

植被类型和管理方式对4种经济林土壤活性碳氮及碳通量的影响

彭艳¹, 刘佳佳¹, 王林均², 杨成¹, 潘贵英³, 孙鑫¹

(1. 贵州民族大学 生态环境工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州民族大学 建筑工程学院, 贵州 贵阳 550025;
3. 贵州民族大学 工程实训中心, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 土壤活性碳氮含量与 CO_2 、 CH_4 通量对研究经济林土壤养分状况和碳氮循环有重要意义。以贵阳黄壤上 4 种经济林——松林(马尾松 *Pinus massoniana* 林)、茶(‘福鼎大白茶’ *Camellia sinensis* ‘Fuding-dabaicha’)园、油桃(*Prunus persica* var. *nectarina*)林和女贞(‘金森女贞’ *Ligustrum japonicum* ‘Howardii’ 阔叶人工混交)林 0~20 cm 的表层土壤为研究对象, 比较了植被类型和管理方式对土壤溶解性碳氮养分、微生物量碳氮和 CO_2 、 CH_4 通量的影响。结果表明: (1) 4 种经济林土壤溶解性有机碳含量在 5.7~77.5 mg·kg⁻¹, 溶解性全氮含量在 2.2~71.9 mg·kg⁻¹, 各经济林间均没有显著性差异, 但植被类型和树龄对其碳氮比有重要影响; (2) 土壤 NH_4^+ -N 含量在 1.4~15.8 mg·kg⁻¹, NO_3^- -N 含量在 0.2~4.2 mg·kg⁻¹, 无机氮含量变化趋势与 pH 值相同, 与树龄相反; (3) 微生物量碳、微生物量氮分别介于 221.1~601.4 mg·kg⁻¹, 41.1~110.2 mg·kg⁻¹ 之间, 其比值受土壤碳氮比和含水量显著影响, 且自然生长的经济林显著高于人工管理的经济林 ($P<0.05$); (4) 研究区表现为 CO_2 的源和 CH_4 的汇, 其通量分别为 -131.6~605.5 mg·m⁻²·h⁻¹, -583.1~0 mg·m⁻²·h⁻¹, 植被类型对 CO_2 通量没有显著性影响, 施硝态氮肥、长期连作等人工管理方式都会导致 CH_4 通量增加。试验结果表明, 调节土壤水分条件和 pH 值, 改进管理方式有助于减少经济林土壤温室气体的释放。

关键词: 植被类型; 土壤溶解性有机碳; 土壤无机氮; 微生物量碳氮; 碳通量

中图分类号: S714 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2019)06-0012-07

Effect of Different Vegetation and Management on Soil Dissolved Organic Carbon and Inorganic Nitrogen and Carbon Flux under Four Vegetation

PENG Yan¹, LIU Jia-jia¹, WANG Lin-jun², YANG Cheng¹, PAN Gui-ying³, SUN Xin¹

(1. College of Eco-Environment Engineering, GuizhouMinzu University, Guiyang 550025, China; 2. College of Architecture & Engineering, GuizhouMinzu University, Guiyang 550025, China; 3. Engineering Training Center, GuizhouMinzu University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In May 2018, soil samples of 0~20 cm was collected under *Camellia sinensis* garden, *Pinus massoniana* ‘Fuding Dabaicha’ stand, *Prunussimoni* stand and *Ligustrum japonica* ‘Howarii’ stand in Guiyang, Guizhou province. Determinations were implemented on dissolved carbon (DC) and nitrogen (DN) content, microbial biomass carbon (SMBC) and nitrogen(SMBN), CO_2 and CH_4 flux. The results showed that soil dissolved organic carbon (DOC) and nitrogen (DON) content in the sampled vegetation ranged 5.7~77.5 mg/kg, 2.2~71.9 mg/kg respectively. There was no

收稿日期: 2019-04-27; 修回日期: 2019-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41563013); 贵州省科技厅科技计划项目(黔科合基础(2018)1074号); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY字(2016)161号)

