

大兴安岭天然林不同林分溶解有机碳变化特征

杜浩, 张成福, 程宇琪, 王雨晴, 潘思涵, 杨宇娜

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010010)

摘要:为确定不同林分和季节变化对森林碳库影响。在内蒙古大兴安岭根河林业局境内选取具有代表性的林分, 即白桦林、白桦落叶松混交林以及落叶松林为研究对象。收集并测定了树干径流、有机质层和0—30 cm土层中DOC浓度, 并分析了DOC变化特征以及不同月份对DOC的影响。结果表明: 不同林分中树干径流中DOC平均浓度分别为60.12, 172.77, 205.02 mg/L; 有机质层中DOC平均浓度分别为35.32, 39.64, 34.45 mg/L; 0—30 cm土层中DOC平均浓度分别为26.23, 37.08, 26.53 mg/L。结果表明: 不同林分中DOC浓度表现为树干径流>有机质层>0—30 cm土层, 落叶松林树干径流DOC浓度明显高于白桦林($p<0.05$), 且落叶松树干比白桦树干淋溶DOC强; 不同林分中有机质层和0—30 cm土层表现为白桦落叶松混交林>白桦林、落叶松林, 但无明显的差异($p>0.05$), 而且有机质层和土层对DOC有吸附固定作用; 不同林分6—9月份树干径流中DOC浓度呈现先升高后降低的趋势, 7月份达到最大, 有机质层和0—30 cm土层中DOC浓度6月份最高, 7月、8月最低, 而9月份又升高。不同林分和月份的变化, 影响了天然林中DOC浓度分布。

关键词:大兴安岭; 树干径流; 有机质层; 土壤; 溶解有机碳

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)06-0046-07

Change Characteristics of Dissolved Organic Carbon (DOC) in Natural Forests of Greater Khingan Mountains Region

DU Hao, ZHANG Chengfu, CHENG Yuqi, WANG Yuqing, PAN Sihan, YANG Yuna

(College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to determine the effects of different forest stands and seasonal changes on forest carbon pool, the representative stands of Birch forest, Birch forest and *Larix gmelinii* mixed forests and *Larix gmelinii* forests were selected in Genhe Forestry Bureau of Greater Khingan Mountains region, Inner Mongolia. Dissolved organic carbon (DOC) concentrations in stemflow, organic matter layer and 0—30 cm soil layer were collected and measured. The variation characteristics of DOC and the effects of different months on DOC were analyzed. The results show that the average concentrations of DOC in stemflow of different stands are 60.12, 172.77, 205.02, 35.32, 39.64, 34.45 mg/L in organic matter layer, 26.23 mg/L, 37.08 mg/L, 26.53 mg/L in 0—30 cm soil layer, respectively. DOC concentration in different stands decreases in the order: stemflow>organic layer>0—30 cm soil layer, and the DOC concentration in stemflow of *Larix gmelinii* forest is significantly higher than that of Birch forest forest ($p<0.05$), and the DOC concentration in the trunk of *Larix gmelinii* forest is higher than that in the trunk of Birch forest. DOC concentrations of the organic layer and 0—30 cm soil layer in different stands decrease in the order: Mixed forest of larch and birch>Birch forest and *Larix gmelinii* forest, but there is no significant difference ($p>0.05$). Organic and soil layers can adsorb and fix DOC. The concentration of DOC in stemflow increases first and then decreases from June to September and reaches the maximum in July. The concentration of DOC reaches the highest in June in organic layer and 0—30 cm soil layer, the lowest in July and August, and then increases in September. The variation of DOC concentration in different stands and months affects the distribution characteristics of DOC concentrations in natural forests.

收稿日期: 2019-01-21

修回日期: 2019-02-25

资助项目: 国家自然科学基金(41461106); 内蒙古农业大学引进人才科研启动项目(YJ2014-1)

第一作者: 杜浩(1992—), 男, 陕西榆林人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: 1053218830@qq.com

通信作者: 张成福(1966—), 男, 内蒙古四子王旗人, 教授, 主要从事水土保持研究。E-mail: 2651534893@qq.com

Keywords: Greater Khingan Mountains; stemflow; organic matter layer; soil; dissolved organic carbon (DOC)

随着工业化发展,大气中二氧化碳(CO₂)浓度增加引起的温室效应导致全球气候变暖。土壤是地球重要的碳库,其储量约为大气碳储量的 2 倍、植被储量的 3 倍^[1]。由于土壤有机碳(SOC)储量巨大,其微小增加或减少都会显著影响大气中 CO₂ 浓度^[2]。植被通过光合作用将大气 CO₂ 固定到植物体中,而植物每年以枯落物的形式将碳转移到土壤中,由此增加了植被和土壤的碳汇,相应地减少了大气中 CO₂ 的浓度。溶解有机碳(DOC)是 SOC 的重要来源,每年由土壤吸收的 DOC 约占矿质土壤层碳总量的 19%~50%^[3]。因此,研究不同林分中 DOC 变化对缓解全球变暖以及碳循环具有重要的意义。

