008年)样地设在塔河林业局开库康乡,火干扰后5年(2006年)样地设在松岭区南瓮河森林生态定位站,火干扰后9年(2002年)样地设在塔河林业局塔丰林场,分别以火烧样地附近立地条件相似的未过火的落叶松林作为对照样地。在火干扰和相邻未受火干扰的地区分别随机设置3个20 m $\times$ 20 m固定样地。样地林分特征如表1。

表1 实验样地兴安落叶松林分特征

样地类别	土壤类型	土层厚度/A	林龄	胸径	树高	熏黑高度	烧焦高度	主要林下植被
		层厚度//cm	a	cm	m	m	m	
火干扰后3年	棕色针叶林土	60/20	39	15.52 $\pm$ 0.66	13.28 $\pm$ 0.31	5.20 $\pm$ 0.22	3.17 $\pm$ 0.22	杜香,黄刺玫,大叶樟
火干扰后3年对照	棕色针叶林土	55/16	36	11.20 $\pm$ 0.31	11.61 $\pm$ 0.11	0	0	越橘,小叶樟,大叶樟
火干扰后5年	棕色针叶林土	45/12	35	12.43 $\pm$ 0.29	12.70 $\pm$ 0.57	2.32 $\pm$ 0.42	1.31 $\pm$ 0.35	越橘,杜鹃,绣线菊
火干扰后5年对照	棕色针叶林土	56/18	37	14.15 $\pm$ 0.65	11.33 $\pm$ 0.42	0	0	越橘,黄刺玫,小叶樟
火干扰后9年	棕色针叶林土	50/12	35	10.01 $\pm$ 0.45	9.80 $\pm$ 0.34	3.74 $\pm$ 0.16	1.45 $\pm$ 0.07	越橘,杜香,小叶樟
火干扰后9年对照	棕色针叶林土	55/14	37	13.21 $\pm$ 0.56	10.97 $\pm$ 0.73	0	0	越橘,笃斯越橘,小叶樟

**1.3 实验方法** 于2011年5~10月期间进行样品的采集,在兴安落叶松生长季共采集5次。每月在每块样地内按“S”形随机选取5个点,用传统取样法取土,去除土壤中可见植物根系和残体。与此同时,用数字式瞬时温度计和湿度计分别测定土壤温度和土壤湿度;用烘干法测定土壤含水量。将采集的土样带回实验室风干后过2 mm土壤筛,用密封袋保存,用于土壤轻组有机碳(LFOC)的测定。LFOC的分离参照Janzen<sup>[16]</sup>的方法,并加以改进。称取过2 mm土壤筛的风干土样10 g置于100 ml离心管中,加入50 ml NaI溶液(比重为1.6~2.5 g/cm<sup>3</sup>),用手轻轻震动离心管,使土壤与比重液混合均匀,然后将混合物在振荡机上震荡60 min,将分散的悬浮液离心10 min(3 000 r),将悬浮在混合物表面的轻组有机碳用微孔滤膜进行抽滤,在剩余的悬浮液中加入25~30 ml NaI溶液,重组残留物在离心管中再次悬浮,重复上述过程2~3次,直至没有可见的轻组物质,用75 ml 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub>溶液冲洗轻组物质,去除NaI,再用至少150~200 ml去离子水多次冲洗至重液被淋洗干净。将滤膜上的轻组物质洗到预先称重的器皿中,在65 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干,获得LFOC干重。分离每个土样轻组时一般3次重复,但当轻组含量特别低时,为获得足够多的轻组用于分析,需增加重复次数。将每个土壤样品的所有轻组样品合并起来,用研钵磨碎,过150  $\mu\text{m}$ 筛,用于碳含量分析。用碳氮元素分析仪(Elementa VarioELIII)测定轻组的碳含量。

