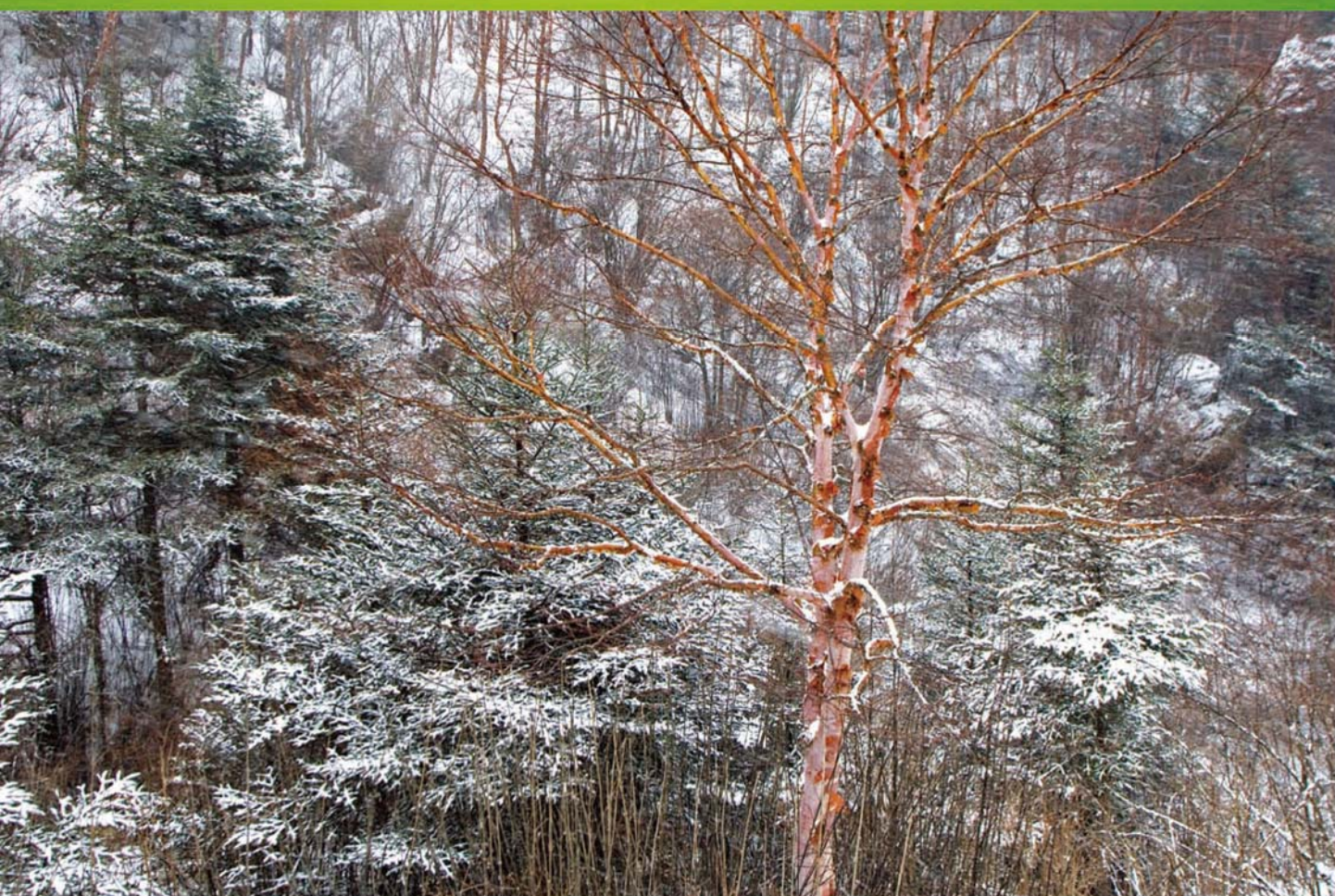


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

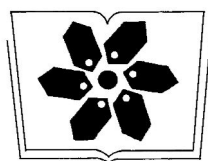
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO_2 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米槠人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王 伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘 佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配 …………… 杨玉姣,陈云明,曹 扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估 …………… 吴燕明,吕高明,周 航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价 …………… 朱连滨,孔祥荣,吴 宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李 锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306101638

康根丽, 杨玉盛, 司友涛, 尹云锋, 刘翥, 陈光水, 杨智杰. 米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征. 生态学报, 2014, 34(8): 1946-1955.

Kang G L, Yang Y S, Si Y T, Yin Y F, Liu Z, Chen G S, Yang Z J. Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia lanceolata* plantation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 1946-1955.

米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征

康根丽^{1,2}, 杨玉盛^{2,3}, 司友涛^{2,3,*}, 尹云锋^{2,3}, 刘翥^{1,2}, 陈光水^{2,3}, 杨智杰^{2,3}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007;

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

摘要:选取中亚热带米楮人促更新林(CCF)和杉木人工林(CLP)内的鲜叶、未分解层(L层)和半分解层(F层)凋落物为研究对象进行室内淋溶,对其淋溶液中的溶解性有机碳(DOC)、溶解性有机氮(DON)和溶解性有机磷(DOP)含量,紫外吸收值(SUVA),腐殖化指标(HIX)和红外光谱(FTIR)等进行了比较分析,以揭示其淋溶液中溶解性有机物(DOM)的数量和光谱学特征。结果表明:随着淋溶时间的增加,不同样品的DOM含量呈现先上升后下降,或者有波动的上升的趋势,这是因为DOM的释放和反吸附共同控制着DOM的含量。两林分中,F层凋落物DOM的SUVA值显著高于鲜叶和L层凋落物($P<0.05$);从鲜叶到L层到F层凋落物,其HIX逐渐变大并且三者荧光强度最大值对应的波长由短波向长波移动,这是腐殖化程度越来越高、电子共轭体系逐渐增大的体现。两个林分6种样品的红外光谱显示了5个相似的吸收谱带,但不同样品各吸收带的相对比例不同,强度最大的吸收来自于H键键合的—OH的伸缩振动;同一林分内3种样品之间红外吸收的差异证明了鲜叶到L层再到F层凋落物,其DOM的芳香类物质含量逐渐升高,化学键力常数变小。总体上,与杉木人工林相比,米楮人促更新林的DOM养分含量更高,结构更复杂,因而更有利于有机质的积累。

关键词:米楮;杉木;鲜叶;凋落物;溶解性有机物;光谱学特征

Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia lanceolata* plantation

KANG Genli^{1,2}, YANG Yusheng^{2,3}, SI Youtao^{2,3,*}, YIN Yunfeng^{2,3}, LIU Zhu^{1,2}, CHEN Guangshui^{2,3}, YANG Zhijie^{2,3}