作者简介: 彭艳, 副教授, 从事环境地球化学工作; E-mail:yan.jane.peng@gmail.com。

significant difference of DOC and DON content among different vegetation, but C/N was significantly affected by vegetation type and tree age. Soil content of NH_4^+ -N ranged from 1.4 to 15.8 mg/kg and content of NO_3^- -N ranged from 0.2 and 4.2 mg/kg. The inorganic nitrogen content had same trend with soil pH, but opposite with tree age. SMBC and SMBN ranged from 221.1 to 601.4 mg/kg, 41.1 to 110.2 mg/kg respectively. SMBC/SMBN was significantly affected by soil C/N and water content. And that in *P. massoniana* and *L. japonica* 'Howarii' forest was significantly higher than that in the left two stands. CO_2 sources and CH_4 sinks in the investigated stands were respectively varied from -131.6 to 605.5 mg/m²/h, 21.6 to 195.1 mg/m²/h. Vegetation types had no significant effect on CO_2 flux, but fertilization of nitrogen and long-term continuous cropping could increase CH_4 flux.

Key words: vegetation type; soil dissolved organic carbon; inorganic nitrogen; microbial biomass carbon and nitrogen; carbon flux

土壤溶解性有机碳 (dissolved organic carbon, DOC) 是土壤活性有机质的组成部分^[1], 容易被土壤微生物分解, 在提供森林土壤养分方面有重要作用。有机质的形成需要一定数量的氮, 氮能部分地调节生态系统碳库的改变^[2], 溶解性有机氮 (dissolved organic nitrogen, DON) 是土壤有机氮的组成部分, 在土壤氮素转化和氮的植物吸收中有重要作用, 现有方法不能直接测出 DON 含量, 通常采用溶解性氮 (dissolved nitrogen, DN) 与无机氮的差值表示。土壤微生物生物量碳 (soil microbial biomass carbon, SMBC) 和微生物生物量氮 (soil microbial biomass nitrogen, SMBN) 与 DOC, DON 一样, 是土壤活性碳氮的重要组成成分, 研究表明土壤碳氮比 (C/N) 是影响土壤微生物活动导致气态碳氮排放和养分有效性变化的关键因素^[3]。

生态系统中温室气体排放的主要途径包括土壤反硝化及土地利用变化等过程^[4], 根据 2014 年 IPCC 第五次气候评估报告, 目前大气中 CO_2 和 CH_4 的气体浓度相对于工业化前水平分别升高了 40% 和 150%, 土地利用变化是 CO_2 浓度增长的主要来源之一。森林生态系统土壤碳氮循环与大气温室气体浓度变化有密切关系。研究显示, 温带森林是 CO_2 重要的源、 CH_4 重要的汇^[5], 宋长青等人^[6]指出, 研究温室气体在土壤和生物圈的发生和消解机制是目前土壤学、地学和全球变化领域面临的重要挑战和前沿方向。但前人的研究主要关注 CO_2 和 CH_4 在自然生长的森林生态系统中的产生和变化, 对受人为活动影响较大的经济林方面的研究不多, 系统地研究经济林土壤活性碳氮-微生物-气体释放关联的文献更少。经济林亦称“特用林”, 以生产木料或其他林产品直接获得经济效益为主要目的, 是森林生态系统的组成部分, 施肥、植被管理等是其非常重要的经营措施, 对森林土壤生态系统的碳氮循环及全球气候变化有重大影响^[7]。

本研究以 4 种经济林为研究对象, 比较不同用途、管理方式和植被类型等对经济林土壤溶解性碳氮养分, SMBC, SMBN 含量和 CO_2 , CH_4 通量的影响, 以期为森林生态系统土壤-大气界面碳氮元素循环研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于贵州省贵阳市花溪区, 106.53°E , 26.43°N , 属亚热带季风性湿润气候, 冬无严寒, 夏无酷热, 无霜期长, 雨量充沛, 湿度较大。年平均气温为 14.9°C , 无霜期平均 246 d, 年降水量 1 178.3 mm, 森林覆盖率达到 41.53%。地貌以山地和丘陵为主, 土壤类型主要为石灰土、黄壤和黄棕壤。