森林中 DOC 动态以及生成 DOC 是一个复杂的过程,如植物种类对 DOC 产生的影响,枯枝落叶对 DOC 生成,不同研究有不同结果:Luan 等^[4]发现阔叶林比针叶林产生较多的 DOC,而 Currie 等^[5]则获得相反结果;熊丽等^[6]对米楮天然林不同层 DOC 作了研究,发现下层土壤比上层土壤吸附 DOC 能力强;俞元春等^[7]研究杉木林土壤 DOC 浓度与迁移,发现不同林分产生的 DOC 量不同;Zhang 等^[8]基于数学模型分析,发现 DOC 的产生不仅与树种有关,同时与每年森林枯落物的凋量有关,而森林枯落物依赖于森林年龄和树种组成。杨丽丽等^[9]研究了在六盘山典型森林生长季的大气降水、穿透水、干流、枯落物渗透水和主根系层土壤渗透水的 DOC 浓度及其相应的通量变化。大部分研究主要集中在土壤中

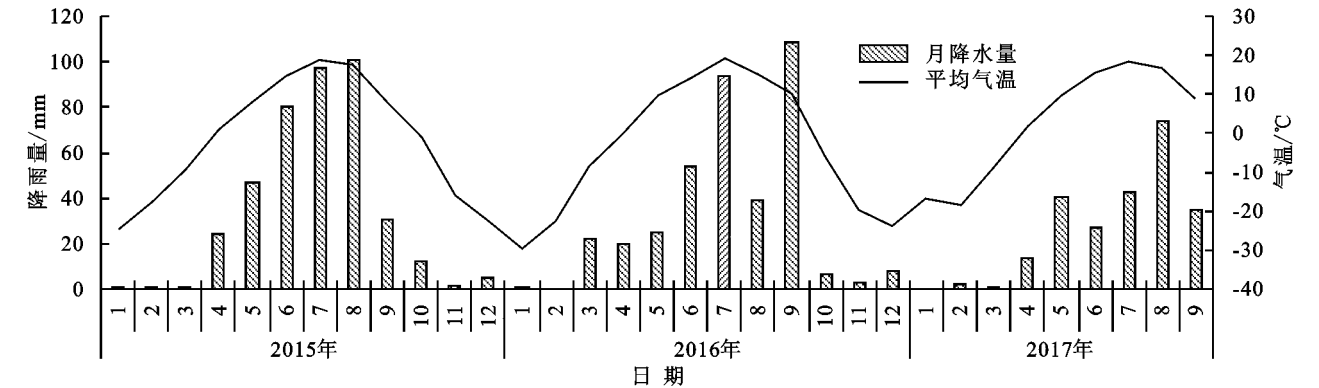
DOC 的研究,而以水为载体,通过降雨对北方天然林中 DOC 变化研究较少。

本研究以大兴安岭 3 种典型天然林类型为研究对象。大兴安岭作为我国四大林区之一,占全国森林总面积的 29.9%,是北方的重要组成部分^[10]。而大兴安岭天然林在建国之期就开始大规模开采,出现火烧、整地、改造人工林等措施对森林系统出现干扰,进而使天然林碳含量发生变化,导致 DOC 出现变化。因此,研究大兴安岭天然林 DOC 动态变化,对森林生态系统中碳和森林生长有着重要的作用,有利于弄清森林演替对于 SOC 的形成机制的影响,为我国北方森林土壤碳储量做出科学依据。

1 研究方法

1.1 样地概括

研究区位于大兴安岭北段,内蒙古自治区呼伦贝尔根河林业局境内。地理坐标为 50°05′01″—53°33′25″N,121°11′02″—127°01′17″E。属于典型的寒温带湿润季风性气候区,最高海拔 1 451 m。年降水量约为 400~500 mm,降雨主要集中在 7、8 月份,9 月末—次年 5 月初为降雪期。年平均气温为-5.5℃,日较差高达 20℃(图 1)。年无霜期为 80~90 d,冻结期 210 d 以上。地下有永冻层,个别地区 30 cm 以下为永冻层。林区境内河流较多,主要河流为根河,是林区内最大的河流。土壤类型主要有棕色针叶林土、灰色森林土、河滩森林土、草甸土、沼泽土。



注:数据来源于根河气象站。

图 1 研究区月降水量和平均气温

1.2 样地布设

为尽可能保证对比条件的一致性,在野外踏查的基础上,选择坡向基本一致和土壤类型为棕色针叶林土,而只有植被类型有差异的地段作为研究样地。针对大兴安岭天然林,本研究选取有代表性的不同类型的林分,分别选取白桦林(*Betula platyphylla*)、白