1 School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geography Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: DOM (Dissolved Organic Matter) is the most reactive pool of organic matter in ecosystems. Among others, it is the energy source of most microbial metabolism. It also plays a key role in the biogeochemistry of C/N/P due to its high mobility. In forest ecosystems, the amount of DOM that is respired, accumulated in soils or leached from the ecosystems are highly dependent on its chemical nature, which may differ between types and species of litter. *Castanopsis carlesii* forest (CCF) and *Cunninghamia lanceolata* plantation (CLP) are of dominant forest type and distributed widely in Fujian province, mid-subtropical China. While previous work focused on the biomass and carbon storage of the two kinds of stands,

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(31100467);国家自然科学基金项目(31070548);福建省自然科学基金项目(2011J05105);福建师范大学优秀青年骨干教师培养基金项目(fjsdky2012008)

收稿日期:2013-06-10; 修订日期:2013-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yt.si@fjnu.edu.cn

information on DOM from fresh leaves and litterfall from the two kinds of stands is rare. In this study, laboratory leaching experiments were carried out for leachates from fresh leaves and litterfall in L and F layers, which are from a 36-year-old *Castanopsis carlesii* forest (CCF) by artificially promoted regeneration and a 37-year-old *Cunninghamia lanceolata* plantation (CLP) in Sanming, Fujian province. We examined the quantities and spectral characteristics of DOM in terms of Dissolved Organic Carbon (DOC), Dissolved Organic Nitrogen (DON) and Dissolved Organic Phosphorus (DOP) content, Special Ultraviolet-Visible Absorption (SUVA), Humification Index (HIX) and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The results showed that during leaching, the DOC, DON and DOP content in different samples either reached their maximum first followed by a decrease, or showed an increasing valley and peak cycle; this is because that the release and desorption of DOM both controlled the content of DOM. The amount of total DOC from CCF is comparable to that from CLP, but the amounts of DON and DOP are much higher than those from CLP. In the two stands, SUVA value of the DOM from F layer were significantly higher than those of fresh leaf and L layer ($P < 0.05$), suggesting that F layer litter contains more aromatic substances. In the order of fresh leaf, litter in L layer and F layer, the HIX increased gradually and the maximum fluorescence intensity shifted from shorter to longer wavelengths, which can be explained by a higher humification degree and the presence of larger conjugated systems; also, DOM from CCF has higher HIX than that from CLP. Each of the six kinds of samples showed five IR absorption bands in common, i.e., $3758\text{--}3058\text{ cm}^{-1}$, $1630\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$, $1420\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$, $1080\text{--}1020\text{ cm}^{-1}$, $690\text{--}610\text{ cm}^{-1}$, whose relative intensities differed between samples, with the strongest absorption in all cases arising from stretching vibration of H-bonding hydroxyl groups. DOM from CCF is more carboxylic acid abundant than DOM from CLP. The infrared absorption differences between three kinds of samples in the same stand supported that the aromatic substance content gradually increased and conjugated systems grew larger from the fresh leaves to L layer litter to F layer litter. Overall, DOM from CCF is nutrient richer and bears more complex structures, thus favoring organic matter accumulation, when compared with DOM from CLP.

Key Words: *Castanopsis carlesii*; *Cunninghamia lanceolata*; fresh leaf; litterfall; DOM; spectral characteristics

溶解性有机物 (DOM) 指可通过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜, 能溶解于水、酸或碱溶液, 具有不同结构及分子量大小的有机物的混合体; 主要包括溶解性有机碳 (DOC)、溶解性有机氮 (DON) 和溶解性有机磷 (DOP) 等^[1-3]。DOM 是自然生态系统中最为活跃的组分, 对土壤中养分循环、污染物的迁移与转化和微生物活性等都有重要影响^[2, 4-5]。

植物叶片和凋落物是森林生态系统 DOM 的主要来源之一^[6]。叶片是光合作用的同化器官, 生理活性强, 营养元素含量高, 通过降雨从其表面淋溶出来的 DOM 对森林养分循环具有重要的贡献^[3]; 凋落物层是由覆盖地表的未分解、半分解及已分解的有机物组成的, 是森林生态系统重要的碳库和养分库, 能为生态系统的循环提供物质和能量, 对维持土壤肥力和提高森林生产力具有重要的作用^[7], 而在凋落物分解期间, 有相当一部分质量损失是以 DOM 淋失的方式发生的^[8]。短时间内 (1—2 h 内) 降雨量越大被淋溶的 DOM 总量就越多^[9], 但长时间内 (连

续 24 h 内) 降雨量和 DOM 淋失量的关系还不明了^[9]; 另一方面, 植物新鲜叶片脱落变成凋落物后逐步分解、腐殖化的过程中, 其内部有机组分的变化会使得其水溶性组分的数量和结构有差异。因此通过室内淋溶试验探讨鲜叶、凋落物在不同浸提时间下释放 DOM 的基本规律, 并比较鲜叶和凋落物的 DOM 在数量和结构方面的差异就很有意义。

目前, 对 DOM 的研究集中于 DOM 的数量, 且往往只注重单一组分比如 DOC 的含量, 综合考虑 DOM 组分中的 DOC、DON 和 DOP 含量及其结构特征的报道还较少^[2]。紫外可见光谱分析是对 DOM 进行半定量的检测, 其方法简单且对样品无消耗和破坏, 在 DOM 的研究中得到比较广泛的应用^[10]; 荧光光谱分析在最近被引入到森林生态系统的 DOM 的结构表征中来, 它是一种高效且信息丰富的分析手段^[4]; 红外光谱法具有不破坏检材, 操作简便快速, 结果准确可靠等特点, 能够反映 DOM 中含有的化合物的官能团组成及其比例的信息^[11]; 以上光谱手段和传统的