**1.4 数据处理** 采用参数检验研究不用火烧年限对土壤轻组有机碳的影响,用Pearson相关系数评价LFOC与土壤pH、含水率以及土壤温度的关系。所有数据分析均在Excel 2010及SPSS 20.0统计软件中完成。

## 2 结果与分析

**2.1 火干扰后不同年限对土壤轻组有机碳的影响** 火干扰后不同年限对土壤轻组有机碳有重要影响。研究结果显示,火干扰后3年样地内土壤轻组有机碳与对照样地差异显著

( $P < 0.05$ ),而火干扰后5年和9年样地内土壤轻组有机碳与对照样地均无显著性差异( $P > 0.05$ )。其中,火干扰后3年样地中,土壤轻组有机碳高于对照样地;火干扰后5年和9年样地内土壤轻组有机碳略低于对照样地。火干扰后3年样地、火干扰后3年对照样地,火干扰后5年样地、火干扰后5年对照样地,火干扰后9年样地、火干扰后9年对照样地内的土壤轻组有机碳变化范围为:181~318,151~272,157~294.1,142~348,116~321,144~301 g/kg(图1)。

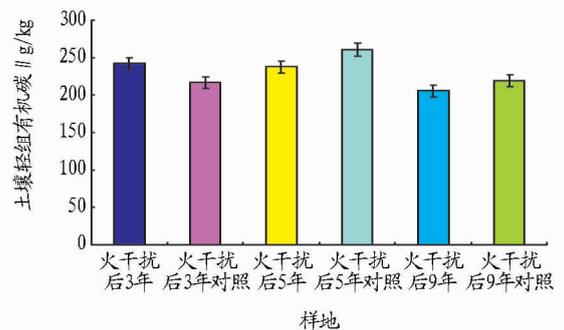


图1 兴安落叶松林火后不同年限土壤轻组有机碳

**2.2 火干扰后土壤轻组有机碳季节动态** 火干扰后3年、火干扰后5年和火干扰后9年样地内土壤轻组有机碳有明显的季节动态变化,表现出一定的波动性。火干扰后3年样地土壤轻组有机碳的变化趋势与火干扰后5年和9年样地有一定的差别(图2,3)。火干扰后3年土壤轻组有机碳的含量在5~6月期间呈现增长的趋势,在6月份达到一个峰值,含量增加了38.42%。而后在生长季中随着时间的变化逐渐下降,一直到10月份入秋之后达到一个最低值,比6月份减少了50.42%。火干扰后5年样地轻组有机碳在生长季的变化趋势和火干扰后3年基本保持一致,虽然其含量在5~6月间亦有增长,但是趋势略缓于火干扰后3年样地,只增加了22.60%;而在6~7月其含量呈现出了一个下降的趋势,减少了36.08%,远高于对照样地的4.47%;随后在7~9月

期间呈现出与对照样地相似的增长趋势,同样,28.72%的增长幅度也远高于对照样地的8.58%;而在生长季后期,火干扰样地内6.20%的变化趋势却接近于对照样地的4.92%。火干扰后9年样地内:轻组有机碳含量在5月份达到最高值,并且随着时间的变化而逐渐降低,在生长季内,轻组有机碳含量从5~9月份减少了25.85%,接近于对照样地的28.01%;在9月份之后有一个明显的降低,并且在10月份达到一个最低值。火干扰后短期内(3年和5年)土壤轻组有机碳的季节动态相对于其对照变化更加明显。火干扰9年轻组有机碳动态变化趋势基本和对照保持一致。火干扰后5年的对照样地内土壤轻组有机碳在生长季的变化幅度与火干扰后3年、9年样地内有较大的差异。