1.2 样品采集

以经济林用途、管理方式、植被类型等为指标, 选取同一母质层上发育的黄壤作为研究对象, 2018 年 5 月在贵阳市花溪区湖潮乡设置 4 种经济林土壤采样点 (表 1), 采样点远离林缘且林地的生境因子基本一致, 每个采样点随机设置 3 个样方, 每个样方 $5\text{ m} \times 10\text{ m}$, 刮去浮土后按 S 形法采集样方内 0~20 cm 的表层土壤, 分别混合成一个土壤样品。土壤装入自封袋保存带回实验室后拣出树根、石块等, 立即过筛, 充分混匀后于 4°C 保存。茶园每年 3 月左右施有机肥 (云南兴农, 有机质 $\geq 45\%$ 、 $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O} \geq 5.0\%$) $750\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 填间堆覆桔秆和茶树修剪枝; 油桃林主要施有机肥和尿素 (贵州赤天化, 总氮 $\geq 46.4\%$), 每年冬季落叶时、次年花期按

1:1 配比施入 750 kg·hm⁻²；松林和女贞林属于粗放式人工管理，林木自然生长，林下主要堆积松针和枯落物。

表 1 采样点概况

Table 1 Information on sampling plots

采样点	土壤含水量 /%	土壤 pH	用途分类	管理方式	郁闭度	植被类型
松林	37.3	4.2	用材林	自然生长	密林(1.0)	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> 针叶纯林，林下植被包括槲树 <i>Quercus dentata</i> , 玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i> 等，树龄约 30 a
茶园	35.1	4.8	用叶林	人工管理	密林(0.9)	‘福鼎大白茶’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Fuding-dabaicha’ 阔叶纯林，树龄约 15 a
油桃林	21.6	6.8	果木林	人工管理	中度郁闭(0.5)	油桃 <i>Prunus persica</i> var. <i>nectarina</i> 阔叶纯林，树高 3~4 m, 冠幅 1.5~2 m, 花期 3~4 月, 树龄约 10 a
女贞林	25.0	7.1	景观林	自然生长	中度郁闭(0.5)	‘金森女贞’ <i>Ligustrum japonicum</i> ‘Howardii’ 阔叶人工混交林，树高 2~3 m, 冠幅 1.5~2 m, 花期 5~7 月, 树龄约 5 a, 1:1 行间间种 2 年生海桐 <i>Pittosporum tobira</i> , 树高 1.0~1.5 m, 冠幅 0.6~1.0 m

1.3 分析方法

用 pH 酸度计 (PXS-450) 测定土壤 pH 值, 水土比为 2.5:1; 环刀法测定土壤含水率。用总有机碳分析仪 (德国, ElementarVario TOC) 测定土壤 DOC, DN 含量^[8]; 用全自动间断化学分析仪 (德国, Clever Chem200) 测定土壤 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 含量。用土壤碳通量测量系统 (意大利, West) 测定土壤 CO₂ 和 CH₄ 通量。采用氯仿熏蒸提取-UV_{280nm} 法^[9] 测定土壤微生物量, 基于 UV 的回归方程用 DOC 和 DN 含量数据将 UV_{280nm} 吸光度换算成 SMBC, SMBN^[10]。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2010 计算处理。采用 SPSS 17.0 数理统计软件 (Chicago, IL, USA) 进行数据统计分析, Pearson 相关分析法完成相关分析。采用 SigmaPlot 12.5 进行绘图。