分析手段结合,能得到更加全面的 DOM 的信息,并了解其在生态系统中的功能具有重要意义。

米楮林和杉木林是福建省分布较广、极具中亚热带代表性的森林类型。因此本研究以福建省三明市陈大镇的米楮人促更新林(CCF)和杉木人工林(CLP)为试验样地,这两片林地毗邻、本底条件(母岩、土层厚度、土壤层次)相似,从而为检验淋溶时间和林分差异对 DOM 的数量和结构性质的影响提供良好的试验地条件。前期工作对两林分的生物量和凋落物碳储量研究较多^[12-13],而关于不同降雨量下阔叶林和针叶林 DOM 的淋失数量和光谱学特征还不清楚。针叶树鲜叶的比表面积较阔叶树大,但阔叶树的凋落物分解过程中养分释放较快^[14],由此假设浸提初期针叶树会释放更多的 DOC,而阔叶树 DOM 中养分含量会更多。所以选取两林分内鲜叶和不同分解层凋落物为对象,在室内进行不同浸提时间的淋溶实验,利用包括紫外-可见光谱和荧光光谱在内的多种分析手段研究其淋溶产生的 DOM 数量和化学性质的变化,从而评价不同来源 DOM 的相对贡献,为深入揭示降雨淋溶对 DOM 在亚热带森林养分循环中的作用提供基础数据;也有助于揭示该地林分的自肥机理,为林分经营管理提供重要依据。

1 试验地概况

研究地位于福建省三明市陈大镇森林经营科技示范基地(26°19'N, 117°36'E),东南面和西北面分别与戴云山脉和武夷山脉相连;属中亚热带季风气候,年均气温 19.1 °C,年均降水量 1749 mm,年均蒸发量 1585 mm,相对湿度 81%。区域土壤为粗晶花岗岩发育的红壤,厚度超过 1 m。

米楮(*Castanopsis carlesii*)人促更新林形成时间 36 a,海拔 335 m,坡度 38°,林分密度为 2158 株/hm²,平均胸径 16.8 cm,平均树高 13.7 m,细根生物量 0.7 kg/m³;土壤表层(0—20 cm)的理化性质为:有机碳储量 50.14 t/hm²,土壤容重 1.21 g/cm³,全氮 0.98 g/kg,全磷 0.34 g/kg,土壤 pH 值 4.3。米楮天然林经过强度择伐后天然更新,并在更新过程中人为去除其它林分形成的米楮人促天然更新次生林。主要林分有米楮、木荷(*Schima superba*)、东南野桐(*Mallopus lianus*)、灰木(*Symplocos paniculata*)等。灌木层以鼠刺(*Itea chinensis*)、毛叶冬青(*Ilex*

pubilimba)、石栎(*Lithocarpus glabra*)等为主。草本层不发达,有鳞子莎(*Lepidosperma labill*)、狗脊蕨、扇叶铁线蕨等。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林形成时间 37 a,海拔 301 m,坡度 30°,林分密度为 2858 株/hm²,平均胸径 15.6 cm,平均树高 18.2 m,细根生物量 0.77 kg/m³;林分内土壤表层(0—20 cm)理化性质为:土壤有机碳储量 51.76 t/hm²,土壤容重 1.41 g/cm³,全氮 0.6 g/kg,全磷 0.52 g/kg,土壤 pH 值 4.75。杉木人工林为 1976 年人促林皆伐后,营造人工纯林形成。杉木人工林为西北坡向,林冠单层,林下植被主要以狗骨柴(*Tricalysia dubia*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)为主。

2 研究方法

2.1 样品采集

于 2012 年 11 月进行取样,此时为秋季,凋落量大,枯枝落叶层丰富^[15];且该月份降雨量为 281 mm,达该年降雨量第 2 高(6 月份最高,为 292 mm),此时温度也适中,更有利于探讨降雨淋溶对鲜叶和凋落物不同组分之间的差异。在米楮人促更新林和杉木人工林实验样地内,在上、中、下坡设 3 条平行于等高线的样线,每条样线上随机设 10 个 25 cm×25 cm 小样方,在凋落物层(0—5 cm)按未分解层(L 层)和半分解层(F 层)采集凋落物样品(L 层和 F 层混合,没有明显界限);同时用高枝剪从东、西、南、北 4 个方向采摘与收集样方临近的米楮和杉木树冠中上部的鲜叶,带回室内。将每个林分的 30 个小样方的各分解层凋落物样品和鲜叶分别混匀,风干,去除矿质土。各样品分别取小样测定含水量,其余样品用于淋溶实验。

2.2 DOM 的提取

样品 DOM 的提取采用水浸提法^[11, 16]。分别准确称取 15 g 干重样品,置于 8 个 250 mL 烧杯中,植物水比为 1:10,即加入 150 mL 超纯水混合。为了了解不同淋溶时间的差异性,8 个烧杯内样品的浸提时间分别为 3, 6, 9 h, ..., 24 h。烧杯内的上清液过 0.45 μm 滤膜(压力为 -0.09 MPa),滤液中的有机物即为 DOM。将待测滤液置于生化培养箱中保存(4 °C,且保存时间不超过 1 d)用以分析。每种样品 3 次重复。

2.3 DOC, DON 和 DOP 含量的测定

采用岛津 TOC-VcPh 有机碳分析仪测定样品 DOC 含量;采用连续流动分析仪(Skalar San++)测定 DON 和 DOP 含量, DON 是溶解性总氮和总无机氮的差减法, DOP 是溶解性总磷和磷酸盐的差减法求得^[17-18];由于采用连续流动分析仪在测定过程中有消解功能,所以样品测定前无需做消解等其他处理。

2.4 光谱分析

紫外可见吸光值用 UV-2450(岛津)紫外可见光谱仪测定,通过检验待测液 254 nm 处吸收值(Special Ultraviolet-Visible Absorption, SUVA)来分析其芳香化程度^[19]。SUVA 也叫芳香性指标(Aromaticity Index, AI)^[20],计算方法为:(UV_{254}/DOC) $\cdot 100$ ^[21-22]。

荧光光谱用日立 F4600 仪器测定(激发和发射光栅的狭缝宽度都为 10 nm,扫描速度为 1200 nm/min,激发波长 254 nm,发射波长范围为 300—480 nm),主要确定腐殖化指标(HIX)、相对荧光强度(RFI)、荧光强度最大值(F_{max})等。荧光发射光谱中($\Sigma 435—480$ nm)区域与($\Sigma 300—345$ nm)区域的峰面积比值认为是腐殖化指标^[1, 4];用 DOC 含量将其荧光强度标准化后得到相对荧光强度值^[4, 23]。为了提高灵敏度,去除碳酸盐,荧光光谱测定前所有待测溶液的 pH 值用 2 mol/L 盐酸调成 2^[20];由于荧光物质在高浓度时会发生荧光猝灭,高浓度样品的荧光图谱荧光峰数量少而且荧光强度低,所以在光谱分析前,样品 DOC 浓度应调为 10 mg/L^[24]。

用 FTIR 光谱仪(Nicolet Magna FTIR 550)分析红外光谱,将 1 mg 冷冻干燥的样品与 400 mg 干燥的 KBr(光谱纯)磨细混匀,在 10 t/cm² 压强下压成薄片并维持 1 min,测定并记录其光谱;波谱扫描范围为 4000—400 cm⁻¹。