桦落叶松混交林和落叶松林(*Larix gmelinii*)3 个样地,分别标记为 BF,MLB,LF(表 1)。在每个样地沿等高线选 3 条等高线,每条等高线相距 50 m,分别布设一个采样点。进而取其有机质层和 0—30 cm 渗透水,并在每个样地布设树干径流收集装置。各样地植被基本情况见表 1。

表 1 各样地基本情况和主要植被特征

样地名称	编号	pH 值	平均 胸径/cm	平均 树高/m	植被 类型	主要 植物种
白桦林	BF	6.54	9.71	13.67	针阔混交林	白桦、小叶章(<i>Deyeuxia angustifolia</i> (Kom.)),刺梅(<i>Rosa maxi-mowicziana</i>)、绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)
白桦落叶松混交林	MLB	6.54	7.08	6.67	针阔混交林	落叶松、白桦、山杨(<i>Populus davidiana</i>)、兴安杜鹃(<i>Rhododen-dron dauricum</i> L.)、绣线菊、杜香(<i>Ledum palustre</i> L.)
落叶松林	LF	6.82	8.73	13.17	落叶松成熟林	落叶松、小叶章、鹿蹄草(<i>Pyrola calliantha</i> H.)、赤杨叶(<i>Alniophyllum fortunei</i> (Hemsl.)),绣线菊、笃斯越桔(<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)

1.3 水样的采集

为了取树干径流,每个样地每种树木随机选取 3 棵,根据树的胸径,将聚乙烯塑料布和胶管从树干 1.5 m 处由上到下缠绕于树干,并用泡沫剂填充塑料布和胶管与树干之间空隙,用玻璃胶带密封塑料布与树干,再将胶管引入密封的塑料容器。在白桦落叶松混交林中,将收集到的白桦树干径流与落叶松树干径流溶液分别进行混合,测其 DOC 浓度。

为采集有机质层和 0—30 cm 土层中 DOC,自制了内径为 30 cm 的渗透水收集器。收集器为平底盘,在盘底打孔,通过一定长度的塑料管与 DOC 溶液采样瓶相连。收集器布设时尽量保持有机质层的自然状态。在布设时先将有机质层整体切割抬起,然后放入收集器,最后将有机质层保持原样放在收集器上。将未扰动的土壤,土层厚度为 30 cm,放入收集器,将土层上保留采集原状土上原有的有机质层,生长的草本和小灌木等林下植被。采样瓶放置于比收集器地势较低的地方,通过塑料管将采样瓶与收集器相连,使收集器收集的 DOC 溶液能够自然流入采样瓶。

DOC 溶液收集时间为 2016—2017 年,为期 2 a。每年从当地土壤解冻期 6 月 1 日开始到当年土壤冻结期 10 月 1 日结束。DOC 溶液在每次降雨后及时收集,但在连续降雨超过 1 周的情况下每周采样 1 次。每次采样后,将各个样地采集的 DOC 溶液倒入 100 ml 的塑料瓶内。在实验室内 DOC 溶液储存于-4℃的冰箱内。试验期内共 232 个样品,各样地 2 a 研究期内野外采集样品数量见表 2。

表 2 各样地 2 a 研究期内野外采集样品数量

年份	水文分量	BF	MLB	LF
2016	树干径流	7	10	9
	有机质层	10	7	11
	0—30 cm 土层	8	5	5
2017	树干径流	30	18	26
	有机质层	20	23	13
	0—30 cm 土层	10	10	10

1.4 室内试验与数据统计分析

DOC 溶液首先用 0.45 μm 滤纸过滤,使用美国 TELEDYNE TEKMAR 公司生产的 TOC—Torch 仪器测定 DOC 浓度。数据统计分析采用微软公司的 MS—Excel 软件和 SPSS 22.0 完成,采用单因素方差(ANOVA)分析对不同林分 and 不同水文分量 DOC 浓度进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 不同林分之间 DOC 浓度

从表 3 可看出,雨水通过林内后,不同林分 DOC 浓度均发生明显变化。对树干径流 DOC 浓度表现为:BF(60.12 mg/L)<MLB(172.77 mg/L)<LF(205.02 mg/L)。落叶松树干径流中 DOC 浓度比白桦树干径流高出 70.68%,且差异性显著($p<0.05$)。进一步说明落叶松树干径流明显高于白桦树干径流中 DOC 浓度。

有机质层中 DOC 浓度表现为:LF(34.45 mg/L)<BF(35.32 mg/L)<MLB(39.64 mg/L),与 LF 相比,MLB 和 BF 分别增加了 2.53%,15.07%;0—30 cm 土层中 DOC 浓度表现为:BF(26.23 mg/L)<LF(26.53 mg/L)<MLB(37.08 mg/L),与 BF 相比,MLB 和 LF 分别增加了 41.36%,1.15%。有机质层和 0—30 cm 土层中 DOC 浓度均表现出 MLB 高出 BF 和 LF,但差异不显著($p>0.05$)。