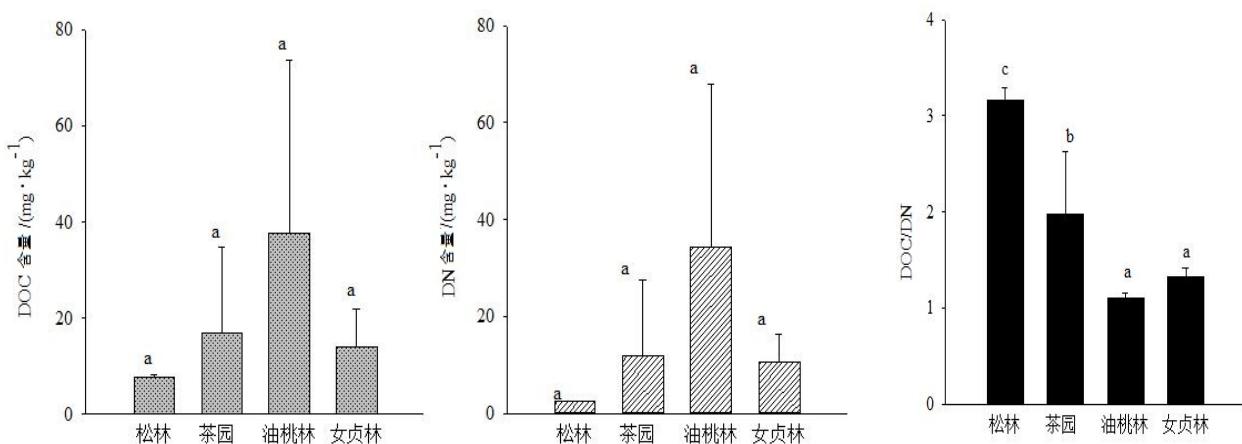
2 结果与分析

2.1 4 种经济林土壤溶解性碳氮养分比较

4 种经济林土壤 pH 在 4.2~7.1。土壤 DOC 含量在 5.7~77.5 mg·kg⁻¹, 表现为油桃林 (37.6 ± 36.1 mg·kg⁻¹) > 茶园 (16.9 ± 18.0 mg·kg⁻¹) > 女贞林 (14.0 ± 7.8 mg·kg⁻¹) > 松林 (7.6 ± 0.5 mg·kg⁻¹) ; 其中, 油桃林、茶园样点的变异系数 (标准差/均值) 分别达 1.0, 1.1, 均出现了极大值 (分别为 77.5 mg·kg⁻¹, 37.62 mg·kg⁻¹)。土壤 DN 含量在 2.2~71.9 mg·kg⁻¹ 之间, 其均值高低趋势与土壤 DOC 含量变化趋势一致, 表现为油桃林 (34.2 ± 33.8 mg·kg⁻¹) > 茶园 (11.8 ± 11.6 mg·kg⁻¹) > 女贞林 (10.7 ± 5.6 mg·kg⁻¹) > 松林 (2.4 ± 0.2 mg·kg⁻¹) ; 其中, 油桃林、茶园样点的变异系数 (标准差/均值) 分别达 1.0, 1.3, 均出现了极大值 (分别为 71.9 mg·kg⁻¹, 29.9 mg·kg⁻¹)。方差分析结果显示, 4 种经济林土壤 DOC 和 DN 含量没有显著性差异, 但 DOC/DN 比值在 1.11~3.16, 松林显著高于其他 3 种经济林 ($P<0.05$), 茶园次之, 女贞林和油桃林最低且二者之间没有显著性差异, 但显著低于松林和茶园 (图 1)。

2.2 4 种经济林土壤无机氮含量比较

4 种经济林土壤 NH₄⁺-N 含量在 1.4~15.8 mg·kg⁻¹, 其均值 (图 2) 表现为女贞林 (12.8 ± 4.8 mg·kg⁻¹) > 油桃 (7.0 ± 2.1 mg·kg⁻¹) > 松林 (2.8 ± 0.1 mg·kg⁻¹) > 茶园 (1.8 ± 0.4 mg·kg⁻¹), 女贞林显著高于其他 3 种经济林 ($P<0.05$), 油桃林与女贞林、茶园间差异显著 ($P<0.05$), 茶园和松林之间、松林和油桃林之间均没有显著性差异; 土壤 NO₃⁻-N 含量在 0.2~4.2 mg·kg⁻¹, 其均值表现为茶园 (4.0 ± 0.2 mg·kg⁻¹) > 女贞林 (0.6 ± 0.1 mg·kg⁻¹) > 松林 (0.4 ± 0.0 mg·kg⁻¹) > 油桃林 (0.2 ± 0.0 mg·kg⁻¹), 茶园显著高于其他 3 种经济林, 女贞林和油桃林间差异显著 ($P<0.05$), 松林与油桃林、女贞林之间没有显著差异; 土壤无机氮含量 (NH₄⁺-N+NO₃⁻-N) 高低趋势与土壤 pH 值相同、与树龄相反, 表现为女贞林>油桃林>茶园>松林, 女贞林显著高于其他 3 种经济林。



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下同。

图 1 4 种经济林土壤 DOC 和 DN 含量比较

Figure 1 Comparison of dissolved organic carbon and nitrogen and their ratio in four economic standsoil