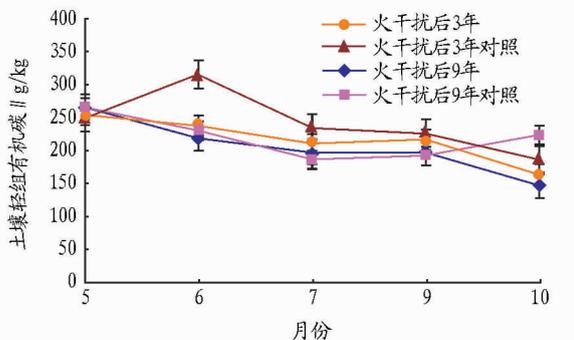


图2 塔河兴安落叶松林火干扰后3年和9年土壤轻组有机碳季节动态

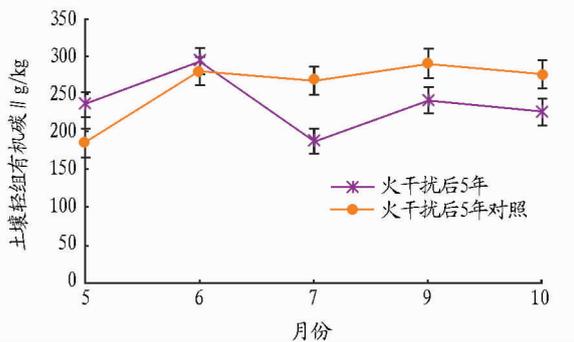


图3 南瓮河兴安落叶松林火干扰后5年土壤轻组有机碳季节动态

**2.3 土壤轻组有机碳影响因子** 土壤轻组有机碳受到各种因子的影响。通过对6块样地土壤轻组有机碳与土壤环境因子用Pearson系数进行相关性分析(表2),结果表明:火干

扰后3年和火干扰后5年样地内土壤轻组有机碳与pH值呈显著性负相关( $P < 0.05$ );所有火烧样地内轻组有机碳与土壤温度呈显著性负相关( $P < 0.05$ );所有样地内轻组有机碳与含水率无显著性相关( $P > 0.05$ )。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 火干扰对土壤轻组有机碳含量的影响

**3.1.1 植物燃烧灰分对土壤轻组有机碳含量的影响。**有研究发现,中、低强度火干扰后短期内,其对土壤有机碳再分配的影响不单纯地表现为减少的趋势<sup>[17-19]</sup>。该研究中火干扰后3年,土壤轻组有机碳显著增加,说明土壤轻组有机碳对火干扰反应很敏感。一方面是因为火干扰后根系的死亡向碳库进行了积极的补充<sup>[20]</sup>:表层土壤(植被和枯落物层)混入由植物燃烧产生的灰分,并随着降雨过程下渗到下层土层中,增加了土壤中碳含量<sup>[21]</sup>;土壤中还混有不完全燃烧的植物残体<sup>[22-23]</sup>、植物碎屑和碳屑<sup>[18]</sup>、有机颗粒物、碳化颗粒物以及半腐烂死根等<sup>[24]</sup>,其增加程度会受到火烧前地上生物量与地被可燃物载量的影响,还与燃烧的温度和燃烧程度有关,这些都会引起不同程度的土壤有机碳含量的增加。同时,中、低强度火干扰后会产生熏土效应<sup>[24]</sup>:即中、低强度火烧条件下,枯落物层燃烧时部分挥发性有机物附着于下部土粒表面。熏土效应也一定程度上增加了土壤轻组有机碳的含量。

**3.1.2 凋落物分解对土壤轻组有机碳含量的影响。**该研究结果表明,火干扰对土壤轻组有机碳的影响显著,土壤轻组有机碳变化程度受到火干扰后时间长短的影响,火烧样地内土壤轻组有机碳含量在火干扰后的初期增加11.99%(火干扰后3年),一段时间后,轻组有机碳的含量会有所降低,在火干扰后5年的时候含量下降了8.77%;后期呈逐渐上升的趋势,不断接近火烧前水平,在火干扰后9年的时候,火烧样地土壤轻组有机碳含量比对照样地减少6.27%。凋落物的分解是影响轻组有机碳的重要因素之一,是物理、化学和生物综合作用的生态过程,森林生态系统水热条件直接影响凋落物分解过程中的淋溶作用和微生物活性,温度和湿度对各种反应过程均有不同程度的作用。所以,火干扰通过改变森林生态系统水热条件来影响凋落物分解速率<sup>[25]</sup>,影响土壤轻组有机碳的周转。火干扰后地表温度升高,会影响森林土壤和凋落物的微生物活性,加快凋落物的分解速率,对土壤轻组有机碳动态产生显著影响。在土壤有机质的分解和转化过程中,土壤微生物起到了关键的作用。通过其分解作用,动植物和自身的残体以及根际分泌物等有机碳矿化后会被释放到土壤中,所以土壤微生物会影响到土壤中轻组有机碳含量的变化。土壤微生物在土壤中的生存活动由土壤的通透性、水分、pH值、湿度等环境因子所决定,所以火干扰对微生物的影响是随着环境条件以及火烧情况的变化而不同。土壤微生物易受到火干扰的影响,主要体现在两个方面:一是在火烧中直接遭受高温而致死;二是火烧可以烧毁林内植被,并改变土壤理化性质,间接对土壤微生物产生影响。有研究表明<sup>[26]</sup>在较高土壤温度下微生物活性会增强,加快了