表 3 天然林不同林分 DOC 平均浓度 mg/L

水文分量	BF	MLB	LF
树干径流	60.12±5.88Aa	172.77±18.81Ba	205.02±20.30Ba
有机质层	35.32±4.11Ab	39.64±5.55Ab	34.45±5.72Ab
0—30 cm 土层	26.23±5.84Ab	37.08±6.22Ab	26.53±6.32Ab

注:表内同一行不同大写字母表示不同林分之间差异显著($p<0.05$);同一列不同小写字母表示不同水水量差异显著($p<0.05$);±标准误差。

2.2 林内各层的 DOC 浓度

由表 3 可知,其不同林分内各层中 DOC 浓度表现为:在 BF 表现为树干径流(60.12 mg/L)>有机质层(35.32 mg/L)>0—30 cm 土层(26.23 mg/L);在

MLB 表现为树干径流(172.77 mg/L) > 有机质层(39.64 mg/L) > 0—30 cm 土层(37.08 mg/L); 在 LF 表现为(205.02 mg/L) > 有机质层(34.45 mg/L) > 0—30 cm 土层(26.53 mg/L)。在不同林分中 DOC 浓度均表现出树干径流 > 有机质层 > 0—30 cm 土层, 且树干径流和有机质层及 0—30 cm 土层有显著差异($p < 0.05$)。

降水经过森林系统, 植被表面、有机质层和土壤对雨水中的 DOC 进行淋洗、吸附和淋失等一系列变化, 以及水量的变化, 导致天然林不同林分各层 DOC 浓度产生差别(表 4)。树干径流中 DOC 浓度与有机质层 DOC 浓度的差值, 可反映有机质层输入林地 DOC 作用程度, 其值均为正值, LF 树干径流 DOC 浓度差值比较大(170.57 mg/L), 相比之下, BF 差值比较小(24.8 mg/L), 说明落叶松林树干对 DOC 淋出作用较大。白桦林淋出比较弱, 主要因为阔叶树干比针叶树光滑, 雨水在树干滞留时间少, 也可能阔叶叶面比针叶光滑, 拦截和储存干沉降比较少。在不同林分内, 有机质层中 DOC 浓度均高于 0—30 cm 土层, 其差值均为正值, 说明土壤层对有机质层输出 DOC 具有吸附固定作用。

表 4 不同林分林内各层 DOC 平均浓度差别

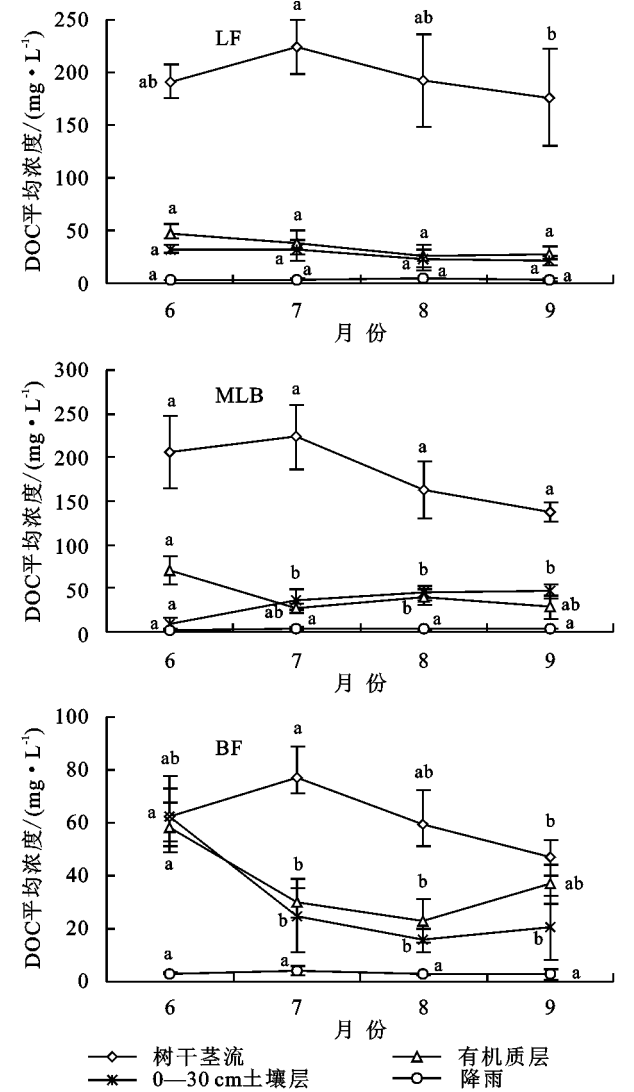
	mg/L		
作用层	BF	MLB	LF
树干径流—有机质层	24.80	133.13	170.57
有机质层—30 cm 土层	9.09	2.56	10.16