2.5 数据处理与分析

利用 SPSS 17.0 进行数据分析;采用方差分析和 LSD 比较不同林分,不同组分或不同淋溶时间间 DOM 数量和性质的差异性($P < 0.05$)。相关图表制作在 Excel 中完成。

3 结果与分析

3.1 不同淋溶时间后 DOM 的含量变化

如图 1 所示,米楮人促更新林的 L 层凋落物释

放的 DOC 含量在 24 h 内表现出先上升后下降的趋势,而米楮人促更新林鲜叶和 F 层凋落物均表现出不断(波动式)上升的趋势;不同淋溶时间之间的平均 DOC 含量为 L 层(1539.2 mg/kg) > F 层(1508.9 mg/kg) > 鲜叶(1343.4 mg/kg)。杉木人工林的鲜叶、L 层和 F 层凋落物的 DOC 含量则是先上升后明显下降最后又轻微上升,它们的平均值为:鲜叶(2060.3 mg/kg) > L 层(1682.4 mg/kg) > F 层(1260.9 mg/kg)。在米楮人促更新林中, L 层凋落物的反吸附现象最明显;而杉木人工林中,鲜叶的反吸附最明显,但反吸附之后又跟随着 DOC 的释放。24 h 后米楮人促更新林 3 种样品淋溶出的总的 DOC 量(6414.7 mg/kg)略高于杉木人工林(6219.5 mg/kg)。

两林分中,鲜叶淋溶的 DON 含量明显低于凋落物层,表明 N 元素在鲜叶中不易被释放(图 1)。米楮人促更新林凋落物的平均 DON 含量为 L 层 > F 层,但到 24 h 后, L 层的含量却低于 F 层凋落物,这主要是 F 层的反吸附造成的。杉木人工林凋落物的平均 DON 含量为 L 层 < F 层。

样品的 DOP 含量明显低于 DOC 和 DON,米楮人促更新林和杉木人工林分别在 0.2—10.5 mg/kg 和 0.1—1.1 mg/kg 间变动(图 1)。两林分中都是 L 层凋落物淋溶出的 DOP 的量最多。米楮人促更新林鲜叶的 DOP 的淋溶量最小,而在杉木人工林 F 层凋落物最小。

3.2 淋溶 DOM 的 SUVA 值

两林分 SUVA 值均表现为:F 层 > L 层 > 鲜叶,两林分内的鲜叶和 L 层凋落物的 SUVA 较接近(图 2),表明 F 层的芳香性化合物含量显著高于 L 层和鲜叶。米楮人促更新林 F 层和 L 层凋落物的 SUVA 在淋溶 21 h 后达到最大值,随后下降;米楮人促更新林鲜叶和杉木人工林 F 层凋落物随着淋溶时间增加有轻微的上升;杉木人工林鲜叶和 L 层凋落物在淋溶过程中亦呈现先上升后下降的趋势(图 2)。同一种样品不同淋溶时间之间差异性不显著($P > 0.05$)。

3.3 淋溶 DOM 的荧光光谱分析

源于荧光发射光谱的腐殖化指标(HIX)用于确定 DOM 的腐殖化程度,它不仅能描述芳香化合物的含量,还可以反应 DOM 的分子结构,如 $\pi-\pi$ 共轭体系的大小^[1, 23]。同一林分内 DOM 的 HIX 大小表现为:F 层 > L 层 > 鲜叶(图 3),说明由鲜叶到 L 层再到