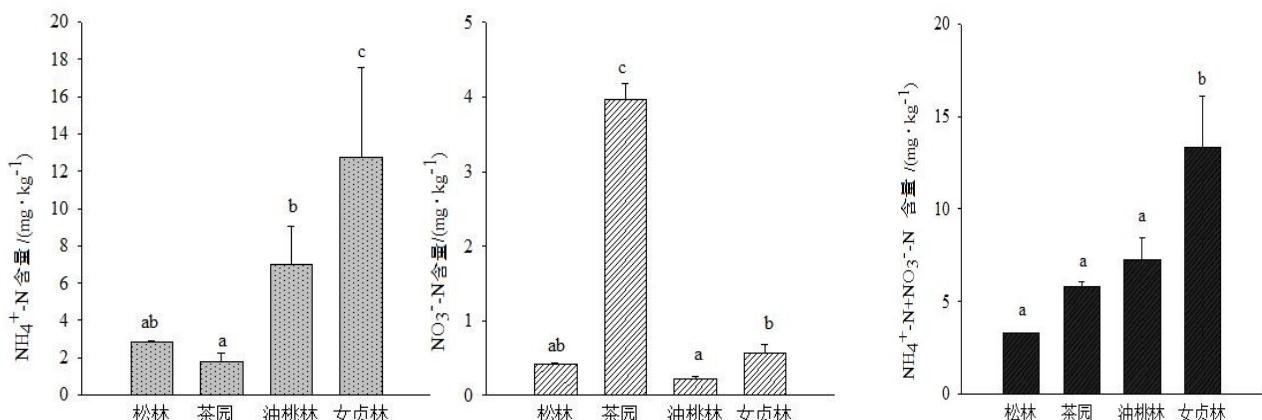


图 2 4 种经济林土壤无机氮含量比较

Figure 2 Comparison of inorganic nitrogen contentin four economic stand soil

2.3 4 种经济林土壤微生物生物量比较

土壤微生物是自然界碳、氮循环的核心生物^[11]。4 种经济林的 SMBC, SMBN 分别介于 $221.1 \sim 601.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $41.1 \sim 110.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 其均值(图 3)分别表现为女贞林 ($599.6 \pm 1.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $109.9 \pm 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>油桃林 ($391.7 \pm 0.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $94.2 \pm 0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>茶园 ($288.9 \pm 2.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $57.9 \pm 0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>松林 ($263.6 \pm 1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $45.8 \pm 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 4 种经济林之间土壤微生物生物量均差异显著 ($P < 0.05$) ; SMBC/SMBN 比值在 4.16 ~ 5.76 之间, 不同经济林之间均差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 4 种经济林土壤 CO_2 , CH_4 通量比较

4 种经济林土壤 CO_2 通量在 $-131.6 \sim 605.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 表现为油桃林 ($310.9 \pm 390.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)>茶园 ($253.3 \pm 135.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)>女贞林 ($241.8 \pm 0.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)>松林 ($234.7 \pm 7.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), 方差分析结果显示样地间差异均不显著; 土壤 CH_4 通量在 $-583.1 \sim 0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 表现为碳吸收, 其吸收能力的均值大小依次为松林 ($-418.7 \pm 145.1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)>油桃林 ($-178.5 \pm 70.1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)>茶园 ($-43.7 \pm 38.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), 女贞林未检测到 CH_4 排放量, 自然生长的松林显著高于 ($P < 0.05$) 其他 2 种人工管理的经济林, 茶园和油桃林之间没有显著差异。