2.3 不同林分中 DOC 浓度不同月份动态

在不同林分中 DOC 浓度随月份变化而变化(图 2)。不同林分降雨中 DOC 浓度随着月份变化差异不显著, 无明显的变化规律。总体而言, 白桦林、白桦落叶松混交林和落叶松林降雨中 DOC 浓度基本相同, 分别为 3.17, 3.14, 3.48 mg/L。在 BF 中, 树干径流 DOC 浓度最大值出现在 7 月份, 最小值出现在 9 月份, 即表现为 7 月 > 6 月 > 8 月 > 9 月; 有机质层和 0—30 cm 土层中 DOC 浓度变化趋势相似, 最大值出现在 6 月份, 最小值出现在 8 月份, 即有机质层表现为 6 月 > 9 月 > 7 月 > 8 月, 0—30 cm 土层表现为 6 月 > 7 月 > 9 月 > 8 月, 除有机质层 9 月份, 6 月份和其他月份均差异显著($p < 0.05$)。在 MLB 中, 树干径流 DOC 浓度最大值出现在 7 月份, 最小值出现在 9 月, 即 7 月 > 6 月 > 8 月 > 9 月, 但差异不显著($p > 0.05$); 有机质层 DOC 浓度最大值在 6 月, 最小值出现在 7 月份, 即 6 月 > 月 8 > 9 月 > 7 月, 6 月份和 8 月份差异显著($p < 0.05$); 0—30 cm 土层中 DOC 浓度最大值出现在 9 月, 最小值在 6

月份, 即 9 月 > 7 月 > 8 月 > 6 月, 且 6 月份和其他月份均差异显著($p < 0.05$)。在 LF 中, 树干径流 DOC 浓度最大值出现在 7 月份, 最小值出现在 9 月, 即 7 月 > 6 月 > 8 月 > 9 月; 有机质层 DOC 浓度最大值出现在 6 月份, 最小值出现在 8 月份, 即有机质层表现为 6 月 > 7 月 > 9 月 > 8 月; 0—30 cm 土层中 DOC 浓度最大值出现在 6 月, 最小值在 9 月份, 即 6 月 > 7 月 > 8 月 > 9 月, 但有机质层和 0—30 cm 土层各月份差异不显著($p > 0.05$)。

总之, 各个林分中树干径流 DOC 浓度随着不同月份变化趋势相似, 呈现出先升高后降低趋势, 最大值在 7 月份, 最小值在 9 月, 且 7 月份和 9 月份差异显著($p < 0.05$) (除 MLB)。各个林分中有机质层和 0—30 cm 土层 DOC 浓度变化趋势相似, 在 6 月份最高, 然后逐月降低, 9 月份 DOC 浓度又升高(除 MLB 中 0—30 cm 土层)。MLB 中有机质层和 0—30 cm 土层 DOC 浓度随月份变化规律不明显。



注: 不同小写字母表示同一水文量不同月份差异显著($p < 0.05$)。
图 2 不同林分不同水文量 DOC 浓度月份动态

3 讨论

3.1 不同林分树干径流 DOC 浓度差异分析

由于降雨对树干、树叶表面的冲刷和淋洗,导致降雨经过树干过程中径流中 DOC 浓度达到最大,且不同树干径流中 DOC 浓度也不同。本研究结果表明,落叶松树干径流中 DOC 浓度明显高于白桦树干径流,且不同林分中树干径流中 DOC 浓度均明显高于有机质层和 0—30 cm 土层。这一结果与前人研究结果相似^[9,11]。造成不同树种之间树干径流中 DOC 浓度主要和树皮形态、胸径、树干的粗糙等有关,这些因素会造成雨水在树干滞留时间不同,从而影响树干径流中 DOC 浓度差异^[12]。也可能与沉积在树干表面的可溶性有机材料有关^[13]。落叶松树干比较粗糙,有多层的树皮,雨水在落叶松树干停留时间相对较长,雨水对树干的淋洗更突出,其树干径流中的 DOC 浓度明显高于桦树树干径流。桦树树皮光滑,雨水在树皮滞留时间少,树干径流中 DOC 浓度相对较低。同时也与降雨对树冠的淋洗强度有关,有研究发现针叶林叶面相比阔叶林容易拦截和储存大量的干沉降,使得针叶林淋洗较强^[9]。本研究中,树干径流中 DOC 浓度均达到最大值,变化范围为 60.12~205.02 mg/L。高于温带和亚热带一些地方的针叶林和阔叶林树干径流中 DOC 浓度^[12,14]。造成这些差异可能与森林结构、树种种类和气候条件不同有关。影响树干径流 DOC 浓度因素复杂,需进一步研究。