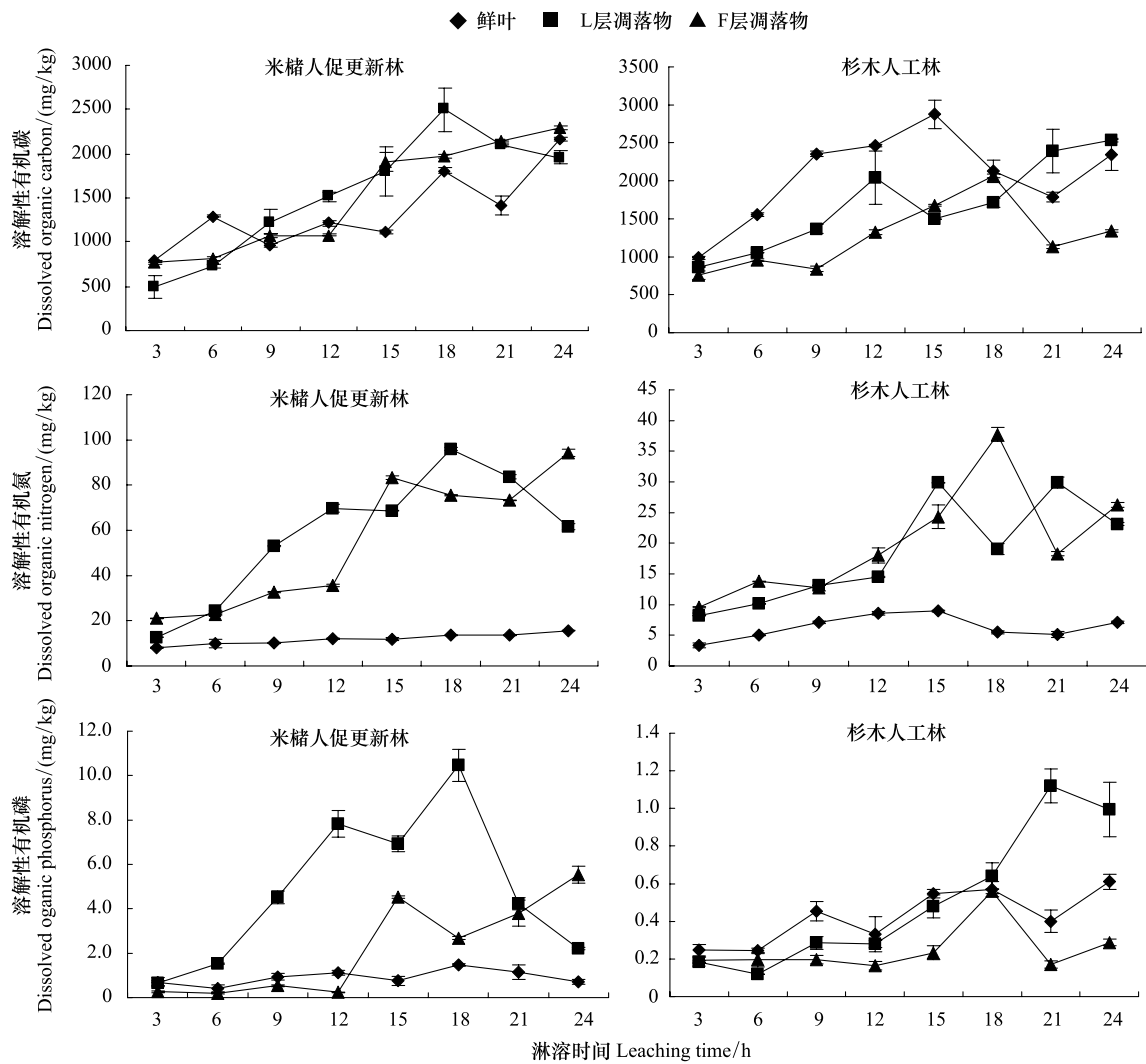


图1 淋溶过程中 DOC, DON 和 DOP 含量的变化

Fig.1 The DOC, DON and DOP content of DOM during leaching

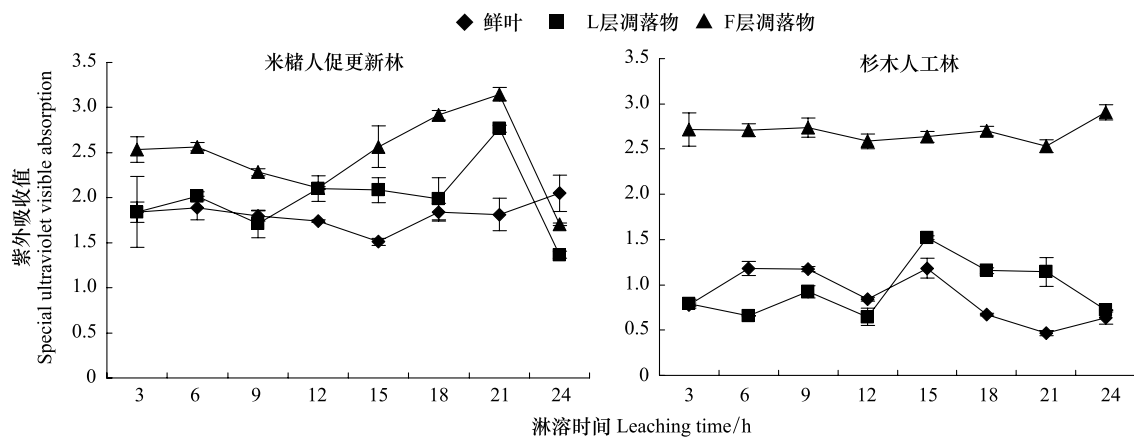


图2 淋溶过程中溶解性有机物的紫外吸收值

Fig.2 SUVA of DOM during leaching

F层凋落物,其腐殖化程度不断升高。随着淋溶时间增加,F层凋落物的 HIX 呈现轻微的波动上升,鲜

叶和 L层变化不大。米槠人促更新林各分解层的 HIX 高于杉木人工林,表明其 DOM 内含有较多腐殖

化物质。

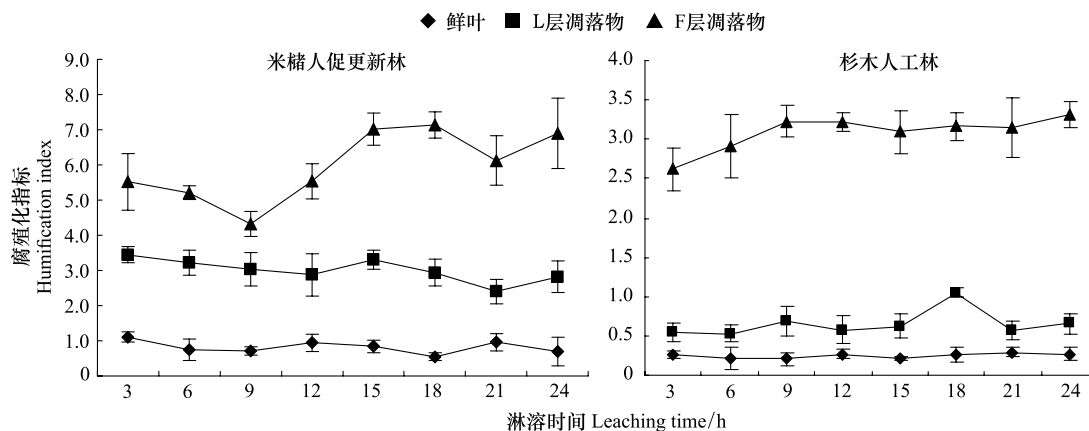


图3 淋溶过程中溶解性有机物腐殖化指标

Fig.3 HIX of DOM during leaching

同一种样品不同淋溶时间得到的 DOM 呈现一个相似的峰形,图 4 为淋溶 24 h 后的相对荧光光谱图,两林分的 RFI 均表现为 F 层大于鲜叶和 L 层,米楮人促更新林 F 层凋落物的 RFI 大于杉木,但鲜叶和 L 层凋落物略小于杉木人工林。同一种样品不同淋溶时间的 DOM 荧光强度最大值 ($F_{\max}$) 变化不大;

但同一林分内按照鲜叶到 L 层到 F 层凋落物的顺序,其荧光强度最大值对应的波长由短波向长波移动(图 4);表明由鲜叶到 L 层到 F 层凋落物,其电子共轭体系的增大,亦即含有更多的高分子量化合物和更复杂的结构^[23]。