表2 土壤轻组有机碳与pH、含水率的Pearson相关系数

样地	与含水率的 Pearson 相关系数	与 pH 值的 Pearson 相关系数	与土壤温度的 Pearson 相关系数
火干扰后3年	0.347	-0.628*	-0.708*
火干扰后3年对照	0.473	0.258	-0.383
火干扰后5年	-0.246	-0.524*	-0.642*
火干扰后5年对照	-0.355	-0.053	-0.164
火干扰后9年	0.202	0.158	-0.630*
火干扰后9年对照	0.494	0.238	0.098

注: \*表示在0.05水平有显著相关性。

森林凋落物的分解速率<sup>[27]</sup>。但该研究的相关分析表明,3块火干扰样地中,土壤轻组有机碳与土壤温度呈显著性负相关( $P < 0.05$ ),反映出土壤温度受到火干扰的影响并间接地对土壤轻组有机碳产生了负效应。火干扰发生后,林地植被会减少,林分郁闭度降低,增加了林下光照和通风条件;同时火烧后残留的灰烬等物质可以增强吸收太阳辐射,使地表土壤温度上升。生化反应组成了微生物的生命活动,而这些生化反应会受到温度直接或间接的影响。对于土壤微生物来讲,有一个生长的最适温度点,土壤微生物的生物过程及活性从 $0^{\circ}\text{C}$ 到最适点随温度的增加而增强,然而当土壤温度持续升高时,土壤微生物活性会迅速降低<sup>[28]</sup>。该研究中,火干扰后土壤温度的升高影响了土壤中微生物的活性,减弱了火干扰后植被凋落枝条的分解作用。所以随着时间的推移,土壤轻组有机碳含量呈现出减少的趋势。

**3.1.3 pH变化对土壤轻组有机碳含量的影响。**有研究发现<sup>[29]</sup>无论是高强度还是中、低强度火烧都没有改变总的微生物量,所以火干扰后pH的变化也可能是影响土壤轻组有机碳含量的另一个重要因素。该研究的相关分析表明,火干扰短期内(3年和5年)土壤轻组有机碳与土壤pH值呈显著性负相关( $P < 0.05$ )。有报道,火后森林土壤pH值一般呈增加趋势<sup>[17,22,30]</sup>。在该研究中也得到了相似的结论,火干扰发生3年后,土壤pH值略有增加,即土壤酸性小幅度下降,影响了土壤中微生物的活性,林内凋落物的分解速率降低很可能导致土壤轻组有机碳含量在发生即时性的增加后呈现出降低的趋势,但是降低的幅度不是很大,主要原因可能与大兴安岭林区的土壤为酸性土壤有关<sup>[23,31]</sup>。

**3.1.4 表土层塌缩和冲淋对土壤轻组有机碳含量的影响。**土壤轻组有机碳含量呈现出逐渐下降的趋势还可能与火干扰后表土层塌缩有关<sup>[24]</sup>:中、低强度火干扰情况下,融雪季或雨季过后火烧前概念上的原土层由于水的机械作用、根系分泌减少以及大团聚体逐渐破坏等原因会发生不同程度的塌缩,导致实际采样深度下延。在采样过程中,下层土壤会被不同程度地采入样品中,由于下层土壤有机碳含量较低,稀释效应会不同程度影响土壤轻组有机碳,导致其含量下降。同时随着火干扰后时间的增加,地表土壤冲刷淋洗等作用也会导致土壤轻组有机碳逐渐降低<sup>[22]</sup>。但是在火烧后5年到9年间与对照样地的差异变化很小,说明火干扰一段时间后,土壤轻组有机碳含量已经达到一个稳定的状态,并能长期持续保持。这可能是因为火烧后,地上森林植被逐渐恢复,凋落物的增加加快了土壤有机碳的恢复;同时由于生物体燃烧后的残体会形成土壤黑碳<sup>[31]</sup>,有助于将土壤中一部分不稳定的碳库转化为稳定的土壤有机碳库<sup>[32]</sup>,所以土壤轻组有机碳在火干扰5年以后保持着缓慢变化的趋势。但是轻组有机碳含量在火干扰后10年内仍未能恢复到火烧前水平(图1),说明火烧对土壤轻组有机碳的影响持续了很多年。