3.2 不同林分有机质层和 0—30 cm 土层中 DOC 浓度差异分析

造成有机质层和土层中 DOC 差异,主要因为不同林分内植被类型数量、凋落物量、微生物种类、根系分泌以及雨水对凋落物的冲洗等不同造成的。本研究发​​现白桦落叶松混交林有机质层和 0—30 cm 土层中 DOC 平均浓度均高于白桦林和落叶松林。这与郭璐璐^[15]、肖慈英^[16]等研究结果相似。土壤矿质层 DOC 的来源有机质层释放淋溶的 DOC、矿质层微生物死亡释放的 DOC 和根系分解过程中释放的 DOC,但有机质层释放淋溶的 DOC 是土壤矿质层 DOC 的主要来源^[17-18]。森林生物多样性和枯落物凋落量影响了 DOC 产生。陆地生态系统 90% 以上的地上部分净生产量通过枯落物的方式返回地表^[19],每年总枯落物碳生产量与陆地生态系统净第一性生产量基本相当^[20]。DOC 是有机物分解过程中产生的半分解物溶于水的部分,而有机物分解受微生物影响。牛晓燕等^[21]基于本研究试验样地分析了大兴安岭天然林演替对于土壤微生物的影响,发现土壤微生物种类

呈现先增多后减少的动态变化,即白桦落叶松混交林土壤微生物多样性丰富。另外,白桦落叶松混交林物种丰富(表 1),凋落物组成比较复杂,使得混交林的枯落物混合物易被微生物分解^[16],有机质快速分解导致了有机质层释放更多的 DOC,这是造成混交林中 DOC 浓度最高的原因。落叶松林和白桦林 0—30 cm 土层中 DOC 浓度差异不大,影响土壤 DOC 浓度变化因素不确定,可能环境因素和生物因素同时作用,所以很难确定 0—30 cm 土层中 DOC 浓度变化差异主要因素,这些浓度变化的原因比较复杂,值得进一步研究。

本研究发​​现,不同林分均表现出有机质层 DOC 平均浓度均高于 0—30 cm 土层,与前人研究结果一致^[6,9,22]。舒洋等^[23]对土壤碳密度分布研究发​​现有机质碳随着土层深度加深而降低。范跃新等^[24]发​​现 DOC 含量随着土层加深明显降低,并向腐殖质层富集。这主要原因是与土壤中的 DOC 在一定程度上受土壤总有机碳的影响,随着土壤的加深,总有机碳减少,另外,土壤下层中微生物和有机质层种类不同,且下层受影响比较小,在土壤中有机碳分解时间长,有效性同时也降低^[25]。也有可能是大兴安岭土不同林分土层较薄、垂直根系浅以及地下有永冻层,影响着微生物的活性,随着土层深度越明显,造成有机质层 DOC 平均浓度高于 0—30 cm 土层。

3.3 不同月份 DOC 浓度差异分析

本研究发​​现各林分树干径流中 DOC 浓度随不同月份变化规律相似,均出现先升高后降低的趋势。吕茂奎等^[14]报道过树干径流 DOC 浓度旱季高于雨季,与本文研究结果相似。造成这不同月份的差异的原因可能是冬季之后,树干比较干燥,可能沉积含有可溶性有机物的干燥有利的物质。6 月份开始降雨量少,6—7 月份降雨量逐渐增加(图 1),对树干干燥可溶性有机物质进行冲洗,导致了白桦和落叶松树干径流中 DOC 浓度开始有上升趋势,7 月份达到最大。Ciglasch 等^[13]解释了较低降雨量 DOC 浓度较高原因,归于浓度效应或累积在干燥季节可溶性有机物质被洗涤。7—8 月份降雨量增加,对树干的冲洗增加,大量的雨水对 DOC 浓度进行稀释,使得树干径流 DOC 浓度下降。

研究结果表明,不同林分中有机质层和 0—30 cm 土层 DOC 浓度总的趋势为 6 月份最高,7 月、8 月份最低,9 月份又升高。本研究发​​现各样地有机质层 DOC 浓度最大值出现在 6 月份,这是由于冻融作用导致非溶性的有机质转化为 DOC,及冬季土壤中积累了较多微生物残体,使得有机质层释放出较多的 DOC^[26]。有机质层 DOC 浓度最低值出现在 7 月、8

月份,这可能与当地7月、8月份降雨量大有关。7月、8月份虽然气温较高(图1),有机质分解快,DOC产生量也大,但由于在7月、8月份降雨量大,致使有机质层DOC被稀释而使浓度降低。9月份DOC浓度呈现上升趋势是由于秋季植物枯落物引起^[27]。大兴安岭兴安落叶松林枯枝落叶主要集中在9月份,约占全年的62%~66%^[28]。新鲜的枯落物中含有大量水溶性有机物,这些可溶性有机物被雨水直接淋溶使有机质层浓度升高^[29]。本研究中,个别林分在个别年份中DOC浓度无明显变化规律,这可能与各样地在各月份中降雨量不同有关。