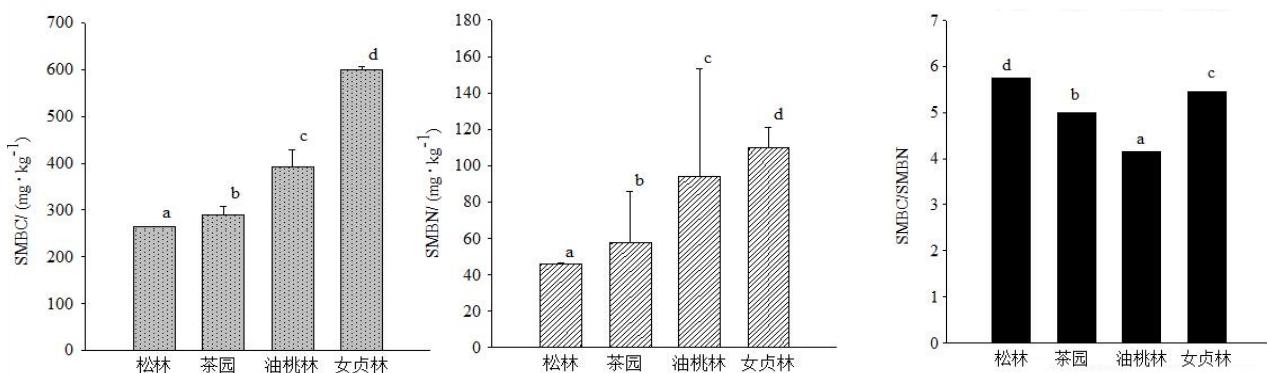
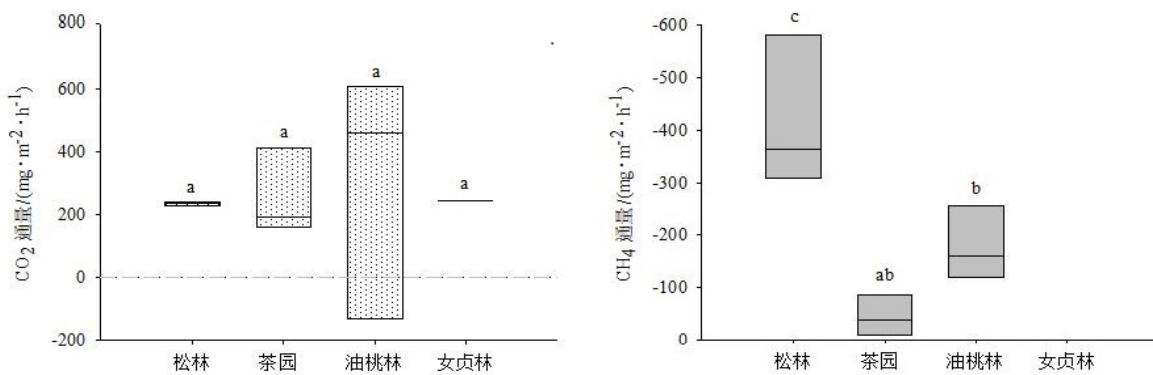


图 3 4 种经济林微生物生物量比较

Figure 3 Comparison of soil microbial biomass in four economic forest soil

图 4 4 种经济林土壤 CO_2 和 CH_4 通量比较Figure 4 Comparison of CO_2 and CH_4 emission in four economic forest soil

2.5 Pearson 相关分析

由表 2 可知, 4 种经济林土壤 pH 值与土壤含水量、 NO_3^- -N 含量均呈极显著负相关 ($P<0.01$) , 与 CH_4 通量呈显著负相关 ($P<0.05$) , 与 SMBN 呈极显著正相关 ($P<0.01$) ; DOC/DN 与 SMBC, SMBC/SMBN 呈极显著正相关 ($P<0.01$) ; SMBN 与 NO_3^- -N 含量、 CH_4 通量呈极显著负相关 ($P<0.01$) ; CO_2 通量与土壤相关指标间没有显著相关性, CH_4 通量与 NO_3^- -N 含量呈极显著正相关 ($P<0.01$) 。

表 2 4 种经济林土壤相关指标间的相关性
Table 2 Correlation of traits among four economic forest soil