**3.1.5 土壤含水率对土壤轻组有机碳含量的影响。**火干扰后土壤轻组有机碳的变化可能与土壤含水率也有很大的关

系。在该研究中,虽然土壤轻组有机碳与含水率并无显著性相关( $P > 0.05$ ),但是森林土壤水分也有可能直接或者间接地影响土壤轻组有机碳含量的变化。水热条件是影响土壤微生物生长繁殖的控制因子,与土壤微生物的生命活动有着密切联系。水分为土壤微生物提供了适宜存活的环境,是土壤微生物活性的主控因子。火干扰后短期内,土壤含水量增加,充足的水分可以提高土壤微生物活性进而增加土壤微生物量<sup>[33]</sup>;当土壤湿度增加时,微生物更加活跃,此时凋落物的分解速率加快,土壤轻组有机碳含量也相应增大;但是当土壤水分大于田间持水量时,会导致土壤通气不良,土壤微生物的生长发育受到抑制,而微生物活性也会因为缺少氧气而降低,从而降低轻组有机碳含量。同时火干扰后较长一段时间,样地内植被覆盖度降低,土壤大多裸露在外,雨水对土壤的冲刷作用增强<sup>[34]</sup>,土壤结构遭到了破坏,淋洗、侵蚀情况严重,同时土壤表层植物残体、炭屑随着雨水流失,造成了轻组有机碳的减少。陈小梅<sup>[35]</sup>在研究降水变率对森林土壤有机碳组分与分布格局的影响时也得出结论:在干旱环境下加强了轻组有机碳的表层累积,缩减了土壤有机碳的稳态;反之在湿润环境增加了轻组有机碳的深层积聚。

**3.2 火干扰对轻组有机碳季节动态的影响**落叶松林土壤轻组有机碳具有明显的季节变化<sup>[36]</sup>,其动态受多种因素影响。植物凋落物和枯死的细根具有明显的季节变化,从而导致轻组有机碳的季节性波动,同时凋落物的分解速率也是影响轻组有机碳变化的重要因素,其与土壤微生物的活性息息相关。该研究中,晚冬时期由于针叶林内的凋落物输入土壤,因此土壤中适应于低温的微生物能够快速生长,促使微生物生物量在冬季和早春解冻时容易达到峰值。生长季开始的时候,火干扰后3年样地温度略高于对照样地,达到适宜微生物活动的温度,微生物活性加强,所以土壤轻组有机碳在生长季开始增加,并在6月份达到峰值。环境的改变如季节性的温度、湿度的变化影响着微生物的数量与活性,高温或者高湿气候条件会导致轻组有机碳快速分解<sup>[37]</sup>,加强轻组有机碳的季节动态变化,尤其在生长季更加明显。在夏季由于林下植被被烧毁后仍未恢复,使得研究样地更充分地暴露于阳光下,土壤温度升高,微生物活性降低,减弱了有机质的分解作用;同时研究地区夏季雨水比较大,冲刷作用减少了林下凋落物层累积凋落物含量,所以轻组有机碳的含量在夏季均较其他季节有所下降。另外,夏季凋落物量的减少也可能是轻组有机碳减少的原因之一。由于林内植被受到火干扰影响较大,在进行该研究时并未恢复,所以在9月份入秋之后,凋落物量增加很小;同时适宜的温、湿度使得土壤有机碳矿化速率提高<sup>[38]</sup>,土壤轻组有机碳大量减少。火干扰3年后轻组有机碳在6月份达到了最大值,并且整个生长季的变化趋势较对照未火烧样地更加明显,说明火烧对土壤轻组有机碳的季节动态变化影响较为显著。火干扰9年后的样地内轻组有机碳的变化趋势与其对照样地相似,可能与火干扰几年后火烧样地内植被逐渐恢复有关。