DOC浓度受降雨、微生物、枯落物、温度等因子影响,而这些因子随季节的不同而变化^[30]。在不同的地区,土壤中DOC浓度随季节变化的模式不同。有研究者发现土壤溶液中的DOC浓度夏季高^[31];在牛坑垅地区土壤溶液中DOC浓度9月份高于7月份^[32];在中国西南亚高山土壤DOC浓度5月份最高,9月份最低^[33];在三江平原地区,小叶章地表土层DOC浓度5月份较高,7月份最低,9月份最高^[34];Nambu等^[35]未发现有机质层下DOC浓度的季节变化。造成不同地区土壤DOC浓度随季节变化呈现不同的规律可能与这些地区气候不同有关。

4 结 论

(1) 不同林分中有机质层和0—30 cm土层中DOC浓度呈现:白桦落叶松混交林>白桦林、落叶松林,但差异不显著;落叶松林树干径流中DOC浓度明显高于白桦林,差异性显著。

(2) 各林分DOC浓度呈现出树干径流>有机质层>0—30 cm土层,且树干径流和有机质层及0—30 cm土层有显著差异;有机质层和土层对DOC有吸附固定作用,且落叶松树干比白桦树干淋溶DOC强。

(3) 在不同月份中,树干径流DOC浓度最大,9月份最小,呈先升高后降低;有机质层和0—30 cm土层DOC浓度总体变化趋势为6月份最高,7月、8月最低,9月份又升高。

参考文献:

- [1] Lynch J M, Bragg E. Microorganisms and soil aggregate stability [M]. New York: Springer Verlag, 1985.
- [2] Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability: A literature analysis[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009,41(1): 1-12.
- [3] Kalbitz K, Kaiser K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils[J].

Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008,171(1):52-60.

- [4] Luan J, Xiang C, Liu S, et al. Assessments of the impacts of Chinese fir plantation and natural regenerated forest on soil organic matter quality at Longmen mountain, Sichuan, China [J]. Geoderma, 2010,156(3/4):228-236..
- [5] Currie W S, Aber J D. Modelling leaching as a decomposition process in humid Montane forests[J]. Ecology, 1997,78(6):1844-1860.
- [6] 熊丽,杨玉盛,朱锦懋,等.可溶性有机碳在米槠天然林不同土层中的迁移特征[J].生态学报,2015,35(17): 5711-5720.
- [7] 俞元春,何晟, Wang G. Geoff,等.杉木林土壤渗滤水溶解有机碳含量与迁移[J].林业科学,2006,42(1):122-125.
- [8] Zhang C, Jamieson R C, Meng F R, et al. Long-term forest-floor litter dynamics in Canada's boreal forest: Comparison of two model formulations [J]. Ecological Modelling, 2011,222(6):1236-1244.
- [9] 杨丽丽,王彦辉,杜敏,等.六盘山典型森林伴随降水的总有机碳(TOC)通量变化特征[J].生态学报,2014,34(21):6297-6308.
- [10] 方精云,陈安平,赵淑清,等.中国森林生物量的估算[J].植物生态学报.2002,26(2):243-249.
- [11] Edmonds R L, Thomas T B, Blew R D. Biogeochemistry of an Old-Growth Forested Watershed, Olympic National Park, Washington[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1995,31(3):409-419.
- [12] Inagaki M, Sakai M, Ohnuki Y. The effects of organic carbon on acid rain in a temperate forest in Japan[J]. Water Air and Soil Pollution, 1995,85(4):2345-2350.
- [13] Ciglasch H, Lilienfein J, Kaiser K, et al. Dissolved organic matter under native Cerrado and *Pinus caribaea* plantations in the Brazilian savanna[J]. Biogeochemistry, 2004,67(2):157-182.
- [14] 吕茂奎,谢锦升,江森华,等.米槠常绿阔叶次生林和杉木人工林穿透雨和树干径流可溶性有机质浓度和质量的比较[J].应用生态学报,2014,25(8):2201-2208.
- [15] 郭璐璐,李安迪,商宏莉,等.川西贡嘎山不同森林生态系统土壤有机碳垂直分布与组成特征[J].中国农业气象,2018,39(10):636-643.
- [16] 肖慈英,黄青春,阮宏华.松、栎纯林及混交林凋落物分解特性研究[J].土壤学报,2002,39(5):763-767.
- [17] 任寅榜,吕茂奎,江军,等.侵蚀退化地被恢复过程中芒萁对土壤可溶性有机碳的影响[J].生态学报,2018,38(7):2288-2298.
- [18] Klotzbücher T, Kaiser K, Stepper C, et al. Long-term litter input manipulation effects on production and properties of dissolved organic matter in the forest floor of a Norway spruce stand [J]. Plant and Soil,