	pH	含水量	DOC 含量	DN 含量	DOC/DN	NH_4^+ -N 含量	NO_3^- -N 含量	无机氮 含量	SMBC	SMBN	SMBC/SMBN	CO_2 通量	CH_4 通量
pH	1	-0.94**	0.40	0.45	-0.29	0.10	-0.75**	-0.359	-0.185	0.93**	-0.52	0.07	-0.65*
含水量		1	-0.45	-0.50	0.47	-0.02	0.58	0.39	0.44	-0.84**	0.74**	-0.30	-0.54
DOC 含量			1	0.99**	-0.62*	-0.09	-0.06	-0.14	-0.42	0.26	-0.51	-0.44	0.12
DN 含量				1	-0.61*	-0.10	-0.07	-0.16	-0.45	0.29	-0.55	-0.42	0.10
DOC/DN					1	0.40	-0.23	0.31	0.77**	-0.08	0.78**	-0.20	-0.24
NH_4^+ -N 含量						1	-0.51	0.84**	0.59	0.33	0.45	-0.11	-0.44
NO_3^- -N 含量							1	0.41	-0.47	-0.93**	-0.12	-0.00	0.84**
无机氮								1	0.39	-0.20	0.45	-0.13	0.01
SMBC									1	0.11	0.93**	-0.34	-0.33
SMBN										1	-0.27	0.13	-0.78**
SMBC/SMBN											1	-0.38	-0.03
CO_2 通量												1	-0.22
CH_4 通量													1

注: **表示在 0.01 水平上差异极显著, *表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论与讨论

3.1 植被类型和管理方式对土壤可溶性碳氮养分的影响

土壤溶解性有机质主要来自施有机肥、枯落物、根系分泌物和土壤有机质, 本研究4种经济林土壤DOC含量在 $5.7 \sim 77.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 低于杉木 *Cunninghamia lanceolata* 人工林($113.9 \sim 135.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 低于造林5 a的米槠 *Castanopsis carlesii* 和火力楠 *Michelia macclurei* 阔叶林、马尾松和杉木针叶林($25.2 \sim 102.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[8]。总体上, 4种经济林间土壤DOC, DN含量均表现为阔叶林高于针叶林, 其变化趋势与文献^[8]的研究结果一致, 样点间没有显著性差异, 其可能影响因素为: (1)凋落物的数量和质量。凋落物还田有助于土壤原有有机碳的分解^[8]和土壤有机质的积累。马尾松林下凋落物主要为松针, 与油桃、茶树、女贞等阔叶树种相比其凋落物品质较低, 难以分解^[8]; 茶园因明前茶采摘后修枝、枯枝落叶堆覆垄间等管理活动, 其DOC, DN含量明显高于其他样地。(2)经济林管理方式。人工管理的经济林(油桃林、茶园)土壤溶解性碳氮养分高于自然生长的经济林(女贞林、松林), 且其变异系数较大, 我们认为施肥是其重要的影响因素, 有机肥与尿素配施高于单施有机肥, 施肥高于不施肥, 人工施肥的不均匀导致数据出现高峰值和高变异系数。从不施肥、自然生长的角度来看, 人工混交的管理模式(女贞林)高于完全自然生长的马尾松纯林。(3)经济林用途。本研究中的阔叶林为用叶林、木果林和景观树种, 3个阔叶林样方中的DOC含量波动较大, 施肥、秸秆和修剪枝堆覆、间种、定期管理等人为活动有重要影响, 而松林是用材林, 以自然生长为主, DOC含量变幅不大。(4)林木所处生长阶段。采样期5月正值油桃挂果成熟、明前茶采摘后新芽生发、金森女贞及海桐开花期, 可能导致经济林土壤DOC含量低于其他次生林地。

3.2 植被类型和管理方式对土壤微生物生物量的影响

4种经济林的SMBC, SMBN与土壤pH值、无机氮含量的高低趋势一致, 即女贞林高于油桃林, 茶园次之, 松林最低, $\text{pH} < 5.0$ 的茶园、松林SMBC均低于 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $6.0 < \text{pH} < 7.0$ 的油桃林接近 $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{pH} > 7.0$ 的女贞林约为 $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。高pH有利于土壤微生物同化 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ($r = -0.93$, $P < 0.01$)为自身生物体氮($r = 0.93$, $P < 0.01$), 从而促进微生物群落的生长。