火干扰5年土壤轻组有机碳的变化情况与火干扰3年

相似,但是在7~9月份出现增加的趋势,并在9月份达到一个峰值,可能由于地域的不同所导致。其中火干扰后3年和9年的样地位于大兴安岭林区北部,而火干扰后5年的样地位于大兴安岭林区东南部,南北地域上气候不同程度的差异,如降水量的不同等会影响土壤理化性质,也是导致火干扰后土壤轻组有机碳在生长季出现不同变化趋势的原因之一。

#### 4 结语

火干扰对土壤性质,尤其是对土壤轻组有机碳具有较大的影响,这种影响可能是短期的,也可能是长期的或者永久性的,其与土壤自身特性、林火的性质、火烧强度以及持续时间等因素有很大的关系。在今后的工作中,研究火烧对土壤轻组有机碳的影响机理时,应该多次取样,并结合地区气候、样地植被等因素,进一步解释林火对土壤轻组有机碳的影响。

#### 参考文献

- [1] 陈泮勤. 地球系统碳循环概述[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 王晶,解宏图,朱平,等. 土壤活性有机质(碳)的内涵和现代分析方法概述[J]. 生态学杂志,2003,22(6):109-112.
- [3] 钟春棋,曾到盛,全川. 不同土地利用方式对闽江口湿地土壤活性有机碳的影响[J]. 亚热带资源与环境学报,2010,5(4):64-70.
- [4] 姜培坤,周国模,徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学,2002,38(6):6-11.
- [5] 周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.
- [6] POST W M, KWON K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. *Global Change Biology*,2000,6(3):317-327.
- [7] 谢锦升,杨玉盛,解明曙,等. 土壤轻组有机质研究进展[J]. 福建林学院学报,2006,26(3):281-288.
- [8] GREGORICH E G, MONREAL C M, CARTER M R, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils[J]. *Canadian Journal of Soil Science*,1994,74(4):367-385.
- [9] 侯翠翠,宋长春,李英臣,等. 不同水分条件下小叶章湿地表土有机碳及活性有机碳组分季节动态[J]. 环境科学,2011,32(1):290-297.
- [10] 李月梅. 青海高寒农区不同土地利用方式下土壤有机碳含量变化研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(10):5191-5193.
- [11] 毛艳玲,杨玉盛,邢世和,等. 土地利用变化对土壤水稳性团聚体轻组有机碳的影响[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2008,37(5):532-538.
- [12] 刘梦云,常庆瑞,杨香云. 黄土台塬不同土地利用方式下土壤碳组分的差异[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1418-1425.
- [13] 谷会岩,金靖博,陈祥伟,等. 不同火烧强度林火对大兴安岭北坡兴安落叶松林土壤化学性质的长期影响[J]. 自然资源学报,2010,25(7):1114-1121.
- [14] 邵帅,韩春兰,王秋兵,等. 大兴安岭天然针叶林不同强度火干扰10年后土壤有机碳含量变化[J]. 水土保持学报,2012,26(5):201-205,210.
- [15] 胡海清,魏书精,孙龙. 1965-2010年大兴安岭森林火灾碳排放的估算