- 2012,355(1/2):407-416.
- [19] Malhi Y, Baldocchi D D, Jarvis P G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests [J]. *Plant Cell & Environment*, 2010,22(6):715-740.
- [20] Loranger G, Ponge J F, Imbert D, et al. Leaf decomposition in two semi evergreen tropical forests: influence of litter quality [J]. *Biology and Fertility Soil*, 2002,35(4):247-252.
- [21] 牛晓燕,刘志强,赵晶晶,等.大兴安岭森林火烧后不同演替阶段土壤细菌多样性动态[J].*微生物学通报*, 2017,44(8):1825-1833.
- [22] Liu C P, Sheu B H. Dissolved organic carbon in precipitation, throughfall, stemflow, soil solution, and stream water at the Guandaushi subtropical forest in Taiwan[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 172(2/3):315-325.
- [23] 舒洋,周梅,赵鹏武,等.兴安落叶松人工林土壤碳密度分布特征研究[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2017,45(6):44-52.
- [24] 范跃新,杨玉盛,杨智杰,等.中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态[J].*生态学报*, 2013,33(18):5751-5759.
- [25] 张晓勉,高智慧,高洪娣,等.基岩质海岸防护林主要林分类型土壤抗冲性研究[J].*浙江林业科技*, 2012,32(5):1-4.
- [26] 苟小林,吴福忠,杨万勤,等.季节性冻融格局变化对高山森林土壤 DOC 淋洗的影响[J].*水土保持学报*, 2013,27(6):205-210.
- [27] Tipping E, Marker A F H, Butterwick C, et al. Organic carbon in the Humber rivers [J]. *Science of the Total Environment*, 1997,194:345-355.
- [28] 赵鹏武.大兴安岭兴安落叶松林凋落物动态与养分释放规律研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [29] Zhang C, Jamieson R C, Meng F R, et al. Projecting in-stream dissolved organic carbon and total mercury concentrations in small watersheds following forest growth and clearcutting[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2016,227(9),DOI:10.1007/s11270-016-3017-6.
- [30] Michalzik B, Matzner E. Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem [J]. *European Journal of Soil Science*, 2010,50(4):579-590.
- [31] Kalbitz K, Solinger S, Park J H. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review [J]. *Soil Science*, 2000,165(4):277-304.
- [32] 郭剑芬,杨玉盛,林鹏,等.木荷与杉木人工林枯枝落叶层溶解有机碳浓度及季节动态[J].*厦门大学学报:自然科学版*, 2006,45(2):289-292.
- [33] 刘帅,陈玥希,孙辉,等.西南亚高山—高山海拔梯度上森林土壤水溶性有机碳时间动态[J].*西北林学院学报*, 2015,30(1):33-38.
- [34] 张金波,宋长春,杨文燕.小叶章湿地表土水溶性有机碳季节动态变化及影响因素分析[J].*环境科学学报*, 2005,25(10):1397-1402.
- [35] Nambu K, Yonebayashi K. Role of dissolved organic matter in translocation of nutrient cations from organic layer materials in coniferous and broad leaf forests [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1999,45(2):307-319.

(上接第45页)

- [29] Manna M, Swarup A, Wanjari R, et al. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India[J]. *Field Crops Research*, 2005, 93(2):264-280.
- [30] 宁川川,王建武,蔡昆争.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J].*生态环境学报*, 2016,25(1):175-181.
- [31] Cleveland C C, Liptzin D. C : N : P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass[J]. *Biogeochemistry*, 2007,85(3):235-252.
- [32] Chapin III F S, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology* [M]. New York, USA: Springer-Verlag, 2002.
- [33] Sterner R W, Elser J J. *Ecological Stoichiometry: the Biology of Elements from Molecules to the Biosphere* [M]. Princeton, USA: Princeton University Press, 2002.
- [34] Méndez M, Karlsson P S. Nutrient stoichiometry in *Pinus vulgaris*: Nutrient availability, plant size, and reproductive status[J]. *Ecology*, 2005,86(4):982-991.
- [35] 彭佩钦,张文菊,童成立,等.洞庭湖湿地土壤碳、氮、磷及其与土壤物理性状的关系[J].*应用生态学报*, 2005, 16(10):1872-1878.
- [36] Stevenson F J, Michael A C. *Cycles of Soils: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients* [M]. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 1999.
- [37] Jensen H. *Nonsymbiotic Nitrogen Fixation* [M] // Bartholomew W V, Clark F E. *Soil Nitrogen*. Madison: American Society of Agronomy. Wisconsin, USA, 1965.