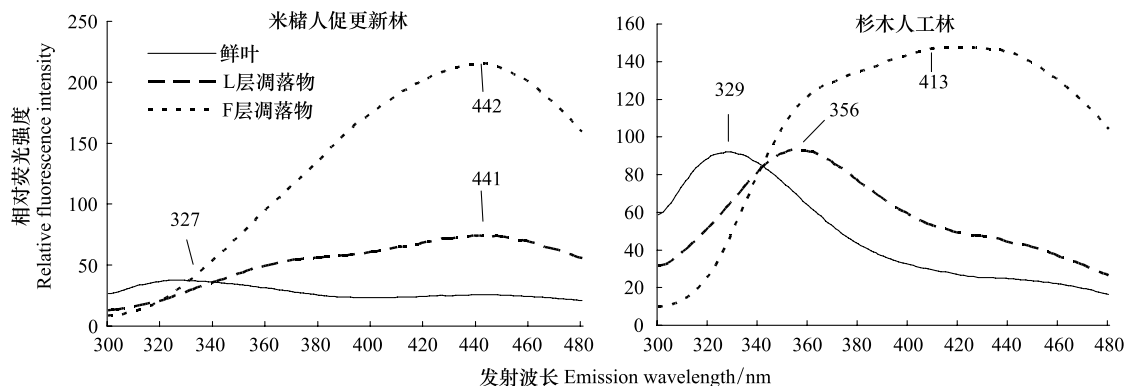


图4 淋溶 24 h 后溶解性有机物的荧光发射光谱图

Fig.4 Fluorescence emission spectra of DOM after leaching for 24 h

3.4 淋溶 DOM 的傅里叶变换红外光谱分析

红外光谱分析应用于 DOM 的结构和官能团检测,可以提供大量准确信息。除米楮鲜叶的前 2 次淋溶液的红外吸收和后 6 次淋溶液的红外吸收有明显差异外,其余样品不同淋溶时间得到的 DOM 的红外吸收都较相似,为了简洁和便于比较,图 5 仅画出了两林分 6 种样品淋溶 24 h 后的红外光谱图。所有的谱图都在 3758—3058 cm^{-1} 有一个强而宽的吸收峰,这是 H 键键合的—OH 的伸缩振动的特征吸收,这个宽峰同时也掩盖了芳香环上 C—H 的伸缩振

动;1630—1600 cm^{-1} (苯环的 C=C 的振动)和 690—600 cm^{-1} (苯环面外弯曲振动)可以证明芳香类物质的存在;1420—1400 cm^{-1} 归属于羧酸 O—H 弯曲振动;1080—1020 cm^{-1} 是 C—O 不对称伸缩振动,表明烷氧类物质或者羧酸的存在^[11, 16, 23, 25]。

对于米楮人促更新林,由鲜叶到 L 层再到 F 层凋落物,其在 690—600 cm^{-1} 的吸收的相对比例逐渐增大,说明苯环类物质含量增加且结构也越来越复杂;另外,在 3758—3058 cm^{-1} 强吸收峰上伴有一个弱吸收(2923 cm^{-1} 附近),这是饱和脂肪族 C—H 键

的伸缩振动。杉木人工林 F 层的 $1080\text{--}1020\text{ cm}^{-1}$ 和 $690\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ 两个吸收带比 L 层凋落物略向低频方向移动,这是共轭体系增大的表现;F 层的 $1630\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ 和 $1420\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ 两个吸收带所

占的比例比 L 层凋落物高,表明芳香类、羧酸类物质的增加。总体上,杉木人工林 DOM 在 $1420\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ 的吸收比例小于米槠人促更新林的 DOM,即羧酸类物质更少。

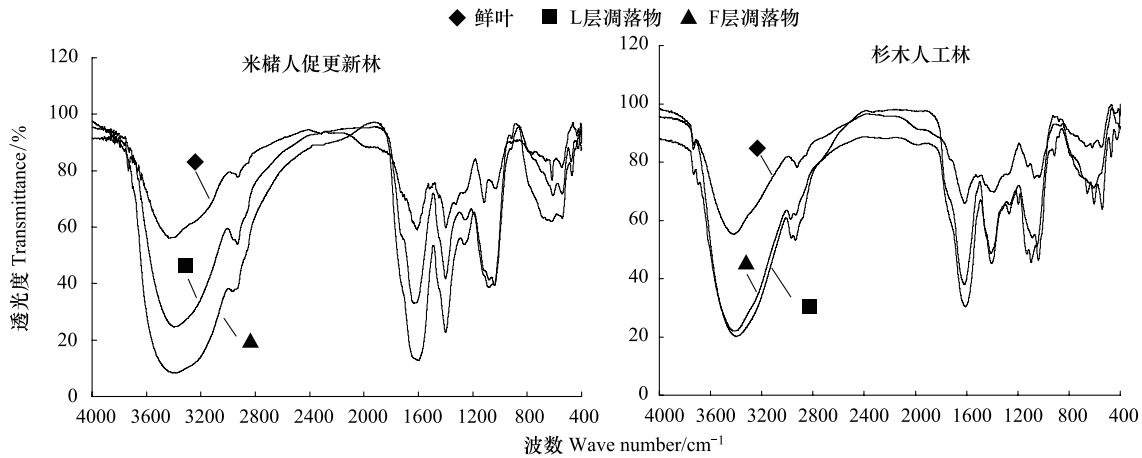


图5 淋溶 24 h 后 DOM 的红外光谱图

Fig.5 FTIR spectra of DOM after leaching for 24 h

4 讨论

4.1 淋溶过程中 DOM 含量的变化和比较

米槠鲜叶和 L 层凋落物的 DOC 含量分别低于杉木鲜叶和 L 层凋落物,但 F 层凋落物的 DOC 含量为米槠人促更新林较高;米槠人促更新林中的样品的 DON 和 DOP 含量都大于杉木人工林的同种样品。这与两树种的叶片质量及结构差异有关;说明米槠人促更新林样品释放的 DOM 的 C/N、C/P 比例更低,更有利于养分的积累。样品在不同淋溶时间下得到的 DOM 含量的平均值可以大致反映这种样品释放 DOM 的能力;除杉木人工林 L 层 DON 含量略低于 F 层外,两林分的 DOC、DON 和 DOP 平均含量总体表现为 L 层>F 层(图 1),这和杨玉盛等^[7]对格氏栲和杉木两林分不同分解层凋落物进行研究的结论相似;郭剑芬等^[15]对木荷与杉木人工林枯枝落叶层有机碳含量的研究也指出:两种林分不同分解层次 DOC 含量顺序皆为:未分解层大于半分解层。在温带地区的研究结果也呈现相同的规律,例如 Kiikkilä 等^[26]对德国白桦和云杉林分不同分解层研究发现,两林分 DOC 含量均为 L 层>F 层。这是由于 L 层凋落物还未被分解养分较富集,而 F 层凋落物随着分解程度的增加养分被分解而本身被淋溶出来的量下降。鲜叶和凋落物层的 DOM 含量相比较,

除杉木人工林 DOC 和 DOP 含量表现为鲜叶较大外,其余情况均表现为 L 层和 F 层凋落物大于鲜叶(图 1),Kiikkilä 等^[27]研究也显示腐殖质层凋落物 DON 含量大于植物鲜叶;所以鲜叶虽然含有的养分较多,但是能淋溶出来的较少。同时,本文研究的杉木人工林鲜叶 DOM 含量和德国云杉林较相近^[27],其余则略有差别,表明亚热带地区和温带地区由于林分本身特性、气候和立地条件等综合因素使得阔叶树和针叶树的不同分解层 DOM 含量各异。