- 研究[J]. 植物生态学报,2012(7):629-644.
- [16] JANZEN H H, CAMPBELL C A, BRANDT S A, et al. Light-Fraction Organic Matter in Soils from Long-Term Crop Rotations[J]. *Soil Sci Soc Am J*,1992,56(6):1799-1806.
- [17] 唐季林,欧国菁. 林火对云南松林土壤性质的影响[J]. 北京林业大学学报,1995(2):44-49.
- [18] 耿玉清,周荣伍,李涛,等. 北京西山地区林火对土壤性质的影响[J]. *中国水土保持科学*,2007,5(5):66-70.
- [19] 胡海清. 林火生态与管理[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [20] 方东明,周广胜,蒋延玲,等. 基于CENTURY模型模拟火烧对大兴安岭兴安落叶松林碳动态的影响[J]. *应用生态学报*,2012,23(9):2411-2421.
- [21] 李幼兰,缪启龙,王绍强,等. 突发性火灾对南方湿地松人工林土壤碳储量的影响[J]. *资源科学*,2009,31(4):674-680.
- [22] 沙丽清,邓继武,谢克金,等. 西双版纳次生林火烧前后土壤养分变化的研究[J]. *植物生态学报*,1998,22(6):513-517.
- [23] 孙龙,赵俊,胡海清. 中度火干扰对白桦落叶松混交林土壤理化性质的影响[J]. *林业科学*,2011,47(2):103-110.
- [24] 崔晓阳,郝敬梅,赵山山,等. 大兴安岭北部试验林火影响下土壤有机碳含量的时空变化[J]. *水土保持学报*,2012(5):195-200.
- [25] 彭少麟,刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. *生态学报*,2002,22(9):1534-1544.
- [26] VERBURG P, VAN DAM D, HEFTING M, et al. Microbial transformations of C and N in a boreal forest floor as affected by temperature[J]. *Plant and Soil*,1999,208(2):187-197.
- [27] PAUSAS J. Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin)[J]. *Climatic Change*,2004,63(3):337-350.
- [28] NORBY R J, LUO Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO<sub>2</sub> and global warming in a multi-factor world[J]. *New Phytologist*,2004,162(2):281-293.
- [29] HAMMAN S T, BURKE I C, STROMBERGER M E. Relationships between microbial community structure and soil environmental conditions in a recently burned system[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,2007,39(7):1703-1711.
- [30] 姚余君,刘菲,胡海清,等. 火烧对胡桃楸人工林土壤化学性质的影响[J]. *东北林业大学学报*,2008,36(7):34-36.
- [31] 宋启亮,董希斌,李勇,等. 采伐干扰和火烧对大兴安岭森林土壤化学性质的影响[J]. *森林工程*,2010,26(5):4-7.
- [32] 姜勇,诸葛玉平. 火烧对土壤性质的影响[J]. *土壤通报*,2003,34(1):65-69.
- [33] HUNGATE B A, HART S C, SELMANTS P C, et al. Soil responses to management, increased precipitation, and added nitrogen in ponderosa pine forests[J]. *Ecological Applications*,2007,17(5):1352-1365.
- [34] 严超龙. 火干扰对重庆亚热带森林植被及土壤的影响[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [35] 陈小梅,刘菊秀,邓琦,等. 降水变率对森林土壤有机碳组分与分布格局的影响[J]. *应用生态学报*,2010,21(5):1210-1216.
- [36] BOONE R D. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,1994,26(11):1459-1468.
- [37] 谢锦升,杨玉盛,杨智杰,等. 退化红壤植被恢复后土壤轻组有机质的季节动态[J]. *应用生态学报*,2008(3):557-563.
- [38] 杨继松,刘景双. 小叶章湿地土壤微生物量碳和可溶性有机碳的分布特征[J]. *生态学杂志*,2009,28(8):1544-1549.

(上接第11688页)

#### 3 结论与讨论

(1)与清水和8%混脂·硫酸铜水乳剂500倍液相比较,“绿之侠”450倍液对烟株烟草打顶期花叶病的平均防效分别达到65.53%和37.06%,且在株高、叶数等方面表现出一定的优势,叶片生长发育状况良好。

(2)栽后间隔10d连续喷施“绿之侠”2次能够较好抑制带毒移栽烟苗内病毒的发展,推迟发病时间。因此,在移栽后及早防控,对烟草普通花叶病的防控效果较好。

(3)“绿之侠”不但在烟草花叶病防控上较其他药剂表现出一定的优势,同时能够对烟株生长起到一定的促进作用,有助于提高烟叶产质量,其中绿之侠450倍液表现较好。

#### 参考文献

- [1] 申莉莉,杨金广,钱玉梅,等. 生防菌混合培养液对烟草普通花叶病毒的抑制作用[J]. *中国烟草科学*,2013(3):110-112.
- [2] 杜卫民,罗定棋,申莉莉. 宁南霉素与醋酸铜混配剂对烟草普通花叶病的联合作用[J]. *现代农业科技*,2010(15):189-190.
- [3] 李才华,凌受恒,沈力,等. 几种防治烟草花叶病的药剂筛选[J]. *安徽农业科学*,2009(34):16909-16910.
- [4] 王艳. 几种防治烟草花叶病的药剂筛选试验[J]. *牡丹江师范学院学报:自然科学版*,2007(3):36-37.