4种经济林间土壤DOC和DN养分含量无显著差异, 但其DOC/DN存在显著差异性($P < 0.05$), 树龄较长的松林(30 a)、茶园(15 a)均显著高于树龄10 a以下的经济林(油桃林、女贞林)($P < 0.05$)。微生物体C/N通常低于土壤和植物的C/N, 在(4:1)~(9:1), 本研究中SMBC/SMBN在(4:1)~(6:1)。SMBC/SMBN能反映土壤氮素的微生物活性^[12], 本研究中自然生长的松林和女贞林的SMBC/SMBN均显著高于人工管理的茶园和油茶林($P < 0.05$), 土壤高DOC/DN导致高SMBC/SMBN($r = 0.78$, $P < 0.01$), 因进入土壤的大多数有机残体含碳量大而全氮含量较小, 土壤微生物倾向于同化含碳有机物为自身生物体碳, 极显著增加SMBC($r = 0.77$, $P < 0.01$), 而微生物氮素活性较低, 氮素损失较高^[12]。

3.3 植被类型和管理方式对土壤碳通量的影响

经济林土壤是 CO_2 的源和 CH_4 的汇。相关研究表明, 凋落物对土壤 CO_2 排放总量的贡献约占17%^[13], 本研究中人工管理的经济林(油桃林、茶园) CO_2 通量高于自然生长的经济林(女贞林、松林), 阔叶林土壤 CO_2 通量均值在 $241.8 \sim 310.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 高于贵阳市黄壤上的其他阔叶林($187.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)^[14], 但阔叶树种和针叶树种间差异不显著, 与土壤指标相关性也不强, 部分学者认为温度是影响土壤 CO_2 排放的唯一因素^[14]。

经济林土壤 CH_4 通量受土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量和SMBN极显著影响(r 分别为0.84, -0.78, $P < 0.01$)而非DOC, DN含量或DOC/DN。即人工管理施入 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 肥料或微生物异化生物体氮为环境养分如 $\text{NO}_3^- \text{-N}$, 将会增加土壤 CH_4 通量; 此外, 长期连作等管理方式会导致土壤pH值降低, 土壤的酸化会增加 CH_4 排放通量($r = -0.65$, $P < 0.05$), 而土壤含水量则通过影响SMBN($r = -0.84$, $P < 0.01$)间接影响 CH_4 通量。

参考文献：

- [1] 杨继松, 刘景双. 小叶章湿地土壤微生物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.
- [2] CURRIE W S, NADELHOFFER K J, ABER J D. Redistributions of ^{15}N highlight turnover and replenishment of mineral soil organic N as a long-term control on forest C balance[J]. *F Ecol Manag*, 2004, 196 (1): 109 – 127.
- [3] 李彬彬, 武兰芳. 土壤温室气体排放对C/N的响应[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37 (9): 2067 – 2078.
- [4] 张振超, 王金牛, 孙建, 等. 土壤温室气体测定方法研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2019, (05): 1228 – 1243.
- [5] 刘岳坤, 庞军柱, 辰凡, 等. 秦岭火地塘林区不同海拔不同林型土壤 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 通量研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34 (1): 1 – 10.
- [6] 宋长青, 吴金水, 陆雅海, 等. 中国土壤微生物学研究10年回顾[J]. 地球科学进展, 2013, 28 (10): 1087 – 1105.
- [7] 陈雪双. 施肥及林下杂草管理对山核桃林地土壤温室气体排放的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
- [8] 郑宪志, 张星星, 林伟盛, 等. 不同树种对土壤可溶性有机碳和微生物生物量碳的影响[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2018, 34 (6): 86 – 93.
- [9] NUNAN N, MORGAN M A, HERLIHY M. Ultraviolet absorbance (280 nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the microbial biomass [J]. *Soil Biol Biochem*, 1998, 30 (12): 1599 – 1603.
- [10] XU X, ZHANG T, LIU Z. Calibration model of microbial biomass carbon and nitrogen concentrations in soils using ultraviolet absorbance and soil organic matter[J]. *Eur J Soil Sci*, 2008: 1 – 10.
- [11] 周德庆. 微生物学教程: 第二版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 100 – 103.
- [12] 王利利, 董民, 张璐, 等. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21 (09): 1073 – 1077.
- [13] 程建中, 李心清, 周志红, 等. 西南喀斯特地区几种主要土地覆被下土壤 CO_2 -C 通量研究[J]. 地球化学, 2010, 39 (3): 258 – 265.
- [14] 刘芳, 刘丛强, 王仕禄, 等. 黔中土壤 CO_2 的释放特征及其影响因素[J]. 生态环境, 2008, 17 (03): 1120 – 1124.