从不同淋溶时间上看,不同样品的 DOM 含量随着淋溶时间的增加,呈现先上升后下降,或者有波动的上升趋势。这与李忠佩等^[28]对土壤不同浸提时间的研究结果相似。DOM 含量不升反降,说明淋溶过程中溶解性组分一定被反吸附了;因为在本文的研究时间(24 h)内,DOM 的矿化或挥发可忽略不计。因此,DOM 的释放、反吸附共同控制着 DOM 的含量。

L 层和 F 层凋落物在不同淋溶时间后 DOM 含量呈显著差异性($P<0.05$);两林分的鲜叶除 DOC 含量在不同淋溶时间后差异性极显著外($P<0.01$),DON 和 DOP 含量差异性不明显($P>0.05$)。说明延长淋溶时间对不同样品的不同溶解性组分的影响程度不同。

4.2 淋溶 DOM 的光谱学特征

紫外可见光谱数据(图 2)显示,两林分中均是 F

层凋落物的 SUVA 最高,表明其含有的芳香类物质最多。米楮人促更新林 L 和 F 层凋落物在淋溶 21 h 后达到最大值随后下降,杉木人工林的鲜叶和 L 层凋落物在 15 h 后达到最大值随后下降,表明在这两个临界点之后芳香类物质的相对比例下降了。然而 SUVA 最大值和 DOC 含量最大值并不一定同时出现,比如米楮人促更新林 F 层凋落物在 21 h 后的 DOC 含量仍继续升高,但是此时的 SUVA 已开始下降;芳香类物质相对更加容易被反吸附,以及非芳香类物质的继续释放是出现这一现象的最主要的原因^[10],在土壤中芳香类物质更容易被吸附。

HIX 既能反应芳香类物质的含量,又和分子内部的荧光跃迁的难易相关。比较图 2 和图 3 可知,在表征样品的分解程度方面,HIX 比 SUVA 更加灵敏,区分度更高。米楮人促更新林的各样品的 HIX 值均大于杉木人工林的同类样品(图 3),说明阔叶树较针叶树含更多的高分子量化合物。芳香类物质增多只是植物分解的一个体现,此过程中还伴随着分子内部结构的变化。通过淋溶 DOM 的荧光光谱特征(图 4)发现,两林分的 $F_{\max}$ 值由鲜叶到 L 层到 F 层凋落物逐渐增大,对应的波长由短波向长波转移,表明随着分解程度的增加,DOM 中共轭体系逐渐增大,亦即荧光能级之间的跃迁更加容易^[23]。

米楮鲜叶的前 2 次淋溶液的红外吸收仅有两个弱吸收带,和后面的 6 次淋溶液的红外吸收有明显差异,这说明较短的淋溶时间内米楮鲜叶中的养分不易被淋溶出来,这和上述 DON、DOP 的含量的结论一致。两林分 6 种样品的红外光谱显示了 5 个相似的吸收谱带,这一方面是由于分子内部只有产生偶极矩变化的振动或转动才有红外吸收,另一方面也显示了样品之间 DOM 结构的相似性^[23]。周江敏等^[16]发现土壤 DOM 红外强吸收峰出现在:3500—3300 cm^{-1} 和 1080—1020 cm^{-1} 处,弱吸收峰在 2950—2900 cm^{-1} 和 1630—1600 cm^{-1} 处;表明土壤 DOM 和地上凋落物的 DOM 结构差异还是较大,地上部分的 DOM 输入到土壤中后其结构会发生一系列变化。同一林分内 3 种样品之间的红外吸收的差异亦证明了鲜叶到 L 层凋落物再到 F 层凋落物,其芳香类物质含量逐渐升高,共轭体系变大,这和 SUVA、HIX 的规律吻合。最强的红外吸收来自于 H 键键合的—OH 的伸缩振动的特征吸收,表明酚类、醇类或者

羧酸类物质的比例相对较高,这类物质恰恰最容易在矿质土壤表面发生吸附,也容易聚合成超分子化合物。

5 小结

浸提初期针叶树会释放更多的 DOC,但 24 h 之后却是阔叶树释放的 DOC 略多。整个淋溶过程中阔叶树 DOM 的养分含量更多,结构更复杂;这一方面为微生物提供了更多的养分,另一方面又增加了底物分解的难度。由于叶片和凋落物淋溶后的 DOM 大部分会进入土壤,本文的结论可为今后研究不同来源的 DOM 在土壤中的吸附、解吸附提供参考;同时,这些 DOM 在土壤中的物理化学过程直接影响着土壤呼吸速率和微生物活性,因此采取合适的分析手段分析 DOM 在土壤中的迁移、转化应是未来研究的课题之一。

References:

- [1] Ohno T. Fluorescence inner-filtering correction for determining the humification index of dissolved organic matter. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(4): 742-746.
- [2] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W. A study on dissolved organic carbon and nitrogen nutrients under Chinese fir plantation: Relationships with soil nutrients. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1299-1305.
- [3] Yang Y S, Lin R Y, Li T B, Dong B, Wang X G, Guo J F. Ultraviolet-visible spectroscopic characteristics of dissolved organic matter released from forest litterfall. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12(2): 124-128.
- [4] Zsolnay A, Baigar E, Jimenez M, Steinweg B, Saccomandi F. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere*, 1999, 38(1): 45-50.
- [5] Du C Y, Zeng G M, Zhang G, Su X K, Wang L L, Huang L, Jiang Y M. The eluviations and acid buffering effect of litterfall in Shaoshan conifer and broad-leaved mixed forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 508-516.
- [6] Carter H T, Tipping E, Koprivnjak J F, Miller M P, Cookson B, John H T. Freshwater DOM quantity and quality from a two-component model of UV absorbance. *Water Research*, 2012, 46(14): 4532-4542.
- [7] Yang Y S, Guo J F, Lin P, He Z M, Xie J S, Chen G S. Carbon and nutrient pools of forest floor in native forest and monoculture plantations in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 359-367.

- [8] Yang Y S, Guo J F, Chen G S, Chen Y X, Yu Z Y, Dong B, Liu D X. Origin, property and flux of dissolved organic matter in forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 547-558.
- [9] Yang G R, Lei S M, Huang C B, Zhang X Q, Peng J, Chen G J. Water quality of canopy rain in eucalyptus plantation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(6): 203-206.
- [10] Qian W, Yang Y S, Zeng H D, Wang W, Huang H, Li X B. Characterization of dissolved organic matter biodegradation using 3-D EEM fluorescence and UV spectroscopy in urban river-a case study of baima river. *Subtropical Resources and Environment*, 2007, 2(3): 42-48.
- [11] Huang Z C, Chen T B, Lei M. Environmental effects of dissolved organic matters in terrestrial ecosystems; a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 259-269.
- [12] Li L H. A compared study on arbor carbon storage and its distribution characteristics of *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia lanceolata* plantation. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2012, 7(2): 63-69.
- [13] He Z M, Chen G S, Liu J B, Xie J S, Chen Y X, Yang Y S. Relationships among litter production, decomposition and accumulation in Chinese FIR plantion. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(4): 352-356.
- [14] Yang Y S, Guo J F, Lin P, Chen G S, He Z M, Xie J S. Nutrient dynamics of decomposing leaf litter in natural and monoculture plantation forests of *Castanopsis kawakamii* in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 201-208.
- [15] Guo J F, Yang Y S, Lin P, Lu H L, Chen G S. Concentrations and seasonal dynamics of dissolved organic carbon in forest floors of two plantations in subtropical China. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2006, 45(2): 289-292.
- [16] Zhou J M, Dai J Y, Pan G X. Fractionation and spectroscopic property of dissolved organic matters in soils. *spectroscopy and spectral analysi*, 2004, 24(9): 1060-1065.
- [17] Zhao M X, Zhou J B, Chen Z J, Yang R. Concentration and characteristics of soluble organic nitrogen (SON) and carbon (SOC) in different types of organic manures. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 397-403.
- [18] Song Y F, Ren L P, Xu H X. Experiment on the law of upland nutrient leaching by fertilizing at different doses. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(6): 20-24.
- [19] Saadi I, Borisover M, Armon R, Laor Y. Monitoring of effluent DOM biodegradation using fluorescence, UV and DOC measurements. *Chemosphere*, 2006, 63(3): 530-539.
- [20] Akagi J, Zsolnay A, Bastida F. Quantity and spectroscopic properties of soil dissolved organic matter (DOM) as a function of soil sample treatments: Air-drying and pre-incubation. *Chemosphere*, 2007, 69(7): 1040-1046.
- [21] Corvasce M, Zsolnay A, D'Orazio V, Lopez R, Miano T M. Characterization of water extractable organic matter in a deep soil profile. *Chemosphere*, 2006, 62(10): 1583-1590.
- [22] Xie J K, Wang D S, van Leeuwen J W, Zhao Y M, Xing L N, Chow C W K. pH modeling for maximum dissolved organic matter removal by enhanced coagulation. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24(2): 276-283.
- [23] Bu X L, Ding J M, Wang L M, Yu X N, Huang W, Ruan H H. Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountains, southeastern China. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(2): 102-107.
- [24] Bu X L, Wang L M, Ma W B, Yu X N, McDowell W H, Ruan H H. Spectroscopic characterization of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types along an elevation gradient in the Wuyi Mountains. *Geoderma*, 2010, 159(1/2): 139-146.
- [25] Xiao Y C, Dou S. Study on infrared spectra of soil humus fractions. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2007, 35(11): 1596-1690.
- [26] Kiikkilä O, Kitunen V, Smolander A. Dissolved soil organic matter from surface organic horizons under birch and conifers: Degradation in relation to chemical characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(4): 737-746.
- [27] Kiikkilä O, Kitunen V, Smolander A. Properties of dissolved organic matter derived from silver birch and Norway spruce stands: Degradability combined with chemical characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(2): 421-430.
- [28] Li Z P, Zhang T L, Chen B Y. Dynamics of soluble organic carbon and its relation to mineralization of soil organic carbon. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 544-552.

参考文献:

- [2] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜. 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系. *生态学报*, 2005, 25(6): 1299-1305.
- [3] 杨玉盛, 林瑞余, 李庭波, 董彬, 王小国, 郭剑芬. 森林凋落物淋溶中的溶解有机物与紫外-可见光谱特征. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(2): 124-128.
- [5] 杜春艳, 曾光明, 张龚, 苏小康, 王玲玲, 黄璐, 蒋益民. 韶山针阔叶混交林凋落物层的淋溶及缓冲作用. *生态学报*, 2008, 28(2): 508-516.
- [7] 杨玉盛, 郭剑芬, 林鹏, 何宗明, 谢锦升, 陈光水. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库. *生态学报*, 2004, 24(2): 359-367.
- [8] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈光水, 陈银秀, 于占源, 董彬, 刘东霞. 森林生态系统 dom 的来源、特性及流动. *生态学报*, 2003, 23(3): 547-558.
- [9] 杨钙仁, 雷世满, 黄承标, 张秀青, 彭军, 陈桂经. 桉树人工林冠层淋溶水质特征初步研究. *水土保持学报*, 2009, 23(6): 203-206.

- [10] 钱伟, 杨玉盛, 曾宏达, 汪伟, 黄辉, 李熙波. 内河 dom 降解的三维荧光、紫外光谱研究——以白马河为例. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(3): 42-48.
- [11] 黄泽春, 陈同斌, 雷梅. 陆地生态系统中水溶性有机质的环境效应. 生态学报, 2002, 22(2): 259-269.
- [12] 李丽红. 人促天然更新米楮次生林与杉木人工林乔木层碳储量分配特征比较. 亚热带资源与环境学报, 2012, 7(2): 63-69.
- [13] 何宗明, 陈光水, 刘剑斌, 谢锦升, 陈银秀, 杨玉盛. 杉木林凋落物产量、分解率与储量的关系. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 352-356.
- [15] 郭剑芬, 杨玉盛, 林鹏, 卢豪良, 陈光水. 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. 厦门大学学报: 自然科学版, 2006, 45(2): 289-292.
- [16] 周江敏, 代静玉, 潘根兴. 应用光谱分析技术研究土壤水溶性有机质的分组及其结构特征. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(9): 1060-1065.
- [17] 赵满兴, 周建斌, 陈竹君, 杨绒. 有机肥中可溶性有机碳、氮含量及其特性. 生态学报, 2007, 27(1): 397-403.
- [18] 宋玉芳, 任丽萍, 许华夏. 不同施肥条件下旱田养分淋溶规律实验研究. 生态学杂志, 2001, 20(6): 20-24.
- [25] 肖彦春, 窦森. 土壤腐殖质各组分红外光谱研究. 分析化学, 2007, 35(11): 1596-1690.
- [28] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系. 土壤学报, 2004, 41(4): 544-552.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyp, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation: the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaolinling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

- Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)
- Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)
- Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)
- Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaozhui, et al (2137)

Resource and Industrial Ecology

- Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

Urban, Rural and Social Ecology

- Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)
- Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨永兴

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 8 (April, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010) 62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元